

Christian Ulrichs
Ruprecht Herbst
Matthias Langensiepen
Carsten Schulz

Fossiles Plankton als natürliches Insektizid

Dem Wirkmechanismus auf der Spur

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln kann zu unerwünschten Nebenwirkungen für Mensch und Umwelt führen. Auf der Suche nach neuen Wirkstoffen werden häufig altbekannte Substanzen wieder entdeckt. Der Einsatz von Stäuben, speziell fossilen Algenablagerungen erfährt so seit einigen Jahren eine Renaissance. Der insektizide Wirkmechanismus dieser Algenstäube war bis vor kurzem jedoch noch unbekannt. An der Humboldt-Universität wird der Einsatz modifizierter Algenstäube für den Einsatz zur Schädlingsbekämpfung, speziell in urbanen Zentren, untersucht.

Diatomeen – Lebewesen der Superlative

Diatomeen oder Kieselalgen sind einzigartige Lebewesen der Superlative. Sie stellen einzellige Pflanzen in »Leichtbautechnik« dar und bestehen, ebenso wie Glas, vornehmlich aus Kieselsäure. Von den etwa 35.000 bekannten Algenarten sind mindestens 10.000 den Diatomeen zuzuordnen. Damit zählen sie zu den artenreichsten Algen, die in unvorstellbaren Mengen die Meere bevölkern. In einem einzigen Liter Meerwasser können bis zu einigen Millionen Diatomeen als Phytoplankton schweben, die die Nahrungsgrundlage vieler winziger und größerer Meerestiere darstellen. Es wird geschätzt, dass Diatomeen mit einem Anteil von 40 % des gesamten Phytoplanktons etwa 20 bis 25 % der organischen Primärproduktion der Erde hervorbringen.

Abgestorbene Algen sinken in großer Zahl auf den Meeresgrund, wo sich mit der Zeit gewaltige fossile Lager bilden, die so genannte Diatomeenerde (Kieselgur). Solche Ablagerungen sind besonders im Tertiär entstanden und können, wie im Fall der Lüneburger Heide, über 100 m dicke Schichten bilden. Es wird geschätzt, dass weltweit bis zu 25 Millionen Quadratkilometer mit Diatomeenerdensedimenten bedeckt sind.

Die Zeichnungen Haeckels der symmetrischen und filigranen Formen der Diatomeen (Abb. 1) wurden zunächst für Fantasiegebilde gehalten. Aufgrund ihres zweiseitigen Aufbaus: ein größerer Deckel, die Epithe-

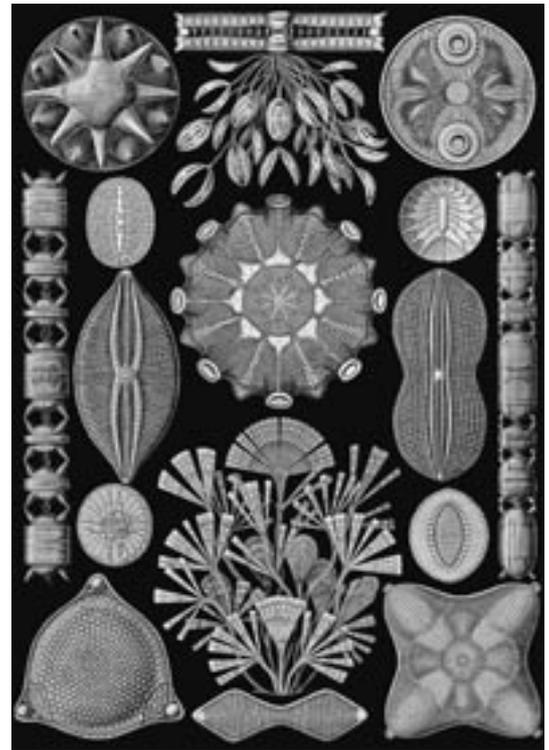


Abb. 1
Diatomeenerden (Aus: Ernst Haeckel 1899, *Kunstformen der Natur*. Leipzig und Wien, Verlag des Bibliographischen Instituts.)

ka, der über ein nur wenig kleineres Unterteil, die Hypotheka, passt, nannte Haeckel die Einzeller »Schachtellinge«.

Diatomeen vermehren sich in der Regel vegetativ durch Zellteilung. (Abb. 2) Dabei trennen sich Boden- und Deckelteil und bilden beide je ein neues Unterteil aus. So werden diejenigen Individuen, die aus Unterteilen hervorgehen, im Laufe der Generationen immer kleiner, bis sie eine artspezifische Grenzgröße unterschreiten. Dann vermehren sie sich sexuell: Zwei Mutterzellen legen sich aneinander und jede bildet eine Keimzelle aus, die nun die aufklappenden Schalen verlassen, d. h. Zellinhalte austauschen. Nach dem Verschmelzen der Gameten entsteht eine Auxospore, die sich zu einer mit einer silikathaltigen Schale versehenen Zelle differenziert.

Organismen für eine vielfältige Verwendung

Es wird überliefert, dass der Frachtfuhrmann Peter Kasten 1836 »Zu nichts zu gebrauchen!« gebrummt haben soll, als er beim Brunnenbohren in der Lüneburger Heide auf eines der größten Vorkommen von Diatomeen in Europa stieß. Dass er damit vollkommen falsch lag, beweisen die zahlreichen Gebiete, in denen Diatomeen bis heute Anwendung finden.

Mit ihrer Schalenkonstruktion weisen Diatomeen Feinstrukturen auf, die auch von heutiger Nanotechnik unerreicht sind. Dabei sind Kieselsäurekugeln in eine Matrix aus Eiweißen eingebettet und bilden ein filigra-

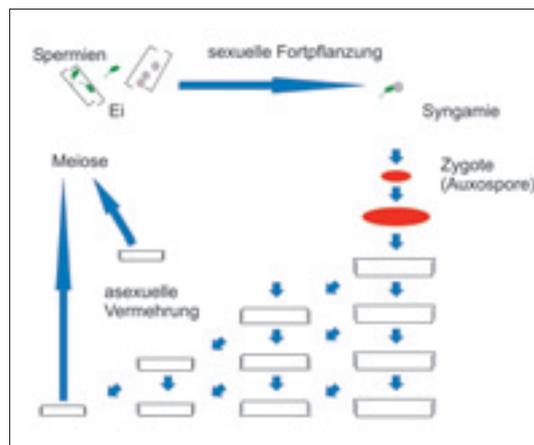


Abb. 2
Schematische Darstellung der Vermehrung von Diatomeen

nes Skelett. Diese Strukturen sind sehr widerstandsfähig und können bis zu mehreren hundert Tonnen Gewicht pro Quadratmeter aushalten. Begünstigt durch die Evolution entstanden solche Strukturen, in denen das Plankton trotz Panzerung leicht genug sein musste, um im Wasser zu schweben. So verwundert es nicht, dass die Muster vieler Diatomeen an Baukonstruktionen erinnern und heute bei Ingenieuren zur Entwicklung von Baumaterialien Verwendung finden.

Die fossilen Ablagerungen aus den Schalen der Kieselalgen dienen darüber hinaus als natürlicher Grundstoff für hochwirksame Filter oder auch als Trägersubstanz für medizinische Wirkstoffe. Noch heute verlässt kaum ein Bier die Brauerei, das nicht durch einen

Algenstaub gegen Insekten

Ein Einsatzgebiet für den fossilen Algenstaub erfährt in jüngerer Geschichte eine Renaissance: die Verwendung als Insektizid. Die Verwendung von Stäuben zur Schädlingsbekämpfung ist dabei nicht neu. Sand, Lehm und Aschen werden seit Jahrhunderten gegen Insektenschädlinge eingesetzt. Das »Buch des Rechtsschaffenen«, ein venezianischer Bibelkommentar des 17. Jahrhunderts, berichtet, dass die Böden der Speicher mit Erdstaub der Felder, auf denen das Getreide gewachsen war, bestreut werden sollten. Hintergrund ist wahrscheinlich, dass die Äcker des Niltals in trockenem Zustand sehr fein und an Insekten gut anhaftend waren. Heute weiß man, dass feiner Staub Insekten abtöten und vertreiben kann. Dieses machen

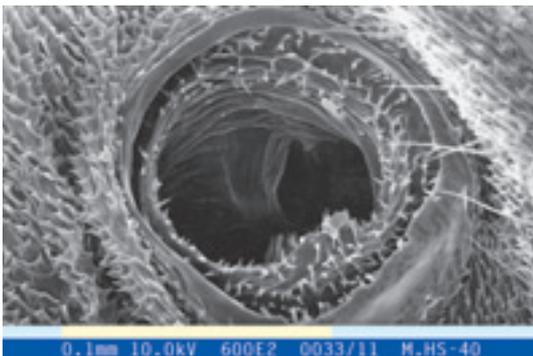


Abb. 3
Stigmenöffnung (Atemöffnung) des Mehlkäfers

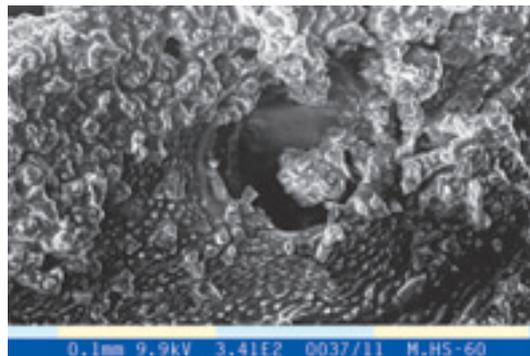


Abb. 4
Stigmenöffnung des Mehlkäfers nach Behandlung mit Diatomeenerde

Algenpanzer gefiltert wurde. Als Baustoff machte Diatomeenerde in der Vergangenheit Geldschränke feuerfest, wird noch heute dem Pferdefutter (»für gesunde Hufe«) beigemischt und auch in vielen Kosmetika finden sich die Algen wieder.

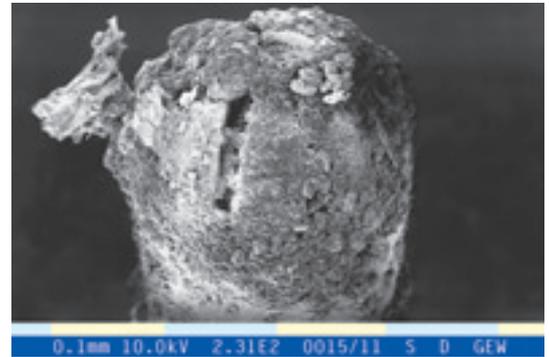
Mit flüssigem Nitroglycerin getränkte Diatomeenerde ist unter dem Namen Dynamit weltweit bekannt geworden. Alfred Nobel erfand mit dem Dynamit einen Sprengstoff, der wesentlich sicherer war als die bis dahin verwendeten Flaschen mit Nitroglycerin. Die Diatomeenerde, welche der Wahl-Hamburger Nobel verwendete, stammte aus der Lüneburger Heide. Bis zum ersten Weltkrieg deckte Diatomeenerde aus der Region um Hannover fast den gesamten Weltbedarf. Dabei wurde die schwere und feuchte Diatomeenerde abgebaut, getrocknet und anschließend gebrannt, um den Schwefel zu entfernen. Heute sind die Abbaugruben in der Heide touristisch erschlossen und Diatomeenerde findet für Explosivstoffe keine Verwendung mehr.

sich zahlreiche Tiere zu Nutze, die sich in trockenem Sand wälzen, um sich so von parasitischen Insekten und Milben zu befreien.

In jüngerer Geschichte wurde die Anwendung von Silikatstäuben zunächst als problematisch angesehen, da nachgewiesen werden konnte, dass die kristallinen Bestandteile Silikose (Staublungenerkrankung) hervorrufen können. Zusätzlich stuft 1998 die »International Agency for Research on Cancer« (IARC), ein Organ der Weltgesundheitsorganisation (WHO), kristalline Kieselsäure, die in der Form von Quarz oder Cristobalit eingeatmet wird, als »krebserregend bei Menschen« ein. Natürliche Diatomeenerde enthält in der Regel einen Anteil kristalliner Kieselsäure (Siliziumdioxid) von unter 1 % und wurde aus diesem Grunde von der IARC »nicht als kanzerogen einstuft« angesehen. Diatomeenerden gelten aus diesem Grunde, im Gegensatz zu kristallinen Kieselsäuren, bei kurzer Expositionszeit und fachgerechter Anwendung, nicht als gesundheitsschädlich. Dadurch kam es in den 80er



Abb. 5
Rüssel des Kornkäfers vor (links) und nach Behandlung (rechts) mit Diatomeenerde



Jahren zu einer Renaissance in der Anwendung, die bis heute anhält.

Diverse modifizierte Diatomeenerden sowie andere amorphe Stäube werden in Australien, Europa sowie Amerika kommerziell vertrieben. In Deutschland wurde 1997 das erste Diatomeenerden-Produkt für den Markt zugelassen. Dabei konnten insbesondere zahlreiche vorratsschädliche Insekten wirkungsvoll mit Diatomeenerden bekämpft werden. Hierzu erfolgte eine direkte Einmischung in das Getreide bzw. eine

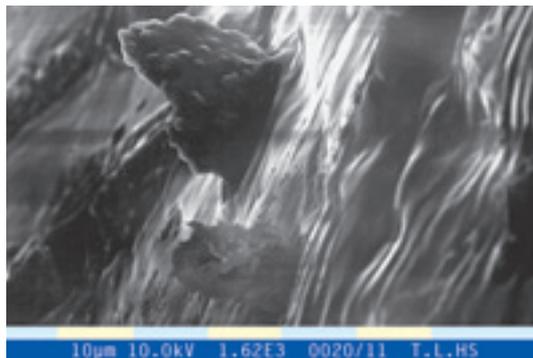


Abb. 6
In die Cuticula eingesunkene Diatomeenerdepartikel

Oberflächenbehandlung der Lagerräume. Die Effektivität von Diatomeenerde gegenüber verschiedenen Zielorganismen fiel recht unterschiedlich aus, weshalb es notwendig wurde, den Mechanismus der Wirkungsweise der Stäube aufzuklären. Die Theorien hinsichtlich der Wirksamkeit führten von einer Verstopfung der Atmungsorgane über eine Beeinträchtigung des Verdauungsapparates bis zur Ad- oder Absorption von Cuticularlipiden und/oder Beschädigung der vor einer Dehydratation schützenden Wachsschicht der Insekten.

Unter dem Rasterelektronenmikroskop zeigt sich, dass die Diatomeenpartikel nach einer Behandlung der Insekten das gesamte Integument der Insekten ein-

schließlich der Intersegmentalbereiche bedecken. Zwar fand sich bei behandelten Käfern eine Anreicherung der Partikel um die Atemöffnungen herum, aber innerhalb der Atrien waren keine Staubpartikel nachzuweisen (Abb. 3 und 4). Ein Erstickungstod der Individuen, durch Verstopfung der Stigmen bzw. Tracheen durch die Algenpartikel, wie von einigen Autoren vermutet, konnte nicht bestätigt werden. Auch wiesen die Mandibeln (Oberkiefer) eine starke Behaftung mit den Diatomeenerdepartikeln auf (Abb. 5), doch waren die Insekten weiterhin in der Lage Nahrung aufzunehmen. Generell konnte die Diatomeenerde nicht mit Wasser abgewaschen werden und war teilweise sogar in die Cuticula eingesunken (Abb. 6). Bei dem Mehlkäfer *Tenebrio molitor* war nach einer Behandlung mit Diatomeenerden keine Wachsschicht der Cuticula mehr erkennbar (Abb. 7 und 8). Durch den direkten Kontakt des Staubes zu den vor Umwelteinflüssen schützenden äußeren Epicuticulaschichten (wie z. B. der Wachsschicht) ist anzunehmen, dass die Cuticulafette (Paraffine, Polyphenole, Ester) durch die Silikatpartikel aufgesogen werden. Durch die Sorption der Partikel kommt es zu einer Verminderung aufgelagerter äußerer Epicuticulaschichten. Wahrscheinlich entstehen Cuticulabereiche mit geringerer oder fehlender Wachs- bzw. Lipidschicht sowie kommt es durch eingesunkene Partikel zu einer Oberflächenvergrößerung des Integuments. Durch diese Regionen der Cuticula kann, entsprechend den Fickschen Gesetzen, eine höhere Diffusion des Körperwassers entlang des Konzentrationsgradienten in die umgebende Luft erfolgen als durch Bereiche mit einer intakten Lipidschicht.

In weiterführenden Versuchen konnte gezeigt werden, dass der Wassergehalt der Tiere nach Kontakt mit Diatomeenerden abnimmt und der Stoffwechselmetabolismus verstärkt abläuft. Dabei verzögerte die Verfügbarkeit von Futter die toxische Wirkung der Behandlung. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Insekten in der Lage sind, durch die metabolische Wassergewinnung aus dem Futter die Austrocknung zu

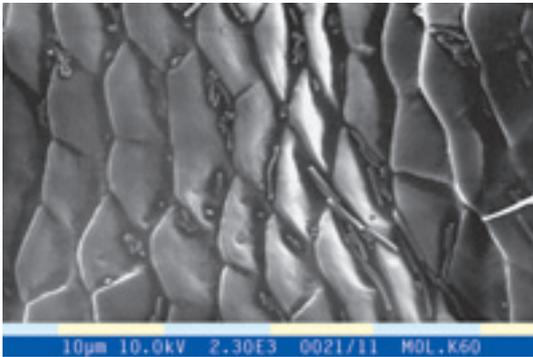


Abb. 7
Cuticulaoberfläche des Thorax des Mehlkäfers

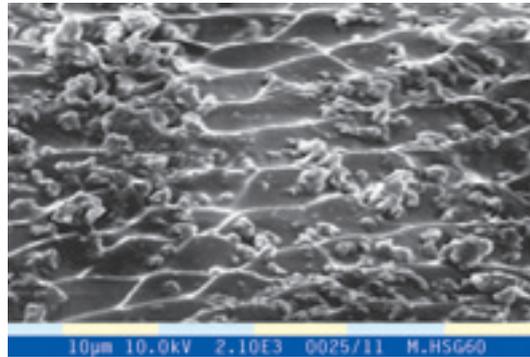


Abb. 8
Cuticulaoberfläche des Thorax des Mehlkäfers nach Behandlung mit Diatomeenerde

kompensieren. Die Folge der Einwirkung der Stäube ist somit primär die Zerstörung der funktionell als Wasserbarriere dienenden Wachsschicht mit einer anschließenden Dehydration des Insekts.

Die praktische Anwendung der Diatomeenerden als Insektizid wird folglich von den Umweltgegebenheiten begrenzt. In trockenen Regionen ist der Einsatz der getesteten Diatomeenerden gegen Schadinsekten erfolgversprechend. Unter europäischen Bedingungen, bei relativ hohen Luftfeuchten, kommt es zu einem Sättigungseffekt der Stäube mit Wasser und infolgedessen ist die insektizide Wirkung nicht gegeben.

Um den Einsatz der Diatomeenstäube auch bei höheren Luftfeuchten zu ermöglichen, wird derzeit an der Humboldt-Universität zu Berlin in der Arbeitsgruppe »Urbaner Gartenbau« mit Diatomeen experimentiert, die durch aufgelagerte künstliche amorphe Kieselsäuren hydrophobisiert wurden. Dabei sollen die lipophilen Eigenschaften der Algenpartikel beibehalten, jedoch eine Sättigung mit Wasser durch die hydrophoben Eigenschaften der aufgelagerten Kieselsäuren verhindert werden. Erste Versuche gegen Blattläuse und Spinnmilben an Balkonpflanzen sind bisher positiv verlaufen. Lediglich die Formulierung als Staub bereitet noch Probleme für die einfache Anwendung. Denkbar wäre die Ausbringung der Diatomeenerde in einer Suspension, die nach Trocknung einen dünnen Film Diatomeenerde auf der Oberfläche zurücklässt. So kann es durchaus sein, dass die weit verbreiteten Diatomeen bald auch im Rahmen des Pflanzenschutzes die heimischen Wohnzimmer erreichen.

Literatur

Aldryhim, Y. N. (1990): Efficacy of the amorphous silica dust, Dryacide, against *Tribolium confusum* Duv.

and *Sitophilus granarius* (L.) (Col.: Tenebrionidae and Curculionidae). J. Stored Prod. Res. 26, 207–210.

Alexander, P. / Kitchener, J. A. / Brioscoe, H. V. A. (1944): The effect of waxes and inorganic powders on the transpiration of water through celluloid membranes. Trans. Faraday Soc. 40, 10–19.

Ebeling, W. (1964): Permeability of insect cuticle. In: Rockstein, M. (Ed.): The Physiology of Insecta, Vol. III. New York, London: Academic Press, 508–523.

Florian Krebs (2001): Deutschland – Wiege des Nobelpreis. URL: http://www.avh.de/kosmos/kultur/2001_002.htm. Stand: 13.04.2004.

Information of the »Europäischen Fachvereinigung Tiefenfiltration e.V.« (EFT) (2004): URL: <http://www.filtrox.ch/filtrox-gbs-en/kieselgur.htm>. Stand: 14.04.2004.

Korunic, Z. (1997): Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. J. Stored Prod. Res. 35 (34) 87–97.

Mewis, I. / Ulrichs, Ch. (2001): Action of amorphous diatomaceous earth against different stages of the stored product pests *Tribolium confusum*, *Tenebrio molitor*, *Sitophilus granarius* and *Plodia interpunctella*. J. Stored Prod. Res. 37 (2): 153–164.

Mewis, I. / Ulrichs, Ch. (2001): Effects of diatomaceous earth on water content of *Sitophilus granarius* (L.) (Col., Curculionidae) and its possible use in stored product protection. J. Appl. Entom. 125 (6): 351–360.

Ulrichs, Ch. / Mewis, I. (2000): Controlling the stored product pests *Sitophilus oryzae* and *Tribolium castaneum* by contaminating rice with neem and diatomaceous earth. J. Pest Sci. 73 (2): 37–40.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei Frau Dr. Inga Mewis für die REM-Aufnahmen zur Wirkungsweise von Diatomeenerden.



Prof. Dr. Dr. Christian Ulrichs

Jg. 1968. Nach dem Studium der Biologie an der FU Berlin war Christian Ulrichs von 1995–1998 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Humboldt-Universität im Fachgebiet Produktqualität / Qualitätssicherung der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät. Promoviert wurde er mit einem Thema über Pflanzenphysiologie in der Nachernte und an der TU München über die Biologie und Bekämpfung von *Maruca vitrata*, einem wichtigen Bohenschädling in den Tropen. Im Jahr 2000 arbeitete Herr Ulrichs als System Analyst für das Asian Vegetable Research and Development Center in Taiwan. Im Oktober 2001 ging Herr Ulrichs an das »US-Department of Agriculture« in die USA, bis er im Januar 2003 auf die Juniorprofessur für Urbanen Gartenbau an die Humboldt-Universität berufen wurde. Im Rahmen seiner Juniorprofessur beschäftigt sich Herr Ulrichs mit 1) dem Einsatz biorationaler Pestizide im Rahmen von integrierten Pflanzenschutzprogrammen und 2) der genetischen und biochemischen Pflanzenantwort als Reaktion auf Stress. Im Zentrum der Arbeit stehen Forschungsprojekte, die sich mit 1) der Ernährungssicherung im nationalen und internationalen Bereich und 2) der Ökophysiologie von Pflanzen im urbanen Raum beschäftigen.



Prof. Dr. Ruprecht Herbst

Jg. 1966. Seit 09/2003 arbeitet Dr. Ruprecht Herbst (37) als Juniorprofessor für Precision Agriculture am Institut für Pflanzenbauwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin. Sein Studium der Agrarwissenschaften schloss er 1997 an der Universität Kiel ab, wo er 2002 promoviert wurde. Ziel seiner Arbeiten auf dem Gebiet des Precision Agriculture an der Humboldt-Universität zu Berlin ist es, in den Pflanzenbau- und Tierwissenschaften rechnergestützte Managementsysteme zu integrieren. Schwerpunkte in Forschung und Lehre sind Ingenieurs-Technologien (GPS, Steuerungssysteme, Sensoren), die sensorgestützte Messdatenerfassung, Managementstrategien im Precision Agriculture (teilflächenspezifische Applikation, Einzeltierbetreuung), digitale Informationsverarbeitung (Geo-Informationssysteme, Datenbanken) sowie Technologietransfer (Fortbildung, Entscheidungssysteme).



Prof. Dr. Matthias Langensiepen

Jg. 1963. Seine Forschung beschäftigt sich mit der Entwicklung und Anwendung von Simulationsmodellen in den Pflanzenwissenschaften. Die inhaltlichen Schwerpunkte seiner Arbeit liegen auf den Gebieten der Ökophysiologie des Pflanzenwasserhaushaltes und der Wachstumsmodellierung. Herr Langensiepen arbeitet von 1984–1985 bei dem Botaniker und Mitgründer der Hebräischen Universität Jerusalem, Prof. Michael Evenari, anschließend an der Landwirtschaftlichen Untersuchungsorganisation des israelischen Landwirtschaftsministeriums sowie an der Federal University of Rio Grande do Sul in Brasilien. Er schloss Diplomprüfungen in Internationaler Agrarwirtschaft (1988–1992) und Ökologischer Umweltsicherungen (1993–1995) ab. Nach seiner Promotion im Jahre 1997 schloss sich eine vierjährige Postdoktorandenzeit an den Universitäten Kiel und Hannover an. Seit Februar 2003 vertritt Herr Langensiepen an der Humboldt-Universität zu Berlin das Forschungs- und Lehrgebiet »Modellierung pflanzlicher Systeme«.



Prof. Dr. Carsten Schulz

Jg. 1972. Nach dem Studium der Fischwirtschaft und Gewässerbewirtschaftung war Carsten Schulz bei der Firma sera GmbH & Co. KG in Heinsberg als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich der Fischfuttermittelentwicklung und -optimierung sowie in der Qualitätssicherung tätig. Anschließend wechselte er an das Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei in Berlin (IGB) und befasste sich im Rahmen seiner Dissertation mit ökotechnologischen Verfahren zur Aufbereitung fischereilichen Ablaufwassers. Mit Beginn des Sommersemesters 2003 hat Herr Schulz die Juniorprofessur für Aquakultur an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin angetreten. Ein Arbeitsschwerpunkt stellt die nachhaltige Nutzung unserer Wasserressourcen zur Kultivierung aquatischer Organismen dar. Hierzu werden wissenschaftliche Grundlagen erarbeitet, die biologische, physiologische, genetische, parasitologische und technologische Fragestellungen umfassen.

Kontakt

Humboldt-Universität zu Berlin
Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
Institut für Gartenbauwissenschaften / Urbaner Gartenbau
Lentzeallee 75
D-14195 Berlin
Tel.: +49 30 314-71387
Fax: +49 30 314-71100
E-Mail: christian.ulrichs@agr.ar.hu-berlin.de