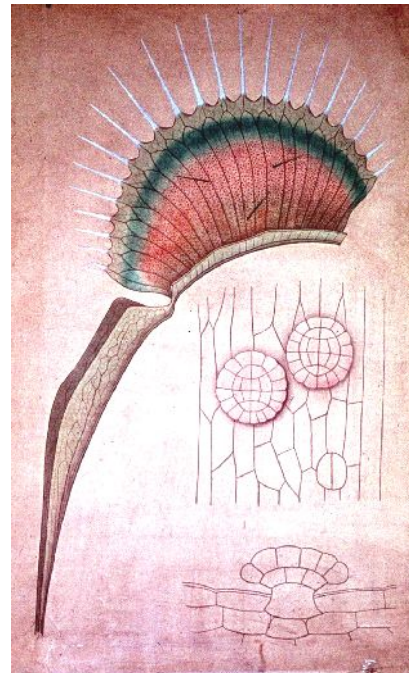


Projekt Phytosensorik

1. Zielsetzung

Als ortsgebundene Organismen sind Pflanzen in der Lage, durch Bewegungen auf ihre Umgebung zu reagieren. Ein besonders ausgeprägtes Bewegungsorgan stellt der Fangapparat der Venusfliegenfalle *Dionaea muscipula* dar. Dieser schnellste Bewegungsvorgang im Pflanzenreich überhaupt und die ungewöhnliche Art des Beutefangs haben bereits vor weit mehr als 100 Jahren das Interesse zahlreicher Forscher geweckt: So beschäftigten sich Charles Darwin und der Begründer der Pflanzenphysiologie Julius von Sachs mit diesem auffälligen Phänomen. In der Tradition ihres Namensgebers sollen nun im Rahmen des im Folgenden beschriebenen Projektes sinnesphysiologische Vorgänge in *Dionaea muscipula* untersucht werden. Dies erfolgt in enger Zusammenarbeit zwischen dem Friedrich-Koenig-Gymnasium Würzburg (FKG), dem Johann-Schöner-Gymnasium Karlstadt (JSG) und dem Lehrstuhl für Molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik des Julius-von-Sachs-Instituts für Biowissenschaften der Julius-Maximilians-Universität Würzburg.



Das bereits begonnene Forschungsprojekt konzentriert sich auf die Beantwortung folgender Fragestellungen:

1. **Tastsinn:** Wie genau führt der Berührungsreiz durch Beutetiere zum schnellen Zuklappen der Falle? Welche molekularen Mechanismen liegen der Reizwahrnehmung und Bewegung zugrunde?
2. **Geschmacksinn:** Wie bzw. wodurch wird die Beute erkannt, die Sekretion des Verdauungssaftes induziert und die tierische Nahrung aufgenommen?

Abb. 1. Zeichnerische Darstellung eines halbierten Fangorgans mit Drüsenapparat von *Dionaea muscipula* durch Julius von Sachs Ende des 19. Jahrhunderts.

Dionaea muscipula kann, sobald sich ein Insekt in ihrer geöffneten Falle befindet, die beiden Fallenhälften innerhalb von 0,1-1 s aufeinander klappen und ihre Beute somit einschließen. Als Voraussetzung hierfür müssen mindestens zwei der sechs Sinneshaare auf der Fallenninnenseite oder ein Sinneshaar zweimal von der Beute berührt worden sein (s. Abb.1). Man geht davon aus, dass die Auslösung der hierzu benötigten elektrischen Signale (sog. Rezeptorpotentiale) auf die Aktivierung mechanosensitiver Ionenkanäle in den Zellen an der Basis der Sinneshaare zurückgeht. Dadurch strömen Calciumionen ein und stimulieren die Sinneszellen. Zwei aufeinander folgende Rezeptorpotentiale lösen die elektrische Erregungsweiterleitung (Aktionspotential, siehe Titelblatt) aus. Diese Aktionspotentiale beruhen auf der Verschiebung von Chlorid- und Kaliumionen über die Plasmamembran aller Fallenzellen. Im Gegensatz zum tierischen Aktionspotential, das beispielsweise in Nervenzellen beobachtet werden kann und in der Oberstufe ausführlich behandelt wird, werden hier bei der Generierung des Aktionspotentials keine Natriumionen verschoben. Der elektrische Reiz breitet sich durch plasmatische Verbindungen wie in einem Kabel mit hoher Geschwindigkeit über das gesamte Blatt aus. Das Phänomen der elektrischen Erregung von *Dionaea* ist zwar seit weit mehr als einem Jahrhundert bekannt, die molekulare Identität der beteiligten Ionenkanäle jedoch gänzlich unerforscht. Diese Lücke soll durch Experimente zum Teilprojekt A geschlossen werden.

Bislang ist ebenfalls noch völlig ungeklärt, wie das eben beschriebene elektrische Signal zur eigentlichen Bewegung, dem „Zuschnappen“ der Falle führt, wie die richtige Beute am „Geschmack“ erkannt und die weitere „Beuteverarbeitung“ gesteuert wird. Das sehr schnelle Zuschnappen der Falle

dient zunächst nur dazu, das Beutetier festhalten zu können. Die Bewegung des Insekts sorgt im weiteren Verlauf dafür, dass durch die Reizung der Sinneshaare weitere elektrische Ereignisse (Aktionspotentiale) ausgelöst werden, sich die Falle immer weiter schließt und das Insekt schließlich sehr eng umfasst. Sowohl durch den fortgesetzten Berührungsreiz als vermutlich auch durch von der Beute stammende Substanzen wird letzten Endes die Sekretion entsprechender Verdauungssäfte ins Fallennere stimuliert, damit die Beute in ihre für die Pflanze verwertbaren Bestandteile zersetzt werden kann. Über pflanzliche Sekretionsvorgänge im Allgemeinen (z.B. in floralen und extrafloralen Nektarien), aber auch speziell über die in *Dionaea* aktiven Drüsen ist bisher noch wenig bekannt. Die Erforschung der für die pflanzliche Ernährung so wichtigen Drüsengewebe stellt daher den zweiten Pfeiler, Teilprojekt B, dar.

Teilprojekt A: Tastsinn - Mechanoperzeption

Innerhalb dieses Projektteils erforschen die Schüler, welche Komponenten an der Ausbildung von Rezeptor- und Aktionspotentialen in *Dionaea* beteiligt sind, welche letzten Endes den durch die Beute verursachten Berührungsreiz vermitteln. Hierzu ist geplant, das Fallengenom zu analysieren und die Suche nach Ionenkanalgenen voranzutreiben: Zu diesem Zweck wurde durch Schüler bereits Boten-RNA (engl.: messenger-RNA, mRNA) aus den Fallenblättern von *Dionaea* extrahiert und in eine doppelsträngige DNA-Kopie (engl.: copy-DNA, cDNA) umgeschrieben. Nun sollen in Analogie zu aus anderen Modellpflanzen bekannten Kanalsequenzen die entsprechenden Ionenkanäle aus *Dionaea* über Polymerase-Kettenreaktion (engl.: polymerase chain reaction, PCR) gewonnen und deren Sequenz bestimmt werden. Auf diese Weise lernen die Schüler das Prinzip der Genklonierung und anschließenden Identifikation der jeweiligen Gensequenz an ihrem eigenen Versuchsobjekt kennen.

In einem weiterführenden Ansatz ist geplant, in Kooperation mit industriellen Partnern eine Gen-Bibliothek aller in der Falle aktiven Gene zu erstellen (im Folgenden als *aGenom*, aktives Genom, bezeichnet). Hierzu haben die Schüler bereits RNA aus nicht stimulierten und fangenden Fallen isoliert. Die so gewonnene RNA soll nun in eine cDNA Bibliothek überführt werden. Durch ein neues, sehr schnelles und kostengünstiges Verfahren soll dann das *aGenom* der Falle von *Dionaea* entschlüsselt werden. Die auf diese Weise gewonnene genetische Information wird durch Informatik-Gruppen der beteiligten Gymnasien aufbereitet und durch den Vergleich mit bekannten pflanzlichen und tierischen Genomen ausgewertet. Hierbei leistet der Lehrstuhl für Bioinformatik der Universität Würzburg Hilfestellung. Somit wären die teilnehmenden Schulen in der einzigartigen Situation, nicht nur als erste einen großen Teil der genetischen Information der Venusfliegenfalle entschlüsselt zu haben, sondern das erste von Schülern entschlüsselte *aGenom* überhaupt in Händen zu haben. Dies sollte sich positiv auf das Selbstbewusstsein und die Motivation der beteiligten Schüler und deren familiäres/soziales Umfeld auswirken: in den Nachrichten erwähnte bahnbrechende Genomprojekte wie die Entschlüsselung des menschlichen Genoms im Jahr 2000 werden nachvollzogen!

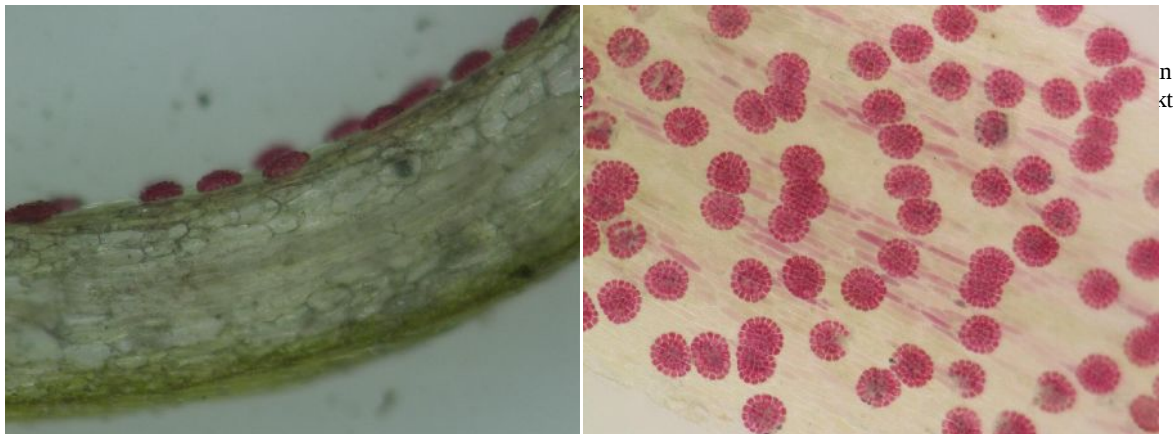
Die nun entschlüsselten Gene können im weiteren Verlauf dazu benutzt werden, in Zusammenarbeit mit dem GSF Forschungszentrum München-Neuherberg „Fallen-Genchips“ zu erstellen, mit Hilfe derer Gene herausgefiltert werden können, die an der Reizwahrnehmung und -weiterleitung beteiligt sind. So könnte durch den Vergleich zwischen Gesamtfalle und Sinneshaar beispielsweise untersucht werden, welche aktivierten Gene bzw. Genprodukte spezifisch für den Tastsinn an der Basis des Sinneshaars und die Ausbreitung des Rezeptor- bzw. Aktionspotentials verantwortlich sind. Die hierfür erforderliche RNA kann durch die Schüler nach entsprechender Anleitung am Julius-von-Sachs-Institut mit Hilfe von Mikrodissektionsverfahren von Sinneshaaren gewonnen werden.

Die im Rahmen der beschriebenen Experimente identifizierten Kanäle sollen im weiteren Verlauf im Vergleich mit Natrium-basierten Aktionspotentialen in tierischen Nervenzellen elektrophysiologisch charakterisiert werden. Durch die gemeinsame Expression der in Frage kommenden Ionenkanäle in pflanzlichen Zellen von Nicht-Sinnespflanzen kann so das chloridbasierte Aktionspotential in *Dionaea* aus seinen Einzelkomponenten rekonstruiert werden. Hierbei leistet der Lehrstuhl für Molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik Hilfestellung. Ziel ist es, in den kommenden drei Jahren auch im Schülerlabor des Friedrich-Koenig-Gymnasiums einen Messplatz für

elektrophysiologische Experimente aufzubauen. Auf diese Weise können die Schüler ganz ohne Tierversuch Prinzipien von Sinneszellen erlernen: Sowohl bei der Reizwahrnehmung in *Dionaea* als auch in den Haarsinneszellen des Innenohrs werden mechanosensitive Ionenkanäle aktiviert, wodurch für die Bildung und Weiterleitung der elektrischen Erregung gesorgt wird. Hier lässt sich folglich sehr schön das Prinzip der mechanischen Wahrnehmung von Sinnesreizen in Analogie zu den während des menschlichen Hörvorgangs stattfindenden Vorgängen veranschaulichen.

Teilprojekt B: Geschmackssinn und Drüsenfunktion

Innerhalb dieses Projektteils soll untersucht werden, wie die Beute erkannt und deren Verarbeitung eingeleitet wird. Welche Gene werden z.B. beim Fangen und Verdauen benötigt? Die oben bereits erwähnten „Fallen-Genchips“ werden auch zur Beantwortung dieser Frage herangezogen. So wird durch den Vergleich zwischen Gesamtfalle und Drüsengewebe ermittelt, welche Gene spezifisch für die Drüsenfunktion benötigt werden. Die hierfür erforderliche RNA aus Drüsengewebe wurde bereits von Schülern durch Isolieren der drüsenreichen Epidermis und nachfolgender Probenaufbereitung gewonnen (s. Abb. 2). So soll zum einen untersucht werden, wie die Aktivität der Drüsen gesteuert wird, zum anderen, welche Substanzen *Dionaea* zu sekretieren imstande ist. Wie im tierischen Magen werden auch in *Dionaea* Salzsäure und Verdauungsenzyme sezerniert, mit dem Unterschied, dass die Verdauung der Pflanze quasi extrakorporal erfolgt. Der Proteinabbau erfolgt in Analogie zu den Parietalzellen im tierischen Magen auch in *Dionaea* extrazellulär. Hier können die Schüler somit erneut Analogien zum tierischen System herstellen.



Welche Komponenten genau für die Stimulierung der Sekretion bei Vorhandensein eines Beuteinsekts verantwortlich sind, wurde bislang noch nicht näher untersucht, was wiederum reichlich Platz für Schülerexperimente bietet. So wird derzeit beispielsweise untersucht, ob beutespezifische Komponenten wie Chitin (aus dem Insektenpanzer) bereits die Sekretion auszulösen vermögen. Man wird ebenfalls mit Hilfe der *aGenom*-Chips untersuchen können, welche Gene durch Stimulierung der Sekretion aktiv werden, um Aufschluss über die zur Abgabe des salzsauren Gemischs von Verdauungsenzymen führenden Signalvorgänge zu gewinnen.

Überdies wird die bereits bestehende analytische Ausrüstung des FKG-Schülerlabors dazu verwendet werden, die im Verdauungssaft der Venusfliegenfalle enthaltenen Inhaltsstoffe näher zu charakterisieren. Es ist davon auszugehen, dass sich hierin Substanzen befinden, welche dem Zersetzen der Beute durch Mikroorganismen (Bakterien, Pilze) entgegenwirken. Oder findet man gar, wie bei den Kolibakterien im menschlichen Darm, Mikroorganismen, die als Symbionten die Verdauung fördern? Diese Fragen erscheinen in der gegenwärtigen Literatur weitgehend unbehandelt. Daher werden die Schüler den nach unterschiedlichen Stimuli sekretierten Verdauungssaft auffangen und analysieren. Das Drüsensekret wird überdies durch mikrobiologische Tests auf antimikrobielle Wirkung untersucht werden. Hierbei ist zu prüfen ob man spezifische Fallen-Symbionten findet, die vor den Drüsengiften geschützt sind. Letzten Endes können wiederum mit Hilfe des Fallengenoms und

Genchips durch den Vergleich der aktiven Drüsengewebe mit denen der Gesamtfalle möglicherweise Gene identifiziert werden, die für die Herstellung antimikrobieller Verbindungen verantwortlich sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Schüler innerhalb des beschriebenen Projektes auf einfache Art und Weise fundamentale biologische Prinzipien (wie z.B. Reizperzeption und Erregungsweiterleitung, elektrische Erregbarkeit, chemischer Sinn, Sekretion, Resorption, konstitutive und spezifische Pathogen-Abwehr etc.) erforschen können. Überdies bietet die Fokussierung auf *Dionaea* den unschätzbaren Vorteil, komplett auf Tierversuche verzichten zu können, da alle hier untersuchten Vorgänge durch Analogien auf das tierische System übertragen werden können. Durch die Entschlüsselung des *aGenoms* von *Dionaea* können dann historisch manifestierte physiologische Vorgänge durch biochemische und molekularbiologische Daten untermauert werden, eine Analyse, die bislang in Ermangelung molekulargenetischer Informationen nicht möglich war.

2. Entwicklung des Projekts

Auf Anregung von Prof. Dr. Rainer Hedrich wurde in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik der Universität Würzburg ein Schülerlabor am Friedrich-Koenig-Gymnasium eingerichtet, das im Juli 2006 als *Naturwissenschaftliches Labor für Schüler am FKG* in Betrieb genommen wurde. Es steht unter der Schirmherrschaft des Präsidenten der Universität Würzburg, Prof. Dr. Axel Haase und wird von einem Wissenschaftlichen Beirat, in dem Naturwissenschaftler aus ganz Deutschland zusammengeschlossen sind, begleitet. Seit Sommer 2007 arbeiten auch Lehrkräfte und Schüler des Johann-Schöner-Gymnasiums in diesem Schülerlabor mit und sind an dessen Weiterausbau beteiligt.

Im Januar 2008 wurde ein gemeinnütziger Trägerverein, „Naturwissenschaftliches Labor für Schüler am FKG e. V.“ gegründet, der dem gesamten Projekt einen stützenden Rahmen gibt. In diesem Verein haben sich Schüler, Lehrkräfte beider Schulen und ehemalige Schüler zusammengeschlossen. Der Laborbetrieb wird von einer Gruppe Biologie-, Chemie-, Physik- und Informatiklehrer getragen. Tatkräftig werden sie dabei von zahlreichen Schülern unterstützt, die zum Teil eigenverantwortlich einzelne Bereiche des Laborbetriebs organisieren. Unter Anleitung von Wissenschaftlern der Universität betreuen Teams von zwei bis vier Schülern anspruchsvolle Laborgeräte wie z.B. den Gaschromatographen, den HPLC (High-Performance-Liquid-Chromatograph), das Infrarot-Spektrometer, das Atom-Absorptions-Spektrometer oder das Massenspektrometer. Auch die Lagerverwaltung und die Betreuung der Homepage liegen in den Händen von Schülern.

Diese moderne Ausstattung des Schülerlabors ermöglicht ein Arbeiten an den Schnittstellen der drei klassischen Fachrichtungen der Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik. So soll aus dem Nebeneinander der drei in der Schule getrennten Fächer durch die gemeinsame Arbeit in einem Labor ungezwungen ein fächerübergreifendes Miteinander werden.

Neben propädeutischem und wissenschaftsanalogem ist echtes wissenschaftliches Arbeiten im Schülerlabor möglich. Die Vorbereitung auf ein (naturwissenschaftliches) Studium erfolgt durch Kooperation mit Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen.

Seit Sommer 2007 hat das *Naturwissenschaftliche Labor* eine weitere Besonderheit: Vierteljährlich finden *Naturwissenschaftliche Colloquien für Schüler mit* renommierten Wissenschaftlern der drei naturwissenschaftlichen Fachrichtungen Biologie, Chemie und Physik statt, die auf einem schülergerechten Niveau aus ihrer aktuellen Forschung referieren.

Die Arbeit am Phytosensorik-Projekt begann nach einem Vortrag von Prof. Dr. Rainer Hedrich am 01. Juli 2008 am Friedrich-Koenig-Gymnasium im Rahmen ebendieses naturwissenschaftlichen Colloquiums. Nachdem Prof. Hedrich zum Thema „Die Sinne der Pflanzen“ referiert hatte, ergaben sich zahlreiche Fragen aus dem Publikum und es entspann sich eine angeregte Diskussion. Hierbei zeigten sich Schüler beider Schulen überaus interessiert an der pflanzlichen Sensorik (= Phytosensorik) und an den im Pflanzenreich stattfindenden Bewegungen. Dieses überaus große Schülerinteresse griffen die beteiligten Lehrkräfte in der Folge in verschiedenen Klassen und Altersstufen auf, um Fragen der Phytosensorik weiter zu vertiefen, wobei sich rasch zeigte, dass der Beutefang der Venusfliegenfalle das für alle Beteiligten interessanteste Beispiel darstellte, da sich an diesem System viele allgemeine biologische Prinzipien, wie z.B. die Reizaufnahme und

-weiterleitung, die elektrische Erregbarkeit von Zellen, Sekretion und Nahrungsaufbereitung, hervorragend veranschaulichen lassen. Die ohnehin bereits seit vielen Jahren bestehende enge Kooperation zwischen dem FKG und dem Lehrstuhl für Molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik der Universität Würzburg wurde daraufhin genutzt, um sich mit dem Phänomen des Beutefangs der Venusfliegenfalle näher auseinanderzusetzen. So erlernten die Schüler zunächst die Anzucht der Pflanzen und führten einfache Experimente zum Auslösen der Fallenbewegung durch, um sich mit dem Versuchsobjekt vertraut zu machen. In diesem Zusammenhang führten die Schüler auch anatomisch-mikroskopische Analysen der Fallenblätter durch, bei denen sich herausstellte, dass das intakte Drüsengewebe sehr leicht durch einfaches Abziehen der inneren Epidermis der Fallenblätter zu isolieren ist (Abb. 2). Auch erste Versuche zur stimulierten Sekretion der Verdauungssäfte wurden bereits durchgeführt, so dass auch schon nach verschiedenen Stimuli ausgetretene Sekretproben genommen und für erste analytische Experimente vorliegen. Zeitgleich wurden von Schülern die für die molekularbiologischen Experimente benötigten Arbeitstechniken erlernt und eingeübt, so dass schließlich bereits RNA, mRNA und cDNA aus *Dionaea*-Fallenblättern gewonnen wurde. Die Qualität der isolierten Nukleinsäureproben wurde von den Schülern geprüft und auf Verunreinigungen durch Zucker oder Proteine analysiert. Dieses Probenmaterial stellt die essentielle Grundlage für die geplanten Experimente dar.

3. Projekt- und Zeitplan

Unter Punkt 2. „Entwicklung des Projekts“ wurde eine Reihe von Aktivitäten beschrieben, die im Rahmen des Projektbeginns schon stattgefunden haben. Des Weiteren wurde von beteiligten Wissenschaftlern, Lehrern und Schülern bereits eine ausgiebige Literaturrecherche durchgeführt, um den aktuellen Wissensstand in Erfahrung zu bringen. Auf der Basis dieses Literaturstudiums wurden - sowohl in Schüler-Lehrer-Gesprächsrunden als auch in Wissenschaftler-Lehrer-Gesprächsrunden - Forschungsziele diskutiert, präzisiert und zu zwei experimentell realisierbaren Forschungsprojekten gebündelt (Teilprojekt A und B).

Experimente

Geplant ist, dass interessierte Oberstufenschüler einzelne Aspekte und Fragestellungen der zwei Forschungsprojekte im Rahmen einer Facharbeit oder einer Seminararbeit untersuchen. Für die hierfür nötigen praktischen Arbeiten stehen den Schülern das Schülerlabor des FKG und Laborplätze des Julius-von-Sachs-Instituts zur Verfügung. Fachliche und methodische Unterstützung erhalten sie von beteiligten Lehrkräften und von Wissenschaftlern des Julius-von-Sachs-Instituts. In Form von speziellen Methodenworkshops und Angliederung des beschriebenen Projekts an den SFB 567 „Mechanismen der interspezifischen Interaktion von Organismen“ können die Schüler von den Anregungen und Ratschlägen eines übergeordneten wissenschaftlichen Gremiums profitieren.

Analyse

Die Ergebnisse der Untersuchungen, sowohl Zwischen- als auch Abschlussergebnisse, sollen ca. alle 6 Monate im Rahmen eines Symposiums, an dem Wissenschaftler, Lehrer und Schüler teilnehmen, von den Schülern präsentiert werden.

Dokumentation

Die Abschlussergebnisse werden von den Schülern zudem in schriftlicher Form dargestellt – als Fach- oder Seminararbeit. Da sich Facharbeiten über maximal 1 Jahr, Seminararbeiten über maximal 1 ½ Jahre erstrecken, werden im Verlauf des Projekts zahlreiche Schüler ihre Arbeit beenden bzw. neue Schüler in das Projekt einsteigen. Um einen möglichst reibungslosen Übergang zu gewährleisten, ist geplant, dass ältere Schüler während bzw. nach Abschluss ihrer Fach- bzw. Seminararbeiten das erworbene Wissen bzw. die erworbenen methodischen Fertigkeiten an jüngere, das Projekt fortführende Schüler, weitergeben.

Zudem wird von Schülern eine Website eingerichtet und gepflegt. Ein Bereich der Website dient der Darstellung des Projekts und der fachlichen Grundlagen sowie der Vorstellung der am Projekt

Beteiligten. Dieser Bereich wird frei zugänglich sein. Dort soll auch der wissenschaftliche Fortschritt für interessierte Schüler, Eltern und Lehrer dokumentiert werden. Ein weiterer interner Bereich, auf den nur Projektmitglieder Zugriff haben werden, wird die erstellten Fach- bzw. Seminararbeiten sowie Protokolle verwendeter und zum Teil optimierte Methoden enthalten und dem Daten- und Informationsaustausch dienen.

Die Abschlussergebnisse sollen schließlich im Rahmen eines Abschlusskolloquiums im Biozentrum der Julius-Maximilians-Universität Würzburg präsentiert werden. Dazu werden alle beteiligten und interessierten Schüler beider Schulen, interessierte Eltern und Lehrer, Wissenschaftler sowie Vertreter aus Gesellschaft und Politik eingeladen.

4. Projektinhalte

Neugier ist eine Eigenschaft, die alle Kinder und Jugendliche besitzen. Sie wollen ihre Umwelt und die Ereignisse um sie herum erfahren und v.a. auch verstehen. Diese Neugier soll bei diesem Projekt genutzt werden, um bei den Schülern die Begeisterung für die Naturwissenschaften zu wecken bzw. zu verstärken. Beim selbsttätigen Experimentieren, einem zentralen Ansatz in der naturwissenschaftlichen Forschung, können Naturwissenschaften erlebt, ihre Arbeits- und Denkweise begreifbar und verständlich gemacht werden. Von der Problemstellung über die Planung und Durchführung geeigneter Experimente bis zur Auswertung und Interpretation der Ergebnisse nehmen die Schüler bei diesem Projekt an allen Schritten des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses teil. Da eine Reihe gentechnischer Methoden zum Einsatz kommen, sind die Schüler gefordert, sich im Rahmen der aktuellen gesellschaftspolitischen Diskussionen zur Gentechnik ein eigenes differenziertes Bild zu machen. Darüber hinaus vertieft und erweitert das Projekt Inhalte des neuen G8-Lehrplans des bayerischen Gymnasiums.

Für Forschung im Team ist ein abgestimmtes und vertrauensvolles Miteinander unumgänglich, wodurch besonders die soziale Kompetenz der Schüler gestärkt wird. Nur durch gegenseitige Hilfe und die Bereitschaft, Verantwortung für das gemeinsame Vorgehen zu übernehmen, gelangen die Schüler im Experiment zur erstrebten Erkenntnis.

Da die Schüler zunächst einmal die notwendigen Mittel für ihr Teilprojekt begründen müssen, werden sie angeleitet, sich zu Beginn intensiv mit den theoretischen Grundlagen, den experimentellen Schritten und deren Kosten auseinanderzusetzen. Dazu können sie in der eigens eingerichteten Naturwissenschaftlichen Bibliothek des *Naturwissenschaftlichen Labors für Schüler am FKG* in den vorhandenen Fachbüchern und Fachzeitschriften recherchieren bzw. mit wissenschaftlichen Suchmaschinen nach elektronisch verfügbaren Originalarbeiten suchen. In der Bibliothek des Julius-von-Sachs-Instituts haben sie Zugang zu allen Zeitschriften und Online-Datenbanken. Auf diese Weise wird die Medienkompetenz der Schüler gestärkt - sie lernen den Umgang mit wissenschaftlichen Quellen sowohl in der klassischen Papierform als auch in der modernen Variante im weltweiten Datennetz.

Da im Rahmen des Projekts sowohl biologische, bioinformatische, biophysikalische und chemische Aspekte untersucht werden, lernen die Schüler, dass die naturwissenschaftlichen Teildisziplinen nicht isoliert nebeneinander stehen können, sondern ineinander greifen. Dabei lernen sie das Repertoire der modernen Molekularbiologie und der chemischen Analytik ebenso kennen wie elektrophysiologische Arbeitsweisen.

In regelmäßigen Kolloquien sollen die Schüler ihre bisher erzielten Ergebnisse allen am Projekt beteiligten Gruppen vorstellen. Dazu müssen sie mit moderner Auswertungssoftware ihre Ergebnisse bearbeiten, dokumentieren und visualisieren. So lernen die Schüler moderne Präsentationstechniken anzuwenden. Ergänzt werden die Kolloquien auch im Rahmen des SFB 567 „Mechanismen der interspezifischen Interaktion von Organismen“ durch Vorträge geladener Wissenschaftler, die auch an tierischen Organismen auf den Gebieten der Reizwahrnehmung und -verarbeitung forschen.

Die theoretische Grundlage des Projekts sind stoffliche Inhalte der Mittelstufe. Besonders das Kapitel „Bakterien“ in der 8. Jahrgangsstufe, „Grundlagen der Genetik“, „Angewandte Biologie - Grundlagen der Gentechnik“ und „Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung durch Nerven- und

Hormonsystem“ des Biologielehrplans und „Qualitative Analysemethoden“ des Chemielehrplans der 9. Jahrgangsstufe sowie „Angewandte Biologie – Biotechnologie“ der 10. Jahrgangsstufe finden unmittelbar Eingang in das Projekt.

Für die Oberstufenschüler ergeben sich ebenfalls viele Querbeziehungen zum Biologielehrplan der neuen Oberstufe. Vor allem die in der 11. Jahrgangsstufe angesetzten Kapitel „Genetik und Gentechnik“ sowie „Neuronale Informationsverarbeitung“ werden durch das Venusfliegenfallen-Projekt veranschaulicht, vertieft und erweitert. Kenntnisse über enzymatisch katalysierte Reaktionen von Biomolekülen und Stoffwechselprodukte, die im Chemielehrplan der Oberstufe behandeln werden, sind für das Projekt unabdingbar.

Wissenschaftspropädeutische Seminare (W-Seminare) in der Oberstufe in den Fächern Biologie und Chemie sollen am Friedrich-Koenig-Gymnasium unter dem Motto „Biologie auf zellulärer und molekularer Ebene“ bzw. „moderne chemische Analytik“ stehen. In diesen Seminaren werden dann einzelne Forschungsprojekte im Rahmen der Untersuchung der Venusfliegenfalle von Schülern bearbeitet. Am Johann-Schöner-Gymnasium wird es ein eigenes W-Seminar im Rahmen des Phytosensorik-Projekts geben.

Da es bis zum Sommer 2011 auch noch die alte Form des bayerischen Gymnasiums (G9) geben wird, sollen auch hier im Rahmen von Facharbeiten in den Fächern Biologie und Chemie einzelne Teilaspekte an beiden Schulen bearbeitet werden.

5. Strukturelle Einbindung

Nach Möglichkeit finden die meisten experimentellen Arbeiten der Schüler im *Naturwissenschaftlichen Labor für Schüler am FKG* statt. Das Besondere am Schülerlabor des Friedrich-Koenig-Gymnasiums ist, dass es nicht an einer Universität, sondern an der Schule angesiedelt ist. Dadurch ist es den Schülern möglich, regelmäßig und nachhaltig zu experimentieren. Zudem können sie das Labor auch kurzfristig, den aktuellen Erfordernissen entsprechend, nutzen. Darüber hinaus werden verschiedene Schülerteams unter Anleitung eines Wissenschaftlers oder sachkundigen Lehrers im Schullabor in die Betreuung anspruchsvoller Laborgeräte eingebunden.

Am Lehrstuhl für Molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik finden ergänzend Arbeiten statt, die nur von Schülern und Wissenschaftlern gemeinsam erledigt werden können z.B. aus arbeitsschutzrechtlichen Gründen oder die auf Grund der erforderlichen Spezialausrüstung nicht im Schülerlabor durchgeführt werden können. Das Einlernen der Schüler und Lehrkräfte in neue Methoden wird von Mitarbeitern des Lehrstuhls für Molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik übernommen.

In beiden Schulen haben die Naturwissenschaften und die Förderung naturwissenschaftlich interessierter und begabter Schüler einen herausragenden Stellenwert. So sind beide Gymnasien im Verein MINT-EC (Verein mathematisch-naturwissenschaftlicher Excellence-Center an Schulen e.V.) aktiv und führen eine Vielzahl von Projekten, Arbeitsgruppen und Wahlkursen im naturwissenschaftlich-technologischen Bereich durch. Darüber hinaus wurde das JSG in das Programm „Center of Excellence“ des Bayerischen Staatministeriums für Unterricht und Kultus für den Bereich der Naturwissenschaften aufgenommen. Das FKG plant als erstes Gymnasium in Bayern die Einrichtung einer naturwissenschaftlichen Schwerpunktklasse. Der Antrag liegt zurzeit dem Bayerischen Staatministerium für Unterricht und Kultus zur Genehmigung vor.

Das Venusfliegenfallen-Projekt wird innerhalb des Projekts federführend von StR Christian Lorey und StR Dr. Nikolaus Kocher vom Friedrich-Koenig-Gymnasium, von Frau StRin Ruth Salveter vom Johann-Schöner-Gymnasium und von Frau Dr. Ines Kreuzer vom Lehrstuhl für Molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik, organisiert und vorangetrieben. Tatkräftig unterstützt wird dieses Projekt auch von den beiden Schulleitungen unter den Schulleitern OStD Dr. Siegfried Rose (FKG) und OStD Albert Häusler (JSG). Mitglieder des wissenschaftlichen Beirats des *Naturwissenschaftlichen Labors am FKG* sind in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik für die Koordination des Projekt verantwortlich. Der Beauftragte für Biologische Sicherheit für das Gentechniklabor am Friedrich-Koenig-Gymnasium ist Herr Dr. Peter Ache vom Lehrstuhl für Molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik.

6. Erfolge und Nachhaltigkeit

Das *Naturwissenschaftliche Labor für Schüler am FKG* ist zur Bearbeitung der projektspezifischen Fragestellungen umfassend eingerichtet. Eine Reihe von Schülern ist in die Arbeitstechniken eingearbeitet und hat zum Teil auch schon notwendige Methoden an das Versuchsmaterial angepasst. Dies gilt sowohl für molekularbiologischen Arbeitstechniken als auch für die Bedienung der Geräte zur chemischen Analytik. Daneben ist eine Naturwissenschaftliche Bibliothek projektspezifisch von den Schülern eingerichtet worden. Diese weist in der Zwischenzeit einen umfassenden Fundus an entsprechender Literatur auf, der für die Literaturrecherche bereits ausgiebig genutzt wurde. Zur Ausstattung gehören auch vier Computer-Arbeitsplätze. Zurzeit wird das Konzept für die Projekt-Website von mehreren Schülern ausgearbeitet.

Daneben wurde bereits begonnen RNA zu isolieren und Experimente zur antimikrobiellen Wirkung von Naturstoffen wurden entwickelt. Auch die Anzucht von *Dionaea* ist bereits etabliert. Schließlich wurde ein Netzwerk zur fachübergreifenden Bearbeitung der anstehenden Fragestellungen zwischen den Schulen und universitären Forschungseinrichtungen aufgebaut.

Seit Beginn konnten zahlreiche weitere Schüler für das experimentelle naturwissenschaftliche Arbeiten im Rahmen des Projekts begeistert werden. Mittelfristig sollten aus diesen Schülern engagierte Studenten aller naturwissenschaftlichen Fachrichtungen werden.

Die bei der Durchführung dieses Projekts gesammelten Erfahrungen werden in die Lehramtsausbildung des Lehrstuhls für Molekulare Pflanzenphysiologie und Biophysik einfließen. So sollen z.B. Lehramtsstudenten in der Zukunft in die fachliche Betreuung einzelner Teilprojekte mit einbezogen werden. Auf diese Weise können sie schon während des Studiums Erfahrungen im Umgang mit Schülern sammeln.

Da das *Naturwissenschaftliche Labor für Schüler am FKG* allen interessierten Schülern, auch den Schülern anderer Schulen, offen steht, ist es wichtig, ein breites Repertoire an Methoden und Experimenten anbieten zu können. Deshalb werden die faszinierendsten und spannendsten Experimente des Phytosensorik-Projekts so ausgearbeitet, dass sie zukünftig das Methodenrepertoire des Schülerlabors erweitern. Daneben soll, unterstützt von den Werkstätten des Julius-von-Sachs-Instituts, ein Elektrophysiologie-Messplatz im Schülerlabor eingerichtet werden. So können auch in den folgenden Jahren weitere Schülergenerationen von diesem Projekt profitieren, es abschnittsweise nachvollziehen und sogar weiterführen.

Ein Ziel des Phytosensorik-Projekts soll ein „schuleigenes“ Genom von *Dionaea* sein, auf das bei zukünftigen Arbeiten jederzeit zurückgegriffen werden kann. Nachdem die Grundlagen der Berührungswahrnehmung und des Tast- und Geschmackssinns von *Dionaea* aufgeklärt werden konnten, sollen die Ergebnisse an weiteren Sinnespflanzen (z.B. *Mimosa pudica*) verifiziert werden, so dass verschiedene Schülergenerationen an diesem Projekt mitarbeiten können. Aus den Ergebnissen des Phytosensorik-Projekts werden sich weitere Fragestellungen und somit neue interessante Projekte ergeben. Erzielte Forschungsergebnisse der Schüler fließen in wissenschaftlichen Publikationen ein. Durch dieses Projekt wird das schon bestehende Netzwerk zwischen den beteiligten Schulen und verschiedensten universitären Einrichtungen weiter ausgebaut, verfestigt und die Zusammenarbeit institutionalisiert.

Als Fernziel in der Zukunft hoffen wir, dass wir Politiker und Entscheidungsträger für die Idee eines großen Schülerlabors begeistern können und unsere Arbeit zum Kristallisationskeim für die Einrichtung eines großen naturwissenschaftlichen Schülerlabors in Würzburg für die ganze Region wird.