Der Lotuseffekt –

Handlungsorientierte Annäherung an die Bionik

N. Pütz

1 Fallbeispiel Lotuseffekt aus der Bionik als Wissenschaftsdisziplin

Von der Fülle an Beispielen, die für den Unterricht geeignet sind, wird im Folgenden das Fallbeispiel „Lotuseffekt" näher konturiert.
Bei der systematischen Untersuchung pflanzlicher Oberflächen mit dem Raster-Elektronenmikroskop [1] konnte der Zusammenhang erbracht werden zwischen dem **Selbstreinigungseffekt** und der Benetzbarkeit der Oberflächen (unter Benetzbarkeit versteht man die Adhäsion von Wasser an die Oberfläche von Festkörpern [2, 3]; siehe auch Artikel auf S. 8–11 in diesem Heft).
Aufgrund der Beschichtung der Blattoberflächen mit einer hydrophoben Substanz (z. B. der Cuticula[1]) und einer genoppten Oberfläche wird die Benetzbarkeit verringert.
Die Blattoberfläche der Lotusblume und die Blätter vieler weiterer Arten zeigen eine derartige mikrostrukturelle Aufrauung. Die Wachse der Cuticula bilden charakteristische, dreidimensionale Strukturen in der Größenordnung weniger Mikrometer, die als **Wachskristalloide** bezeichnet werden [3], (vgl. Abb. 1 a und 1 b).
Bringt man einen Wassertropfen auf ein mit Wachskristalloiden beschichtetes Blatt, so sind Kontaktfläche und Adhäsionskräfte auf ein Minimum reduziert. Der Tropfen kugelt sich ab und rollt scheinbar mühelos über das Blatt [3, 15]. Gleichzeitig ist auch die Adhäsion von **Schmutzpartikeln** auf einer aufgerauten Oberfläche verringert. Rollt ein Wassertropfen über derartige Schmutzpartikel hinweg, so werden diese benetzt und haften an der Tropfenoberfläche. Die Partikel werden mitgerissen und vom Blatt entfernt. Dieser Selbstreinigungseffekt lässt sich insbesondere an der Lotusblume[2] (*Nelumbo nucifera*, Nymphaeaceae) effektvoll demonstrieren. *Barthlott* und *Neinhuis* [2, 3] nennen diese Selbstreinigung daher den ‚**Lotuseffekt**'.

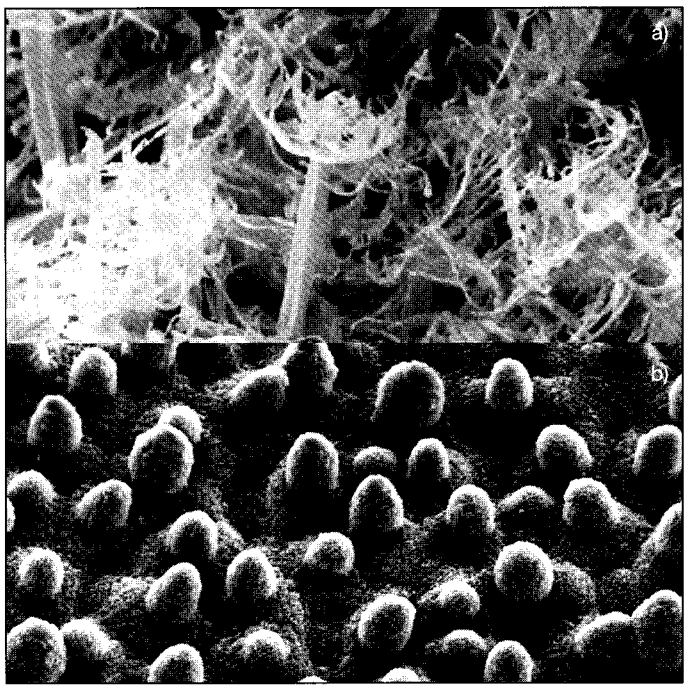
2 Die Bionik im Unterricht

Die Verbindung aus Biologie und Technik ist eine ideale Verbindung aus „Biostrategien" [17] und Hochtechnologie. Sie ist ökologisch, weil sie durch ihre Anpassung an die Natur zu ihrer Erhaltung beitragen muss, und sie ist ökonomisch, weil die Problemlösungen und Erfindungen in der Natur in vielen Millionen Jahren optimiert wurden. Es ist daher eine nahezu logische Konsequenz, dass die Bionik in den letzten Jahren zunehmend öffentliches Interesse erfährt. Die originellen Beispiele der Bionik lassen erwarten, dass zumindest einige Schülerinnen und Schüler der Oberstufe schon davon gehört und sich dafür interessiert haben. Aber auch, wenn die Schülerinnen und Schüler erstmalig mit bionischer Forschung konfrontiert werden, ist ein grundsätzliches Interesse der Schülerinnen und Schüler zu erwarten. Denn die Bionik greift bei aktuellen Alltagsproblemen zu ungewöhnlichen Lösungen und ist auch in den Bereichen Neue Medien, Robotertechnik und Umweltschutz sehr präsent.
Der Lotuseffekt beispielsweise ist in der Jahrgangsstufe 11 bestens einbaubar. Nach der Erarbeitung der Wandschichtung in der Entwicklung pflanzlicher Zellen oder dem anatomischen Bau eines Blattes lockert der Anwendungsaspekt „Lotuseffekt" den Unterricht wunderbar und motivierend auf, wobei sich insbesondere im handelnden Umgang die besondere Qualität des Themas zeigt.

3 Handlungsorientiert

Das Thema ist geeignet, die Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler zu fördern, und es ist empfehlenswert, den Lotuseffekt als handlungsorientierten Unterricht durchzuführen: „Handlungsorientierter Unterricht geht von den immer schon mitgebrachten Erfahrungen der SchülerInnen aus und erweitert und ergänzt diese planmäßig mit dem

Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von aufgerauten Blattoberflächen. (a) Komplexe, dreidimensionale Wachskristalloide auf einem Kohlrabi-Blatt (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*). (b) Blattoberfläche der Lotusblume (*Nelumbo nucifera*). (Aus [3], mit freundlicher Genehmigung des Wiley-VCH Verlags.)



[1] Die Cuticula ist eine Ausscheidung von Cutin bei Zellen, die an die Atmosphäre grenzen. Cutin ist ein hochpolymerer Ester, sehr dauerhaft und Wasser abweisend [19].

[2] Die Lotusblume gilt im asiatischen Raum als Symbol für Reinheit, selbst flüssiger Klebstoff perlt rückstandsfrei von ihren Blättern ab [3].

Ziel, die SchülerInnen zu selbstständigem und eigenverantwortlichem Handeln zu führen." [11].
In Bezug auf eine theoretische Erarbeitung der Handlungsorientierung sei auf die einschlägige Literatur verwiesen (beispielsweise [5, 6, 11, 12, 13, 14]. Als allgemeine Merkmalsliste zum handlungsorientierten Unterricht sind indes folgende Punkte beachtenswert [5]:
(1) Aktivierung vieler Sinne,
(2) Selbstverantwortung und methodische Kompetenz,
(3) Produktorientierung und
(4) Lebensbezug.
Anhand der „vier didaktischen Kriterien für die Gestaltung von handlungsorientiertem Unterricht" [14] kann man überprüfen, inwieweit die Bearbeitung eines bestimmten Themas Elemente einer Handlungsorientierung beinhaltet. Unter Berücksichtigung dieser theoretischer Aspekte wurde eine Unterrichtsreihe zum Thema „Lotuseffekt" konzipiert, die deutliche Merkmale von „Handlungsorientierung" aufwies und mehrmals mit Erfolg durchgeführt wurde.

4 Unterrichtsreihe: Lotuseffekt

Unter dem Titel „Neuartige, technische Anwendungen biologischer Prinzipien (Bionik) am Beispiel des Lotuseffekts" wurden vier Stunden unterrichtet. Als Orientierungsrahmen werden im Folgenden diese Stunden in Verlauf und Inhalt kurz und konkret dargestellt.
In der ersten Stunde (Untersuchung des Selbstreinigungsprinzips pflanzlicher Oberflächen) sollten die Schüler einerseits im handelnden Umgang mit dem Objekt für das Thema interessiert und motiviert werden. Andererseits sollte durch Schülerversuche der Selbstreinigungseffekt beim Kohlrabi-Blatt erkannt und die grundlegenden Eigenschaften des Belags erarbeitet werden.
Als Einstieg wurden, impulsgebend, kohlenstaubbeschmutzte *Reynoutria*-Blätter (Staudenknöterich) benetzt, anschließend wurde die Superreinigung bei der Lotusblume beschrieben. In einem kurzen Gespräch wuchs das Interesse an dieser Superreinigung; insbesondere auch, da eine Schülerin von einer Wandfarbe zu berichten wusste, die sich angeblich von selber reinigt. Die Schülerinnen und Schüler drängten darauf, das Funktionsprinzip der Superreinigung zu analysieren, so dass von mir vorbereitete Schülerexperimente durchgeführt werden konnten (siehe Arbeitsblatt 1). Die Ergebnisse dieser Experimente wurden gemeinsam zusammengetragen (Arbeitsblatt 1) und deren Deutung diskutiert.
Abschließend wurden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert zu überlegen, wie das Thema weiter bearbeitet werden könnte. Als Hausaufgabe sollten die Lernenden ihre Planungsansätze aufschreiben.
In der nachfolgenden Doppelstunde (Erkenntnisvertiefung des Lotuseffekts: Erarbeitung der mikromorphologischen Grundlagen mit Hilfe elektronenmikroskopischer Aufnahmen) sollten die Schülerinnen und Schüler ein Planungskonzept für die weitere Arbeit strukturieren. Zudem sollten sie am Ende der Doppelstunde das Funktionsprinzip des Elektronenmikroskops kennen und das Prinzip des Lotuseffekts analysiert haben.
Zu Beginn der Doppelstunde wurde gemeinsam die weitere Vorgehensweise geplant. Hierbei entwickelte sich eine rege Diskussion. Als Grobplanung für die weitere gemeinsame Erarbeitung des Themas kristallisierte sich heraus: Phänomenanalyse – Übertragung auf technische Anwendungen – Nachbau einer superhydrophoben Oberfläche (nach Lehrerinfo, dass ein derartiger Nachbau möglich sei). Die einfachste Möglichkeit der Phänomenanalyse, so wurde von den Schülerinnen und Schülern erkannt, wäre, die Struktur der Oberfläche sichtbar zu machen. Da die Auflösung des Lichtmikroskops nicht ausreichend ist, wurde im Verlauf der Doppelstunde zunächst das Funktionsprinzip des Elektronenmikroskops erarbeitet (nach [18], S. 16). Anschließend konnten die REM-Bilder der Blattoberfläche von Kohlrabi und Lotusblume (Abb. 1 als Overhead-Folie) betrachtet und interpretiert werden. Die Schülerinnen und Schüler formulierten abschließend eine kurze Zusammenfassung zur Erklärung des Lotuseffekts und forderten sich gegenseitig auf (!), zur nächsten Stunde (1) zu recherchieren, inwieweit der Lotuseffekt technisch angewendet wird und (2) Ideen zu entwickeln, um eine eigene, superhydrophobe Oberfläche herzustellen.
Im Mittelpunkt der vierten Stunde (Experimente zum Nachbau selbstreinigender Oberflächen) stand das „Produkt". Die Schülerinnen und Schüler sollten eine künstliche, selbstreinigende Oberfläche herstellen, indem sie ihre Kenntnisse vom Lotuseffekt anwenden mussten. Zudem sollten die Schülerinnen und Schüler künstliche und natürliche selbstreinigende Oberflächen vergleichen. Als Einstieg diente der Holzplattentrick[3]. Die Schülerinnen und Schüler erkannten natürlich den Trick, aber wiederholten dadurch motiviert die Funktionsweise des Lotuseffekts. Bei den Recherchen hatten fast alle Lernenden über diverse Suchmaschinen Informationen aus dem Internet holen können (zwei sehr gute Adressen siehe Fußnote 4). Bei den Ideen zum Nachbau von selbstreinigenden Oberflächen musste allerdings konkret nachgeholfen werden (Arbeitsblatt 2). Nachdem die Schülerinnen und Schüler ihre Oberflächen „gebaut" hatten, wurden im gemeinsamen, abschließenden Gespräch die künstlichen und natürlichen selbstreinigenden Oberflächen verglichen (siehe Arbeitsblatt 2).
Kennzeichnend für die durchgeführte Unterrichtsreihe war die dynamische Wechselwirkung zwischen praktischer und theoretischer Arbeit („Kopf" und „Hand" nach [13, 14]). Der handelnden Phänomenanalyse (Untersuchung des Kohlrabi-Blattes in der ersten Stunde) folgte eine theoretische Analyse unter Zuhilfenahme einer neuen Technik (Auswertung elektronenmikroskopische Bilder). Anschließend folgte ein wichtiger Denkprozess (technische Übertragbarkeit und Anwendbarkeit), welcher abschließend handelnd und produktorientiert überprüft wurde (Herstellen selbstreinigender Oberfläche und Vergleich mit technisch nutzbarer Oberfläche).

5 Ausblick

Die **Bionik** ist in besonderem Maße geeignet, modernen Biologieunterricht durchzuführen, der wohltuend den oft übertriebenen biochemischen Schwerpunkt in der Oberstufe auflockert. Wie exemplarisch am Beispiel des Lotuseffekts gezeigt wird, ist – ausgehend von Grundlagenwissen – die wissenschaftspropädeutische Ausrichtung für die Schülerin-

[3] Eine Hälfte der Platte wird im Vorfeld mit Klarsichtfolie beschichtet. Anschließend verschmutzt man die gesamte Platte mit Tonerstaub, dann wird mit Wasser gereinigt. Bei der Reinigung wird „unauffällig" die Folie entfernt, so dass die „beschichtete" Hälfte makellos rein wird.

Arbeitsblatt 1: Analyse des Lotuseffekts bei Kohlrabi

Versuchsobjekt: Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. gongylodes; Brassicaceae)

Material: Kohlenstaub, Tropfpipette, Tuch, Spülmittellösung (2 %), Auffangwannen

Durchführung:

(1) Tropfen Sie Wasser auf ein intaktes Kohlrabi-Blatt. Beobachten Sie die Tropfenbildung und Abperlwirkung bei waagerechter und gekippter Haltung der Blattfläche (vergleichen Sie gegebenenfalls mit den Blättern des Staudenknöterichs).

(2) Bestäuben Sie ein Kohlrabi-Blatt mit Kohlenstaub. Wiederholen Sie die Versuche wie unter (1).

(3) Polieren Sie ein Kohlrabi-Blatt gründlich mit einem Tuch. Bestäuben Sie einen Teil des Blattes mit Kohlenstaub und wiederholen Sie den Versuch wie unter (1).

(4) Einige Kohlrabi-Blätter wurden vor einer Stunde mit 2 %iger Seifenlösung besprüht. Führen Sie mit den inzwischen trockenen Blättern erneut die Versuche wie unter (1) durch.

Kurz-Protokoll

Objekt	**Vergleichspflanze**	**Kohlrabi**	**Kohlrabi, poliert**	**Kohlrabi, spülmittelgereinigt**
Beobachtung				
Deutung				

Arbeitsblatt 2: Bau von Oberflächen mit Lotuseffekt (nach *Barthlott* und *Neinhuis* (1998): BIUZ 5/98)

Da der Lotuseffekt auf einer physikalisch-chemischen Grundlage beruht und nicht an ein lebendes System gebunden ist, kann eine selbstreinigende Oberfläche technisch hergestellt werden. Dies gelingt leicht, wenn die Beschichtung nicht dauerhaft und gegen Umwelteinflüsse resistent sein muss.

Die einfachste Möglichkeit, eine selbstreinigende Oberfläche herzustellen, besteht darin, einen Glasobjektträger über eine Kerzenflamme zu halten. Der Ruß enthält immer eine gewisse Menge unverbrannten Paraffins, das hydrophobe Eigenschaften besitzt. Dieses Paraffin bildet eine unregelmäßige, rauhe Oberfläche, die selbstreinigend ist. Wird ein Wassertropfen auf die so beschichtete Glasoberfläche aufgesetzt, dann läuft er darüber hinweg wie auf den bewachsten Blättern. Gleichzeitig werden lose aufliegende Rußpartikel aufgenommen und entfernt.

Eine zweite Möglichkeit besteht darin, Wachs zu schmelzen und mit sehr fein gekörntem Schleifpulver zu mischen. Das heiße Gemisch wird mit einem Pinsel möglichst dünn aufgetragen und bildet bei geeignetem Mischungsverhältnis eine raue, selbstreinigende Oberfläche.

Der Analogie-Vergleich

	Kohlrabi-Blatt	**Wachs/Schleifpulver auf Glasplatte**	**technisch nutzbare Oberfläche**
hydrophobe Substanz			
Kontaktreduktion durch			
Optische Eigenschaften			
Mechanische Stabilität			
Thermische Stabilität			

nen und Schüler unmittelbar zugänglich, das lebende System steht im Vordergrund, gleichzeitig ist der technische Anwendungsbezug unmittelbar und nachvollziehbar. Darüber hinaus kann die Thematik durch ihren problemorientierten Ansatz selbstständige und problemlösende Denkstrategien fördern.

Betrachtet man unter den Gesichtspunkten „fachliche Neuerung" und „Wissenschaftspropädeutik" das in dieser Arbeit vorgestellte Beispiel, so ist die Bearbeitung des Lotuseffekts mehr als nur ein nettes, motivierendes Beispiel. Es trägt an verschiedenen Stellen zur Umsetzung vieler innovativer Ideen bei (vgl. auch [4]):

- der Lotuseffekt orientiert sich an den Schülerinteressen („**Schülerorientierung**")
- der Lotuseffekt ist **motivierend** und weckt Neugierde
- der Lotuseffekt „fordert" eine praktische Bearbeitung („**Handlungsorientierung**")
- der Lotuseffekt verdeutlicht den Kerngedanken der Bionik („**Anwendungsbezug**")
- der Lotuseffekt fördert durch den Vergleich Natur und Technik das **problemlösende Denken**
- der Lotuseffekt fördert die Einsicht in wissenschaftliches Arbeiten („**Wissenschaftspropädeutik**").

Literatur

[1] *Barthlott, W.* und *Ehler, N.*: Raster-Elektronenmikroskopie der Epidermis-Oberflächen von Spermatophyten. Trop. Subtrop. Pflanzenwelt Akad. Wiss. Lit. Mainz **19** (1977), S. 1–110
[2] *Barthlott, W.* und *Neinhuis, C.*: Purity of the sacred lotus or escape from contamination in biological surfaces. Planta **202** (1997), S. 1–7
[3] *Barthlott, W.* und *Neinhuis, C.*: Lotuseffekt und Autolack: Die Selbstreinigungsfähigkeit mikrostrukturierter Oberflächen. Biologie in unserer Zeit **28** (1998), S. 314–321
[4] Bildungskommission NRW): Zukunft der Bildung – Schule der Zukunft. Denkschrift der Kommission „Zukunft der Bildung – Schule der Zukunft" beim Ministerpräsidenten des Landes Nordrhein-Westfalens. Luchterhand Verlag, Neuwied (1995)
[5] *Gudjons, H.*: Didaktik zum Anfassen, Klinkhardt, Frankfurt (1997)
[6] *Gudjons, H.*: Handlungsorientierter Unterricht. Pädagogik **1**/97 (1997a), S. 6–10
[7] *Häcker, B.* und *Nachtigall, W.*: Bionik – Natur als Vorbild. Biologie in unserer Zeit **26** (1996), S. 334–340
[8] *Hill, B.*: Naturorientierte Lösungsfindung. Entwickeln und Konstruieren nach biologischen Vorbildern. Expert, Renningen-Malmsheim (1999)
[9] *Hill, B.*: Naturorientiertes Lernen. Eine Einführung in die Bionik für Lehrer. Shaker, Aachen (1998)
[10] *Huesmann, M.*: Bionik – copyright by nature. reSOLUTION. Leica-Magazin 2 (1999), S. 2–12
[11] *Jank, W.*: „Veränderte Kindheit" – unveränderte Didaktik? In: Seminar, Merkur-Verlag Rinteln, Heft 3–4 (1994), S. 27
[12] *Jank, W.* und *Meyer, H.*: Didaktische Modelle. Cornelsen Verlag, Berlin (1991)
[13] *Meyer, H.*: UnterrichtsMethoden I. Theorieband. Cornelsen Verlag, Berlin (1987)
[14] *Meyer, H.*: UnterrichtsMethoden II. Praxisband. Cornelsen Verlag, Berlin (1987a)
[15] *Müller-Elsner, H.* und *Schilling, G.*: Bionik. Neid macht erfinderisch. Geo Nr. **10** (1997), S. 104–118
[16] *Nachtigall, W.*: Technische Biologie und Bionik – was ist das? in: Nachtigall, Werner (ed.) Biona-Report **8** Akad. Wiss. u. Lit., Mainz, G. Fischer, Stuttgart (1992), S. 1–12
[17] *Nachtigall, W.*: Bionik – Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Springer Verlag, Berlin (1998)
[18] *Scharf, K. H.* und *Weber, W.*: Materialien für den Sekundarbereich II Biologie: Cytologie. Schroedel Verlag, Hannover (1997)
[19]*Strasburger, E., Noll, F., Schenck, H.* und *Schimper, A. F. W.* (Begr.): Lehrbuch der Botanik für Hochschulen. Neubearbeitet von Denffer, D. von, Ehrendorfer, F., Mägdefrau, K. und Ziegler, H. Fischer Verlag, Stuttgart (1978)
[20] wwf (anonymes Autorenteam): BIONIK: Natur als Vorbild. world wild found, pro futura Verlag, München (1993)

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. *Norbert Pütz*, Hochschule Vechta, Biologie und ihre Didaktik, Postfach 1553, 49364 Vechta