

**Entwicklung einer Theorie über die wissenschaftlichen  
Bilder und Anwendung auf die Wahlvorlesung  
„Aktiver und passiver Transport durch Membranen“**

**Inauguraldissertation**

zur  
Erlangung der Würde eines Doktors der Philosophie  
vorgelegt der  
Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Basel

von

**Alexander Vögli**  
aus Dornach, Solothurn

Basel, 2007



Genehmigt von der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

auf Antrag von

Prof. Dr. Beat Ernst, Institut für Molekulare Pharmazie, Universität Basel  
Prof. Dr. Gerd Folkers, Collegium Helveticum, Universität und ETH Zürich

Basel, den 26. Juni 2007

Prof. Dr. Hans-Peter Hauri  
Dekan



*The possibility that the familiar is  
potentially revelatory  
if looked at obliquely  
or turned upside down.*

Peter Blegvad



# Danksagung

Ich möchte mich ganz herzlich bei Prof. Dr. Beat Ernst bedanken, der mir diese Dissertation am Institut für Molekulare Pharmazie in Basel ermöglicht hat. Seine grosszügige Unterstützung, sein Vertrauen in meine Arbeit und seine Fachkompetenz habe ich immer sehr geschätzt.

Ganz besonders danke ich dem *pharmasquare*-Team für die tolle Zusammenarbeit und unsere Erlebnisse in der Schweiz und Europa: Dr. Christina Weber, Adrian Ensner, Dr. Anna-Barbara Utelli, Sven Rizzotti und Prof. Dr. Helmar Burkhart.

Die Betreuung von Diplom- und Masterarbeiten war für mich sehr lehrreich. Ich danke meinen Diplomandinnen und Diplomanden für ihr unermüdliches Engagement und eine sehr gute Zusammenarbeit: Andrea Dür, Patrick Eichenberger, Viktoria Lyuzkanova, David Niedrig, Sibylle Kohler, Alexandra Korach, Julien Marquis, Manel Merchaoui, Carine Rochat und Katharina Wicki.

Beim Schreiben des Buchs „Wissenschaftliche Bilder“ habe ich von zahlreichen Kolleginnen und Kollegen profitieren können. Ich möchte speziell Prof. Dr. Gerd Folkers von Collegium Helveticum in Zürich für seine Anregungen, das Vorwort und das Coreferat danken. Von Prof. Dr. Uwe Pörksen habe ich in persönlichen Gesprächen, seiner Vorlesung in Basel und seinen Veröffentlichungen wertvolle Hinweise erhalten. Dr. Martina Dittler danke ich für das kritische Durchsehen des Manuskripts. Speziell danke ich den Kolleginnen und Kollegen, Verlagen, Illustratoren, Wissenschaftlern und Firmen, die wissenschaftliche Bilder zur Verfügung gestellt und sie mit mir diskutiert haben. Ich bedanke mich recht herzlich beim Schwabe Verlag Basel für die Aufnahme des Buchs in ihr Verlagsprogramm, insbesondere bei Dr. David Marc Hoffmann, Marianne Wackernagel und Dr. Urs Breitenstein.

Meinen Kolleginnen und Kollegen von Institut für Molekulare Pharmazie danke ich für die angenehme Atmosphäre am Institut.

Und schliesslich danke ich Maria Maier. Die gemeinsame Teilnahme am Internationalen Medienkunstpreis mit der Animation „virusvermehrung“ war ein wichtiger Ausgangspunkt für diese Arbeit.

# **I Inhaltsverzeichnis**

<b>I</b>	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>II</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>X</b>
<b>III</b>	<b>Abstract</b>	<b>XI</b>
<b>IV</b>	<b>Einleitung und Problemstellung</b>	<b>XII</b>
<b>Teil I</b>	<b>Eine Theorie über die wissenschaftlichen Bilder</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Thematische Schwerpunkte der Theorie	1
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	<b>3</b>
2.1	Methoden zur Erstellung der Theorie	3
<b>3</b>	<b>Resultate</b>	<b>6</b>
3.1	Die Verbildlichung des Unsichtbaren	6
3.1.1	Sprachliche Bilder	7
3.1.2	Modelle	27
3.1.3	Instrumente	40
3.2	Die Entwicklung des wissenschaftlichen Bildes	53
3.2.1	Kanonische Bilder	53
3.2.2	Kopieren wissenschaftlicher Bilder	67
3.2.3	Die Entstehung und Entwicklung wissenschaftlicher Tatsachen	83
3.3	Der Einfluss der Darstellung	93
3.3.1	Schematische Bilder	93
3.3.2	Zeichen	100
3.3.3	Naturalistische Bilder	113
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>120</b>

<b>Teil II</b>	<b>Vorlesung „Aktiver und passiver Transport durch Membranen“</b>	<b>122</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>122</b>
1.1	Übersicht	122
1.2	Einführung in das Thema der Vorlesung	122
1.3	Studiengang Pharmazeutische Wissenschaften an der Universität Basel	130
1.4	Wahlvorlesung „Aktiver und Passiver Transport durch Membranen“	132
1.5	Ziele	132
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>134</b>
2.1	Material	134
2.1.1	Hardware	134
2.1.2	Software	134
2.2	Methoden	135
2.2.1	Methoden zur Erstellung des Vorlesungsskripts	135
2.2.2	Ergänzung der Vorlesung mit E-Learning-Komponenten	141
2.2.3	Evaluation der Vorlesung	146
<b>3</b>	<b>Resultate</b>	<b>147</b>
3.1	Vorlesungsskript	147
3.1.1	Inhaltliche Struktur des Skripts	147
3.1.2	Formale Struktur des Vorlesungsskripts	152
3.2	E-Learning	198
3.2.1	Selbstevaluationen	198
3.2.2	Standortbestimmung	198
3.2.3	Wirkstoff-Monographien	199
3.3	Durchführung der Vorlesung	199
3.4	Evaluation	200
3.4.1	Einleitung	200
3.4.2	Resultate	201
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>207</b>
	<b>Anhang</b>	<b>213</b>
A.	Evaluation der Vorlesung APTM	213
	<b>Curriculum Vitae</b>	<b>222</b>

## II Zusammenfassung

Bilder sind bei der Kommunikation naturwissenschaftlicher Erkenntnisse von zentraler Bedeutung. Sie werden zur Veröffentlichung der Resultate von Untersuchungen in der wissenschaftlichen Gemeinschaft, zur Einführung der Studierenden oder zur Erläuterung wissenschaftlicher Sachverhalte in der Öffentlichkeit verwendet.

Bei der Diskussion wissenschaftlicher Bilder steht insbesondere in der Lehre an den Hochschulen der Inhalt im Zentrum. Trotz der steigenden Verwendung wird wenig über die Form, die Entstehung und die Entwicklung der Bilder reflektiert.

In der vorliegenden Arbeit wurden diese Aspekte in einem ersten, theoretischen Teil anhand einer ausführlichen Literaturrecherche, der Untersuchung von Fallbeispielen und Experimenten mit Studierenden untersucht. Es wurde eine Theorie zu den wissenschaftlichen Bildern erarbeitet, in der das Thema in drei Kapiteln untersucht wurde.

Im ersten Kapitel wurde der Einfluss der Form bei der Verbildlichung unsichtbarer Strukturen studiert. Es wurde aufgezeigt, wie aus Unsichtbarem durch Metaphern, Modelle und Instrumente wissenschaftliche Bilder entstehen.

Im zweiten Kapitel wurde die an die Bildentstehung anschliessende Entwicklung wissenschaftlicher Bilder untersucht. Dabei wurde gezeigt, wie Standardbilder, sogenannte kanonische Bilder, durch den Prozess des Kopierens entstehen und welchen Transformationen die Bilder bei der Popularisierung ausgehend von der esoterischen zur exoterischen Wissenschaft unterliegen.

Im dritten Kapitel wurde der Einfluss der Darstellung auf den Inhalt der wissenschaftlichen Bilder untersucht. Die Unterschiede zwischen stilistisch einfachen, schematischen und komplexen, naturalistischen Bildern wurden herausgearbeitet. Dabei wurden die Unterschiede der Darstellungsarten aufgezeigt.

Die Theorie vermittelte erstens Wege zu einer aktiven Rezeption der Bilder. Zweitens wurde darin aufgezeigt, wie die wissenschaftliche, graphische und didaktische Qualität der Bilder und ihrer Verwendung in der wissenschaftlichen Kommunikation erhöht werden kann.

Im zweiten, praktischen Teil der Arbeit wurden ausgehend von der Theorie 11 Methoden zur Erstellung von Lernmaterialien abgeleitet. Diese Methoden wurden bei der Überarbeitung der Wahlvorlesung „Aktiver und passiver Transport durch Membranen“ im Studium der Pharmazeutischen Wissenschaften an der Universität Basel angewendet. Es entstand ein umfangreiches Vorlesungsskript im Stil eines Lehrbuchs. Die Vorlesung wurde im Wintersemester 2006/07 mit Studierenden der Pharmazie durchgeführt und evaluiert. Die Resultate aus der Anwendung der Methoden und aus der Evaluation mit den Studierenden validieren die abgeleiteten Methoden mit Einschränkungen. Sie unterstützen die Überlegung, diese Methoden auch bei der Erstellung anderer Vorlesungen anzuwenden, sofern keine Lernmaterialien gleichwertiger Qualität vorliegen.

### **III Abstract**

Pictures are essential in the communication of scientific knowledge. They are used to publish the results of experiments, to introduce students to a scientific topic or to explain scientific matters to the public.

When discussing pictures, especially in teaching at the university, the contents are usually the focus of our attention. Despite the increasing use of pictures, their form, creation and development are rarely discussed.

In the first theoretical part of the thesis, these aspects were studied on the basis of an extensive literature research, case studies and experiments with students. A theory about scientific pictures was developed in which the subject was examined in three chapters. In the first chapter, the influence of formal aspects on the visualization of invisible structures was studied. It was shown how scientific pictures of the invisible are created by means of metaphors, models and instruments.

In the second chapter, the subsequent development of scientific pictures was explored. It was shown how standard pictures in science, so-called canonical icons, emerge by the process of copying. The transformations of scientific pictures occurring in the process of their popularization were identified.

In the third chapter, the influence of the presentation on the contents of scientific pictures was studied. The differences between simple schematic and complex naturalistic pictures were disclosed. Thereby the differences of graphic renditions were shown.

The theory elaborated means to an active reception of pictures. Furthermore, it was shown how the scientific, graphical and didactical quality of pictures can be enhanced and how their use in scientific communication can be improved.

In the second practical part of the thesis, 11 methods for the preparation of learning materials were derived from the theory. These methods were applied in the revision of the elective course „Aktiver und passiver Transport durch Membranen“ (active and passive transport through membranes) in the studies of pharmaceutical sciences at the University of Basel. A comprehensive review of the topic was prepared. The lecture was offered to students of pharmaceutical sciences during the winter semester 2006/07 and subsequently evaluated. The results of the application of the methods and the evaluation validated the derived methods with reservations. The consideration to use these methods for the preparation of other lectures is supported, if learning materials of high quality are not yet available.

## IV Einleitung und Problemstellung

### Die Kommunikation wissenschaftlicher Inhalte

Die Kommunikation wissenschaftlicher Inhalte ist in der naturwissenschaftlichen Tätigkeit von essentieller Bedeutung. Sie ist neben der eigentlichen fachlichen Arbeit eine der zentralen Kompetenzen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Zur Kommunikation der Inhalte haben sich verschiedene, unterschiedlich standardisierte Kommunikationsformen ausgebildet, die sich ansatzweise nach ihrer Zielgruppe gliedern lassen.

Die wichtigste Kommunikationsform ist der *wissenschaftliche Artikel*, der in Fachzeitschriften veröffentlicht wird. Die Artikel sind primär an andere Wissenschaftler desselben Fachgebietes gerichtet. Während sich die behandelten Inhalte stark unterscheiden, ist jedoch die Form der Artikel heute sehr stark vereinheitlicht. Der Zweck der Fachartikel liegt primär in der Veröffentlichung von Resultaten innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft (zur Geschichte und Form wissenschaftlicher Artikel siehe Gross, Harmon & Reidy, 2002).

Dieselbe Funktion haben auch *Vorträge* und *Posterpräsentationen*, etwa an wissenschaftlichen Kongressen der Fachgemeinschaft.

*Reviews* sind eine spezielle Form wissenschaftlicher Artikel, in denen eine Übersicht über ein bestimmtes Thema gegeben wird. Dabei wird in der Regel die Literatur zu einem Thema untersucht und zu einem strukturierten Artikel zusammengefasst. Reviews sind formal etwas freier gestaltet als wissenschaftliche Artikel. In *wissenschaftlichen Handbüchern* werden in der Regel mehrere Artikel zusammengefasst oder ein bestimmtes Thema wird ähnlich wie in Reviews behandelt.

Eine zweite Zielgruppe sind Studierende an der Universität. Die Funktion der Kommunikation mit Studierenden liegt primär in der Lehre, also weniger in der Präsentation der Resultate neuer Untersuchungen, als vielmehr in einer Einführung in die Grundlagen einer wissenschaftlichen Disziplin. Die primäre Kommunikationsform ist die klassische *Vorlesung*, bei der ein Dozent eine Gruppe von Studierenden über ein Thema unterrichtet. Die Studierenden machen sich Notizen oder erhalten ein *Vorlesungsskript*, das mit eigenen Notizen ergänzt werden kann.

In der Lehre werden, vor allem in den Grundsemestern, weniger die Resultate eigener Untersuchungen vermittelt, als vielmehr eine Übersicht über die Resultate anderer, teils historischer Untersuchungen gegeben, etwa über die Evolutionstheorie in der Grundvorlesung der Biologie.

Im Rahmen der Lehre an der Universität werden *Lehrbücher* in verschiedenen Szenarien verwendet. Dozierende verwenden Lehrbücher häufig als Grundlage zur Erstellung einer Vorlesung und der Vorlesungsskripten. Dabei dienen Lehrbücher als Quellen für Bilder und Texte. Alternativ wird kein Vorlesungsskript ausgeteilt, sondern direkt mit einem Lehrbuch gearbeitet.

Lehrbücher unterscheiden sich von wissenschaftlichen Artikeln und Handbüchern vor allem durch die didaktische Aufbereitung des Lehrmaterials. Sie versuchen den Studierenden die Inhalte anschaulich zu vermitteln und das Lernen zu erleichtern. Themen werden umfassender behandelt als in wissenschaftlichen Artikeln, die sich auf eine thematisch stark eingeschränkte Fragestellung konzentrieren.

Eine dritte Zielgruppe der wissenschaftlichen Kommunikation ist schliesslich die breite Öffentlichkeit, d.h. mehr oder weniger gut unterrichtete Laien. Hierbei handelt es sich um eine sehr heterogene Gruppe mit ganz unterschiedlichen Vorkenntnissen. Zu den Kommunikationsformen der *Populärwissenschaft* gehören beispielsweise Vorträge, Artikel in Zeitungen und Magazinen, zum Beispiel im Wissenschaftsteil einer Zeitung, Bücher, Internet-Seiten, Filme oder Fernsehsendungen, z.B. Dokumentarfilme.

Während in den wissenschaftlichen Fachzeitschriften und in der Lehre in der Regel ausschliesslich Wissenschaftler selbst über ihre eigene Forschung oder diejenige eines angrenzenden Fachgebiets berichten, sind in der Populärwissenschaft auch zahlreiche Nicht-Wissenschaftler beteiligt, die selbst keine Forschung betreiben, wie zum Beispiel Journalisten oder Drehbuchautoren. Allerdings bestehen zahlreiche Verflechtungen zwischen Fach- und Populärwissenschaft (z.B. van Dijk, 2006).

Neben diesen primären Formen der wissenschaftlichen Kommunikation lassen sich noch zahlreiche weitere aufzählen. Oft liegen auch Mischformen oder Überschneidungen vor. Weitere Beispiele finden sich zum Beispiel in der Kommunikation mit Behörden (Anträge für Forschungsgelder, Berichte) oder im Internet (Diskussionsformen, Wikis).

## **Problemstellung**

Es kann also festgehalten werden, dass die Kommunikation wissenschaftlicher Inhalte zwischen Wissenschaftlern und Kollegen, mit Studierenden und der Öffentlichkeit von grosser Bedeutung ist.

In der alltäglichen Verwendung dieser Kommunikationsformen innerhalb der Naturwissenschaften steht stets der wissenschaftliche Inhalt im Zentrum. Dies gilt insbesondere für die Ausbildung an den Universitäten, d.h. für die Kommunikation mit den Studierenden. Eine Diskussion *formaler Aspekte* dieser Inhalte findet nur selten statt.

Solche Fragen zur Form wissenschaftlicher Inhalte sind beispielsweise:

- Wie beeinflusst die standardisierte formale Darstellung wissenschaftlicher Artikel deren Inhalt?
- Wie unterscheiden sich die Sprache der Populärwissenschaft und der Wissenschaft der Fachzeitschriften?
- Wie ist die Verwendung metaphorischer Begriffe wie „Ionenkanal“, „Transporter“ oder „Pumpe“ zu deuten?
- Wie entstehen die Symbole, die in wissenschaftlichen Bildern verwendet werden?
- Wie unterscheiden sich die schematischen von den naturalistischen Bildern?
- Wie wird die wissenschaftliche Qualität eines wissenschaftlichen Bildes beurteilt?

Insbesondere bei den wissenschaftlichen Bildern existiert eine grosse Diskrepanz zwischen ihrer Bedeutung für die Naturwissenschaften und der Reflexion innerhalb

der Wissenschaften über ihre Entstehung und Entwicklung und über formale Aspekte der Bilder. Dies ist besonders angesichts der aktuell zunehmenden Verwendung der Bilder erstaunlich, ein Phänomen, das in der Kunstgeschichte unter den Schlagworten „Iconic Turn“ (Boehm, 1994) oder „Pictorial Turn“ (Mitchell, 1992) breit diskutiert wird (vgl. Maar & Burda, 2004).

Ein erster Grund für die fehlende Auseinandersetzung mit formalen Aspekten innerhalb der Naturwissenschaften ist darin zu sehen, dass Bilder in den Naturwissenschaften in der Regel mit dem repräsentierten Objekt identifiziert werden (Bredenkamp & Brons, 2004). Dabei werden auch einfache schematische Bilder, sogenannte „Cartoons“, als die Objekte selbst gehandelt.

Ein zweiter Grund mag darin liegen, dass die Naturwissenschaften in ihrem Streben nach einer objektiven Beschreibung der materiellen Welt Subjektives möglichst auszublenden suchen. Eine gute Illustration für diese Haltung ist die Unsichtbarkeit der eigenen subjektiven Person durch das Verwenden des Passivs in wissenschaftlichen Artikeln. So heisst es zum Beispiel „eine Photographie von etwas wurde aufgenommen“ und nicht „Ich habe es photographiert“. Im Zentrum steht das Objekt und nicht die eigene subjektive Person:

„Modern scientific style has been adapted from a natural language where people are the central characters occupying the subject position to a specialized discourse where things and abstractions have become the foci of attention“ (Gross, Harmon & Reidy, 2002, S. 163)

Wenn sich aber Bilder scheinbar wie von selbst erstellen – die Angabe, wer ein Bild gezeichnet oder aufgenommen hat, fehlt häufig in wissenschaftlichen Publikationen – wird begreifbar, weshalb der Prozess der Entstehung und die subjektiven Elemente bei der Bildentstehung nicht diskutiert werden.

Ein dritter Grund liegt darin, dass die Form generell stark uniformiert ist. Sie ist durch ein implizites Regelwerk gegeben und wird selten hinterfragt. Der Student in Ausbildung strebt danach, dieses Regelwerk durch Imitation und Anpassung so gut wie möglich zu erlernen. Der Wissenschaftler in der Praxis hat in der Regel keinen Grund das Regelwerk zu hinterfragen oder von der Norm abzuweichen. Eine unangenehme Folge einer solchen Abweichung wäre allenfalls die Ablehnung seiner Publikationen.

Ein Hindernis bei der Beschäftigung der Naturwissenschaftler mit den wissenschaftlichen Bildern ist die Tatsache, dass freilich Literatur zum Thema vorliegt, diese aber in den verschiedensten Fachgebieten verstreut ist, zum Beispiel in der Soziologie, der Kognitionspsychologie, der Sprachgeschichte, der Geschichte, der Wissenschaftstheorie oder auch in der Kunstgeschichte. Dies sind alles Disziplinen, mit denen sich viele Naturwissenschaftler im Alltag selten oder nie beschäftigen. Zudem besteht bei einigen dieser Fachgebiete der Geisteswissenschaften eine sprachliche Barriere (Fluck, 1996). Ein einfacher Zugang zum Thema ist deshalb bisher nur schwer möglich.

Dass aber formale Aspekte einen wichtigen Einfluss auf den Inhalt haben, steht ausser Frage. Die relative Ignoranz gegenüber wissenschaftlichen Bildern führt einerseits zu Problemen aufgrund ihrer unkritischen Verwendung und andererseits auch zu Problemen bei der Erstellung eigener Bilder.

## Hauptziele und Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit wurde in einen theoretischen und einen praktischen Teil gegliedert. Das Kernthema des theoretischen Teils (Teil I) lag in der Untersuchung naturwissenschaftlicher Bilder mit einem Schwerpunkt auf Bildern, die in der Lehre der Naturwissenschaften an den Hochschulen (insbesondere in den Pharmazeutischen Wissenschaften, der Biologie und der Chemie) verwendet werden. Es sollte eine Theorie entwickelt werden, welche es ermöglicht, die naturwissenschaftlichen Bilder, welche in der Lehre verwendet werden, formal zu beschreiben, zu analysieren und ihre Entstehung und Entwicklung nachzuvollziehen. Diese Theorie sollte ausgehend von einer ausführlichen Literaturrecherche, Beobachtungen, Fallstudien und Experimenten erarbeitet werden. Die Erkenntnisse aus der verstreut vorliegenden Literatur sollten soweit wie möglich in die eigenen Untersuchungen integriert werden.

Neben einer reinen Beschreibung sollten ausgehend von dieser Theorie auch praktische Empfehlungen hinsichtlich der Erstellung und Verwendung wissenschaftlicher Bilder abgeleitet werden.

Die Theorie sollte nach einer *Peer-Review* durch Experten als Sachbuch veröffentlicht werden, um die Auseinandersetzung der Naturwissenschaftler und der Studierenden mit dem Thema zu fördern.

In einem zweiten Teil (Teil II) sollten die Erkenntnisse und Empfehlungen des ersten, theoretischen Teils praktisch auf die Wahlvorlesung „Aktiver und passiver Transport durch Membranen“ im Studium der Pharmazeutischen Wissenschaften in Basel angewendet werden. Dazu sollte anhand einer umfassenden Literaturrecherche die Vorlesung und das Vorlesungsskript neu erarbeitet werden. Ein klarer Fokus lag bei der Erstellung der wissenschaftlichen Bilder und des Vorlesungsskripts. Die Vorlesung sollte mit den Studierenden des Masterstudiums Pharmazie durchgeführt und mit ihnen evaluiert werden. Aus der praktischen Arbeit sollten schliesslich Rückschlüsse auf die Theorie gezogen und in diese eingebunden werden.

## Referenzen

Boehm G. Die Wiederkehr der Bilder. In: Boehm G. (Hrsg.) Was ist ein Bild? München: Wilhelm Fink, **1994**

Bredenkamp H. & Brons F. Fotografie als Medium der Wissenschaft. Kunstgeschichte, Biologie und das Elend der Illustration. In: Maar C. & Burda H. (Hrsg.). Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder. Köln: Dumont, **2004**

Fluck H-R. Fachsprachen. Tübingen, Basel: A. Francke, **1996**

Gross A.G., Harmon J.E. & Reidy M. Communicating science. The scientific article from the 17th century to the present. Oxford: Oxford University Press, **2002**

Maar C. & Burda H. (Hrsg.). Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder. Köln: Dumont, **2004**

Mitchell W.J.T. The pictorial turn. *Artforum*, **1992**, 30, 89-84

van Dijk J. Picturizing science. The science documentary as multimedia spectacle.  
*International Journal of Cultural Studies*, **2006**, 9(1), 5-24

# Teil I Eine Theorie über die wissenschaftlichen Bilder

## 1 Einleitung

### 1.1 Thematische Schwerpunkte der Theorie

Das Thema „Wissenschaftliche Bilder in den Naturwissenschaften“ wurde zur Bearbeitung in drei Kapitel gegliedert. Diese Kapitel bildeten die thematischen Schwerpunkte der Untersuchung (*Tabelle 1*). Innerhalb dieser Kapitel wurde das allgemeine Thema weiter in je drei Unterkapitel strukturiert. Dabei wurden spezifische Kategorien wissenschaftlicher Bilder identifiziert: Sprachliche Bilder, von Modellen abgeleitete Bilder, instrumentell und manuell erstellte Bilder, kanonische Bilder, schematische Bilder und naturalistische wissenschaftliche Bilder.

**Tabelle 1.** Thematische Gliederung des Themas in drei Kapitel mit je drei Unterkapiteln.

---

#### 1. Die Verbildlichung des Unsichtbaren

- Sprachliche Bilder
- Modelle
- Instrumente

#### 2. Die Entwicklung des wissenschaftlichen Bildes

- Kanonische Bilder
- Der Prozess des Kopierens
- Die Entstehung und Entwicklung wissenschaftlicher Tatsachen

#### 3. Der Einfluss der Darstellung

- Schematische Bilder
  - Zeichen
  - Naturalistische Bilder
- 

Im ersten Kapitel wurde untersucht, wie für das bloße Auge unsichtbare Strukturen und Prozesse in den Naturwissenschaften verbildlicht werden. In der Literaturrecherche wurden drei Ansätze identifiziert, die in je einem Unterkapitel besprochen wurden. Im ersten Unterkapitel wurde die Verbildlichung mit sprachlichen Bildern (Metaphern, Analogien, Vergleiche), im zweiten Kapitel die Verwendung von Modellen und im dritten Kapitel die Visualisierung des Unsichtbaren durch wissenschaftliche Instrumente untersucht.

Im zweiten Kapitel wurde die Entwicklung wissenschaftlicher Bilder untersucht. Ausgangspunkt war die Beobachtung, dass wissenschaftliche Sachverhalte in wissenschaftlichen Bildern immer wieder sehr ähnlich, in sogenannten kanonischen Bildern dargestellt werden. Das Kapitel wurde in drei Unterkapitel gegliedert. Im ersten Unterkapitel wurden die Eigenschaften der kanonischen Bilder beschrieben. Im zweiten und dritten Unterkapitel wurde eine Hypothese zur Entstehung der

kanonischen Bilder aus der Literatur diskutiert und mit eigenen Untersuchungen ergänzt.

Im dritten Kapitel wurde der Einfluss der Darstellung auf den Inhalt der wissenschaftlichen Bilder untersucht. Die Unterschiede zwischen stilistisch einfachen schematischen und komplexen naturalistischen Bildern wurden herausgearbeitet. Dabei sollte gezeigt werden, wie die unterschiedlichen Darstellungsarten den Inhalt beeinflussen. Das Kapitel wurde in die drei Unterkapitel „Schematische Bilder“, „Zeichen“ und „Naturalistische Bilder“ gegliedert. Im Unterkapitel „Zeichen“ wurde der Aufbau schematischer Bilder aus Zeichen untersucht.

Die folgenden Untersuchungsmethoden wurden zur Bearbeitung der thematischen Schwerpunkte angewendet:

- Literaturrecherche
- Untersuchung repräsentativer Fallbeispiele
- Anlegen von Sammlungen von Fallbeispielen
- Experiment mit Studierenden

## 2 Methoden

### 2.1 Methoden zur Erstellung der Theorie

#### Literaturrecherche

Die Grundlage der Untersuchung zu den wissenschaftlichen Bildern bildete eine ausführliche Literaturrecherche zu den besprochenen Kapiteln und Unterkapiteln. Die Literaturrecherche diente dazu, bereits bekannte Erkenntnisse und Hypothesen zu identifizieren.

Als Quellen für die Recherche wurde die esoterische Fachliteratur zum Thema verwendet: Artikel in Fachzeitschriften, wissenschaftliche Handbücher und Sachbücher natur- und geisteswissenschaftlicher Disziplinen. Diese Quellen wurden in wissenschaftlichen Datenbanken, in wissenschaftlichen Publikationen, in Bibliotheken und über das Internet identifiziert. Die verwendeten Referenzen wurden durch Verweise im Text und in einer Literaturliste dokumentiert.

Zur Untersuchung der Verwendung wissenschaftlicher Bilder wurden einerseits die Publikationen und Kommunikationsformen der esoterischen Wissenschaft untersucht. Dabei handelte es sich um Fachzeitschriften, Lehrbücher, Vorträge, Poster oder Internet-Seiten. Andererseits wurden hier auch die Medien der Populärwissenschaft und –kultur untersucht. Dabei handelte es sich vorwiegend um Bücher, Zeitungen, Film, Fernsehen und das Internet.

#### Untersuchung repräsentativer Fallbeispiele

Zur Gewinnung neuer Erkenntnisse und Hypothesen wurden repräsentative Fallbeispiele zu jedem Kapitel und zu den Kategorien wissenschaftlicher Bilder identifiziert und dokumentiert. So wurde zum Beispiel innerhalb der Kategorie „Kanonische Bilder“ das Beispiel „Das kanonische Bild des HI-Virus im Lehrbuch der Biologie von Campbell (2003)“ untersucht.

Das allgemeine Problem der wissenschaftlichen Bilder, welches bereits auf drei Kapitel mit je drei Unterkapiteln und allgemeine Kategorien reduziert worden war, wurde somit weiter vereinfacht und spezifiziert. Dies ermöglichte eine detaillierte Untersuchung konkreter Beispiele.

Die Untersuchungen spezifischer Fallbeispiele erlaubte erstens die Ableitung von Erkenntnissen zu diesen konkreten Beispielen. So konnte beispielsweise festgestellt werden, dass im Lehrbuch von Campbell zur Biologie (Campbell, 2003) eine Abbildung von HIV verwendet wird, die veraltet ist und es sich bei dem um eine Kopie eines älteren Bildes aus dem Jahr 1988 handelte. Diese Erkenntnisse wurden diskutiert und praktische Hinweise abgeleitet.

Andererseits ermöglichte die Untersuchung von Fallbeispielen das Aufstellen vorläufiger Hypothesen zu den allgemeinen Bildkategorien. So konnte aus dem Beispiel zu HIV geschlossen werden, dass Bilder in Lehrbüchern durch den Prozess des Kopierens entstehen können. Diese Vermutung noch weiter auf die kanonischen Bilder verallgemeinert werden.

Dabei ist festzuhalten, dass es sich dabei nicht um eine notwendigerweise richtige Schlussfolgerung handelte, sondern um eine vorläufige Annahme basierend auf einzelnen Beobachtungen. Solche Hypothesen dienen zur Untersuchung weiterer Bilder (z.B. Bilder von HIV in anderen Lehrbüchern der Biologie und der Biochemie) und konnten falsifiziert werden, falls Gegenbeispiele gefunden wurden.

Da es sich bei den Fallbeispielen um einzelne Vertreter handelte, wurde darauf geachtet, möglichst wichtige, allgemeine und repräsentative Fallbeispiele auszuwählen. Dies erhöhte einerseits die Möglichkeit einer richtigen Verallgemeinerung. Andererseits bedeutete es auch, dass über dieses Beispiel eine wichtige Aussage gemacht werden konnte, selbst wenn sich die allgemeine Hypothese als falsch herausstellen sollte.

### **Anlegen von Sammlungen von Fallbeispielen**

Die statistische Aussagekraft einzelner Fallbeispiele ist limitiert. Deshalb wurden zusätzlich Sammlungen von Fallbeispielen untersucht. Um beispielsweise die Eigenschaften kanonischer Bilder zu untersuchen, wurde das kanonische Bild von HIV nicht nur in einem einzelnen Lehrbuch, sondern in den wichtigsten Lehr- und Handbüchern der Biologie und Biochemie und in weiteren wissenschaftlichen Kommunikationsmedien untersucht. Zudem wurden weitere kanonische Bilder mit unterschiedlicher Thematik (z.B. Struktur der DNA, Phylogenetischer Stammbaum der Darwinfinken) untersucht.

Wie bei der Untersuchung einzelner Fallbeispiele sollten so einerseits Erkenntnisse über die Fallbeispiele selbst gewonnen werden, andererseits sollten auch Hypothesen zu den allgemeinen Bildkategorien aufgestellt werden. Zudem sollten Hypothesen, die aus einzelnen Fallbeispielen gewonnen worden waren, an weiteren Beispielen getestet werden. Damit sollte überprüft werden, ob sie sich bewährten.

### **Experiment mit Studierenden**

Im Rahmen der Untersuchung der wissenschaftlichen kanonischen Zeichen wurde ein Experiment mit Studierenden der Pharmazie im Grundstudium durchgeführt. Die Methode ist im Kapitel „Wissenschaftliche Zeichen“ detailliert beschrieben.

### **Evaluation der Theorie: Peer-Review**

Die vollständige Theorie wurde in drei Peer-Reviews durch Experten überprüft. Dazu wurde die Theorie ausgedruckt, geheftet und den Experten zur Überprüfung vorgelegt. Aufgrund der Rückmeldungen wurde die Theorie nach jeder Peer-Review überarbeitet und anschliessend dem nächsten Experten / der nächsten Expertin vorgelegt. Die Peer-Review war offen ohne spezifische Fragen gestaltet. Es sollten sowohl formale als auch inhaltliche Korrekturvorschläge gemacht werden. Die folgenden Experten nahmen in dieser Reihenfolge an der Peer-Review teil:

Prof. Dr. Beat Ernst, Professor für Pharmazeutische Chemie, Institut für Molekulare Pharmazie, Universität Basel

Prof. Dr. Gerd Folkers, Professor für Pharmazeutische Chemie, Collegium Helveticum, Universität und ETH Zürich

Dr. Martina Dittler, Pädagogin und Psychologin, Expertin für Neue Medien, LearnTechNet der Universität Basel

### **Veröffentlichung der Theorie**

Die Theorie richtete sich in erster Linie an NaturwissenschaftlerInnen und ihre Studierenden. Um sie einfach zugänglich zu machen, sollte sie in Buchform veröffentlicht werden. Das Manuskript wurde dem Schwabe Verlag in Basel vorgelegt und in das Verlagsprogramm aufgenommen. Die Theorie wird im Herbst 2007 unter dem Titel „Wissenschaftliche Bilder“ erscheinen.

### **Referenzen**

Campbell N.A. Biologie, 6. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, **2003**

## 3 Resultate

### 3.1 Die Verbildlichung des Unsichtbaren

Viele der Phänomene, welche die Naturwissenschaften untersuchen, sind von blossen Auge unsichtbar. Die Chemie beschäftigt sich etwa mit Atomen und Molekülen, Strukturen von der Grösse eines Milliardsten Meters. Diese Strukturen sind für das Auge nur makroskopisch sichtbar, etwa als weisses Pulver, wenn unvorstellbar viele der Moleküle oder Atome dicht zusammen vorliegen. Wird das Pulver in einer Flüssigkeit gelöst, wie Zucker oder Salz in Wasser, verschwindet es wieder. Zurück bleibt eine farblose, durchsichtige, geruchlose Flüssigkeit.

Die Biologie steht – zum Beispiel in der Mikrobiologie – vor einem ähnlichen Problem. Ein einzelnes Bakterium oder eine einzelne Zelle ist in der Regel von blossen Auge nicht zu erkennen. Dieses Problem äussert sich auch in der Pharmazie, welche etwa die zellulären Antworten auf einen pharmazeutischen Wirkstoff untersucht.

Die Grösse ist aber nur ein hinderlicher Aspekt. So sind magnetische Felder aufgrund der Ausrüstung des menschlichen Auges und des Gehirns nicht sichtbar. Ein Untersuchungsobjekt kann auch versteckt sein, wie etwa das Auge selbst in seiner Höhle, es kann vergangen sein oder in der Zukunft liegen oder nicht zugänglich sein.

Die Wissenschaft verwendet verschiedene Ansätze, um Unsichtbares sichtbar zu machen und als wissenschaftliches Bild zu verbildlichen. Etwas Unbekanntes beschreibt sie zunächst gerne mit einer *Metapher*, einer *Analogie* oder einem *Vergleich*. Dabei wird dem Unsichtbaren das Gewand des Alltäglichen und Bekannten übergestreift. Moleküle werden als Billardkugeln mit reflektierenden Oberflächen und Schattenwurf dargestellt, grössere Moleküle als Farbbänder. Das Auge ist eine Kamera, die DNA ein Bauplan, der Mensch eine Maschine. Sachverhalte werden nicht wörtlich genannt oder beschrieben, sondern durch einen Begriff oder ein Bild aus einem anderen Gebiet ersetzt. *Modelle* beschreiben Phänomene vereinfacht und abstrakt und erlauben es, Aussagen und Vorhersagen aus ihnen abzuleiten. Wissenschaftliche *Instrumente* schliesslich sind visuelle Hilfen, Erweiterungen der Sinnesorgane, mit denen Daten von kleinsten bis zu den grössten Strukturen gewonnen und ausgewertet werden können. In den folgenden Kapiteln werden diese drei Ansätze und ihre Bezüge zu den wissenschaftlichen Bildern deshalb ausführlich diskutiert.

### 3.1.1 Sprachliche Bilder

#### 3.1.1.1 Beobachtungen und Fragestellungen

Bei der Analyse wissenschaftlicher Texte wurde beobachtet, dass häufig sprachliche Bilder verwendet werden. Dabei wird ein wissenschaftlicher Sachverhalt oder Begriff mit einem Sachverhalt oder Begriff aus einem anderen Gebiet erklärt. Aus wissenschaftlichen Publikationen (Lehrbüchern, wissenschaftlichen Artikeln, populärwissenschaftliche Medien) wurde eine Sammlung sprachlicher Bilder zusammengestellt. Im Folgenden ist eine Auswahl dieser Sammlung zum Thema Zellen, genetischer Code und Transporter dargestellt.

#### **Zellen**

„Wie funktioniert die lebendige Zelle? Wie ist dieses Fließband, diese chemische Fabrik organisiert, wie wird sie gesteuert und von welcher Art sind ihre Werkzeuge?“ (Kendrew, 1967, S. 18)

„Die Zelle ist eigentlich nichts anderes als eine chemische Fabrik; sie besitzt ein Kraftwerk, das die für chemische Umwandlungen benötigte Energie liefert; sie besitzt Abteilungen, die verschiedene Teile der chemischen Apparatur welche einander sonst schaden könnten, voneinander trennt.“ (Luria, 1974, S. 90)

„The tight junction can be pictured as a circular belt or gasket that lies in the plasma membranes.“ (Bretscher, 1985, S. 88)

„Um ein Bild zu gebrauchen, will ich sagen, dass Enzym und Glucosid wie Schloss und Schlüssel zu einander passen müssen, um eine chemische Wirkung auf einander ausüben zu können.“ (Fischer, 1894, S. 2992)

#### **Genetischer Code**

„Die Chromosomenstrukturen tragen gleichzeitig dazu bei, die Entwicklung, welche sie ahnen lassen, hervorzubringen. Sie sind zugleich Gesetzbuch und ausübende Gewalt, Plan des Architekten und Handwerker des Baumeisters.“ (Schroedinger, 1946, S. 34)

„Previous discussions of self-duplication have usually involved the concept of a template or mould. Either the template was supposed to copy itself directly or it was to produce a „negative“, which in its turn was to act as a template and produce the original „positive“ once again. In no case has it been explained in detail how it would do this in terms of atoms and molecules.“ (Watson & Crick, 1953, S. 966)

„Man kann heute im Reagenzglas zwei DNA-Stücke zusammenschneiden – ähnlich wie man es mit Filmen macht ...“ (Gonick & Wheelis, 1986, S.190)

„Thus, for most amino acids, there is more than one code word.“ (Stryer, 1995, S. 104)

„Codons that specify the amino acid are called *synonyms*.“ (Stryer, 1995, S. 109)

„These codons are not read by tRNA molecules.“ (Stryer, 1995, S. 110)

„The genetic code was deciphered...“ (Stryer, 1995, S. 111)

„Furthermore, mRNAs can be correctly translated by the protein-synthesizing machinery of very different species.“ (Stryer, 1995, S. 111)

### **Transporter**

„The four inner helices pack against each other as a bundle near the intracellular aspect of the membrane, giving the appearance of an inverted teepee.“ (Doyle *et al.*, 1998)

„The LeuT<sub>Aa</sub> protomer resembles a shallow ‚shot glass‘, with the opening facing the extracellular space, the base facing the cytoplasm, and the bottom of the ‚glass‘ located 6 Å into the bilayer-spanning portion of the transporter (Fig. 2a, b).“ (Yamashita *et al.*, 2005)

„This structure rationalized why a K<sup>+</sup> ion is so willing to leave its thermodynamically comfortable home in aqueous solution to enter the pore in a largely dehydrated form.“ (Miller, 2001, S. 23)

„It operates on the same principle as the locks in overland waterways, by altering the potential energy of the transported species.“ (Jardetzky, 1966, S. 970)

Diese Auswahl zeigt die Bedeutung der sprachlichen Bilder auf, mit denen Wissenschaftler und Studierende beim Studium wissenschaftlicher Texte konfrontiert werden. Hier wird eine Zelle als Fließband und chemische Fabrik, ein Enzym als Schloss und eine chemische Substanz als Schlüssel, und die Chromosomenstrukturen als Gesetzbuch, ausübende Gewalt, Plan des Architekten und Handwerker des Baumeisters bezeichnet. Diese Beobachtungen führte zu den folgenden Fragestellungen:

- Welche sprachlichen Bilder werden in der Wissenschaft verwendet?
- Wie sind die sprachlichen Bilder, insbesondere die Metaphern, in der Literatur definiert und erklärt? Können diese Erklärungen auch auf die wissenschaftlichen Metaphern angewendet werden?
- Welche Funktionen haben Metaphern in der Wissenschaft? Weshalb wird ein Begriff durch einen anderen ersetzt und nicht wörtlich ausgedrückt?
- Wie werden Metaphern wahrgenommen?
- Welche positiven und negativen Aspekte der Metaphern können identifiziert werden?
- Wie unterscheiden sich Metaphern in Texten von „visuellen Metaphern“ in Bildern?

### 3.1.1.2 Resultate

#### **Einteilung der sprachlichen Bilder**

Als sprachliche Bilder wurden *Metaphern*, *Vergleiche* (Simile) und *Analogien* identifiziert. *Metaphern* können als Projektionen von assoziierten Allgemeinplätzen oder Implikationen eines sekundären Subjekts auf ein primäres verstanden werden. Ein Beispiel ist die Aussage: die Zelle (primäres Subjekt) ist eine chemische Fabrik (sekundäres Subjekt; Luria, 1974, S. 90). Dabei wird der Begriff Zelle anhand der assoziierten Allgemeinplätze zum Begriff „chemische Fabrik“ organisiert.

Ein *Simile* ist ein direkter Vergleich von zwei Subjekten, der oft durch das Wort „wie“ gebildet wird. Yamashita *et al.* (2005) vergleichen etwa einen bakteriellen Transporter mit einem Schnapsglas (siehe oben).

*Analogien* sind Entsprechungen von Beziehungen zwischen Elementen zweier unterschiedlicher Domänen. Analogien werden sehr unterschiedlich definiert. Der Begriff Analogie wurde zum Beispiel als Überbegriff für Metaphern, Similes und Modelle verwendet (Gentner, 1982). In dieser Arbeit werden Analogien als Entsprechungen definiert. Analogien sind in der Regel Teil einer Metapher: Die Eigenschaften des primären und sekundären Subjekts einer Metapher können sich analog entsprechen.

Bei den *strukturellen* Analogien wird von einem System ausgegangen, das aus zwei oder mehreren Elementen besteht, wie zum Beispiel dem Sonnensystem mit der Sonne und den Planeten. Zwischen den Elementen bestehen entsprechende Beziehungen: Die Planeten bewegen sich in bestimmten Bahnen um die Sonne. Eine Analogie ist definiert durch *wechselseitige Entsprechungen* dieser Beziehungen zu einem anderen System, z.B. zu einem Atom mit einem zentralen Kern, um den sich die Elektronen auf Umlaufbahnen bewegen. Es brauchen jedoch keine Entsprechungen zwischen den Elementen selbst zu bestehen. Im Rutherford-Bohr-Modell spielen die Unterschiede zwischen Elektronen und Planeten keine Rolle. Wenn sich die Elemente selbst entsprechen, wird die Beziehung als Ähnlichkeit bezeichnet. Das Beispiel „Das Heliumatom ist wie das Neonatom“ ist ein Vergleich über direkte Ähnlichkeit, bei dem keine Analogie vorliegt (Gentner, 1982). Als *funktionale* Analogien werden Analogien definiert, bei denen zwei Systeme für eine bestimmte Aufgabe gleich gut „geeignet“ sind, wie der Steuermann eines Schiffs oder eines Staats (Iding, 1997; Gentner, 1982).

Im Folgenden liegt der Schwerpunkt der Betrachtung bei den Metaphern.

#### **Metaphern als Interaktion zwischen zwei Subjekten**

In der Literatur gibt es verschiedene Ansätze, Metaphern zu erklären. Max Black hat eine interessante und einflussreiche Betrachtung präsentiert, gemäss der die Bedeutung einer Metapher aus einer Interaktion zwischen zwei Subjekten resultiert, nämlich einem primären und einem sekundären Subjekt (Black, 1972; Black, 1979). Das sekundäre Subjekt ist in der Regel konkreter, stammt aus einem bekannten Gebiet und ist visualisierbar, das primäre Subjekt ist häufig abstrakter und stammt aus einem fremden Gebiet. Black verwendet als Beispiel die bekannte Metapher „Der Mensch ist

ein Wolf“. Das sekundäre Subjekt, der Wolf, impliziert etwas Wildes, Karnivores und Verräterisches. Der Begriff ist nicht scharf definiert, aber genügend definitiv, um bei vielen Menschen ähnliche Empfindungen auszulösen. Die Vorstellungen, welche der Hörer vom sekundären Subjekt hat, nennt Black ein „System von assoziierten Allgemeinplätzen“. Es sind Binsenwahrheiten, vorherrschende Meinungen, Vorurteile, Ansichten oder Mythen einer Sprachgemeinschaft zu einem Sachverhalt. Ob diese der Wahrheit entsprechen, ob der Wolf tatsächlich verräterisch ist, ob diese Ansichten einer exakten wissenschaftlichen Definition entsprechen, ist nebensächlich. Die Bezeichnung des Menschen als Wolf evoziert ein System von assoziierten Allgemeinplätzen. Infolge dessen wird der Mensch als wild, hungrig, in dauerndem Kampf, als Aasfresser und wildes Tier verbildlicht. Jede dieser Behauptungen wird dem Menschen angepasst und angeglichen. Black spricht von einer Projektion der Implikationen auf das primäre Subjekt. Der Hörer der Metapher konstruiert einen Implikationskomplex, der nicht aus den normalen Allgemeinplätzen zum Begriff Mensch besteht, sondern gemäss den Wolf-Implikationen *organisiert* ist. Mit anderen Worten: Die Metapher unterdrückt einige Implikationen zum Begriff „Mensch“ und hebt andere hervor: „The wolf-metaphor suppresses some details, emphasizes others – in short, organizes our view of man“ (Black, 1972, S. 41).

Die Beziehungen zwischen den Eigenschaften der beiden Subjekte können identisch sein, erweiternd, ähnlich, analog oder auch selbst metaphorisch. Die Interaktion geht über eine reine Substitution oder einen Vergleich hinaus. Die Präsenz des primären Subjekts animiert den Hörer dazu, einige der Eigenschaften des sekundären Subjektes auszuwählen und einen parallelen Komplex zu konstruieren, der auf das primäre Subjekt passt. Sie induziert reziprok auch parallele Veränderungen im sekundären Subjekt: Der Wolf wird durch die Metapher vermenschlicht. Die Interaktion führt zu einer wechselseitigen Verwendung der Metaphern: das Gehirn ist ein Computer und der Computer ein Elektronengehirn; der Krieg gegen Krebs und das Krebsgeschwür Krieg; das Computervirus und das HI-Virus (HIV), das „neue Kopien von sich selbst herstellt“ (Sontag, 2003, S. 130).

### **Fallbeispiel: „Die DNA ist der Plan des Architekten“**

Im Folgenden wird Blacks Betrachtung auf wissenschaftliche Metaphern angewendet. In der Molekularbiologie werden zahlreiche Begriffe der Informationstheorie und der Kybernetik verwendet. Die DNA beispielsweise ist mit zahlreichen Textmetaphern belegt: Information, Code, Text, Buch des Lebens, universale Sprache und so fort. Lily Kay hat die Geschichte dieser Begriffe ausführlich dargelegt (Kay, 1997; 2005). John Kendrews Einführung in die Molekularbiologie aus dem Jahr 1967 (Kendrew, 1967) ist ein gutes Beispiel für einen populärwissenschaftlichen Text mit den gängigsten Metaphern der Molekularbiologie: Proteine sind Ketten, Mutationen Druckfehler, die DNA ein Text, eine Enzyklopädie, die Zelle eine chemische Fabrik und so fort (vergleichbar auch: Luria, 1974). In der Populärkultur wird die DNA gar als Programm, Orakel von Delphi, Zeitmaschine, eine Reise in die Zukunft oder als medizinische Kristallkugel bezeichnet (Nelkin & Lindee, 1995). Betrachten wir etwa das Beispiel „die DNA ist der Plan des Architekten“, das vor allem in populärwissenschaftlichen Texten verwendet wird. Nach Blacks Schema ist die DNA

hier das primäre, abstrakte Subjekt und der Plan des Architekten das sekundäre, konkrete Subjekt. Der Plan enthält Instruktionen zum Bau eines Gebäudes. Übertragen auf die DNA wird dadurch speziell hervorgehoben, dass die DNA Instruktionen zum „Bau“ eines Organismus enthält. Nun gibt es neben den Eigenschaften und Assoziationen, die durch die Metapher ausgewählt und hervorgehoben werden (entsprechende Eigenschaften), auch solche, die nicht übertragen werden, nicht-entsprechende Eigenschaften.

**Tabelle 2.** Assoziationen zu den zwei Subjekten der Metapher „Die DNA ist der Plan des Architekten“.

<i>Sekundäres Subjekt:</i>	<i>Primäres Subjekt:</i>
<b>Plan des Architekten</b>	<b>DNA (Chromosomenstrukturen)</b>
Instruktion zum Bau eines Gebäudes besteht aus Papier	Instruktion zum Bau eines Organismus besteht aus Atomen, Molekülen
enthält Text und Zeichnungen	wie ist die Instruktion kodiert?
wurde vom Architekten erstellt	wer ist der Architekt der DNA?

Eine nicht-entsprechende Eigenschaft und für die Metapher unwesentlich scheint hier zum Beispiel, dass der Plan des Architekten Text und Zeichnungen enthält. Die Versuchung besteht aber, hier ebenfalls Entsprechungen zu entdecken und die beiden Subjekte in dieser Eigenschaft zur Deckung zu bringen. Der Text und die Zeichnungen „kodieren“ die Instruktionen. Wie sind die Instruktionen in der DNA „kodiert“? Metaphern haben die Eigenschaft, unsere Gedanken anzuregen.

Der Zusatz „des Architekten“ wirft ebenfalls Fragen auf. Er wäre nicht zwingend notwendig, die DNA wurde auch schon als „Konstruktionsplan“ bezeichnet (z.B. Kendrew, 1967). Die Formulierung regt dazu an zu fragen: Wer ist der Architekt der DNA? Die Deutung der Metapher hängt dabei sehr stark vom Hörer oder Betrachter ab. Bei der vorliegenden Metapher ist unklar, ob ein Architekt der DNA (ein irdischer oder göttlicher) impliziert werden soll oder ob sie nur das Bild des Plans verdeutlichen soll. Metaphern haben die Eigenschaft, bei unterschiedlichen Hörern unterschiedliche Assoziationen oder Allgemeinplätze zu evozieren, sowohl beim primären wie beim sekundären Subjekt. Der Hörer versteht also nicht immer nur das, was vom Autor intendiert wurde.

Mit einer Metapher wird also offenbar absichtlich oder unabsichtlich ein bestimmter Standpunkt vertreten. Die Wahl einer Metapher beinhaltet als wissenschaftliches Bild eine gewisse Sichtweise, eine festgelegte Interpretation eines Sachverhalts. Metaphern unterdrücken gewisse Eigenschaften und heben andere hervor, sie organisieren die Ansicht eines Sachverhalts. Black (1972, S. 41) drückt es metaphorisch so aus:

„Suppose I look at the night-sky through a piece of heavily smoked glass on which certain lines have been left clear. Then I shall see only the stars that can be made to lie on the lines previously prepared upon the screen, and the stars I do see will be seen as organized by the screen's structure. (...) We can say that the principal [primary] subject is ‚seen through‘ the metaphorical expression.“

Durch die Hervorhebung einiger Merkmale werden andere unterdrückt. Philipp Sarasin hat gezeigt, dass „Sichtbarkeit immer mit einem Stück Unsichtbarmachung erkaufte werden muss“ (Sarasin, 2004, S. 259). Daraus folgt auch, dass eine andere Metapher einer anderen Anschauung entspricht und anderes sichtbar werden lässt, da sie das primäre Subjekt in einer anderen Art und Weise organisiert. Coen (1999) hat die DNA und die Entwicklung eines Organismus als künstlerischen Prozess wie das Malen eines Bildes dargestellt. Diese Metapher wirft ein völlig anderes Licht auf den Sachverhalt. Coen vertritt durch die Metapher den Standpunkt, dass die Entwicklung nicht nach einem detaillierten, festgelegten Plan verläuft, sondern nach einem kreativen, schrittweisen Fortschreiten.

### **Zeitliche und kulturelle Abhängigkeit**

Metaphern unterliegen als Bilder einer kulturellen und zeitlichen Abhängigkeit. Draaisma (1999) hat dies eindrücklich am Beispiel von Metaphern für Gehirn und Gedächtnis dokumentiert. Das Aufkommen neuer Entdeckungen, Erfindungen und Technologien führte jeweils zu einer neuen und veränderten Metaphorik. Wenn John William Draper in einer Publikation um 1878 seine Erinnerungen an eine Szene in Mexiko mit einer Photographie vergleicht oder die Gedächtnispsychologie im 20. Jahrhundert sich der Metapher des Computers bedient, so beziehen sich beide auf technische Neuerungen der jeweiligen Epoche. Einige Metaphern für Gehirn und Gedächtnis sind zum Beispiel: Archiv, Bibliothek, Computer, Honigwabe, Lagerraum, Palast, Schatzkammer, Schrift, Taubenschlag oder Zaubertafel (Auswahl aus Draaisma, 1999, S. 264). Aber auch der entlehnte Begriff selbst kann sich wandeln. „Der Plan des Architekten“ sieht heute etwa anders aus als vor sechzig Jahren.

### **Wahrnehmung von Metaphern**

In Bezug auf die Wahrnehmung können Metaphern in zwei Typen eingeteilt werden. Der erste Typ wird explizit als Metapher bezeichnet oder wahrgenommen. Zu den expliziten Metaphern gehört zum Beispiel die Aussage „Das Arzneimittel ist ein Schlüssel, der genau in sein Schloss, den Rezeptor passt“ (nach Fischer, 1894). Das primäre Subjekt ist das Arzneimittel (der Rezeptor), das sekundäre Subjekt der Schlüssel (das Schloss). Es besteht eine strukturelle Analogie zwischen den Beziehungen Schlüssel-Schloss und Arzneimittel-Rezeptor. Hier ist es für den Hörer in der Regel offensichtlich, dass es sich um eine Metapher handelt.

Der zweite Typ wird vom Leser oder Betrachter unbewusst, implizit wahrgenommen: Beispiele sind die Begriffe *Proteinfaltung* oder die *Knospung* von Viren oder in der Chemie die Bezeichnung „Der *Angriff des Nukleophils*“. In den Naturwissenschaften wie im Alltagsleben gibt es viele inhärente, unbewusste, implizite Metaphern, die wörtlich verstanden und überlesen werden, ohne dass über ihre metaphorische Bedeutung weiter nachgedacht wird. Dabei kommt allerdings dem Vorwissen des Lesers oder Betrachters eine entscheidende Rolle zu. Dem Fachmann sind die Begriffe derart vertraut, dass er über ihre metaphorische Bedeutung nicht weiter reflektiert. Der wissenschaftliche Anfänger oder Laie hingegen könnte von derartigen Begriffen überrascht oder belustigt sein.

Unter die impliziten Metaphern fallen auch die *konstitutiven Metaphern* (Boyd, 1979), die auch als *verblasste Metaphern* bezeichnet wurden (Gipper, 1969). Dabei handelt es sich um Metaphern für Sachverhalte, für die es keine wörtliche Umschreibung gibt; die Metapher selbst ist die Umschreibung und wird zum Fachbegriff. Dabei kann ein Begriff seine metaphorische Bedeutung fast oder ganz verlieren. Verblasste Metaphern sind dann keine Metaphern mehr. Der Begriff „Zelle“ für die kleinste biologische Einheit ist heute der wörtliche Fachbegriff für die detailliert charakterisierte kleinste biologische Einheit. Der Ursprung des Begriffs gilt jedoch als metaphorisch: Robert Hooke soll bei seiner Prägung 1665 die kleinen Zellen gedacht haben, in denen die Mönche lebten (Brown, 2003). Die metaphorische Bedeutung wird nur noch sichtbar, wenn jemand, wie Black es ausdrückt, die Naivität hat, die Metaphern wörtlich zu nehmen oder die Naivität vorgibt, sie wörtlich zu nehmen (Black, 1979). Bei anderen konstitutiven Metaphern in der Wissenschaft ist die metaphorische Eigenschaft stärker ausgeprägt als beim Beispiel der Zelle. Transportproteine wie *Kanäle*, *Carrier* und *Pumpen* sind Begriffe, die in der Biologie Phänomene bezeichnen, die oft nicht wörtlich beschrieben werden können. Gemeint sind Strukturen, die Substanzen über die Membran einer Zelle transportieren, zum Beispiel von aussen in eine Zelle hinein. Allerdings ist über die strukturellen und funktionellen Mechanismen heute viel mehr bekannt als zu der Zeit, als diese Begriffe geprägt wurden. Damals waren die Metaphern noch viel expliziter. Der Begriff der Natrium-„Pumpe“ stammt von R.B. Dean aus dem Jahr 1941 (Dean, 1941, zitiert aus Skou, 1997):

„the muscle can actively move potassium and sodium against concentration gradients (...) this requires work. Therefore there must be some sort of a pump possibly located in the fiber membrane, which can pump out sodium or, what is equivalent, pump in potassium.“

„der Muskel kann aktiv Kalium und Natrium gegen einen Konzentrationsgradienten bewegen (...) das erfordert Arbeit. Deshalb muss in der Membran der Faser eine Art Pumpe lokalisiert sein, die Natrium herauspumpen oder, was äquivalent ist, Kalium hineinpumpen kann.“

Dean hat die Metapher der Pumpe deshalb gewählt, weil ein aktiver, Energie-abhängiger Transport von Substanzen beschrieben werden sollte. Die Formulierung „some sort of a pump“ deutet auf eine explizite Wahrnehmung. Zur Zeit der Bildung des Begriffs waren weder die Struktur, die Funktionsweise noch die genaue Lokalisation der Pumpe bekannt. Im Laufe der Jahre wurde das Bild kanonisiert, es bildete sich ein Fachbegriff heraus, der heute einen fast impliziten Charakter hat. Dasselbe gilt übrigens auch für den Begriff des „Kanals“, der von Hodgkin und Keynes 1955 geprägt wurde:

„A different way of explaining the anomalous flux ratios is to imagine that  $K^+$  ions cross the membrane through narrow tubes or channels.“ (Hodgkin & Keynes, 1955, S. 84)

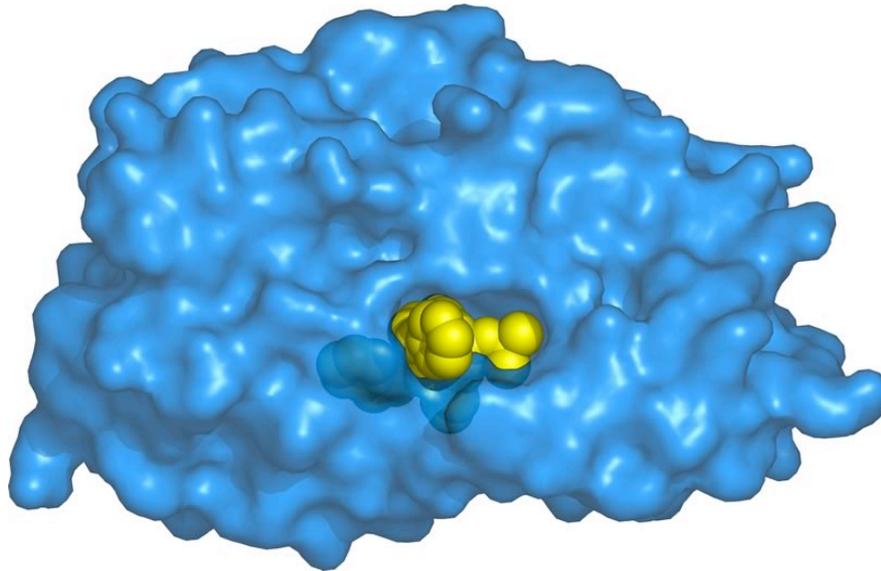
Die Mutmassung ist herauszuhören: Aufgrund der Experimente könnte man sich vorstellen, da sei so etwas wie eine Röhre oder ein Kanal in der Zellmembran. Mittlerweile hat sich auch die Bezeichnung „Ionenkanal“ als Fachbegriff etabliert. Die ursprüngliche Metapher verblasst zusehends. Diese Beispiele deuten an, dass sich die

wissenschaftlichen Metaphern im Verlauf ihres Gebrauchs von expliziten zu impliziten Metaphern wandeln können. Gemäss Helmut Gipper (1969) ist der Metapherreichtum ein Merkmal der jungen Wissenschaften. Mit der fortschreitenden Entwicklung einer Wissenschaft geht – auch unter einer veränderten Wahrnehmung von expliziten zu impliziten Metaphern – eine Entmetaphorisierung einher.

### **Heuristische Funktionen von Metaphern**

Metaphern haben in den Naturwissenschaften heuristische Funktionen. Sie sind „ein hervorragendes Mittel, um wissenschaftliches Neuland zu erobern“ (Gipper, 1969). Sie dienen dazu, neue Fragestellungen aufzuwerfen, Erkenntnisse zu gewinnen und zu ordnen (Draaisma, 1999). Die Metapher wird zu einem Modell, von dem Aussagen und Vorhersagen abgelesen werden können. Wird etwa ein „Wasserkanal“ (als Fachbegriff: *Aquaporin*) in einer Zellmembran als zylinderförmige Röhre angesehen, der in eine Membran eingefügt ist, eröffnet das die Möglichkeit, hydrodynamische Gesetze aus der Physik anzuwenden und so zum Beispiel den Radius der „Röhre“ zu berechnen (Benga, 2003).

Beim Design neuer Arzneimittel werden visuelle Metaphern zum Erkenntnisgewinn und zur Herstellung von Modellen verwendet. Diese stehen im Kontext eines einfachen, reduktionistischen Paradigmas, das hier mit der gebräuchlichen sprachlichen Metaphorik erläutert wird. Eine Krankheit wird auf wenige molekulare, nanometergrosse *Targets* reduziert. Bei den *Targets* handelt es sich häufig um Proteine, die mit dem Arzneimittel angegriffen und in ihrer Funktion gehemmt oder gefördert werden sollen. Eine bakterielle Infektion kann zum Beispiel auf das Protein und Enzym „Transpeptidase“ reduziert werden. Die Transpeptidase ist ein wichtiger Bestandteil der bakteriellen Zellwand-Bildung. Die Zellwand des Bakteriums ist für dieses in vieler Hinsicht überlebensnotwendig. Wenn es gelingt, die Funktion der Transpeptidase mit einem Arzneistoff zu hemmen, wird die Zellwandbildung und damit das Wachstum des Bakteriums gestört, was das Bakterium abtötet oder schwächt und somit die Krankheit beendet. Das Enzym kann dadurch gehemmt werden, dass seine funktionell essentielle Bindungstasche, die sogenannte *Active Site* durch Arzneimittel blockiert wird. Mit diesem Ansatz kann also die Krankheit auf die Bindungstasche, einige wenige Aminosäureseitenketten, reduziert werden. Eine enorme Reduktion! Die Darstellungen von Bindungstaschen sind heuristische Metaphern. Sie werden im Computer unter anderem als höhlenartige Einbuchtungen visualisiert, die aussehen wie ein Stück erstarrtes Plastik (*Abbildung 1*). Die Aufgabe der Arzneimittelspezialisten besteht darin, einen Arzneistoff zu konstruieren, der entgegengesetzte Eigenschaften zu denen der Bindungstasche aufweist oder wie „eine Hand in einen Handschuh“ passt. Die Sprache des *Molecular Modeling* ist dem metaphorisch-mechanistischen Modell angepasst: Taschen sollen ausgefüllt werden und der Wirkstoff eingepasst werden. Der Wirkstoff wird an den Rezeptor angedockt. Auf flachen Oberflächen haftet der Wirkstoff jedoch schlechter.



**Abbildung 1.** Die Bindungstasche eines Proteins. Das Arzneimittel blockiert die Funktion des Proteins durch Bindung an dessen „Active Site“, eine höhlenartige Einbuchtung. Es ist erkennbar, wie der Wirkstoff die Active Site wie „eine Hand in einem Handschuh“ ausfüllt und so die Funktion des Proteins blockiert. Das Bild wurde ausgehend von den dreidimensionalen Koordinaten des Proteins erstellt (Koordinaten aus Chen *et al.*, 1994; Bild erstellt mit PyMOL, <http://pymol.sourceforge.net>; Bild: A. Vögli).

Diese Darstellungsformen sind in der Wissenschaft zu einer Selbstverständlichkeit geworden und es wird leicht vergessen, dass es sich dabei um unsichtbare Strukturen handelt, die erst durch die Brille des Makrokosmos und des Alltäglichen betrachtet sichtbar werden.

### Problematische Metaphern

Metaphern sind der Wissenschaft in vielen Beziehungen hilfreich. Sie vermitteln einen Zugang zu Unbekanntem durch das Bekannte; sie ermöglichen die Visualisierung von Unsichtbarem; sie erweitern die Gedanken durch Analogie und erlauben als Modelle Vorhersagen. Die Verwendung von Metaphern birgt aber auch Probleme. Dazu gehört die unglückliche Wahl des sekundären Subjekts – der Domäne, aus der die metaphorischen Begriffe stammen. In der Mikrobiologie und Immunologie ist seit der Entdeckung der Bakterien als Krankheitserreger die Kampf- und Kriegsmetaphorik gebräuchlich (zum Thema existiert eine umfangreiche Literatur, siehe etwa Fleck, 1980; Sontag, 2003; Mayer & Weingart, 2004; Sarasin, 2004). Ein Beispiel zum Thema AIDS aus dem TIME Magazine verdeutlicht die Problematik:

„Der Eindringling ist sehr, sehr klein, nicht grösser als der sechzehntausendste Teil eines Stecknadelkopfs (...) Späher des körpereigenen Immunsystems – grosse Zellen, die man Makrophagen nennt – wittern die Gegenwart des winzigen Feindes und alarmieren unverzüglich das Immunsystem. Das Immunsystem mobilisiert ein Truppenaufgebot von Zellen, die u.a. Antikörper zur Bekämpfung der Gefahr produzieren. Das Aids-Virus ignoriert zielstrebig viele der Blutzellen, die sich ihm in den Weg stellen, entkommt den rasch

vorrückenden Verteidigern und steuert automatisch den Hauptkoordinator des Immunsystems an, die Helferzelle (...)“ (TIME Magazine 1986, zitiert aus Sontag, 2003, S. 88-89)

Die Kriegsmetaphorik (Feind, Späher, alarmieren, mobilisieren, Truppenaufgebot, bekämpfen, Gefahr, vorrückende Verteidiger) wird kombiniert mit einer Beseelung der Viren und Zellen: Das Virus wird als Eindringling und Feind, die Makrophagen als Späher, die Zellen des Immunsystems als Truppen und Verteidiger bezeichnet. Diese Animisierung deutet auf intelligentes und bewusstes Handeln auf zellulärer Ebene. Die Assoziation mit Krieg deutet auf einen „böartigen Feind“, der mit allen Mitteln bekämpft werden soll, selbst wenn der Patient dabei durch ein Art „Kollateralschaden“, etwa durch unerwünschte Wirkungen der Medikamente, Schaden nimmt (Sontag, 2003, S. 57). Der Feind kommt von „ausen“. Krankheiten werden „eingeschleppt“, sie dringen in einer „Invasion“ ein: in ein Land, in einen Organismus, in das gesunde Gewebe, in die Zelle (siehe dazu Sarasin, 2004). Sontag ortet in den Kriegsmetaphern ein Misstrauen gegen eine pluralistische Welt und in der folgenden parasitären Einnistung des Virus in die Zelle Science Fiction: eine Art „Machtübernahme durch die Ausserirdischen“. Der Gebrauch dieser Kriegsmetaphern resultiert in einem verzerrten und vereinfachten Bild des Vorgangs und täuscht ein falsches Verständnis der Sache vor.

Auch gegen Krebs wird Krieg geführt: „Nano-Bombe gegen Krebs“ betitelte etwa das Magazin *Der Spiegel* einen kurzen Abschnitt über ein neues Verabreichungssystem für zytostatische Arzneimittel (*Der Spiegel*, 1.8.2005, S. 127). Der Text basierte auf einer Pressemitteilung des Massachusetts Institute of Technology mit dem Titel: „MIT engineers an anti-cancer smart bomb“ (<http://web.mit.edu/newsoffice/2005/nanocell.html>). Gemeint war ursprünglich also nicht irgendeine Bombe, sondern die aus den Golfkriegen bekannten (Bunker brechenden) Präzisionslenk Waffen, mit denen eben jene unerwünschten Kollateralschäden vermieden werden sollen. Mit der Metapher wird auf die Fähigkeit des Arzneimittels angespielt, den Tumor gezielt zu erreichen, im pharmazeutischen Fachjargon wird wie bereits erwähnt militärisch konsistent vom „Targeting“ des Tumors gesprochen. Dies steht im Gegensatz zu den traditionellen Medikamenten, die wenig selektiv den ganzen Körper mit der Arznei überfluten, was zu vielen unerwünschten Wirkungen führt. Diese werden im Jargon auch als „dirty bombs“, schmutzige Bomben, bezeichnet. Zum Ziel gelangt die Bombe wie eine Art Stealth-Bomber: „A ‚stealth‘ surface chemistry allows the nanocells to evade the immune system (...)“. Das Prinzip der Bombe wurde in der Pressemitteilung so zusammengefasst: „Imagine a cancer drug that can burrow into a tumor, seal the exits and detonate a lethal dose of anti-cancer toxins, all while leaving healthy cells unscathed.“ („Stellen Sie sich ein Krebsmittel vor, das sich in einen Tumor eingraben kann, die Ausgänge abdichtet und eine tödliche Dosis Antikrebs-Gift detonieren lässt, während es gesunde Zellen unversehrt lässt.“). Hier verändert sich die Präzisionswaffen-Metapher in Richtung des Einsatzes einer militärischen Spezialeinheit.

Die Pressemitteilung wurde veröffentlicht, um auf eine Fachpublikation über das Arzneimittel in *Nature* aufmerksam zu machen (Sengupta & Eavarone *et al.*, 2005). Erst beim Lesen dieses Fachartikels wird deutlich, dass es sich bei dem

Verabreichungssystem in keiner Weise um eine explodierende Mini-Bombe handelt, die den Tumor in die Luft sprengt. Im Gegensatz zur verwendeten militärischen Metaphorik kann nämlich das neue Arzneimittel sehr einfach beschrieben werden: Es handelt sich ganz einfach um ein Partikel, das aus einer Hülle und einem Kern besteht. Das Partikel wird im Tumor selektiv angereichert und entlässt zunächst aus der Hülle ein erstes Medikament, welches das Wachstum der Blutgefäße unterbindet und anschliessend aus dem Kern ein zweites, zelltoxisches Medikament, welches gegen den Tumor wirkt. Interessant ist hier der Unterschied zwischen Fachpublikation und Populärwissenschaft. Der wissenschaftliche Artikel beschreibt den Sachverhalt ohne die Bombenmetapher. Diese entstand erst beim Versuch, den durch die Fachsprache verschlüsselten Inhalt des Artikels für die Öffentlichkeit zu übersetzen. Die Kriegsmetaphorik erweist sich aber auch bei diesem Beispiel als ungeeignet und kontraproduktiv. Sie weckt Assoziationen mit militärischen Konflikten in der Golfregion und verschleiert die wirkliche Funktion des Systems durch die Implikation einer detonierenden Bombe.

Die „smart bomb“ ist seit dem ersten Golfkrieg eine aktuelle Variante der Metapher von Paul Ehrlich, der zu Beginn des 20. Jahrhunderts Arzneimittel als *Zauberkekeln* und im Englischen als *Magic Bullets* bezeichnet hatte. Damit gemeint waren Arzneimittel, die wie „Freikugeln“ in von Webers „Freischütz“ ihr Ziel selbst finden. Ehrlich hatte den Begriff 1906 zum ersten Mal anlässlich der Eröffnung des Georg-Speyer-Hauses verwendet:

„Wenn wir bedenken, dass der Organismus von einer bestimmten Bakterienart infiziert ist, so wird es leicht sein, den Organismus zu heilen, wenn Stoffe aufgefunden sind, die nur zu den Bakterien Beziehungen haben und nur auf diese schädigend oder abtötend wirken, die aber zu gleicher Zeit zu den normalen Bestandteilen des Körpers gar keine Beziehungen haben und ihn daher auch nicht im mindesten beeinflussen oder schädigen können. Derartige Substanzen würden also ausschliesslich ihre volle Wirkung auf den im Organismus hausenden Schädling ausüben können und sie stellen sozusagen Zauberkekeln vor, die ihr Ziel selbst aufsuchen.“ (Ehrlich in Himmelwelt, 1960, S. 49)

In den letzten Jahren liefen die Bestrebungen der Arzneimittelhersteller in diese Richtung: Ein einziger pharmazeutischer Wirkstoff sollte möglichst spezifisch ein einziges Target „angreifen“. Neuerdings wird aber auch diskutiert, ob nicht bei einigen Krankheiten die Anwendung einer „magischen Schrotflinte“ (*magic shotgun*) Vorteile bringen könnte, also der Angriff verschiedener Targets gleichzeitig (Roth, Sheffler & Kroeze, 2004).

Sowohl bei der Invasion des HI-Virus als auch bei der Nano-Bombe handelt es sich um Texte der Populärwissenschaft. Sie zeigen eindrücklich deren Metaphernreichtum und sind nicht repräsentativ für die wissenschaftliche Fachliteratur. In der esoterischen Fachliteratur werden, wenn auch weniger häufig, ebenfalls problematische Metaphern verwendet. In der Ökologie etwa jene des „natürlichen Feindes“ (Chew & Laubichler, 2003). Die Populärwissenschaft hat zudem eine starke Rückwirkung auf die Wissenschaft der Fachleute, deren Sprache und Bilder. Derartige Metaphern können nur vermieden werden, wenn Metaphern bewusst verwendet und wissenschaftliche Texte sorgfältig analysiert werden.

Metaphern dienen auch der Überzeugung des Lesers oder Betrachters. Eric Drexler, einer der Vordenker der Nanotechnologie, hat in seinem Buch „Engines of Creation“ die wichtigsten Ideen der Nanotechnologie formuliert (Drexler, 1990; zur Nanotechnologie zwischen Wissenschaft und Science Fiction siehe Milburn, 2002). Drexlers Ideen gründen auf der Vorstellung, Atome und Moleküle einzeln zu manipulieren und zusammensetzen. Die Idee ist sehr einfach: Makroskopische Objekte, wie „reife Erdbeeren oder Diamanten“ bestehen aus Atomen, die in einer bestimmten Weise miteinander verbunden sind. Wäre es nicht fantastisch, wenn es kleine Maschinen gäbe, die solche und andere Objekte von Grund auf aus ihren Atomen aufbauen könnten? So könnte beispielsweise ein Baum auseinandergelöst und als Diamanten wieder zusammengesetzt werden. Drexler zeichnet dabei das Bild von Atomen als Kugeln, die mit Verbindungsstücken zusammengesetzt werden können wie Kinderspielzeug:

„We can picture atoms as beads and molecules as clumps of beads, like a child’s beads linked by snaps. In fact, chemists do sometimes visualize molecules by building models from plastic beads (some of which link in several directions, like the hubs in a Tinkertoy set).“ (Drexler, 1990, S. 5)

Die Synthese von Molekülen wird zu einem Kinderspiel. Man greift nach den Kügelchen und steckt sie beliebig zusammen. Das Buch weist im ersten Kapitel eine sehr hohe Dichte an Metaphern, Analogien und Vergleichen auf. Drexler entwirft in seinem Buch wie Fritz Kahn in seinem Bild „Der Mensch als Industriepalast“ (*Abbildung 2*) ein durchgängig konsistentes Bild von makroskopischen Regeln und Strukturen der Alltagswelt auf molekularer Ebene. Wenn der Leser die Metaphern unbewusst wahrnimmt und sich auf die Beschreibung einlässt, kann er sehr leicht von der einfachen Machbarkeit der Technik überzeugt werden, auch wenn die Verhältnisse in Wahrheit viel komplizierter sind.

### **Visuelle Metaphern**

Während es sich bei den sprachlichen Bildern um wissenschaftliche Denkbilder handelt, sind die „visuellen Metaphern“ (*visual, pictorial metaphors*; z.B. Brown, 2003) tatsächliche wissenschaftliche Bilder, die über eine gegenständliche Existenz, etwa auf Papier oder Leinwand, verfügen. Die visuellen Metaphern haben im Gegensatz zu anderen wissenschaftlichen Bildern die Eigenheit, etwas nicht direkt abzubilden, sondern etwas Gegenständliches oder Ungegenständliches durch ein Bild einer anderen Domäne zu ersetzen. An die Stelle eines Auges tritt eine Kamera (*Abbildung 2*), statt eines Enzyms wird eine Schere (*Abbildung 3*), statt eines Atoms wird eine Kugel abgebildet. Sie sind Sehhilfen, indem sie abbilden, was nicht direkt darstellbar ist. Als Modelle dienen sie als heuristisches Mittel zur Vorhersage, als (populäre) Veranschaulichung sind sie eine Erklärungs- und Verständnishilfe. Zwischen sprachlichen und visuellen Metaphern gibt es Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Auch die visuellen Metaphern können nach dem Schema von Black interpretiert werden. Wenn ein Auge bildlich durch eine Kamera ersetzt wird, kann auch hier vom primärem und sekundären Subjekt gesprochen werden. Die Übersetzung von Text in Bild beinhaltet oft eine Konkretisierung und Festlegung:

Irgendeine Art, irgendein Typ von Kamera wird gezeichnet. Was in der Vorstellung dem Hörer überlassen wird, ist dann viel stärker bildlich definiert. Eine visuelle Mensch-Wolf Metapher könnte einen Wolf mit blutiger Schnauze und einem grimmigen Ausdruck zeigen. Dadurch wird die Wahrnehmung auch expliziter. Der Begriff „das Enzym schneidet die DNA“ ist implizit-metaphorisch. Die Darstellung einer Schere, die den Schnitt durchführt, ist in der Wahrnehmung explizit. Aus dieser expliziten Darstellung resultiert auch eine zeitliche Abhängigkeit. Während das Wort „Kamera“ über unsere Vorstellung ein aktuelles Bild einer Kamera erzeugt, ist eine gezeichnete Kamera zeitlich fixiert. Wenn Fritz Kahn das Auge als Kamera zeichnet, benutzt er dazu eine Kamera, die heute veraltet ist (*Abbildung 2*). Ähnlich verhält es sich mit weiteren Komponenten seines Bildes. Das liegt daran, dass sich der Zeichner beim Bild auf eine bestimmte Kamera festlegen muss, was für einen Text nicht gilt. Das Wort kann seine Bedeutung frei über die Vorstellung entfalten. Obwohl auch das Bild über die Vorstellung gedeutet wird, wirkt es als Abbild doch immer auch direkt über die Ähnlichkeit, mimetisch zu einem Gegenstand. Auch bei der visuellen Metapher gilt die Einteilung in explizite und implizite Metaphern. Visuelle Metaphern enthalten häufig implizite, versteckte Metaphern. Eine ist die Metapher des „Stammbaums“ oder die Einfärbung von Atomen (rot für Sauerstoff, weiss für Wasserstoff usw.).

### **Fallbeispiel: Der Mensch als Industriepalast**

Das Bild überwältigt, fasziniert, wirkt abstossend. Das bekannteste Bild aus Fritz Kahns Lehrbuch „Das Leben des Menschen“ ist die Wandtafel der „Mensch als Industriepalast“ (*Abbildung 2*), die dem vierten Band des Buchs beilag. Der Arzt und Schriftsteller Fritz Kahn (1888-1968) hat seine populärwissenschaftlichen Lehrbücher zu Themen der Physiologie, Anatomie, Chemie und Biologie mit zahlreichen expliziten Metaphern und Analogien bebildet. Kahn war ganz offensichtlich davon überzeugt, dass Metaphern die beste Möglichkeit darstellten, Wissen anschaulich zu vermitteln. Das Bild erinnert an Jacques de Vaucansons mechanische Ente aus dem 18. Jahrhundert, die Getreide fressen und verdauen konnte. Gezeigt wird ein maschinell betriebener Mensch, der aus Zahnrädern, Röhren, Pumpen, Schaltkreisen, Düsen und Motoren besteht. Und doch funktioniert diese Maschine nicht voll automatisiert: 21 Homunculi (strikt männlich) betreiben die Maschine. Vor allem im phrenologisch aufgeteilten Gehirn werden sie benötigt. Ob diese Helfermännchen wohl auch selbst kleine Industriepalästchen sind, welche dann wieder weitere Homunculi enthalten (und so weiter)?

Die Abbildung ist eine Sammlung expliziter, visueller Metaphern. Das Auge ist eine Kamera, die Speicheldrüse eine Düse, die Leber ein Lagerraum, das Herz eine Pumpe. Und das nicht sprachlich, sondern tatsächlich. Die grosse Anzahl widerspiegelt Kahns verspielte Vorliebe für explizit-anschauliche Metaphern und Analogien. Die explizite Darstellung durch die visuellen Metaphern hat die interessante Eigenschaft, uns eindrücklich die vielen Metaphern zu Teilbereichen des Körpers vor Augen zu führen, die in der Wissenschaft Verwendung finden. Die explizite Darstellung führt dazu, die Metaphern kritisch zu betrachten: Sollen alle diese Prozesse derart mechanistisch und reduktionistisch erklärt werden? Ist der

Mensch eine Maschine? Die impliziten, konventionalisierten Metaphern haben diese Eigenschaft nicht und regen uns viel weniger dazu an, unsere Vorstellungen zu hinterfragen.

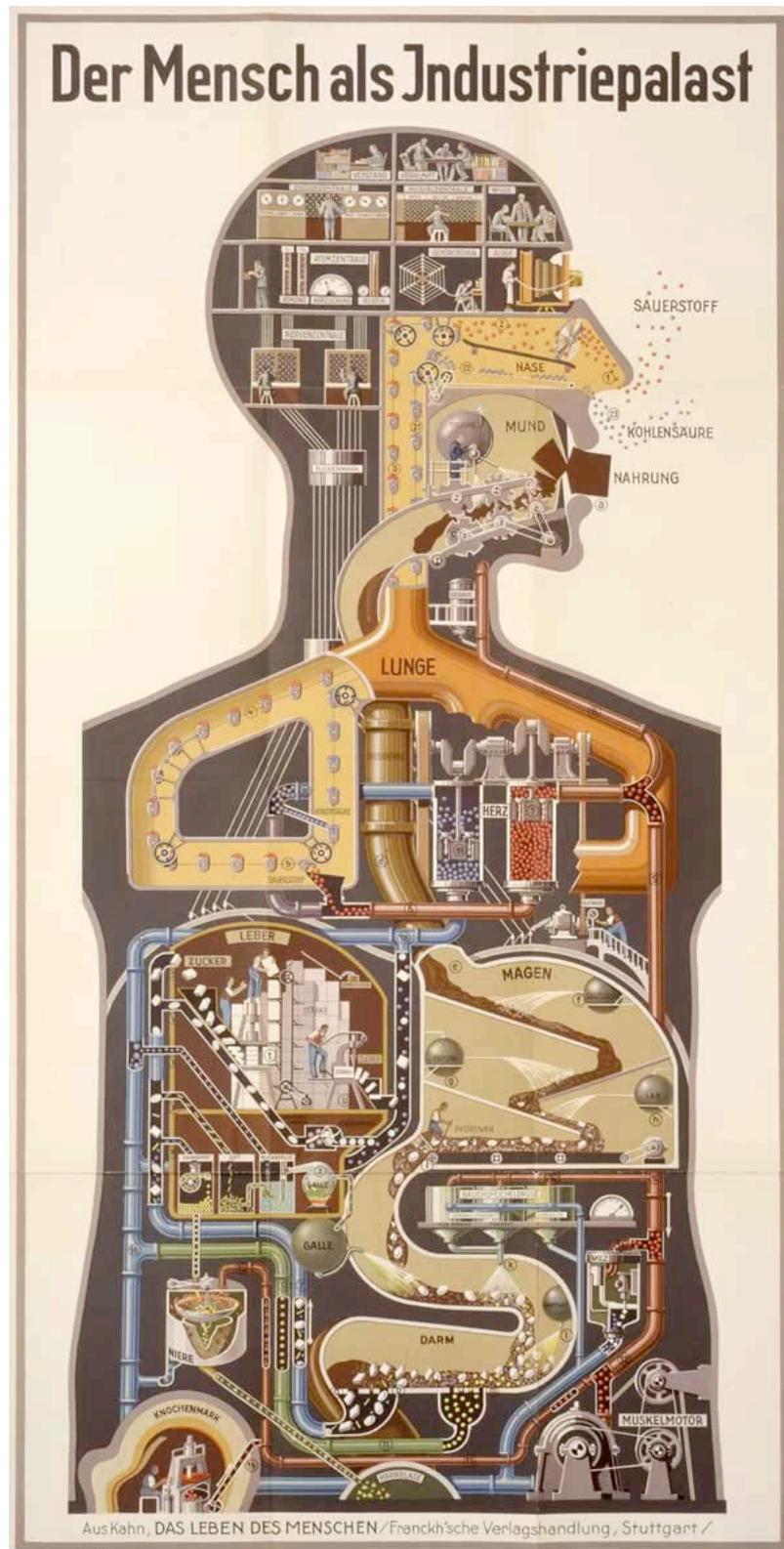


Abbildung 2. Der Mensch als Industriepalast (Kahn, 1923).

„Der Mensch als Industriepalast“ eignet sich hervorragend, um die zeitliche Abhängigkeit von visuellen Metaphern und ganz allgemein von wissenschaftlichen Bildern zu zeigen. Die alttümliche Kamera als Auge, die analogen Anzeigetafeln, die manuelle Bedienung der Schalttafeln, die aus der Mode gekommene Kleidung der Männchen und die Sprechanlagen demonstrieren dies eindrücklich. Gäbe man heute einem Künstler den Auftrag, einen Menschen als „Industriepalast“ (oder Maschine) darzustellen, müsste mit einem anderen Resultat gerechnet werden. Das Auge wäre dann vielleicht eine digitale Kamera, die Erinnerung eine Harddisk mit neuronalem Netz, die Nerven Glasfaserkabel – man vergleiche mit James Camerons *Terminator*. Kahns Metaphern sind jedoch nicht alle veraltet. Das Herz als „Pumpe“ und der Kreislauf als „Röhrensystem“ sind beide seit William Harvey geläufig und werden auch heute so weiter verwendet. Während der Inhalt der visuellen Metapher der Pumpe für das Herz konstant blieb, hat sich die Form seit Harvey jedoch verändert. Heute könnte man sich unter einer Pumpe ein miniaturisiertes, Prozessor-gesteuertes, Batterie-getriebenes System vorstellen, früher benutzte man als Bild eine manuell betriebene Wasserpumpe. Die Metapher ist mittlerweile zu technischer Wirklichkeit geworden: „Kunstherzen“ werden herzkranken Menschen eingepflanzt, auch wenn sie das menschliche Herz noch nicht ganz zu ersetzen vermögen, sondern erst unterstützen.

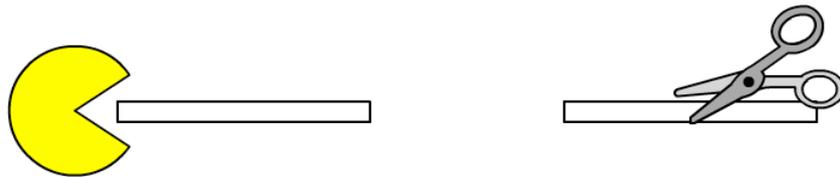
Das Bild führt noch eine weitere Eigenschaft der Metaphern vor Augen, die metaphorische Konsistenz. Es handelt sich um ein in sich abgeschlossenes System von Metaphern, die alle in einem semantischen Rahmen zusammenpassen. Metaphorische Konsistenz ist weit verbreitet. Ein Paradebeispiel ist wiederum die Textmetaphorik in der Molekularbiologie. Die DNA ist ein Code, der aus Wörtern des genetischen Alphabets geschrieben ist, die gelesen werden, der Code wird dechiffriert, der Code hat Druckfehler, wird gegengelesen, korrigiert und so fort (vgl. Kay, 2005).

### **Fallbeispiel: Visuelle Metaphern für Enzyme: „Pacman“ und Schere**

Enzyme werden in wissenschaftlichen Publikationen mit einer Vielfalt von Metaphern und Vergleichen erklärt: Enzyme sind „molekulare Maschinen“ (Goodsell, 1994), welche hochspezifisch chemische Reaktionen katalysieren. Sie setzen dabei ein Substrat (z.B. ein kleines Molekül) zu einem oder mehreren Produkten um. Dazu müssen die Substrate einen „Energiehügel“, „Energieberg“, eine „Energiebarriere“ oder eine „Energieschwelle“ (Schroedinger, 1946) überwinden. Die Substrate müssen in das Enzym wie eine „Schraube in eine Mutter“ passen, wie ein „Schlüssel in ein Schloss“ (Emil Fischer, 1894) oder wie eine „Hand in einen Handschuh“ (Daniel Koshland, 1958). Dabei bindet das Substrat an eine spezielle Stelle des Enzyms, die „Active Site“ oder „Bindungstasche“ (siehe oben) und bildet einen Übergangszustand. Der Übergangszustand ist ein energetischer Zustand zwischen Substrat und Produkt und weist eine höhere Energie auf. Enzyme erniedrigen diese Energieschwelle und erhöhen damit die Geschwindigkeit der Reaktion durch Stabilisierung des Übergangszustandes. Das Substrat bindet im Übergangszustand am besten an das Enzym.

Es gibt eine bestimmte Klasse von Enzymen, die auch als „verdauende Enzyme“ oder Hydrolasen bezeichnet werden. Diese finden sich z.B. im Darm und haben dort

die Funktion, Nahrungsmittelbestandteile, wie zum Beispiel Proteine zu zerkleinern, indem sie deren chemische Bindungen auflösen. Diese Enzyme sind nicht auf den Darm limitiert, sie sind vielmehr ubiquitär im Körper verteilt und nehmen eine Vielzahl von Funktionen wahr. Sie katalysieren die Hydrolyse, d.h. die Spaltung einer chemischen Substanz mit Wasser. Dabei werden zwei Edukte, Wasser und ein Substrat, zu zwei oder mehreren Produkten umgesetzt. Für die Darstellung der verdauenden Enzyme in wissenschaftlichen Bildern haben sich zwei metaphorische Symbole durchgesetzt, der „Pacman“ und die Schere (*Abbildung 3*).



**Abbildung 3.** Visuelle Metaphern für Enzyme. Links ist die Pacman-Metapher dargestellt, rechts die Scheren-Metapher. Beide sind im Begriff, ein Substrat zu „zerschneiden“ (Bild: A. Vögli).

Eine populäre Darstellungsart für verdauende Enzyme die Figur, die heute als „Pacman“ bekannt ist. Bei diesem Beispiel ist interessant, dass das Symbol seit 1981 nicht nur für Enzyme benutzt wird, sondern auch für die Figur eines Computer- und Spielhallenspiels. Das Symbol wurde nämlich bereits vor der Erfindung von Pacman verwendet (siehe zum Beispiel bei (Spector & Baltimore, 1975, S. 31). Heute hingegen ist diese Figur als „Pacman“ bekannt und deshalb ist Pacman heute eine Metapher für Enzyme. Ein solches Beispiel findet sich z.B. in einem Artikel in *Nature* von 2004 (Tollervey, 2004). Dort steht der Pacman für ein verdauendes Enzym und ist zusätzlich mit einem Auge versehen. Pacman wurde 1981 vom japanischen Spielautomatenhersteller Namco lanciert. Er ist eine der weltweit bekanntesten Computerspielfiguren. Die Figur besteht aus einem gelben Kreis, aus dem ein dreieckiges Stück, das Maul symbolisierend, herausgeschnitten wurde. Der Erfinder soll dabei an eine Pizza gedacht haben. Im Spiel öffnet und schliesst Pacman sein Maul unablässig. Der Spieler hat die Aufgabe, ihn durch ein begrenztes Spielfeld zu steuern und alle kleinen Rechtecke zu fressen, die auf dem Spielfeld verteilt sind. Manchmal erscheinen auch Früchte im Spielfeld, die auch gefressen werden sollen. Pacman wird beim Fressen durch Geister behindert, die nicht berührt werden dürfen. Er kann auch die Geister fressen, nachdem er magische Kugeln gefressen hat, welche in kleiner begrenzter Anzahl vorhanden sind. Diese Beschreibung macht es deutlich: Pacmas auffälligstes Merkmal ist das Fressen. Was bedeutet es nun, wenn Pacman als visuelle Metapher für Enzyme verwendet wird? Die Figur kann unterschiedliche Assoziationen hervorrufen. Einerseits steht Pacman für Fressen und Verdauen. Er verkörpert damit die Funktion eines Verdauungsenyms im Darm, das Nahrungsmittel durch wiederholtes „Beissen“ oder Fressen in kleine Stücke zerkleinert. Pacman wird aber auch dann verwendet, wenn es darum geht, einen einzelnen, spezifischen Schnitt zu symbolisieren. Das „Maul“ schneidet dann das Substrat in zwei Teile und führt eigentlich einen Schnitt aus. Diese Symbolik findet sich wie erwähnt bereits vor der Erfindung von Pacman. Es besteht eine Diskrepanz zwischen den Assoziationen des

„auffressenden“ Pacmans und der ursprünglichen Visualisierung der Figur, die eher die Funktion einer Schere vermitteln wollte. Streng genommen hinkt nämlich der Vergleich der Funktion von Pacman und Enzym, weil Pacman seine „Substrate“ nicht auseinander beisst, sondern auffrisst und ohne Überreste verschwinden lässt, während das Enzym aus einer Einheit zwei oder mehrere hervorbringt. Auch der Vergleich mit dem Maul hinkt, welches das Substrat durch die Bewegung der Kiefer auseinander schneidet. Ein Enzym stabilisiert einen Übergangszustand und ermöglicht so eine chemische Reaktion. Es findet keine mechanische Bewegung statt, bei der das Peptid aktiv durch zwei Untereinheiten des Enzyms auseinander geschnitten würde.

Eine weitere visuelle Metaphern für verdauende oder „schneidende“ Enzyme ist die Schere (eines von vielen Beispielen findet sich bei Waugh, 2005, S. 319). Scheren bestehen aus zwei Blättern, die sich durch Bewegung an einer Schraube oder an einem anderen Verbindungsstück gegeneinander verschieben lassen. Die Bewegung wird mit den Fingern einer Hand ausgeführt, welche sich in den sogenannten Augen der Schere befinden. In der Regel ist eines der Blätter geschliffen, eines ungeschliffen. Scheren dienen dazu, Dinge zu zerschneiden oder etwas auszuschneiden. Eine Schere ruft deshalb primär die Assoziation des „Schneidens“ hervor. Sie zerteilen eine Einheit in zwei oder mehrere Teile. Die Schere führt in der Regel einen definierten, klaren, spezifizierten Schnitt an einer bestimmten Stelle aus. Die Schere als Metapher für Enzyme zeigt die Funktion des Enzyms, einen Schnitt an einer definierten Stelle des Substrats auszuführen. Scheren können sogar wie Enzyme für ihre Substrate (Papier, Haare, Plastik usw.) „spezifisch“ sein. Die Analogie des Mechanismus des Schneidens hinkt allerdings auch hier: Die sich zueinander bewegenden Scherenblätter reflektieren in keiner Weise den Mechanismus des Übergangszustandes einer enzymatischen Reaktion.

Dieser Vergleich der beiden visuellen Metaphern für Enzyme demonstriert, wie unterschiedliche Metaphern unterschiedliche Eigenschaften eines Sachverhalts hervorheben; der unspezifische, fressende und verdauende Pacman einerseits und der spezifische teilende Schnitt der Schere andererseits. Er zeigt auch, dass Metaphern nicht in allen Eigenschaften übereinstimmen müssen und dies sogar für zentrale Elemente gilt. Bei den vorliegenden Beispielen gilt dies insbesondere in Bezug auf den Mechanismus des „Schneidens“, der beim Enzym in ganz anderer Weise funktioniert als bei der Schere oder beim Pacman. Schliesslich ist die Qualität einer Metapher von verschiedenen Faktoren abhängig. Die Belegung des Symbols durch den „Pacman“ hat die Bedeutung des sekundären Subjekts so verändert, dass sich die Metapher vom Schneiden zum Fressen verändert hat.

### 3.1.1.3 Schlussfolgerungen und praktische Hinweise

Die zentrale Schlussfolgerung aus dieser Betrachtung ist die Forderung nach einer *bewussten Wahrnehmung und Anwendung* der wissenschaftlichen Metaphern beim Lesen und Schreiben wissenschaftlicher Texte und bei der Rezeption und beim Erstellen wissenschaftlicher Bilder.

Es wurde gezeigt, dass Metaphern einen Sachverhalt organisieren, also einiges hervorheben und anderes unterdrücken. Die bewusste Auswahl einer Metapher ermöglicht, einen Sachverhalt wie beabsichtigt darzustellen und ihn bestmöglichst zu

kommunizieren. Sie ermöglicht es zudem auch, Interpretationen eines Sachverhalts durch einen Wechsel der Metapher zu überprüfen, indem ein Sachverhalt aus einer anderen Perspektive betrachtet wird.

Metaphern sind ein hervorragendes Überzeugungsmittel, insbesondere dann, wenn sie innerhalb eines konsistenten metaphorischen Visualisierungssystems verwendet werden. Häufig lässt sich die Populärwissenschaft an ihrer Metaphernfülle erkennen. Dass etwas bildlich einleuchtend und stimmig präsentiert wird, bedeutet allerdings nicht, dass es auch wahr und durchführbar ist. Eine bewusste Wahrnehmung ermöglicht Scheinargumente zu erkennen und zu hinterfragen. Zugleich sollte beim Schreiben wissenschaftlicher Texte die Anwendung von Metaphern überprüft werden. Soll zum Beispiel „Krieg“ gegen Mikroben geführt werden? Mit sprachlichen Waffen aus dem Golfkrieg? In solchen Fällen ist es trotz der wichtigen Funktionen der Metaphern in der Wissenschaft besser, etwas wörtlich und sachlich zu beschreiben.

#### 3.1.1.4 Referenzen

Benga G. Birth of water channel proteins – the aquaporins. *Cell Biology International*, **2003**, 27, 701-709

Black M. *Metaphors and models: studies in language and philosophy*. Ithaca: Cornell University Press, **1972**

Black M. More about metaphor. In: Ortony A. (Hrsg.) *Metaphor and thought*. Cambridge, London, New York, Melbourne: Cambridge University Press, **1979**

Boyd R. Metaphor and theory change: What is „metaphor“ a metaphor for? In: Ortony A. (Hrsg.) *Metaphor and thought*. Cambridge, London, New York, Melbourne: Cambridge University Press, **1979**

Bretscher M.S. The molecules of the cell membrane. *Scientific American*, **1985**, 253(4), 100-108

Brown T. L. *Making truth. Metaphor in science*. Urbana: University of Illinois Press, **2003**

Chen Z., Li Y., Chen E., Hall D.L., Darke P.L., Culberson C., Shafer J.A. & Kuo L.C. Crystal structure at 1.9-Å resolution of human immunodeficiency virus (HIV) II protease complexed with L-735,524, an orally bioavailable inhibitor of the HIV proteases. *Journal of Biological Chemistry*, **1994**, 26344-26348

Chew M.K. & Laublicher M.D. Natural enemies – metaphor or misconception? *Science*, **2003**, 301, 52-53

Coen E. *The art of genes. How organisms make themselves*. Oxford: Oxford University Press, **1999**

Doyle D.A., Cabral J.M., Pfuetzner R.A., Kuo A., Gulbis J. M., Cohen S. L., Chait B.T. & MacKinnon R. The structure of the potassium channel: molecular basis of K<sup>+</sup> conduction and selectivity. *Science*, **1998**, 280, 69

Draaisma D. Die Metaphernmaschine. Eine Geschichte des Gedächtnisses. Darmstadt: Primus, **1999**

Drexler E.K. Engines of creation. London: Fourth Estate, **1990**

Ehrlich P. Ansprache bei Einweihung des Georg-Speyer-Hauses, 1906. In: Himmelwelt F. The collected papers of Paul Ehrlich. Volume III – Chemotherapy. London, Oxford, New York, Paris: Pergamon Press, **1960**

Fischer E. Einfluss der Configuration auf die Wirkung der Enzyme. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, **1894**, 27(3), 2985-2993

Fleck L. Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Frankfurt am Main: Suhrkamp, **1980** (1. Ausgabe 1935 bei Schwabe, Basel)

Gentner D. Are scientific analogies metaphors? In: Miall D.S. (Hrsg.) Metaphor: problems and perspectives. Brighton: Harvester Press, **1982**

Gipper H. Zur Problematik der Fachsprachen. Ein Beitrag aus sprachwissenschaftlicher Sicht. In: Engel U., Grebe P. & Rupp H. (Hrsg.) Festschrift für Hugo Moser. Düsseldorf: Pädagogischer Verlag Schwann, **1969**

Gonick L. & Wheelis M. Genetik in Cartoons. Berlin und Hamburg: Parey, **1986**

Goodsell D.S. Labor Zelle: Molekulare Prozesse des Lebens. Berlin (etc.): Springer, **1994**

Hodgkin A.L. & Keynes R.D. The potassium permeability of a giant nerve fibre. *The Journal of Physiology*, **1955**, 128, 61-88

Iding M.K. How analogies foster learning from science texts. *Instructional Science*, **1997**, 25, 233-253

Jardetzky O. Simple allosteric model for membrane pumps. *Nature*, **1966**, 211, 969-970

Kahn F. Das Leben des Menschen. Stuttgart: Kosmos Gesellschaft der Naturfreunde, **1923**

Kay L.E. Cybernetics, information, life: the emergence of scriptural representations of heredity. *Configurations*, **1997**, 5(1), 23-91

Kay L.E. Das Buch des Lebens. Wer schrieb den genetischen Code? Frankfurt am Main: Suhrkamp, **2005**

Kendrew J. Der Faden des Lebens. Einführung in die Molekularbiologie. München: Nymphenburger Verlagshandlung, **1967**

Koshland, D.E. Application of a theory of enzyme specificity to protein synthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **1958**, 44, 98-104

Luria S.E. Leben – das unvollendete Experiment. München, Zürich: Piper, **1974**

Mayer R. & Weingart B. (Hrsg.) Virus! Mutationen einer Metapher. Bielefeld: transcript, **2004**

Milburn C.: Nanotechnology in the age of posthuman engineering: science fiction as science. *Configurations*, **2002**, 10, 261-295

Miller C. See potassium run. *Nature*, **2001**, 414, 23-24

Nelkin D. & Lindee M.S. The DNA mystique. New York: W.H. Freeman, **1995**

Roth B.L., Sheffler D.J. & Kroeze W.K. Magic shotguns versus magic bullets: selectively non-selective drugs for mood disorders and schizophrenia. *Nature Reviews Drug Discovery*, **2004**, 3(4), 353-359

Sarasin P. Die Visualisierung des Feindes. Über metaphorische Technologien der frühen Bakteriologie. *Geschichte und Gesellschaft*, **2004**, 30, 250-276

Sarasin P. „Anthrax“. Bioterror als Phantasma. Frankfurt am Main: Suhrkamp, **2004**

Schell H. Outburst! A chilling true story about emerging virus narratives and pandemic social change. *Configurations*, **1997**, 5(1), 93-133

Schroedinger E. Was ist Leben? Die lebende Zelle aus den Augen eines Physikers betrachtet. Bern: A. Francke, **1946**

Sengupta S., Eavarone D., Capila I., Zhao G., Watson N., Kiziltepe T. & Sasisekharan R. Temporal targeting of tumour cells and neovasculature with a nanoscale delivery system. *Nature*, **2005**, 436, 568-572

Skou J.C. The identification of the sodium pump. *Bioscience Reports*, **1998**, 18(4), 155-169

Sontag S. Krankheit als Metapher & Aids und seine Metaphern. München, Wien: Carl Hanser, **2003**

Spector D.H. & Baltimore D. The molecular biology of the poliovirus. *Scientific American*, **1975**, 232(5)

Stryer L. Biochemistry 4<sup>th</sup> edition. New York: W.H. Freeman, **1995**

Tollervey D. Termination by torpedo. *Nature*, **2004**, 232, 456-457

Watson J. & Crick F. Molecular structure of nucleic acid. A structure for desoxyribose nucleic acid. *Nature*, **1953**, 171, 737-738

Waugh D.S. Making the most of affinity tags. *Trends in Biotechnology*, **2005**, 23(6), 316-320

Yamashita A., Singh S., Kawate T., Jin Y. & Gouaux E. Crystal structure of a bacterial homologue of Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup> - dependent neurotransmitter transporters. *Nature*, **2005**, 437, 215-223

### 3.1.2 Modelle

Vorsicht, macht blind.

–Titel eines molekularen Modells von Methanol an der Hochschule  
für Gestaltung und Kunst in Basel.

#### 3.1.2.1 Beobachtungen und Fragestellungen

Der Begriff „Modell“ wird in den Naturwissenschaften häufig und in sehr unterschiedlichen Zusammenhängen verwendet. Ein Modell ist zum Beispiel: Ein Molekülmodell aus Plastik; eine mathematische Formel; die Sonnensystem-Atom-Analogie oder auch die Illustration eines Virus.

Ausgehend von solchen Beispielen wurde beobachtet, dass offensichtlich enge Beziehungen zwischen bestimmten Modellen und wissenschaftlichen Bildern bestehen. So entstehen etwa wissenschaftliche Bilder aus mathematischen Formeln und Abbildungen der molekularen Ebene werden ebenfalls gerne als „Modelle“ bezeichnet.

Modelle wurden anhand dieser Fragestellungen untersucht:

- Wie sind wissenschaftliche Modelle definiert und charakterisiert?
- Wie lassen sie sich einteilen?
- Welche Funktionen haben Modelle in der Wissenschaft?
- Welche Beziehungen bestehen zwischen Modellen und wissenschaftlichen Bildern?

#### 3.1.2.2 Resultate

Modelle können als Beschreibungen eines Phänomens oder Objekts definiert werden, welche den Zugang zu diesem Phänomen erleichtern (Definition nach Bailer-Jones, 2002). Zur Einteilung werden Modelle mit vielen Adjektiven versehen. So wird in der Literatur zum Beispiel von massstäblichen, gegenständlichen, wörtlichen, mathematischen, formalen, analogen oder metaphorischen Modellen gesprochen. Zu einer besseren Übersicht können sie in *gegenständliche* und *theoretische* Modelle unterteilt werden, die sich weiter klassifizieren lassen. Dabei ist zu beachten, dass häufig Überschneidungen vorliegen. So kann ein gegenständliches Modell in der Regel auch theoretische Aspekte umfassen.

#### **Gegenständliche Modelle**

Manche Modelle sind gegenständliche Objekte, zum Beispiel das Modellhaus aus Karton im Architekturbüro oder die vergrößerte Steckmücke zu Demonstrationszwecken beim Facharzt für Reisemedizin. Solche Modelle sind in der Regel massstäblich, d.h. ihre Grössenverhältnisse sind proportional skaliert. Das

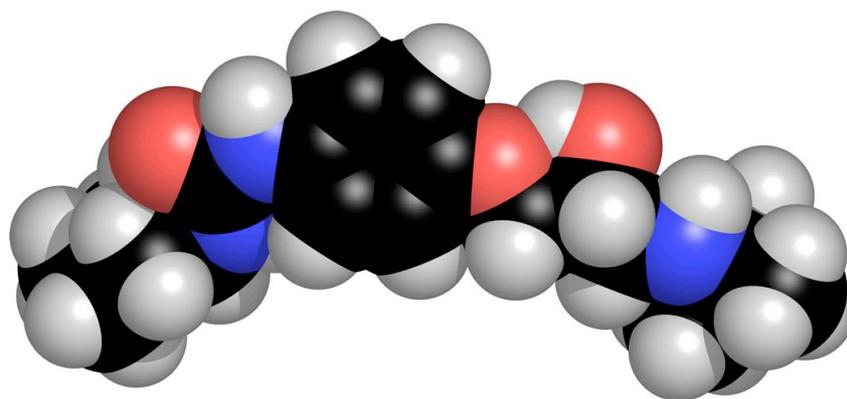
Modellhaus ist ein Beispiel für eine Verkleinerung des Originals, die Stechmücke ein Beispiel für eine Vergrößerung. Dazwischen liegt der Spezialfall: Modelle können in der Grösse identisch gross sein wie das Original, wie etwa anatomische Modelle aus Plastik. Wie bei der Grösse gibt es auch bei der Funktion und den Eigenschaften eines gegenständlichen Modells in Bezug auf das Original Unterschiede. Modelle können dem Original sehr nahe kommen, bisweilen sind sie bis auf wenige Unterschiede identisch.

Meist sind Modelle jedoch einfacher oder abstrakter als die Originale, weil gerade dies die Voraussetzung ist, um ein komplexes, wissenschaftliches Problem zu lösen. Ein Modell ist meist von geringem Nutzen, wenn es von der gleichen Komplexität wie das Original ist.

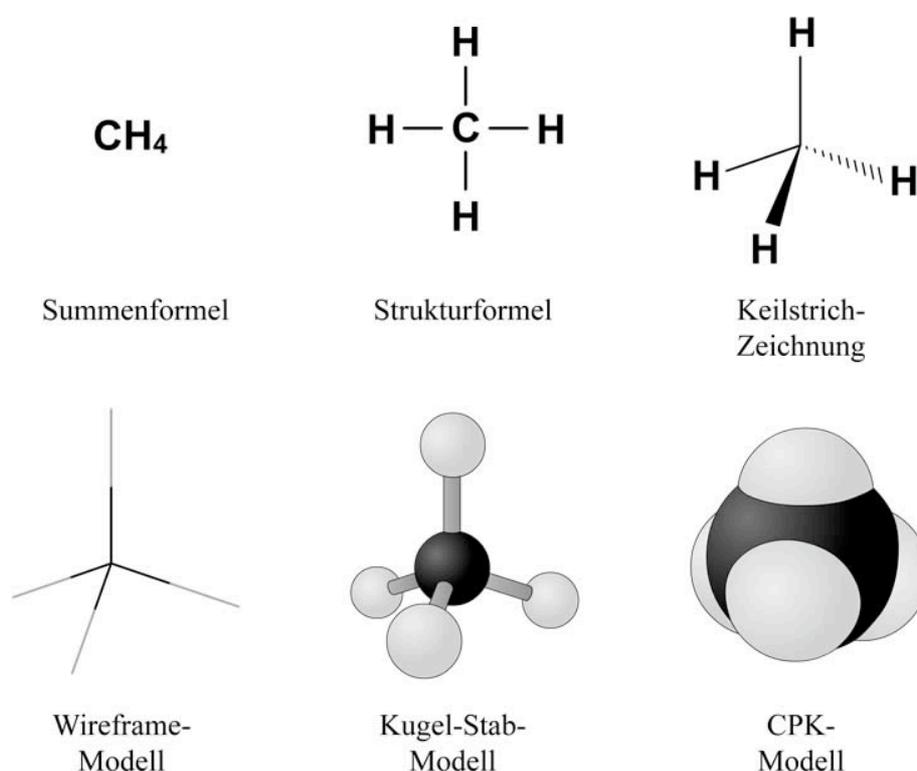
Die Unterschiede zwischen Modell und Original haben weitreichende Konsequenzen: Das Modellhaus kann nicht bewohnt werden, die grosse Stechmücke kann nicht fliegen und das Organ aus Plastik lebt nicht. Wenn es aber das Ziel ist, vom Modell auf das Original Rückschlüsse zu ziehen, müssen diese Unterschiede berücksichtigt werden. Wie diese einbezogen werden, wird später diskutiert.

### **Fallbeispiel: Gegenständliche Modelle von Molekülen**

Chemiker sind untrennbar mit gegenständlichen Modellen verbunden. So ist das Bild des Chemikers, der ein molekulares Modell in den Händen hält oder neben einem Molekülmodell steht, ein zentrales Element der westlichen Wissenschaftsikonographie. Einige bekannte Beispiele sind etwa Pauling mit der Alpha-Helix, Kendrew mit Myoglobin und natürlich Watson und Crick neben der DNA (eine detaillierte Übersicht zu molekularen Modellen findet sich bei Francoeur, 1997). Unterschiedliche Typen von molekularen Modellen, welche als Metaphern unterschiedliche Eigenschaften der Moleküle hervorheben, haben sich durchgesetzt (*Abbildung 5*). Beim Kugel-Stab-Modell werden die Atome durch kleine Kugeln ersetzt und die Bindungen zwischen den Atomen durch Stäbe. Die Radien der Kugeln sind nicht proportional zu den Atomradien, sondern kleiner. Die Betonung liegt hier vor allem auf der Geometrie der Bindungen. Die Kugeln können auch weggelassen werden, so dass nur die Stäbe, die die Bindungen repräsentieren, übrig bleiben. Dabei wird von *Wireframe* („Drahtgestell“) oder *Skeletal Models* gesprochen. Bei CPK-Modellen (*Kalottenmodelle*, *Scale-Models*, *Space-Filling Models*) werden die Atome durch Kugeln ersetzt, die direkt proportional zu den Radien der Atome sind. Die Kugeln bestehen in der Regel aus Holz oder Plastik und sind nach bestimmten Konventionen eingefärbt. So ist zum Beispiel Kohlenstoff schwarz, Sauerstoff rot und Wasserstoff weiss. Atome in einem Molekül sind miteinander mit einer oder mehreren Bindungen verbunden. Bestimmte Elemente gehen gemäss ihrer Valenz unterschiedlich viele Bindungen ein. Wenn ein Kohlenstoffatom über vier einfache Bindungen mit umliegenden Atomen verknüpft ist, geht es vier Bindungen mit einer tetrahedralen Anordnung der Bindungspartner ein. Im Kalottenmodell wird die Verbindung so erreicht, dass die Kugeln dort, wo die Atome Bindungen eingehen, abgeschragt werden. So treffen zwei Flächen aufeinander, die miteinander mittels eines Verbindungsstücks verbunden werden können. Das verwendete Verbindungsstück ist beim fertigen Modell dann kaum oder gar nicht mehr sichtbar.



**Abbildung 4.** CPK-Modell des Blutdrucksenkenden Wirkstoffs Talinolol. Die Elemente sind wie folgt eingefärbt: Kohlenstoff: schwarz, Wasserstoff: weiss, Sauerstoff: rot, Stickstoff: blau. Die Darstellungskonventionen dieses Computer-generierten Bildes folgen den gegenständlichen Modellen (Bild erstellt mit PyMOL, <http://pymol.sourceforge.net>).



**Abbildung 5.** Molekulare Modelle von Methan. Die Bilder der unteren Spalte verwenden die Darstellungskonventionen gegenständlicher Modelle (Bild: A. Vögtli).

Die Ursprünge der Kalottenmodelle liegen in den 30er Jahren des 20. Jahrhundert. Herbert Arthur Stuart und Joseph Hirschfelder hatten die ersten Bausätze entworfen. Bekannter sind heute vor allem die CPK-Modelle, benannt nach Robert Corey, Linus Pauling und Walter Koltun (Corey & Pauling, 1953; Koltun, 1965). Corey und Pauling begannen mit der Arbeit an den ersten, sog. CP-Modellen, nach dem zweiten Weltkrieg am California Institute of Technology. Die Modelle begleiteten ihre Untersuchungen zur Struktur der Proteine. Im Jahr 1950 und 1951 publizierten Corey

und Pauling insgesamt neun Artikel mit den Resultaten zur Proteinstruktur – insbesondere der Alpha-Helix und des Beta-Faltblatts. Ihre CP-Modelle spielten bei der Aufklärung der räumlichen Anordnung der Proteine eine wichtige Rolle:

„In this study our molecular models have been of great assistance, especially in the recognition of sterically probable configurations of the polypeptide chain and the rejection of sterically improable ones.“ (Corey & Pauling, 1953, S. 621)

Die CP-Modelle wurden vor allem durch Pauling selbst popularisiert, der gerne mit ihnen auf Photographien posierte oder sie in Vorlesungen vorzeigte. Pauling hatte die Grundidee für die Struktur der Alpha-Helix schon Ende der vierziger Jahre, als er mit einer Erkältung einige Tage im Bett verbrachte. Er erzählte folgende Geschichte über diese bahnbrechende Entdeckung (Pauling, zitiert aus Eisenberg, 2003, S. 11209):

„I didn't have any molecular models with me in Oxford but I took a sheet of paper and sketched the atoms with the bonds between them and then folded the paper to bend one bond at the right angle, what I thought it should be relative to the other, and kept doing this, making a helix, until I could form hydrogen bonds between one turn of the helix and the next turn of the helix, and it only took a few hours of doing that to discover the  $\alpha$ -helix.“

Paulings und Coreys erfolgreiche Verwendung von Modellen bei der Aufklärung molekularer Strukturen hat auch Watson und Crick bei der Strukturaufklärung der DNA entscheidend beeinflusst (Struktur der DNA). Dazu die vielzitierte Aussage von Watson (Watson, 1969, S. 78):

„Der Schlüssel zu Paulings Erfolg war sein Vertrauen auf die einfachen Gesetze der Strukturchemie. Die Alpha-Spirale war nicht durch ewiges Anstarren von Röntgenaufnahmen gefunden worden. Der entscheidende Trick bestand vielmehr darin, sich zu fragen, welche Atome gern nebeneinander sitzen. Statt Bleistift und Papier war das wichtigste Werkzeug bei dieser Arbeit ein Satz von Molekülmodellen, die auf den ersten Blick dem Spielzeug der Kindergarten-Kinder glichen. Wir sahen also keinen Grund, warum wir das DNS-Problem nicht auf die gleiche Weise lösen sollten.“

Wie für Pauling war das Modell auch für Watson und Crick ein Mittel, um mit gegenständlichen Objekten auf molekularer Ebene zu experimentieren. Damit konnte auskundschaftet werden, welche Strukturen sterisch möglich und sinnvoll waren. Wie bei einem Puzzle konnten modulare Bausteine gemäss bestimmten experimentellen und theoretischen Regeln miteinander kombiniert werden. Als Watson schliesslich zur Erkenntnis der Basenpaarung über Wasserstoffbrücken gelangte und damit den Schlüssel zur Aufklärung der Struktur in der Hand hielt, stellte er fest:

„Wir wussten jedoch beide, dass wir nicht am Ziel waren, bevor wir nicht ein vollständiges Modell gebaut hatten, in dem alle stereochemischen Kontakte einwandfrei waren“ (Watson, 1969, S. 244)

Das Modell war für die Untersuchung der Struktur nicht nur Illustration, sondern ein notwendiges Werkzeug. Dies galt allerdings nur so lange, bis es „richtig“ zusammengesetzt, berechnet und vermessen war. Wie beim Puzzle, das richtig

zusammengesetzt ein schönes Bild ergibt, diente auch das Modell bei Watson und Crick nach dem Stadium des Experimentierens und Theoretisierens vor allem zum Zweck der Demonstration und Überzeugung.

Den Bausteinen kommt bei den molekularen Modellen eine wichtige Rolle zu. Sie bestimmen, welche Atome in welcher Geometrie und Grössenverhältnissen miteinander verknüpft werden können. Sie beruhen auf experimentellen Befunden und theoretischen Schlussfolgerungen. Die resultierenden Modelle sind Hypothesen, Annahmen und Theorien, die zu konkreten Gegenständen geworden sind. Einiges an ihnen mag falsch oder widersprüchlich sein. Diese Tatsache geht sehr einfach vergessen, wenn man ein gegenständliches, reales Objekt in den Händen hält. Zwischen der Realität des Objekts und der Realität des Originals besteht zuweilen eine grosse Kluft. Die ersten Modelle von Corey und Pauling zum Beispiel waren alles andere als perfekt: Sie waren sehr teuer und wiesen fachliche und technische Mängel auf (Platt, 1960; Koltun, 1965). Im Jahr 1960 trat eine Expertengruppe unter der Leitung des National Institute of Health zusammen, der auch der Biophysiker Walter Koltun angehörte. Ziele dieser Expertengruppe waren die Modifikation und Standardisierung der bestehenden CP-Modelle sowie die verbilligte Produktion. Die neuen Modelle wurden von Koltun 1965 beschrieben und erhielten den Namen „New Corey-Pauling Space-Filling Models with Koltun Connectors“ oder abgekürzt Corey-Pauling-Koltun (CPK) Modelle (Koltun, 1965). Um die fachliche Richtigkeit waren führende Wissenschaftler besorgt (Francoeur, 1997).

### **Beziehungen gegenständlicher Modelle zu wissenschaftlichen Bildern**

Aus gegenständlichen Modellen entstehen wissenschaftliche Bilder. Einerseits dienen die Modelle als Vorlage zum Abzeichnen, andererseits werden die Darstellungskonventionen auch in Computerprogrammen benutzt, welche Bilder von molekularen Strukturen berechnen.

Wissenschaftliche Illustratoren benutzen gegenständliche Modelle als Hilfsmittel oder Vorlage zur Erstellung von Bildern (Chase in Hodges, 2003). Modelle werden aus verschiedenen Materialien konstruiert, zum Beispiel aus Ton, Wachs, Plastik oder Metallen. Ein Modell kann auch von einem Original abgegossen werden. Es werden auch bestehende Modelle, z.B. aus Museen verwendet. Die Verwendung von Modellen bringt verschiedene Vorteile. Wird ein Modell entsprechend positioniert und beleuchtet, erleichtert es das naturalistische Zeichnen resp. Malen. Die Licht-Schattenverhältnisse, die Perspektive und die Grössenverhältnisse können so sehr einfach vom Modell übernommen werden. Modelle werden aber auch häufig verwendet, wenn komplizierte Strukturen oder Unsichtbares gezeichnet werden soll, wie zum Beispiel in der Molekularbiologie. Der wissenschaftliche Illustrator George V. Kelvin, der in der 80er Jahren unter anderem zwei einflussreiche Illustrationen des HI-Virus (HIV, *Human Immunodeficiency Virus*) erstellt hat, machte häufig Gebrauch von Modellen und hat ihre Verwendung auch in einem Buch beschrieben (Kelvin, 1992). In seinen Bildern sind gebogene Drähte für die Nukleinsäuren und Ping-Pong Bälle für Proteine erkennbar.

Die diskutierten Molekülmodelle der Chemie, zum Beispiel das Kugel-Stab Modell oder das CPK-Modell, dienen als Vorlagen für Bilder. Besonders erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang der Illustrator Irving Geis. Geis prägte über Jahrzehnte die naturalistische Darstellung von Proteinen und Nukleinsäuren. Er arbeitete ab 1948 beim *Scientific American* als Illustrator und wurde schnell dafür bekannt, dass er sich an schwierige Projekte wagte, vor denen andere Illustratoren zurückschreckten. Aus diesem Grund wurde Geis angefragt, als es darum ging, einen Artikel von John Kendrew über Myoglobin zu illustrieren (Gaber & Goodsell, 1997). John Kendrew hatte die Struktur dieses Proteins nach jahrelanger Forschung aufgeklärt und ein Drahtmodell davon gebaut. Geis fertigte seine Illustration ausgehend von Photographien des Modells von Kendrew an. Für die Fertigstellung der Illustration benötigte er sechs Monate und schuf einen Meilenstein in der Visualisierung von Proteinen. Geis' Darstellungsform von Myoglobin und Hämoglobin (welches er später ebenfalls ausgehend von einem gegenständlichen Modell anfertigte) sind heute immer noch in Lehrbüchern in Gebrauch. Es ist interessant, den Weg von der damaligen Illustration zur heutigen Lehrbuchdarstellung nachzuvollziehen: Die „neuen“ Lehrbuchdarstellungen sind Nachzeichnungen von Geis' Gemälden, für die eine Photographie eines gegenständlichen Modells als Vorlage diente. Das gegenständliche Modell seinerseits war aus instrumentellen Messungen und Berechnungen gewonnen worden. Während Geis Bilder von chemischen Strukturen und Proteinen von Hand zeichnete und malte, werden heute solche Bilder vor allem mit Computern berechnet, wie zum Beispiel auch der pharmazeutische Wirkstoff in *Abbildung 4*. Damit ist die zweite Möglichkeit aufgezeigt, wie aus gegenständlichen Modellen wissenschaftliche Bilder entstehen können. Die Darstellungsformen der berechneten Modelle am Computer sind keineswegs neu: Es werden die alten Darstellungsformen der ehemals gegenständlichen Modelle weiterverwendet.

Gegenständliche Modelle haben also einen grossen Einfluss auf die Erstellung von wissenschaftlichen Bildern und die Entstehung von Darstellungskonventionen. Viele Bilder der Molekularbiologie und der Chemie, die in wissenschaftlichen Publikationen Verwendung finden, sind eigentlich *direkte oder indirekte Abbilder gegenständlicher Modelle* oder verwenden deren Darstellungskonventionen.

### **Theoretische Modelle**

Nun ist die Mehrzahl der Modelle in der Wissenschaft nicht gegenständlich, sondern theoretisch-abstrakt. Zu diesen werden unter anderem die metaphorischen, die analogen und die mathematischen Modelle gezählt. Auch hier bestehen unter den verschiedenen Kategorien Verbindungen und Überschneidungen. So können etwa mathematische Modelle Analogien beinhalten. Welches sind die Eigenschaften von theoretischen Modellen und wie unterscheiden sie sich von den gegenständlichen? Wie stehen die theoretischen Modelle mit den wissenschaftlichen Bildern in Zusammenhang?

### Fallbeispiel: Ein mathematisches Modell des radioaktiven Zerfalls

Als Beispiel eines theoretischen Modells wird im Folgenden der radioaktive Zerfall von Isotopen betrachtet. Isotope sind chemische Elemente, die sich in der Anzahl Neutronen im Atomkern unterscheiden. Die Anzahl an Protonen und Elektronen von verschiedenen Isotopen eines Elements ist identisch. Von Kohlenstoff existieren beispielsweise die Isotope  $^{12}\text{C}$  und  $^{14}\text{C}$ , die sich lediglich durch zwei Neutronen unterscheiden. Die erhöhte Anzahl Neutronen hat Auswirkungen auf die Stabilität: Das radioaktive Isotop zerfällt unter Abgabe von Energie in ein anderes Element, nämlich Stickstoff  $^{15}\text{N}$ .



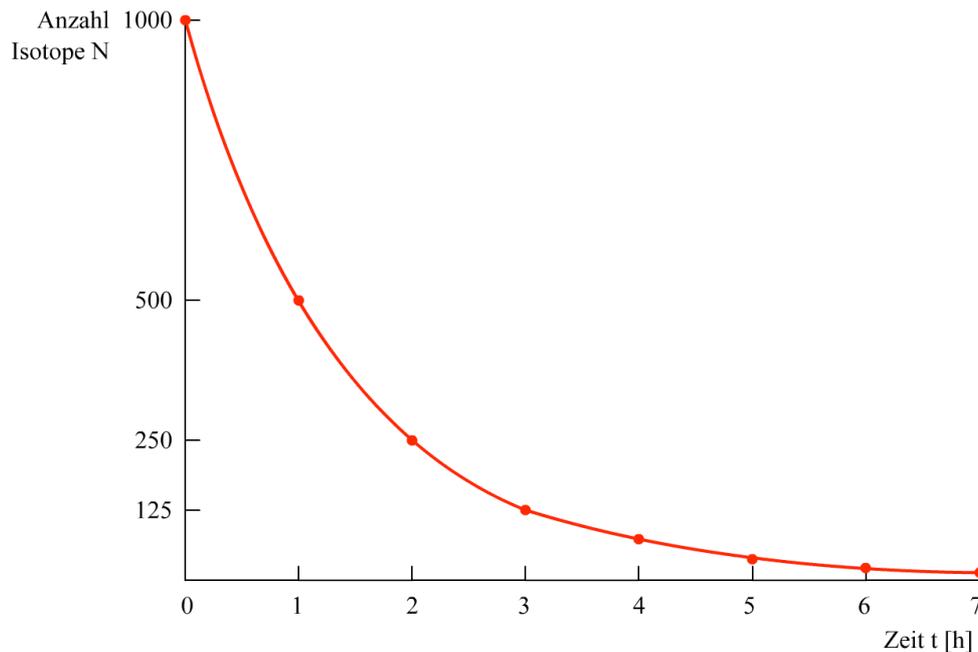
Im Falle von  $^{14}\text{C}$  verläuft dieser Prozess allerdings relativ langsam. Die vorhandene Menge Kohlenstoff-14 wird ungefähr alle 5500 Jahre halbiert. Man spricht deshalb von einer Halbwertszeit ( $t_{1/2}$ ) von 5500 Jahren. Diese kann bei anderen Isotopen nur Sekunden oder auch Milliarden von Jahren betragen. Ein Beispiel für ein Isotop mit einer sehr langen Halbwertszeit ist Uran-238. Sie beträgt etwa 4.5 Milliarden Jahre. Der radioaktive Zerfall wird mit einem mathematischen Modell beschrieben, das auf Ernest Rutherford und seinen Assistenten Frederick Soddy (Rutherford & Soddy, 1902) zurückgeht. Sie hatten den Zerfall von radioaktiven Elementen gemessen und die Intensität der Radioaktivität graphisch dargestellt. So wurde deutlich, dass die Radioaktivität unabhängig von äusseren Einflüssen in Funktion der Zeit abnahm. Jedes Isotop hat zu jedem Zeitpunkt dieselbe Wahrscheinlichkeit zu zerfallen. Daraus liess sich das folgende einfache mathematische Modell gewinnen:

$$N(t) = N_0 e^{-kt}$$

Das Modell geht von einer initialen Anzahl Isotope  $N_0$  aus. Bei fortschreitender Zeit  $t$  nimmt die Anzahl Isotope durch radioaktiven Zerfall ab. Die Menge der Isotope, die in einer bestimmten Zeitspanne zerfallen, ist zu jeder Zeit der Menge der noch nicht zerfallenen Isotope proportional. Daraus resultiert eine exponentielle Abnahme der Anzahl Isotope (*Abbildung 6*). Die Geschwindigkeitskonstante  $k$  determiniert die Geschwindigkeit des Zerfalls. Aus  $k$  kann auch die Halbwertszeit  $t_{1/2}$  berechnet werden (und umgekehrt):

$$t_{1/2} = \ln 2 / k = 0.693 / k$$

In der ersten Halbwertszeit zerfällt die Hälfte der initialen Anzahl Isotope  $N_0$ . Mit jeder weiteren Halbwertszeit zerfällt die Hälfte der noch vorhandenen Isotope. Beim Beispiel in *Abbildung 6* beträgt die Halbwertszeit eine Stunde und die initiale Anzahl Isotope  $N_0$  1000. Nach einer Stunde enthält die Probe noch 500 Isotope, nach zwei Stunden (= zwei Halbwertszeiten) noch 250 Isotope und so fort.



**Abbildung 6.** Der radioaktive Zerfall von Isotopen (Bild: A. Vögtli).

Welche Eigenschaften hat ein solches mathematisches Modell? Zunächst eröffnet es die Möglichkeiten, *Vorhersagen* über den originalen Sachverhalt abzulesen und Fragestellungen nachzugehen. Wenn die Halbwertszeit bekannt ist, besteht die Möglichkeit vorherzusagen, wie lange es dauern wird, bis ein Kilogramm eines radioaktiven Materials zerfallen sein wird. Dazu muss das Modell allerdings *valide* sein. Das Modell muss dieselben oder vergleichbare Aussagen wie das Original liefern. Dies kann mittels einer *Validierung* getestet werden. Im Fall des Modells des radioaktiven Zerfalls können Vorhersagen direkt an einem Original mit kurzer Halbwertszeit getestet werden. Rutherford hatte solche Validierungen durchgeführt und experimentelle und berechnete Werte verglichen. Diese Werte können mit statistischen Methoden ausgewertet werden. So kann eine Aussage über die Validität des Modells gewonnen werden.

Dieses mathematische Modell ist höchst abstrakt und konzentriert sich auf wenige Teilaspekte der Isotope und ihrer Radioaktivität, während eine ganze Reihe anderer Aspekte ignoriert werden. Das Modell macht keinerlei Aussagen über den nukleären Mechanismus des Zerfalls, die Art der freigesetzten Energie oder deren Folgen für die Gesundheit des Menschen. Es ist sogar unabhängig vom Isotop selbst! Mit einem Modell können daher alle Prozesse beschrieben werden, die nach demselben Prinzip funktionieren. In der Pharmakologie zum Beispiel wird exakt dasselbe Modell verwendet, um den Prozess der Aufnahme (der *Absorption*) von Arzneimitteln aus dem Darm ins Blut zu beschreiben. Hier wird von einer bestimmten initialen Anzahl Moleküle im Darm ausgegangen, die mit einer bestimmten Geschwindigkeit vom Darm ins Blut transportiert werden. Es liegt eine Analogie auf der Ebene der Geschwindigkeit vor, obwohl oberflächlich betrachtet die zwei Domänen Radioaktivität und Arzneimittelabsorption nicht unterschiedlicher sein könnten. Mit der Abstraktion geht auch eine gewisse *Idealisierung* einher. Das Modell wurde ausgehend von instrumentellen Messungen erstellt, bei denen einzelne Punkte der

Kurve gewonnen und mathematisch idealisiert beschrieben wurden. Die mathematische Funktion ist eine Annäherung an die Messergebnisse – oder umgekehrt: „The activity (...) decreases very approximately in a geometrical progression with the time“ (Rutherford & Soddy, 1902). Die mathematische Kurve wird damit eine Approximation der Realität. Eine Messung des radioaktiven Zerfalls oder der Arzneimittelabsorption wird selten oder nie eine ideal-typische Abbildung wie in *Abbildung 6* ergeben. Das liegt daran, dass durch die Abstraktion nicht alle Parameter berücksichtigt werden. Dieses Modell der Arzneimittelabsorption berücksichtigt beispielsweise den energieabhängigen Transport von Arzneimitteln in das Blut durch Transportproteine nicht. Dieser verläuft schneller als das Modell vorhersagen würde.

### Theoretische Modelle und wissenschaftliche Bilder

Welchen Zusammenhang gibt es zwischen theoretischen Modellen und wissenschaftlichen Bildern? Etablierte theoretische Modelle sind verknüpft mit einer Anzahl von kanonischen Bildern und damit umgeben von einer *kanonischen Bildsphäre*. Beim radioaktiven Zerfall ist das am häufigsten verwendete Bild das errechnete Diagramm der mathematischen Funktion (*Abbildung 6*). Von diesem Diagramm-Typus existieren zahlreiche Exemplare, die in den Grundzügen immer sehr ähnlich bleiben. In der Regel wird die exponentiell absinkende Kurve in Halbwertszeiten gegliedert. Bei der Kurve handelt es sich um eine Idealisierung. Diagramme von Messergebnissen werden hingegen seltener dargestellt.

Neben den logischen Bildern (Diagrammen und Charts) finden auch schematische und naturalistische Bilder Verwendung. Hier haben sich zwei didaktische kanonische Bilder etabliert: Zum einen wird die mathematische Funktion didaktisch visualisiert, um sie anschaulich – ohne Mathematik und Diagramme – verständlich zu machen. Dazu werden zunächst eine Anzahl Kreise für die Darstellung der Isotope verwendet. Mit zunehmender Zeit, häufig abhängig von der Halbwertszeit, wird eine zunehmende Anzahl dieser Kreise (oder Isotope) anderes eingefärbt, so dass am Schluss nur noch wenige oder keine der ursprünglichen Isotope vorhanden (eingefärbt) sind, sondern nur noch die aus ihnen entstandenen Produkte. Genauso wie eine mathematische Funktion statt mit einer Formel auch mit Worten beschrieben werden kann, kann ein Diagramm auch mit einem schematischen Bild erklärt werden. Diese Art der Darstellung findet sich naturgemäss vor allem in Lehrbüchern oder in der Populärwissenschaft. In Lehrbüchern sind auch Photographien (z.B. von Rutherford), chemische Formeln und Reaktionen und Kombinationen der Bilder gebräuchlich.

Alle diese Bilder gehören zum inneren Kreis der kanonischen Darstellungen des Modells. Daneben gibt einen erweiterten Kreis von Bildern zum radioaktiven Zerfall oder zur Radioaktivität, bei dem wiederum logische, schematische und naturalistische Bilder, Photographien, chemische Strukturen und Kombinationen verwendet werden. Zu diesen gehören zum Beispiel schematische Bilder, die den Mechanismus des Zerfalls zeigen, aber auch Bilder von Atomkraftwerken.

Es lässt sich allgemein zeigen, dass theoretische Modelle von einer kanonischen Bildsphäre umgeben sind. Diese beinhaltet Bilder, die sich in unterschiedlich starkem Ausmass auf das Modell beziehen. Die Bilder haben eine ganze Reihe von

Funktionen: Neben Darstellungs-, Kommunikations-, Erklär-, Lern- und Aufmerksamkeits-Funktionen sind es auch emotionale Funktionen.

**Tabelle 3.** Die kanonische Bildsphäre des radioaktiven Zerfalls

---

## **1. Logische Bilder**

### **1.1. Diagramme**

Errechnete Diagramme der mathematischen Funktion („Zerfallskurve“)

Rutherfords Messergebnisse

erweitert: Stabilität der Isotope in Abhängigkeit von Anzahl Protonen und Neutronen

### **1.2. Charts**

Zerfallskarten

erweitert: Radiocarbon-Methode

## **2. Schematische und naturalistische Bilder**

Didaktische Darstellungen des Zerfalls: quantitative Darstellungen des Zerfalls

Rutherfords Messgeräte

erweitert: Atomkern mit Strahlung und Partikeln

## **3. Photographien**

Personen: Ernest Rutherford, Henri Bequerel, Marie und Pierre Curie

Labors, Laborgeräte

erweitert: Atomkraftwerk, Atombombe, Tschernobyl

## **4. Chemische Strukturen und Reaktionen, Formeln**

Umsetzung der Isotope in Zerfallsprodukte

Formeln

## **5. Kombinationen**

Kombinationen aus Diagramm und schematischem Bild

---

## Zusammenfassende Eigenschaften von Modellen

Unabhängig davon, ob Modelle gegenständlich oder theoretisch sind, stehen sie in einer bestimmten Beziehung zur realen Welt („empirischen Wirklichkeit“). Häufig werden sie als „Repräsentationen“ oder „Spiegel“ der Wirklichkeit oder eines Originals bezeichnet. Bailer-Jones (2002) definiert sie als interpretierende Beschreibungen eines Phänomens. Welche Beziehungen liegen vor? Es werden metaphorische oder analoge Beziehungen diskutiert; entsprechend wird von *metaphorischen* und *analogen* Modellen (z.B. Bhushan & Rosenfeld, 1995) gesprochen. Ein Beispiel für ein analoges Modell ist das Tier im Tierversuch, das in der pharmazeutischen Industrie zur Testierung von Arzneimitteln verwendet wird. Hier wird der unschöne Begriff „Tiermodell“ verwendet. Die Ansichten von Wissenschaftlern zur Beziehung von Modellen zur Wirklichkeit unterscheiden sich stark (Bailer-Jones, 2002): Einige sprechen den Modellen eine enge Beziehung zur Realität zu, andere sehen überhaupt keine Beziehung.

Modelle haben *visualisierende* Eigenschaften. Sie erleichtern den Zugang zu einem abstrakten, unsichtbaren oder unzugänglichen Phänomen. Ein Molekül ist unsichtbar – das CPK-Modell erlaubt es, das Molekül zusammensetzen, zu berühren und zu betrachten. Das Modell muss dazu nicht gegenständlich sein. Auch eine mathematische Formel visualisiert und zeigt Zusammenhänge auf. Eng mit dieser Eigenschaft ist auch die *erklärende* Funktion des Modells verbunden. Modelle haben didaktische Funktionen in der Lehre und in wissenschaftlichen Publikationen. Mit Hilfe eines Wasserbads können etwa die Eigenschaften von Schallwellen verständlich gemacht werden.

Die meisten Modelle erlauben, etwas von ihnen „abzulesen“ (Black, 1972), das heisst, Informationen zu gewinnen oder Vorhersagen zu machen. Diese Informationen interessieren primär nicht in Bezug auf das Modell, sondern in Bezug auf das Original. Es wird das Ziel verfolgt, Aussagen über das Original mit Hilfe des Modells zu gewinnen. Beim CPK-Modell kann beispielsweise direkt abgelesen werden, ob bestimmte räumliche Anordnungen der Atome möglich sind oder nicht. In diesem Zusammenhang ist wichtig, dass Modelle immer nur Aspekte des Originals wiedergeben. Man spricht deshalb auch von Aspekthaftigkeit von Modellen. Sie geben keine vollständige Beschreibung eines Phänomens, sie sind *selektiv* und *abstrahierend*, vereinfachend und reduzierend. Welche Aspekte weggelassen und welche betrachtet werden, ist schwierig zu beantworten. Normalerweise wird versucht, „relevante“ oder „essentielle“ Aspekte mit einzubeziehen. Es ist aber durchaus möglich, dass durch Ignoranz etwas weggelassen wird, das durchaus relevant wäre. Damit können Modelle in gewissen Aspekten sogar im Widerspruch zu anerkannten Prinzipien und bekannten Tatsachen stehen (Bailer-Jones, 2002).

Trotzdem wird von Modellen gefordert, dass sie gegen empirische Daten, also Daten, die vom Original oder aus der realen Welt stammen, getestet und validiert werden. Es finden sich hier zwei vordergründig widersprüchliche Eigenschaften von Modellen: Einerseits haben sie, manchmal „nichts mit der Wirklichkeit zu tun“, andererseits erwartet man von ihnen, dass sie zutreffende Aussagen über die Wirklichkeit liefern.

*Validität* bedeutet, dass ein Modell identische Aussagen liefert wie das Original. Ein proportionales, massstäbliches Modell des Sonnensystems, bei dem die Planeten und die Sonne aus unterschiedlich grossen Styroporbällen bestehen, dient zwar dem Zweck, die relative Lage und die Abstände der Planeten und der Sonne zu visualisieren. Aufgrund der fehlenden Masse und damit der Gravitationskraft kann es jedoch keine direkten, ablesbaren Aussagen zur Bewegung der Himmelskörper liefern. Der Grund für die fehlende Validität liegt hier im Grössenunterschied zwischen Original und Modell. Die Validierung des Modells ist deshalb davon abhängig, ob das Original auf dieselben Aussagen getestet werden kann. Häufig sind aber die gewünschten Daten nicht zugänglich, z.B. bei historischen Ereignissen.

### 3.1.2.3 Schlussfolgerungen und praktische Hinweise

Diese Betrachtung der Modelle illustriert die Bedeutung des zentralen Themas dieser Arbeit: Die Diskussion der Form neben dem wissenschaftlichen Inhalt. Es scheint zentral, dass gegenständliche und theoretische Modelle als solche benannt und diskutiert werden. Irving Geis' Illustration von Myoglobin ist dafür ein gutes Beispiel. Besonders in der Lehre herrscht die Neigung, solche Bilder von Modellen als die „Sache an sich“, in diesem Beispiel als Myoglobin selbst zu präsentieren: „Das ist Myoglobin“. Ein wichtiger Grund dafür ist die hohe Glaubwürdigkeit von gegenständlichen Modellen aufgrund ihrer Präsenz als konkrete Objekte. Bei einer kritiklosen Identifizierung von Sachverhalt mit Modell bleiben aber wichtige Fragen unbeantwortet: Ist das Modell valide? Woher stammt es, wann wurde es entwickelt? Gibt es alternative Modelle? Welche Aspekte werden beschrieben, welche ignoriert? Die Diskussion der Modelle als solche erlaubt, diese Fragen zu beantworten und den Sachverhalt differenzierter zu diskutieren.

### 3.1.2.4 Referenzen

Bailer-Jones D.M. Naturwissenschaftliche Modelle: Von Epistemologie zu Ontologie. Argument & Analyse. Ausgewählte Sektionsvorträge des 4. Internationalen Kongresses der Gesellschaft für Analytische Philosophie, Bielefeld, **2000**

Bailer-Jones D.M. Models, metaphors and analogies. In: Machamer P. & Silberstein M. (Hrsg.) *The Blackwell guide to the philosophy of science*. Oxford: Blackwell Publishers, **2002**

Bailer-Jones D.M. Scientists' thoughts on scientific models. *Perspectives on Science*, **2002**, 10(3), 275-301

Bhushan N. & Rosenfeld S. Metaphorical Models in Chemistry. *Journal of Chemical Education*, **1995**, 72(7), 578-582

Black M. *Metaphors and models: studies in language and philosophy*. Ithaca: Cornell University Press, **1972**

Chase T.L. Model building. In: Hodges E. (Hrsg.) *The guild handbook of scientific illustration*. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons, **2003**

Corey R.B. & Pauling L. Molecular models of amino acids, peptides, and proteins. *The Review of Scientific Instruments*, **1953**, 24(8), 621-627

Eisenberg D. The discovery of the  $\alpha$ -helix and  $\beta$ -sheet, the principal structural features of proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **2003**, 100(20), 11207-11210

Francoeur E. The forgotten tool: the design and use of molecular models. *Social Studies of Science*, **1997**, 27(1), 7-40

Gaber B.P. & Goodsell D.S. Irving Geis: dean of molecular illustration. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, **1997**, 15, 57-59

Kelvin G.V. *Illustrating for science*. New York: Watson-Guptill Publications, **1992**

Koltun W. Precision space-filling atomic models. *Biopolymers*, **1965**, 3, 665-679

Platt J.R. The need for better macromolecular models. *Science*, **1960**, 131, 1309-1310

Rutherford E. & Soddy F. The cause and nature of radioactivity I. *Philosophical Magazine*, **1902**, 4, 370-396

Watson J.D. *Die Doppel-Helix*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, **1969**

### 3.1.3 Instrumente

Hält man die Hand zwischen den Entladungsapparat und den Schirm, so sieht man die dunkleren Schatten der Handknochen in dem nur wenig dunklen Schattenbild der Hand.

–Wilhelm Konrad Röntgen, 1896, S. 4

#### 3.1.3.1 Beobachtungen und Fragestellungen

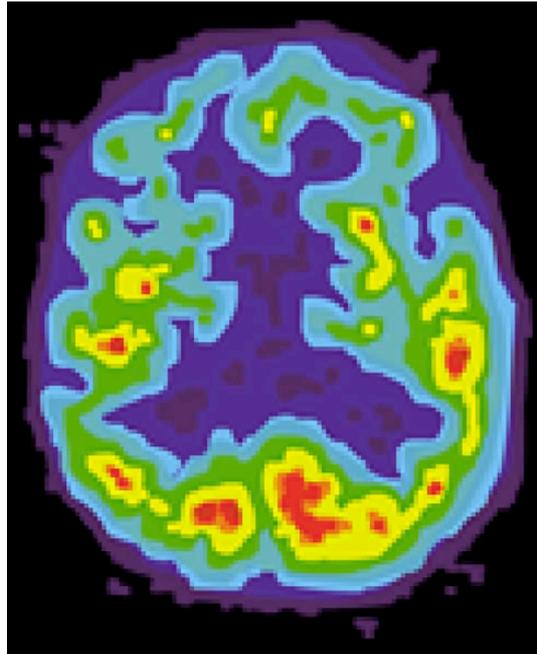
Neben sprachlichen Bildern (Metaphern) und Modellen sind *wissenschaftliche Instrumente* ein wesentliches Mittel, um unsichtbare wissenschaftliche Sachverhalte als Bilder sichtbar werden zu lassen. In Bezug auf ihre Herstellung kann versuchsweise zwischen *manuellen* und *instrumentellen* Bildern unterscheiden werden. Die manuellen Bilder werden von Hand, von einer Person mit Stiften oder mit Pinsel entworfen oder am Computer mit der Maus gezeichnet. Die instrumentellen Bilder hingegen werden von einer Maschine, einem Apparat, einem wissenschaftlichen Instrument registriert oder aufgenommen. Solche Instrumente sind zum Beispiel: Photoapparate, Videokameras, Röntgenapparate oder Spektrometer. Instrumentelle Bilder gelten als Inbegriff wissenschaftlicher Objektivität, indem sie konstruktive, subjektive, fiktive, persönliche – d.h. *manuelle* – Elemente und Eingriffe bei der Bildentstehung zu eliminieren scheinen (z.B. Daston & Galison, 2002).

Im Folgenden werden die modernen instrumentellen Bilder am Fallbeispiel der PET-Gehirnbilder untersucht. Dabei wird einerseits die Unterscheidung in manuelle und instrumentelle Bilder überprüft und andererseits werden populäre moderne instrumentelle Bilder mit der traditionellen Röntgenphotographie verglichen.

#### 3.1.3.2 Resultate

##### **Fallbeispiel: PET-Gehirnbilder**

Instrumentell gewonnene Gehirnbilder sind in den letzten Jahren vermehrt in das Interesse der Kunstgeschichte und der Medienkunst gerückt (Hagner, 2004; Internationaler Medienkunstpreis 2005). Diskutiert werden dabei häufig Bilder aus der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) und der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT, englisch fMRI). Diese Gehirnbilder sind spektakuläre Visualisierungen der Neurowissenschaften. Es sind instrumentell gewonnene, digitale Bilder, die das Unsichtbare über eine höchst komplizierte *Black Box* sichtbar werden lassen. Neben der Gehirnaktivität können auch Proteinverteilungen, metabolisch-chemische Abläufe, Verteilungen von pharmazeutischen Wirkstoffen, anatomische Ansichten und Tumore ohne die Anwendung von invasiven Techniken sichtbar gemacht werden. Die Bilder finden vor allem bei der Diagnose einer Krankheit und bei der Überwachung der Therapie, aber auch in der Pharmaindustrie bei Mensch- und Tierversuchen und bei der Gehirnforschung Verwendung.



**Abbildung 7.** Regionen der Aktivität im Gehirn. Ein PET-Gehirnbild (Bild: A. Vögli).

Hirnforschung findet breites öffentliches Interesse und die bunten Gehirnbilder tauchen deshalb seit einiger Zeit regelmässig in den Medien auf. Dabei wird berichtet, dass eine neue Hirnregion für eine bestimmte physiologische oder pathophysiologische Funktion verantwortlich gemacht werden kann. Den Meldungen beigelegt sind jeweils die instrumentell gewonnenen Hirnbilder, bei denen ein Schnittbild eines Gehirns auf schwarzem Grund dargestellt ist und die Aktivität im entsprechenden Zentrum mit gelben bis roten Farben symbolisiert wird (*Abbildung 7*). Die Hirnaktivität wird nämlich in einer konventionalisierten Darstellung der PET-Bilder in den Regenbogenfarben kodiert: von der niedrigsten Aktivität aufsteigend schwarz, violett, blau, grün, gelb, rot, manchmal bis weiss als höchste Aktivität. Diese Bilder erwecken, wie Michael Hagner es ausdrückt, den Eindruck dem Gehirn „durch ein geöffnetes Fenster beim Denken zuzusehen“ (Hagner, 2004, S. 303). Es wird uns suggeriert, dass wir das Ergebnis einer photographischen Aufzeichnung der Aktivität des Gehirns vor uns hätten, beinahe so, als sähen wir bei einem Geistesblitz die Glühbirne im Kopf aufleuchten. Es ist diese scheinbare Direktheit der Beobachtung, welche die Faszination dieser Bilder ausmacht.

In Wahrheit kann die „Aktivität“ bei dieser Methode weder direkt gesehen noch gemessen werden, ihre Aufzeichnung und Verbildlichung ist das indirekte Resultat mehrerer komplizierter physikalischer und rechnerischer Transformationen (siehe dazu auch Hagner, 2004). Bei der Aufnahme des PET-Bildes wird dem Patienten ein radioaktiv markiertes Molekül, ein sog. *Tracer* (englisch *to trace*: aufspüren, ausfindig machen), injiziert, zum Beispiel ein Glucose-Derivat, das sich im Gewebe, wie etwa im Gehirn, anreichert. Es wurde bereits diskutiert, wie radioaktive Moleküle unter Aussendung von Teilchen zerfallen. Die beim PET-Scan verwendeten Tracer haben eine kurze Halbwertszeit und zerfallen relativ schnell unter Aussendung von sogenannten *Positronen*, Teilchen von gleicher Masse wie Elektronen, aber mit einer positiven Ladung. Ein erzeugtes Positron kann im Gewebe mehrere Millimeter

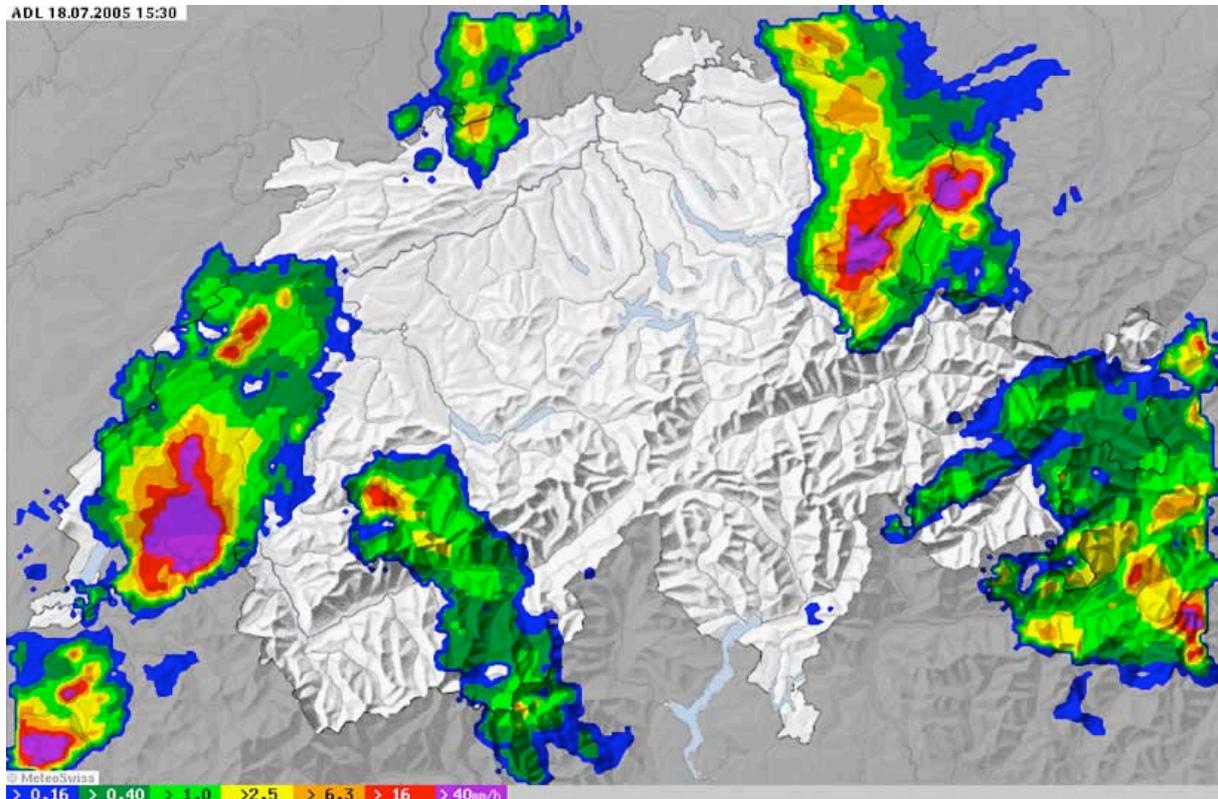
wandern, bevor es auf ein Elektron trifft. Dieses Zusammentreffen führt zum Zerfall der beiden Teilchen und zur Erzeugung von zwei Photonen, die orthogonal zur Flugbahn von Positron und Elektron und in entgegengesetzter Richtung ( $180^\circ$ ) ausgestrahlt werden. Das Photoemissionsspektrometer verfügt über hunderte kreisförmig angeordnete Koinzidenz-Detektorpaare, welche die Messung registrieren, wenn auf beiden Detektoren Photonen leicht zeitverschoben auftreffen. Über die Messung dieser Zeitdifferenz kann der Ort des Zusammentreffens von Positron und Elektron lokalisiert werden. Die Messung lässt sich auch quantifizieren, die Konzentrationen des Tracers können also berechnet werden.

Eine Aktivitätsmessung des Gehirns beruht auf der experimentell bestätigten Annahme, dass Glucose vermehrt dort verbraucht wird, wo die Nervenzellen des Gehirns aktiv sind. Sowohl der regionale zerebrale Blutfluss als auch der Metabolismus (Stoffwechsel) von Glucose sind deshalb mit der neuronalen Aktivität gekoppelt. Obwohl diese komplexe Technologie hier nur summarisch diskutiert wurde, kann festgehalten werden: Die PET-Gehirnbilder zeigen über eine indirekte Messung mit anschließender Transformation basierend auf mathematischen Modellen die Konzentration der radioaktiven Substanzen im Gehirn. Die Sichtbarmachung der Aktivität erfolgt also über zahlreiche Umwege (umfassende Übersicht zur PET bei Valk, Bailey, Townsend & Maisey, 2003).

Ist das PET-Gehirnbild ein Abbild des Gehirns? Man ist versucht, von einem solchen zu sprechen, weil das Dargestellte oberflächlich Ähnlichkeiten zu einem anatomischen Schnittbild durch Kopf und Gehirn aufweist. Bei genauerer Betrachtung wird jedoch deutlich, dass diese Interpretation nicht zutreffen kann, weil das Dargestellte – die metaphorischen farbkodierten Aktivitäten – bei einer anatomischen Untersuchung im Gehirn nicht zu finden ist. Diese Hirnbilder gleichen vielmehr einer anderen Art von Bildern, die ebenfalls Konzentrationen und Merkmale in räumlicher Anordnung wiedergeben, nämlich Karten. In der Kartographie gibt es einen bestimmten Kartentypus, der als *thematische Karte* oder als *Choropleth* bezeichnet wird. Die thematische Karte zeichnet sich dadurch aus, dass sie vor dem Hintergrund einer geographischen Karte (meist nur den Umrisslinien eines Landes und seiner Regionen) nur ein einziges oder einige wenige Merkmale hervorhebt. Meistens zeigt sie eine Verteilung und Variation, damit ein Muster oder eine Struktur eines Merkmals erkennbar wird. Dieses Muster dient als Erkenntnisinstrument: Im Vergleich mit den Mustern anderer Merkmale und der Korrelation zu diesen entfaltet sich die eigentliche Stärke der thematischen Karte. Die Darstellung mittels thematischer Karten wurde zwischen Mitte des 17. und Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelt und verfeinert. Aus dem 19. Jahrhundert sind einige berühmte Beispiele von John Snow, Charles Dupin oder Charles Minard bekannt (Robinson, 1982).

Eine thematische Karte könnte beispielsweise die Vorkommen von Öl auf einer Weltkarte darstellen. Keine Vorkommen wären mit weiss kodiert, die höchsten Vorkommen mit schwarz, dazwischen lägen verschiedene Graustufen. Zwischen einer solchen Karte und dem Gehirnbild aus dem PET-Scan besteht eine Analogie. Bei beiden Bildern handelt es sich um eine zweidimensional-räumliche Darstellung von Konzentrationen respektive Vorkommen. Beim Gehirnbild sind sie durch unterschiedliche Farben, bei der Karte durch Helligkeitsabstufungen kodiert. Bei

beiden Typen entsteht eine Art Abbild durch die rechnerische Darstellung über einen Computer. Bei der Karte ist das Abbild der Erde bereits vorgegeben und es werden lediglich die Ölvorkommen darauf eingezeichnet. Beim Gehirnbild wird das Abbild hingegen ebenfalls aus den gemessenen Daten abgeleitet.



**Abbildung 8.** Niederschlagsradarbild der Schweiz. In der Meteorologie werden häufig Regenbogenfarben zu Darstellung verwendet. In diesem Beispiel stehen die Farben für die Niederschlagsintensität (Regen, Schnee, Hagel), die mit einer Radarmessung von drei Wetterradarstationen in der Schweiz gemessen wurden. Bei diesem Beispiel ist die höchste Intensität nicht wie beim PET-Bild rot, sondern violett (© MeteoSchweiz, 2005).

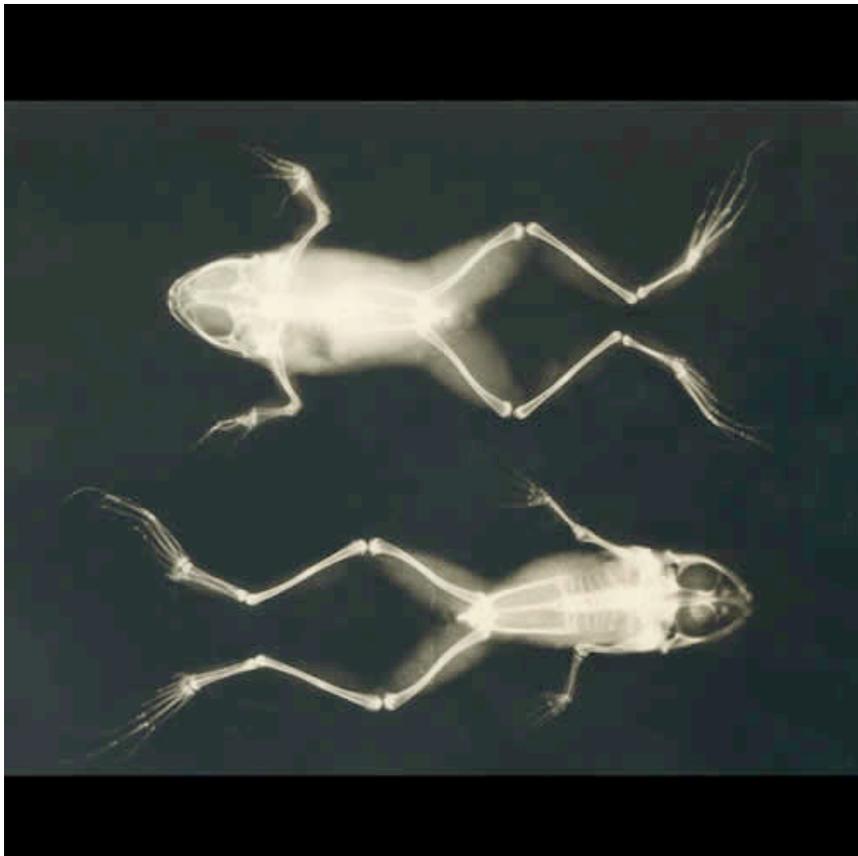
### Farbkodierung mit Spektralfarben

Es ist aufschlussreich, die Farbkodierung der Gehirnbilder etwas ausführlicher zu diskutieren. Die Farbkodierung mit den Spektralfarben, ausgehend von violett-blau bis nach rot als höchster Intensität ist insbesondere in der Physik und Technik eine ubiquitäre kanonische Darstellungsform. Sie wird häufig bei der Darstellung der Druckverteilung in Materialien oder von Fahrzeugen im Windkanal verwendet. Die Druckverteilung sieht einem Gehirnbild sehr ähnlich. Auch die Meteorologen brauchen sie häufig (*Abbildung 8*).

Das Hirnbild ist ein technisches Bild und die Regenbogenfarben ein künstliches Mittel zum Zweck und kein Designelement. Die Farbkodierung mittels der Spektralfarben ist bei einigen Kartographen und Graphikdesignern offenbar wenig beliebt (Tufte, 1997, S. 77). Der Geographieprofessor Mark Monmonier schreibt (1991, S. 21):

„Among the worst offenders are novice mapmakers seduced by the brilliant colors of computer graphics systems into using reds, blues, greens, yellows, and oranges to portray quantitative differences. Contrasting hues, however visually dramatic, are not an appropriate substitute for a logical series of easily ordered graytones. Except among physicists and professional ‚colorists,‘ who understand the relation between hue and wavelength of light, map users cannot easily and consistently organize color into an ordered sequence. And those with imperfect color vision might not even distinguish reds from greens.“

Monmonier befürchtet, der Betrachter verstehe die Farbkodierung nicht, weil er die Verbindung zu den Spektralfarben nicht herstellen oder aufgrund von Farbenblindheit die Farben nicht auseinanderhalten kann. Anstatt nach verschiedenen Farben zu ordnen, schlägt er deshalb vor, unterschiedliche Regionen mit der unterschiedlichen Helligkeit von Grau oder einer einzigen Farbe zu kodieren, wie das übrigens bei funktionellen MRT-Scans mit der Verwendung von Gelb bis Orange geschieht.



**Abbildung 9.** Frösche in Bauch- und Rückenlage. Eine Röntgenaufnahme. Die Photographie ist nach der Entwicklung überall dort geschwärzt, wo die Röntgenstrahlen aufgetroffen sind. Im photographischen Sinn handelt es sich hier deshalb um ein Negativ (Eder & Valenta, 1896; Deutsches Röntgen-Museums, Remscheid).

## Vergleich mit der Röntgenphotographie

Bezüglich der Direktheit der Messung und ihrer Darstellung ist ein Vergleich des PET-Scans mit der Bilderzeugung bei der analogen Röntgenphotographie interessant. Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923) entdeckte 1895 die „X-Strahlen“ (später: Röntgenstrahlen; engl. *X-rays*), die ermöglichten, instrumentell und nicht-invasiv einen Blick in das Innere des Körpers zu werfen. Die Röntgenstrahlen hatten die Fähigkeit, Materialien wie Papier, Bücher oder lebendes Gewebe problemlos zu durchdringen (Röntgen, 1896). Einige Materialien wie Knochen oder Metalle vermochten die Strahlung jedoch ganz oder mindestens teilweise zu absorbieren. Röntgen war es möglich, die unsichtbaren Strahlen nachzuweisen, weil sie auf einem „mit Bariumplatincyanür angestrichenen Papierschild“ im abgedunkelten Zimmer lebhaft-leuchtende Fluoreszenz hervorrief (Röntgen, 1896, S. 3). Auch photographische Platten zeigten sich empfindlich für Röntgenstrahlen, selbst wenn sie von Papier oder Holz umhüllt waren: „Man kann die Aufnahmen mit der in der Cassette, oder in einer Papierumhüllung eingeschlossenen photographischen Platte im beleuchteten Zimmer machen“ (Röntgen, 1896, S. 6). Die Photographie war deshalb sehr nützlich, weil sie den vergänglichen Schatten auf dem fluoreszierenden Schirm für die weitere Untersuchung zu fixieren vermochte. Objekte, die sich zwischen dem Apparat und der photographischen Platte befinden, wurden durchleuchtet, das Unsichtbare sichtbar: „So besitze ich z.B. Photographien von den Schatten der Profile einer Thüre, welche die Zimmer trennt, in welchen einerseits der Entladungsapparat, andererseits die photographische Platte aufgestellt waren; von den Schatten der Handknochen; von dem Schatten eines auf einer Holzspule versteckt aufgewickelten Drahtes; eines in einem Kästchen eingeschlossenen Gewichtsatzes (...)“ (Röntgen, 1896, S. 11).

Wenn beispielsweise Frösche von der Röntgenstrahlung bestrahlt werden und sich hinter ihnen eine photographische Platte befindet, wird die Platte abhängig von der Intensität überall dort aktiviert, wo die Strahlung auftrifft. Man könnte hier also im weitesten Sinn auch von einer Intensitätsmessung sprechen. Da etwa die Knochen der Frösche die Strahlung absorbieren, bleibt die Aufnahme an dieser Stelle weiss (*Abbildung 9*; Eder und Valenta, 1896). Eine solche Aufnahme entspricht photographisch einem Negativ, weil die Schwärzung nach der Entwicklung dort am grössten ist, wo die Intensität der Strahlung am höchsten war. Röntgenphotographien werden manchmal auch als Positive entwickelt, die Knochen erscheinen dann grau bis schwarz.

In Abhängigkeit der Durchlässigkeit entsteht bei der Röntgenphotographie eine photographische Aufnahme mit einem fast direkten, kausal-physikalischen Bezug zum Objekt, ähnlich einem Fussabdruck im Sand. Röntgens Formulierung des „Schattens“ deutet auch auf diese Direktheit der Aufnahme. In der Semiotik wird diese Beziehung vom Zeichen zum Objekt *indexikalisch* genannt. Als Einschränkung soll hier allerdings noch angeführt werden, dass die photographische Aufnahme erst bei der Entwicklung des latenten Bilds sichtbar wird.

Der Weg zum PET-Bild ist indirekter und komplizierter als bei der Röntgenphotographie. Das PET-Bild kommt über mehrere physikalisch-technische

und rechnerische Umwege zustande und verwendet konventionelle metaphorische Elemente zur Darstellung.

Auch weitere moderne instrumentelle Visualisierungstechniken verwenden diese metaphorischen und konstruktiven Elemente zur Verbildlichung. Dazu gehört unter anderem das Rastertunnelmikroskop im neuen Forschungsgebiet der Nanotechnologie (Heckl, 2004), die Röntgenkristallographie zur Visualisierung molekularer Strukturen (*Abbildung 16*) und die modernen medizinischen bildgebenden Instrumente. Die Volkswagen-Stiftung (1998) präsentierte im Bildband „Ansichten Einsichten Modelle“ aktuelle Bilder aus der Forschung. Von den 56 Abbildungen zeigen fast zwei Drittel das Dargestellte nicht „direkt“, etwa als Photographie eines Objekts, sondern über den Umweg der mathematischen Berechnung, der visuellen Metapher, der aktiven Bearbeitung und der digitalen Manipulation. „Digitale Bilder kehren kategorial in den Rahmen der Malerei zurück, aus dem sich die wissenschaftliche Photographie scheinbar gelöst hatte“ (Bredekamp, 2004; vgl. Mitchell, 1992). Die Photographie etablierte sich im 19. Jahrhundert im Vergleich mit der Zeichnung als ideales Mittel zur mechanisch-objektiven Darstellung. Der Sachverhalt prägte sich scheinbar ohne menschliche und subjektive Eingriffe des Wissenschaftlers in der lichtempfindlichen Schicht ein. In den modernen instrumentellen Bildern vermischt sich jedoch wieder manuelles und instrumentelles. Die zu Beginn postulierte Trennung zwischen manuellen und instrumentellen wissenschaftlichen Bildern wird also plötzlich unscharf.

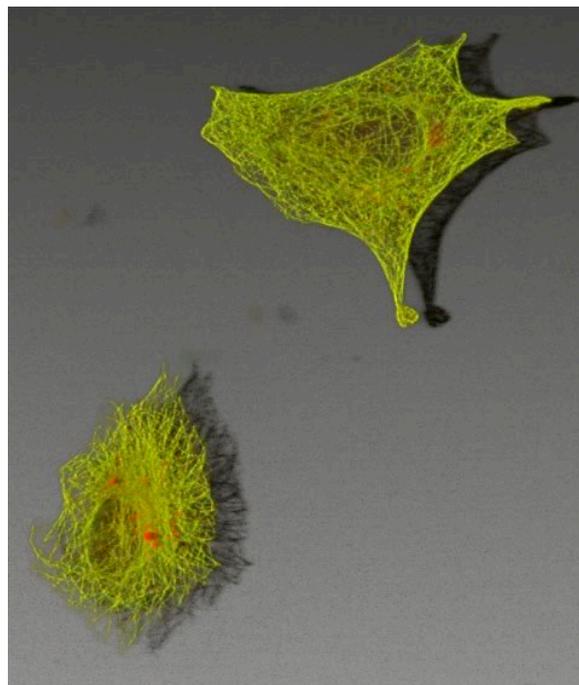
### **Das moderne instrumentelle Bild ist digital und gerastert**

Bei den wissenschaftlichen Instrumenten hat in den letzten Jahren ein grundlegender Wandel stattgefunden. Ein Beispiel ist die Spektroskopie. Vor wenigen Jahren wurden Geräte benutzt, bei denen sich ein eingespannter Filzstift auf einem vorbeiziehenden Papier mechanisch auf und ab bewegte und eine Messkurve registrierte. Heute ist an diesen Geräten ein Computer angeschlossen, der die Werte automatisch registriert, die Kurve am Bildschirm erzeugt und schliesslich am Drucker ausdruckt. Das moderne instrumentelle Bild ist digital. Digital bedeutet hier auch gerastert: An die Stelle der kontinuierlichen Linie des Filzstiftes tritt ein kartesisches Netz. Bilder sind aufgeteilt in diskrete Bildpunkte (Pixel). Der Unterschied zwischen der traditionellen Photographie und der Digitalphotographie wird gerne mit einer Vergrößerung illustriert. Wird das digitale Rasterbild am Bildschirm vergrössert, werden die quadratischen Einheiten des Bildes sichtbar. Dabei ist die quadratische Form allerdings nur eine Visualisierung, denn Pixel sind eigentlich Punkte oder Zahlen. Das Pixel ermöglicht die Speicherung im Computer in einer definierten Anzahl Bits pro Pixel und Pixel pro Bild. Diese Zahlenbilder können beliebig kopiert und durch Ändern der Zahlen manipuliert werden (eine Übersicht zu den digitalen Bildern findet sich bei Mitchell, 1992).

Ein leuchtendes Beispiel für die neuen, digitalen instrumentellen Techniken ist die konfokale Mikroskopie mit Fluoreszenzfärbung (*Abbildung 10*). Bei dieser Variante der Mikroskopie werden Strukturen in einer lebenden oder toten Zelle mit Fluoreszenzfarbstoffen angefärbt. Bei der Bestrahlung mit dem Licht eines Lasers senden die Farbstoffe Licht aus, welches von einem Detektor gemessen wird. Die Färbung des Objekts erfolgt wenn möglich selektiv. Das bedeutet, dass nur diejenigen

Strukturen, welche beobachtet werden sollen, auch angefärbt werden, zum Beispiel durch Bindung von Antikörpern, die an Fluoreszenzfarbstoffe gekoppelt sind. So kann zum Beispiel visuell beobachtet werden, ob ein Arzneimittel in eine Zelle aufgenommen wird oder nicht. Ein weiteres Beispiel ist der Ablauf der Zellteilung, der durch selektive Beobachtung der beteiligten Proteine studiert werden kann (Übersicht über die Technik z.B. bei Pawley, 1995). Die Bilder der konfokalen Mikroskopie sind meist klar und sehr gut aufgelöst. Im Gegensatz zur traditionellen Fluoreszenzmikroskopie wird bei dieser Apparatur eine Lochblende verwendet. Damit wird erreicht, dass nur Licht der aktuell beobachteten Brennebene gesammelt wird. Unfokussiertes Licht ausserhalb der Brennebene wird hingegen ausgeblendet.

Das instrumentelle Bild entsteht nicht als Ganzes, sondern durch Abtastung. Das eingestrahlte Licht stammt von einem Laser, der Punkt für Punkt und Linie für Linie der Brennebene bestrahlt. Die dabei entstehende Fluoreszenz strahlt durch die Lochblende und wird vom Detektor gemessen und digital als ein Pixel (oder „Voxel“, ein dreidimensionales Pixel) gespeichert. Die Maschine „sieht“ oder registriert somit zu keinem Zeitpunkt das ganze Bild, sondern immer nur einen einzigen Punkt, ein einzelnes Steinchen des Mosaiks.

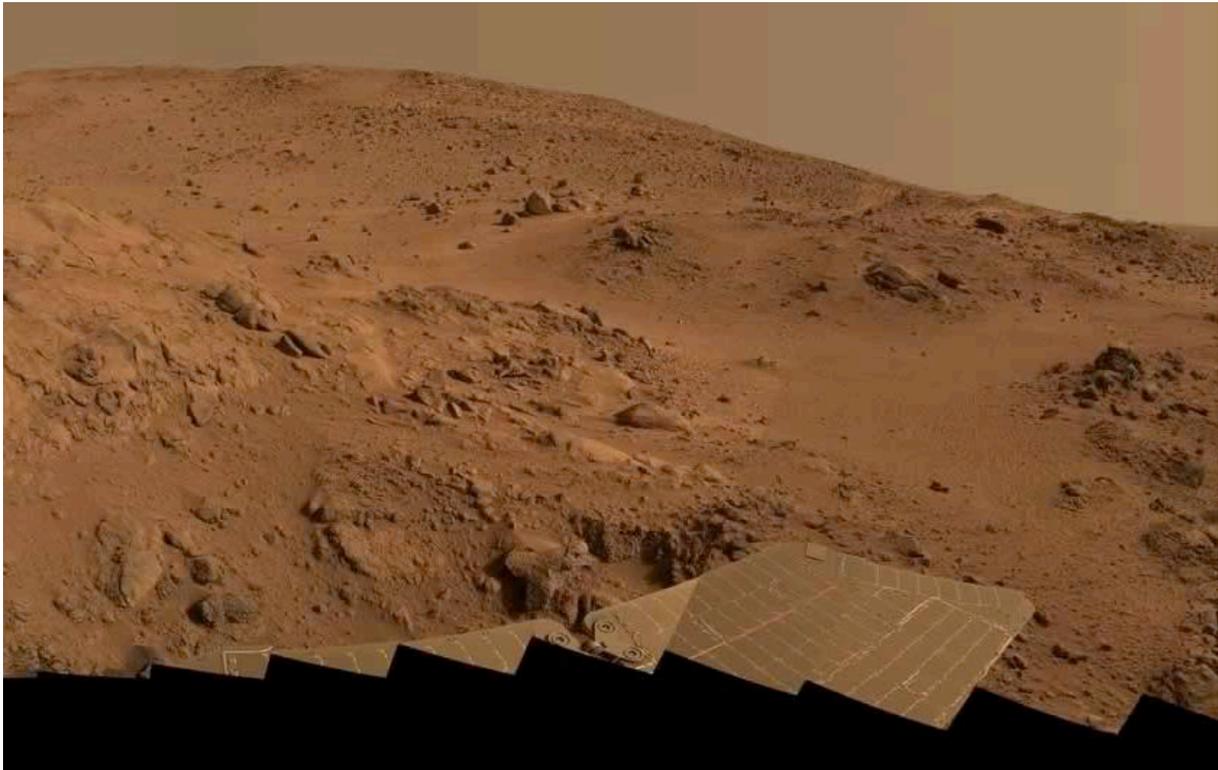


**Abbildung 10.** Konfokale Mikroskopie (Mit freundlicher Genehmigung von Daniela Stokmaier, 2005).

Die Bilderfassung beschränkt sich aber nicht auf eine einzelne Ebene, sondern wird auch auf den dreidimensionalen Raum erweitert. Indem die Brennebene (Schnittebene) räumlich in einer Richtung verschoben wird, kann das ganze Objekt von vorne nach hinten, Ebene für Ebene abgetastet werden. So wird ein dreidimensionaler Quader oder Würfel erhalten, der aus einer grossen Anzahl von Pixeln (Voxeln) besteht, zum Beispiel aus je 600 in Höhe, Breite und Tiefe. Auch hier ist die mathematische Berechnung wieder von Bedeutung. Der Computer ermöglicht dem Benutzer, dieses

dreidimensionale Modell aus der gewünschten Perspektive zu betrachten. Durch Positionierung einer virtuellen Kamera und eines virtuellen Lichts entstehen abhängig von den Einstellungen des Benutzers bildliche Rekonstruktionen (*Rendering*). Auch hier besteht also eine Vermischung von instrumentellem mit manuell-konstruktivem. *Abbildung 10* zeigt ein solches Beispiel. Was aussieht wie eine Photographie eines beleuchteten Objekts, ist eine Rekonstruktion unter einer virtuellen Kamera, mit einem virtuellen Licht und einem virtuellen Schatten.

Ähnliche Beispiele sind in diesem Zusammenhang auch die Panoramen vom Mars, die vom Mars Rover Spirit aufgenommen wurden. Auch hier ist der Photograph lediglich vorgetäuscht und das Bild manuell bearbeitet. Diese Bilder bestehen aus vielen kleineren Einheiten (*Abbildung 11* zeigt einen Ausschnitt). Das vorliegende Panorama wurde an vier Marstagen zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen. Das gesamte Mosaik besteht einerseits aus einzelnen Bildern, die aus 108 einzelnen Einstellungen der Kamera auf Rädern gewonnen und digital zusammengesetzt wurden. Das Panorama macht oberflächlich den Eindruck, als sei es durch eine einzelne Photographie entstanden. Dies war auch das Ziel der NASA. Man versuchte, die Bildübergänge so nahtlos wie möglich zu gestalten: „These seams have been smoothed out from the sky parts of the mosaic in order to simulate better the vista that a person would have if they were viewing it all at the same time on Mars.“ Nur die unterschiedliche Beleuchtung und die abgeschnittenen Bilder am unteren Rand zeigen, dass es sich in Wirklichkeit um eine manuell-digitale Komposition handelt.



**Abbildung 11.** Ein Marspanorama (Ausschnitt, NASA, 2005).

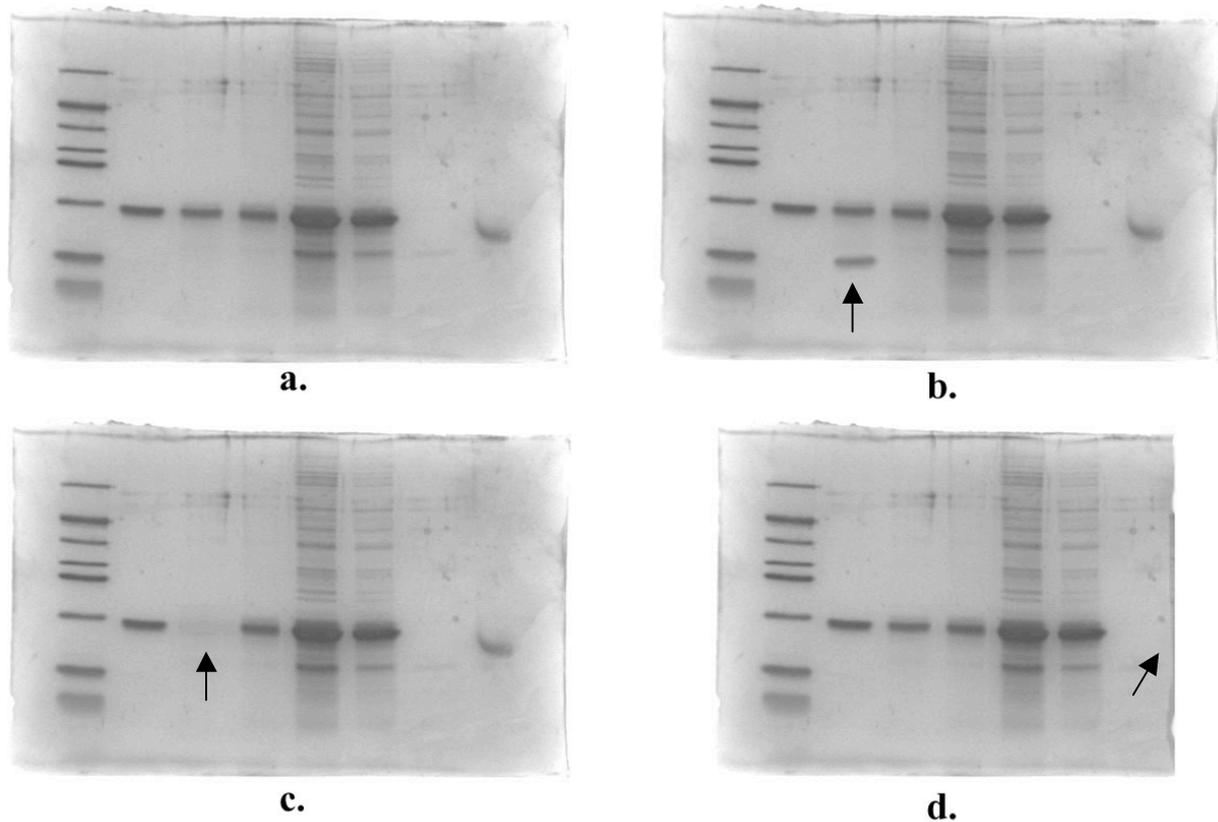
## Die Manipulation des digitalen Beweises

„So wie Maler, die ein schönes Gesicht zeichnen, jeden möglichen Makel im Bild korrigieren, um so dem Porträt zu grösserer Schönheit zu verhelfen, so wurden die weniger vollkommenen Dinge in der Darstellung ausgebessert, um so die perfekten Muster zu zeigen.“ (Bernhard Albinus, 1749, zitiert aus Daston und Galison, 2002, S. 46)

Wissenschaftliche instrumentelle Bilder haben in der wissenschaftlichen Forschung die Funktion des visuellen Beweises. Sie werden als Stellvertreter benötigt, um wissenschaftliche Resultate den Publikationen (Fachzeitschriften, Lehrbüchern, Internet-Zeitschriften) beizufügen, sie zu vervielfältigen und der wissenschaftlichen Gemeinschaft zugänglich zu machen. Die Leser der Fachzeitschriften vertrauen dabei der Entsprechung von Bild und Beobachtung. Eine hohe Glaubwürdigkeit hat traditionell die Photographie: „Eine Photographie gilt als unwiderlegbarer Beweis dafür, dass ein bestimmtes Ereignis sich tatsächlich so abgespielt hat“ (Sontag, 2004, S. 11). Die modernen instrumentellen Bilder stellen diese Objektivität jedoch zunehmend in Frage. Einerseits werden die instrumentellen Bilder vermehrt mit manuellen Mitteln erstellt (siehe oben). Es ist deshalb eigentlich erstaunlich, wie hoch das Vertrauen in diese metaphorischen Malereien ist, ermöglicht doch die Digitalisierung bildlicher Forschungsergebnisse eine enorm vereinfachte Manipulierbarkeit oder Fälschung, zum Beispiel von Photographien. Obwohl es seit jeher möglich war, instrumentell gewonnene Bilder wie Photographien zu verändern, war es noch nie so einfach wie heute mit der digitalen Bildbearbeitung und den entsprechenden Bildbearbeitungsprogrammen zu bewerkstelligen. Die Veränderbarkeit ist eine inhärente Eigenschaft der digitalen Bilder und erfolgt sehr einfach über den Austausch von Nullen und Einsen (Mitchell, 1992).

Ein Beispiel für die Fälschung eines wissenschaftlichen Bildes ist das PET-Gehirnbild in *Abbildung 7*. Das Bild wurde vom Autor mit einem Malprogramm auf dem Computer und einer Palette bunter Farben erstellt. Dabei ist der Inhalt fiktiv, die Darstellungskonventionen sind hingegen von echten PET-Bildern übernommen.

Ein Beispiel für Manipulationen bei instrumentellen Bildern ist die Gel-Chromatographie. Das Resultat der wissenschaftlichen Untersuchungen besteht bei diesem Experiment in einem Gel halbfester Konsistenz, das eingefärbte Banden unterschiedlichen Helligkeit aufweist, welche das eigentliche Resultat der Untersuchung darstellen (*Abbildung 12*). Aussagen lassen sich dabei vor allem über die relative Position und das Vorhandensein / Nicht-Vorhandensein der Banden gewinnen.



**Abbildung 12.** Manipulation einer Gelchromatographie. Die Gelchromatographie unter Abbildung **a** (Original) wurde zu Demonstrationszwecken in den Abbildungen **b**, **c**, und **d** mit einem Bildbearbeitungsprogramm digital manipuliert. Bei **b** wurde eine zusätzliche Bande eingefügt, bei **c** eine Bande stark abgeschwächt (beide: dritte Spalte von links). Bei Abbildung **d** wurde der rechte Rand abgeschnitten und durch einen neuen ersetzt. Es handelt sich hier um ein fiktives Beispiel, entsprechende Manipulationen sind aber in der Literatur dokumentiert (SDS-Gel: Mit freundlicher Genehmigung von Karin Johansson, Manipulationen: A. Vögli).

Das Gel wird fotografiert und digital gespeichert. Mit dem entsprechenden Computerprogramm ist es nun möglich, unerwünschte Verunreinigungen aus den Bildern zu entfernen, Banden auszuschneiden und zu verschieben oder sogar Banden in ein anderes Bild zu kopieren. Das Problem der unerwünschten Bildbearbeitung betrifft zunehmend wissenschaftliche Fachzeitschriften, die heute vor allem digitale Bilder erhalten. Einige der Zeitschriften haben inzwischen damit begonnen, Richtlinien aufzustellen und Bilder vor der Veröffentlichung einer genauen Untersuchung zu unterwerfen (Rossner & Yamada, 2004; Pearson, 2005). Das Problem liegt im Allgemeinen weniger bei den echten Fälschungen, bei denen die Daten erfunden oder kopiert werden, als viel mehr bei Manipulationen, die Wissenschaftler in gutem Gewissen vornehmen. Im Bestreben, ein möglichst ästhetisches und klares Bild zu präsentieren, werden inakzeptable Veränderungen vorgenommen. Eine genaue Abgrenzung in erwünschte und nicht-erwünschte Manipulationen ist dabei schwierig. Es besteht der Konsens, dass Manipulationen, die nur an einem Teil des Bildes vorgenommen werden, nicht erlaubt sind, z.B. die selektive Aufhellung bestimmter Teile oder das Korrigieren von unerwünschten

Bildbestandteilen. Dabei geht es nicht nur um die wahrheitsgetreue Darstellung der Resultate, sondern auch darum, keine Informationen zu entfernen, die andere Wissenschaftler vielleicht anders interpretieren würden. Es kann durchaus sein, dass es sich bei einer „Verunreinigung“, die gelöscht wurde, um ein relevantes Resultat handelt. Bis zu bestimmten Grenzen erlaubt sind hingegen Veränderungen, die am ganzen Bild vorgenommen werden, z.B. die Anpassung des Kontrastes oder der Helligkeit. Es liegt also eine Problematik vor, welche zumindest teilweise mit einer adäquaten Ausbildung über wissenschaftliche Bilder im Studium der Naturwissenschaften gelöst werden kann.

### 3.1.3.3 Schlussfolgerungen und praktische Hinweise

Beim Vergleich von neuen instrumentellen Bildern mit der analogen Röntgenphotographie zeigen sich Unterschiede. Während sich Röntgens „Schatten“ als latentes Bild direkt auf der photographischen Platte einprägt und durch die photographische Entwicklung erscheint, wird das moderne Bild mathematisch berechnet, digital gerastert, metaphorisch dargestellt, modelliert und manipuliert. Es nähert sich somit wieder dem manuellen Bild, von dem sich die Wissenschaft einst mit der scheinbar objektiven Photographie zu lösen glaubte.

Bei der Analyse wissenschaftlicher instrumenteller Bilder ist deshalb eine genaue Kenntnis des Entstehungsprozesses und der Trennung manueller und instrumenteller Beiträge zum fertigen Bild essentiell.

### 3.1.3.4 Referenzen

Bredenkamp H. Drehmomente – Merkmale und Ansprüche des *iconic turn*. In: Maar C. & Burda H. *Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder*. Köln: Dumont, **2004**

Daston L. & Galison P. Das Bild der Objektivität. In: Geimer P. (Hrsg.) *Ordnungen der Sichtbarkeit. Fotografie in Wissenschaft, Kunst und Technologie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp, **2002**

Eder J.M. & Valenta E. *Versuche über Photographie mittels der Röntgen'schen Strahlen*. Wien: Lechner, **1896**

Hagner M. *Geniale Gehirne*. Göttingen: Wallstein, **2004**

Heckl W.M. Das Unsichtbare sichtbar machen – Nanowissenschaften als Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts. In: Maar C. & Burda H. (Hrsg.) *Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder*. Köln: Dumont, **2004**

Mitchell W.J.T. *The reconfigured eye. Visual truth in the post-photographic era*. Cambridge (Massachusetts), London: The MIT Press, **1992**

Monmonier M. *How to lie with maps*. Chicago: The University of Chicago Press, **1991**

Pawley J.B. (Hrsg.) *Handbook of biological confocal microscopy*. New York, London: Plenum Press, **1995**

Pearson H. CSI: cell biology. *Nature*, **2005**, 434, 952-953

Robinson A.H. Early Thematic Mapping in the History of Cartography. Chicago and London: The University of Chicago Press, **1982**

Röntgen W.K. Eine neue Art von Strahlen. Würzburg: Stahel, **1896**

Rossner M. & Yamada K.M. What's in a picture? The temptation of image manipulation. *The Journal of Cell Biology*, **2004**, 166(1), 11-15

Sontag S. Über Fotografie. Frankfurt am Main: Fischer, **2004**

Tufte E.R. Visual explanations: images and quantities, evidence and narrative. Cheshire, Connecticut: Graphics Press, **1997**

Valk P.E., Bailey D.L., Townsend D.W. & Maisey M.N. (Hrsg.) Positron emission tomography: basic science and clinical practice. London: Springer, **2003**

Volkswagen-Stiftung (Hrsg.) Ansichten Einsichten Modelle. Bilder aus der Forschung. Hannover: Schäfer Druckerei, **1998**

## 3.2 Die Entwicklung des wissenschaftlichen Bildes

### 3.2.1 Kanonische Bilder

Ist ein ausgebautes, geschlossenes Meinungssystem, das aus vielen Einzelheiten und Beziehungen besteht, einmal geformt, so beharrt es beständig gegenüber allem Widersprechendem.

–Ludwik Fleck, 1980, S. 40 (1. Ausgabe 1935)

#### 3.2.1.1 Beobachtungen und Fragestellungen

Bei der Analyse wissenschaftlicher Bilder in wissenschaftlichen Veröffentlichungen (insbesondere in Lehrbüchern, Artikeln in Fachzeitschriften, Reviews und Artikeln der Populärwissenschaft) wurde beobachtet, dass wissenschaftliche Bilder denselben Sachverhalt immer wieder auf eine sehr ähnliche Art und Weise wiedergeben. Einige der bekanntesten solcher Bilder in der Molekularbiologie sind die Darstellung der DNA nach Watson und Crick (1953), die Darstellung der Zellmembran nach dem Modell von Singer und Nicolson (1972) oder das HI-Virus nach Illustrationen von George V. Kelvin (Gallo, 1987). Diese populären Ikonen sind aber nur die bekanntesten Beispiele. Es wurde beobachtet, dass in der Fachliteratur der meisten abgegrenzten Themengebiete der Naturwissenschaften solche sogenannte „kanonische Bilder“ (*Canonical Icons*; Gould, 2000) entstehen.

Diese Beobachtungen führte zu den folgenden Fragestellungen:

- Wie lässt sich dieses Phänomen charakterisieren und definieren?
- Ist bei einem kanonischen Bild sowohl die Darstellungsform als auch der Inhalt kanonisiert?
- Weshalb wird derselbe Sachverhalt immer wieder auf diese Art und Weise dargestellt?
- Welcher Einfluss hat die Kanonisierung auf die wissenschaftliche Kommunikation?
- Wie entstehen kanonische Bilder? Weshalb werden bestimmte Bilder kanonisiert?

#### 3.2.1.2 Resultate

##### **Kanonische Bilder (Canonical Icons)**

Der Paläontologe und Wissenschaftshistoriker Stephen J. Gould (1941-2002) hat für diese Bilder den Begriff *Canonical Icon* eingeführt (Gould, 1996):

„Die Macht der Bilder als Beispiele oder Zusammenfassungen zentraler Begriffe unserer Kultur kann man am besten einschätzen, wenn man sich mit dem befasst, was ich gern als

„kanonische Darstellungen“ [canonical icons] bezeichne, jenen Standarddarstellungen, die im Zusammenhang mit einer wichtigen Theorie oder Institution unseres Lebens eine Fülle von Assoziationen auslösen.“ (Gould, 2000, S. 326)

In dieser Arbeit wird der Begriff als „kanonisches Bild“ übersetzt. Goulds bevorzugtes Beispiel für kanonische Bilder stammt aus dem Gebiet der Evolution. Es ist die Entwicklung des Menschen ausgehend vom gebückten, primitiven Vorfahren hin zu *Homo sapiens*. Dabei werden eine unterschiedliche Anzahl Männer – aber nie Frauen – in einer Abfolge von links nach rechts dargestellt. Der erste dieser Männer ist ein Affe oder zumindest sehr affenähnlich und geht auf allen vieren. Es folgen mehrere Entwicklungsstadien, bei denen die Männer zum aufrechten Gang übergehen und die meiste Körperbehaarung verlieren. Das Bild findet seinen Höhepunkt in dem modernen, glattrasierten, aufrecht gehenden Menschen (manchmal in Anzug und mit Aktenkoffer). Diese Abfolge wird in wissenschaftlichen, populär-, aber auch in nicht-wissenschaftlichen Medien (z.B. in Cartoons oder in der Werbung) sehr häufig verwendet.

Die von links nach rechts dargestellten Rangfolge der Evolution des Mannes impliziert eine Reihe von Aussagen: Die Abfolge deutet auf einen klar definierten, linearen, vorhersehbaren, nicht aufzuhaltenden Fortschritt in einer Richtung hin. Gould hat diese Sicht der Evolution immer wieder stark kritisiert. Wenn die Evolution noch einmal beim „primitiven“ Vorfahren beginnen würde, wäre das Ergebnis wahrscheinlich ein vollkommen anderes. Die Evolution ist keine logische Abfolge, bei der sich eine definierte Spezies in eine nächste verwandelt. Kanonische Bilder haben die Eigenschaft, einen wissenschaftlichen Sachverhalt in einer bestimmten Darstellungsform festzuhalten. Sie sind festgelegt auf einen bestimmten Blickwinkel und auf eine einzige Interpretation. Sie transportieren den Inhalt deshalb nicht neutral und objektiv, sondern steuern die Interpretation des Inhalts durch Festlegung der Konvention. Durch diese Beeinflussung des Sehens üben sie einen wesentlichen Einfluss auf das Denken von Wissenschaftlern und Studierenden aus. Gould argumentiert, dass eine neue Theorie in der Wissenschaft deshalb häufig ein neues Bild benötigt, um sich von der konventionellen Sichtweise zu befreien.

Diese scheinbare Lösung des Problems ist aber möglicherweise nur eine Verschiebung: Das „neue“, „verbesserte“ Bild ist das nächste kanonische Bild und wie das „alte“, „schlechte“ mit denselben Eigenschaften eines kanonischen Bildes behaftet.

### **Fallbeispiel: Stammbaum der Sprachen**

Bei den kanonischen Bildern kann weiter zwischen Inhalt und Darstellungsform unterschieden werden. Das kanonische Bild besteht in der Regel aus kanonisiertem Inhalt und Form.

Form und Inhalt können auch unabhängig voneinander verwendet werden. Kanonische Formen werden auf verschiedene Inhalte übertragen. Die Evolution des Menschen kann nicht nur mit unterschiedlich gebückt gehenden Männern, sondern auch als Stammbaum visualisiert werden. Der Stammbaum als kanonische Darstellungsform oder der Baum im Allgemeinen kann wiederum als Darstellung

anderer wissenschaftlicher Inhalte verwendet werden (Bäume in der Wissenschaft: siehe Bader, Janser & Kwint, 2005).

Der Baum kann beispielsweise auch für die Visualisierung der Entwicklung von Sprachen in der Linguistik verwendet werden. Im Februar 2005 erschien in der Schweizer Sonntagszeitung „NZZ am Sonntag“ ein Bericht über die indogermanischen Sprachen. Dem Bericht beigelegt war eine grossformatige Abbildung des Stammbaums der indogermanischen Sprachen vom Illustrator René Leutenegger (*Abbildung 13*).

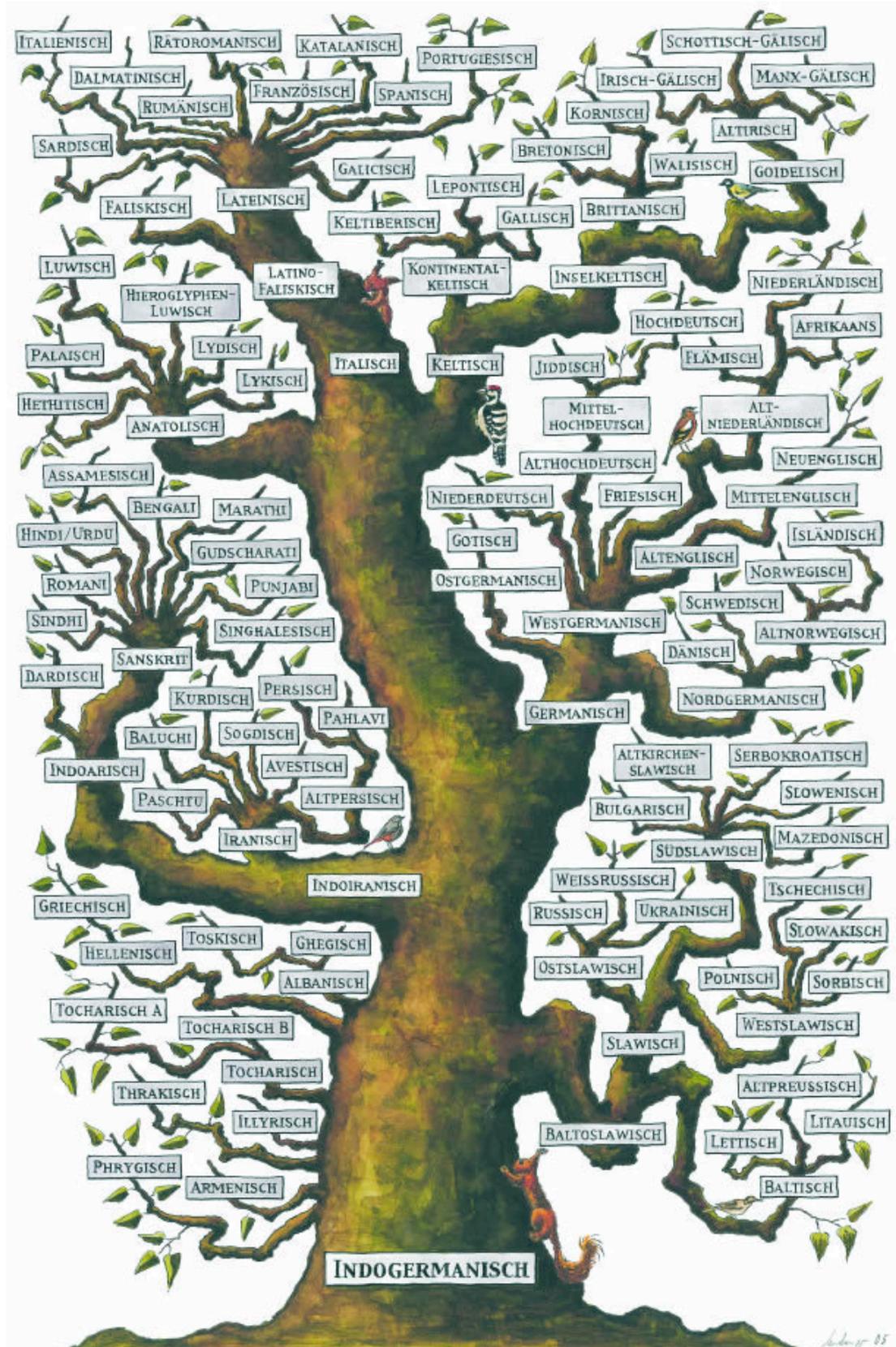


Abbildung 13. Der Stammbaum der Sprachen (Mit freundlicher Genehmigung von René Leutenegger, © 2005).

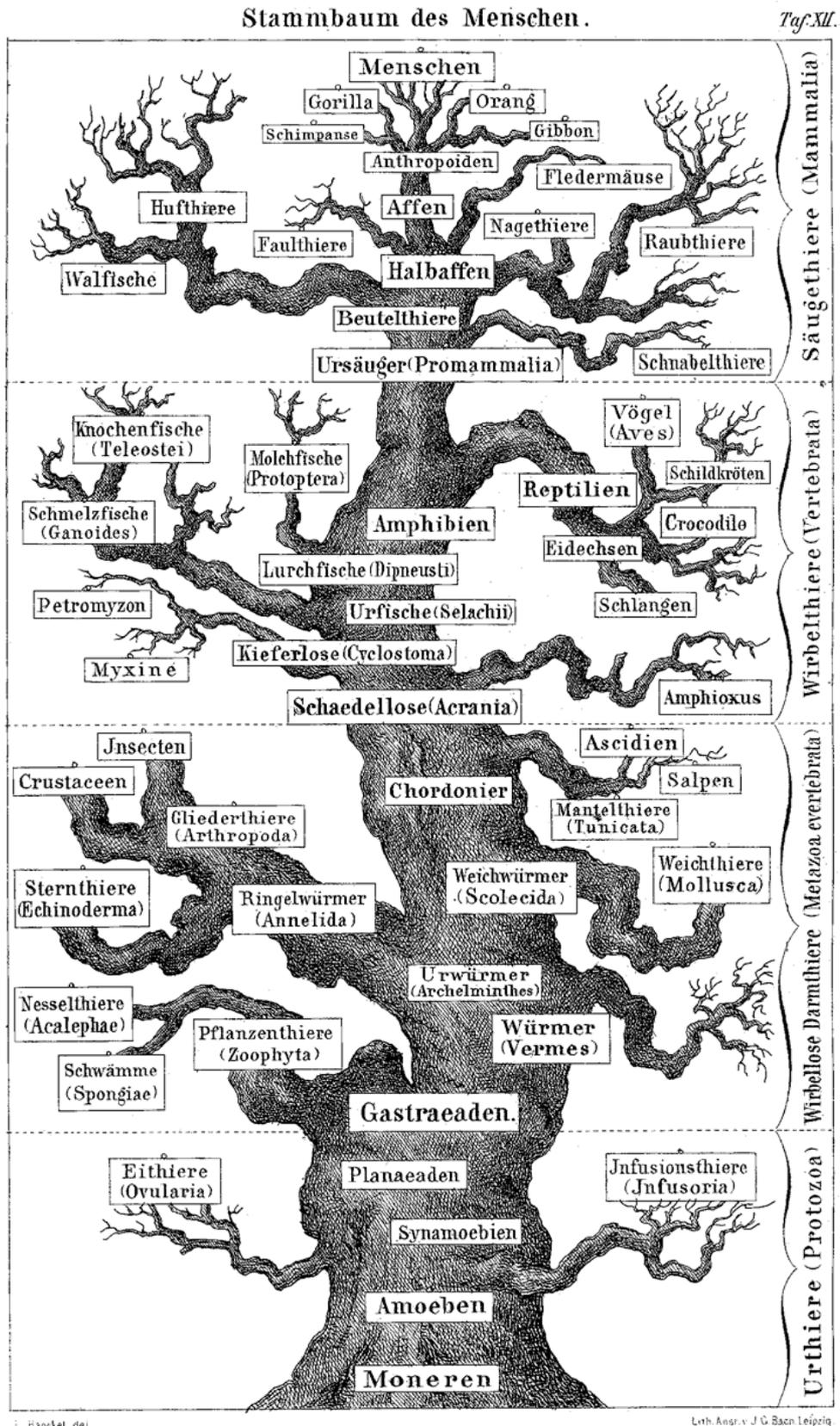


Abbildung 14. Der Stammbaum des Menschen (Ernst Haeckel, 1874).

Die Metapher des Stammbaums ist hier explizit als knorrige alte Eiche visualisiert, die von Eichhörnchen und Vögeln bewohnt wird. Die Basis des Stamms der Eiche steht für die ursprüngliche indogermanische Sprache. Aus dem Stamm wachsen dickere Hauptäste (Baltoslawisch, Indoiranisch, Germanisch, Anatolisch und Keltisch), die sich weiter in kleinere und grössere Nebenäste und Sprachen verzweigen. Baltoslawisch verzweigt sich beispielsweise in Slawisch und Baltisch, Germanisch in Ost-, West- und Nordgermanisch. Kleinere Seitenäste zweigen auch direkt vom Stamm ab. Bei diesem Bild kann sehr gut zwischen dem kanonischen Inhalt und der kanonischen Darstellungsform unterschieden werden. Der *kanonische Inhalt* des Bildes stammt aus einer schematischen Darstellung in einem Standardwerk der Linguistik (Campbell, 1998, vgl. *Abbildung 15*). Die *Darstellungsform* stammt von Ernst Haeckel aus dem Jahr 1874 (*Abbildung 14*). Haeckel, der wichtigste Verfechter der Darwinschen Evolutionstheorie in Deutschland in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, hat den Stammbaum in seinem Buch „Anthropogenie“ in fast identischer Weise als Eiche dargestellt, allerdings mit anderem Inhalt, der Evolution des Menschen.

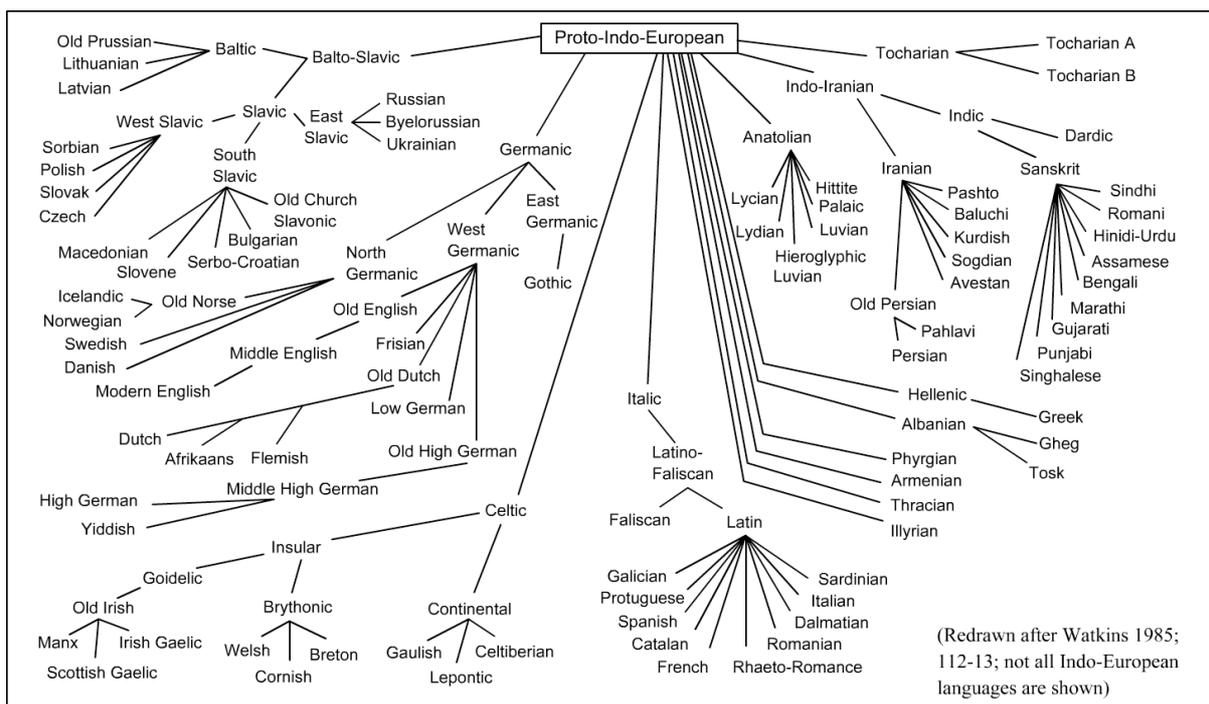
Die Verwendung der kanonischen Darstellungsform des Baums als visuelle Metapher für die Entwicklung der Sprachen oder des Menschen organisiert die Wahrnehmung des Inhalts. Eine zentrale Eigenschaft der Metapher bei diesen Beispielen ist die Orientierung in oben und unten (vgl. Lakoff & Johnson, 1980, S. 14). Oben wird häufig gleichgesetzt mit besser, wichtiger, glücklicher, unten bedeutet das Gegenteil: schlechter, unwichtig, unglücklich.

Bei Haeckels Baum ist die Baumkrone den Säugetieren zugerechnet. Die Anthropoiden sind die eigentliche Spitze des Baums. Instinktiv wird deshalb der Mensch ganz oben als die eigentliche „Krone der Schöpfung“ wahrgenommen. Haeckel hingegen distanziert sich im beiliegenden Text von einer solchen Interpretation: „Die menschliche Eitelkeit und der menschliche Hochmuth haben seit dem Erwachen des Menschenbewusstseins sich besonders in dem Gedanken gefallen, den Menschen als den eigentlichen Hauptzweck und das Ziel alles Erdenlebens, als den Mittelpunkt der irdischen Natur anzusehen, zu dessen Dienste und Nutzen das ganze übrige Getriebe der letzteren von einer ‚weisen Vorsehung‘ von Anfang an vorher bestimmt oder praedestinirt sei.“ (Haeckel, 1874, S. 355). Da die menschliche Spezies erst auf eine kurze Existenz zurückschauen kann, bezeichnet er es als „lächerliche Anmassung“, deren Kulturgeschichte als „Weltgeschichte“ zu bezeichnen (S. 355). Dieser Aspekt ist auch im Stammbaum in der Dicke und dem Alter der Äste wiederzufinden. Die Menschen befinden sich an sechs jungen, dünnen Ästen, welche der „Baum des Lebens“ erst vor kurzem gebildet hat. Junge Äste einer Eiche sind flexibel, anpassungsfähig und haben eine lange Entwicklung vor sich – sie sind aber auch anfällig und scheinen weniger wichtig zu sein als dickere. Die dickeren Äste hingegen sind alt (innen schon tot?), schwerfällig, aber auch wichtig und geben dem Baum seine grobe Form und seine Widerstandsfähigkeit.

Beim Stammbaum der Sprachen ist etwa das Lateinische als dicker Ast in der Baumkrone, das Griechische hingegen als dünner, kleiner Seitenast an der Basis des Baums dargestellt. Daraus könnte der Betrachter unbewusst Schlüsse ziehen. Das Lateinische scheint viel wichtiger zu sein als das Griechische.

Ist eine solche Deutung des Bildes zulässig? Da es sich um eine Illustration in einer Sonntagszeitung handelt, sollte es nicht überinterpretiert werden. Es kommen ihm andere Funktionen zu als der trocken-fachlichen Schemazeichnung in einem wissenschaftlichen Handbuch. Der Kontext eines wissenschaftlichen Bildes beeinflusst seine Darstellung. Die Illustration dient als Blickfang und fasziniert durch die konsequente Umsetzung der Metapher. Auch galt es die Schwierigkeit zu bewältigen, alle 114 Sprachen im Hochformat auf einer einzigen Seite unterzubringen. Der Illustrator bemerkt denn auch auf Anfrage: „Dass z.B. die lateinischen Sprachen in der Baumkrone zu finden sind, hat weniger eine wissenschaftliche Bedeutung, sondern ergab sich nicht zuletzt durch das Hochformat.“

Der Einfluss der Darstellungsform auf den Inhalt offenbart sich eindrücklich, wenn die einfache Schemazeichnung von Campbell (1998, *Abbildung 15*) betrachtet wird, welche als Vorlage für die Illustration des Stammbaums der Sprachen gedient hat. Sie besteht nur aus Wörtern, die untereinander durch identisch dicke Linien verknüpft sind – von einem Baum kann hier gar nicht mehr die Rede sein. Im Gegensatz zum „Stammbaum“ wird dieses Bild von oben nach unten gelesen. Das Indogermanische ist hier „oben“ zentral lokalisiert. Da nur identische Linien verwendet werden, werden die Sprachen weder nach ihrer Wichtigkeit noch nach dem Alter organisiert (für ein ähnliches Beispiel siehe auch Pörksen, 1997).



**Abbildung 15.** Der Stammbaum der Sprachen aus einem wissenschaftlichen Handbuch (Campbell, 1998, nachgezeichnet).

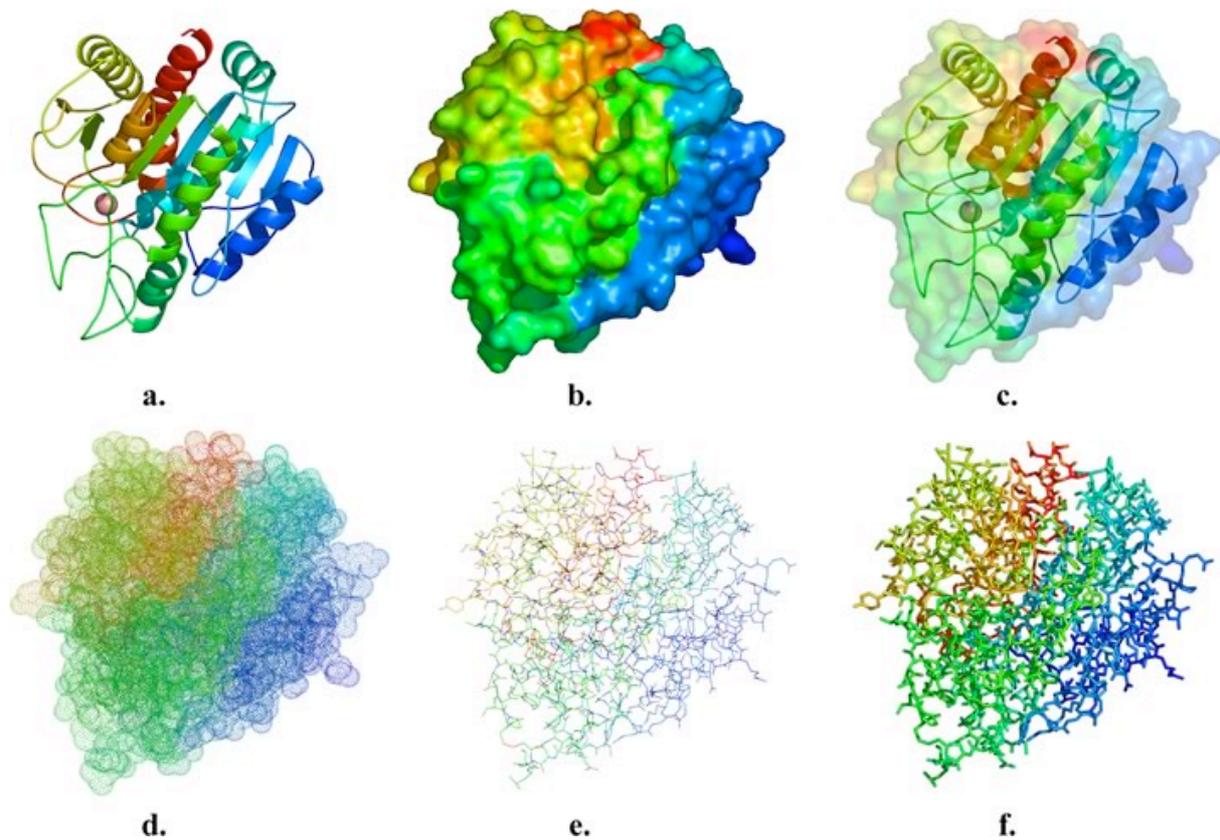
Kanonisierter Inhalt kann also in verschiedenen Formen dargestellt werden. Sie werden in dieser Arbeit als *Varianten* bezeichnet. Die unterschiedlichen Molekülmodelle der Chemie wurden bereits beschrieben (*Abbildung 5*). Die Chemiker haben eine ganze Reihe von Darstellungsformen geschaffen, mit denen sie die unsichtbaren Atome und Moleküle visualisieren können. Am Computer erlauben es

interaktive Programme, durch Mausklick die Darstellungsform zu wechseln und eine nächste Variante zu betrachten. Dabei können nicht nur die Form, sondern auch die Oberflächentexturen und die Farben der Atome beliebig verändert werden. Aus der multiplen Darstellung desselben ergibt sich natürlich die Frage, die sich auch Roald Hoffmann und Pierre Laszlo in ihrem Artikel über Repräsentationen in der Chemie stellen: „Welche ist das Molekül?“ (Hoffmann & Laszlo, 1991, S. 5). Sie geben die Antwort „Nun, alle sind es und keine. (...) Alle sind Modelle, nützliche Darstellungen für bestimmte Zwecke, nicht für alle.“

Die Eigenschaften solcher Darstellungsvarianten und die Entstehung von kanonischen Darstellungsformen werden im Folgenden am Beispiel der Proteindarstellungen diskutiert.

### **Fallbeispiel: Proteindarstellungen als Beispiele von kanonischen Darstellungsvarianten**

Die wichtigste Methode zur Bestimmung der Struktur von Proteinen ist die Röntgenkristallographie. Bei dieser Methode werden Röntgenstrahlen verwendet, weil sichtbares Licht eine zu grosse Wellenlänge hat, um einzelne Atome aufzulösen. Das Prinzip besteht darin, Röntgenstrahlen auf einen Proteinkristall einzustrahlen. Die Strahlen werden an den Elektronen des Kristalls gebeugt und anschliessend auf einem Detektor als Beugungsmuster gemessen und von einem Computer gespeichert. Aus den Mustern kann der Computer durch ein kompliziertes mathematisches Verfahren eine Elektronendichtekarte berechnen. Bei dieser Karte handelt es sich aber noch nicht um die Struktur des Proteins. Im letzten Schritt wird die Aminosäurekette in diese Karte am Computer eingepasst. Es resultiert ein virtuelles Modell, welches mit symbolischen und metaphorischen Darstellungskonventionen zu Bildern wie in *Abbildung 16* umgesetzt wird. Das instrumentelle „Sehen“ des Proteins ist analog zu den Gehirnbildern ein indirektes und metaphorisches. Die Frage, wie ein Protein „wirklich“ aussieht, ist jedoch damit nicht zu beantworten.



**Abbildung 16.** Proteinstrukturen. Die Abbildung zeigt verschiedene Computer-erzeugte Darstellungsvarianten des Proteins Carboxypeptidase, konventionell eingefärbt in den Regenbogenfarben. Abbildung **a** zeigt die *Ribbon*-Darstellung nach Jane Richardson, **b** die Darstellung der Oberfläche, **c** eine Kombination von a und b mit transparenter Oberfläche, **d** eine Variante des Kalottenmodells, **e** die *Wireframe*-Darstellung und **f** die *Wireframe*-Darstellung mit dickeren Linen, sogenannten *Sticks* (Koordinaten aus Rees, Lewis & Lipscomb, 1983; Bilder erstellt mit PyMOL, <http://pymol.sourceforge.net>; Bild: A. Vögli).

Für die Darstellung der Proteine haben sich bestimmte kanonische Darstellungsformen etabliert. Einige davon, die mit dem Computer erzeugt worden sind, sind in *Abbildung 16* zu finden. Konventionell wird hier wie bei den Gehirnbildern die technische Regenbogenfärbung verwendet, die sich mit der Einführung des Computers etabliert hat. Der Zweck dieser Färbung liegt darin zu zeigen, wo die Kette durch die dreidimensionale Struktur verläuft. Auch der Anfang und das Ende der Kette können aus der Färbung abgelesen werden. Eine der geläufigsten Darstellungsformen der dreidimensionalen Struktur ist die sogenannte *Ribbon*-Darstellung in *Abbildung 16-a* und in *Abbildung 17*. Diese wird heute als internationaler Standard weltweit in wissenschaftlichen Publikationen verwendet. Dass es sich dabei um eine erfundene Darstellungskonvention mit metaphorischen und symbolischen Mitteln handelt, wird gerne vergessen; der Mensch ist ja nicht aus farbigen Pfeilen und Farbbändern aufgebaut. Die kanonische *Ribbon*-Darstellung stammt von Jane Richardson und wurde von ihr 1981 detailliert in einem Artikel beschrieben (Richardson, 1981; 2000). Richardson hat diese Darstellungsform nur zum Teil neu erfunden. Zum einen basierte sie auf den *Wireframe*-Darstellungen, die von Pionieren der Computergraphik entwickelt wurden, zum anderen haben Wissenschaftler und Illustratoren wie Dick

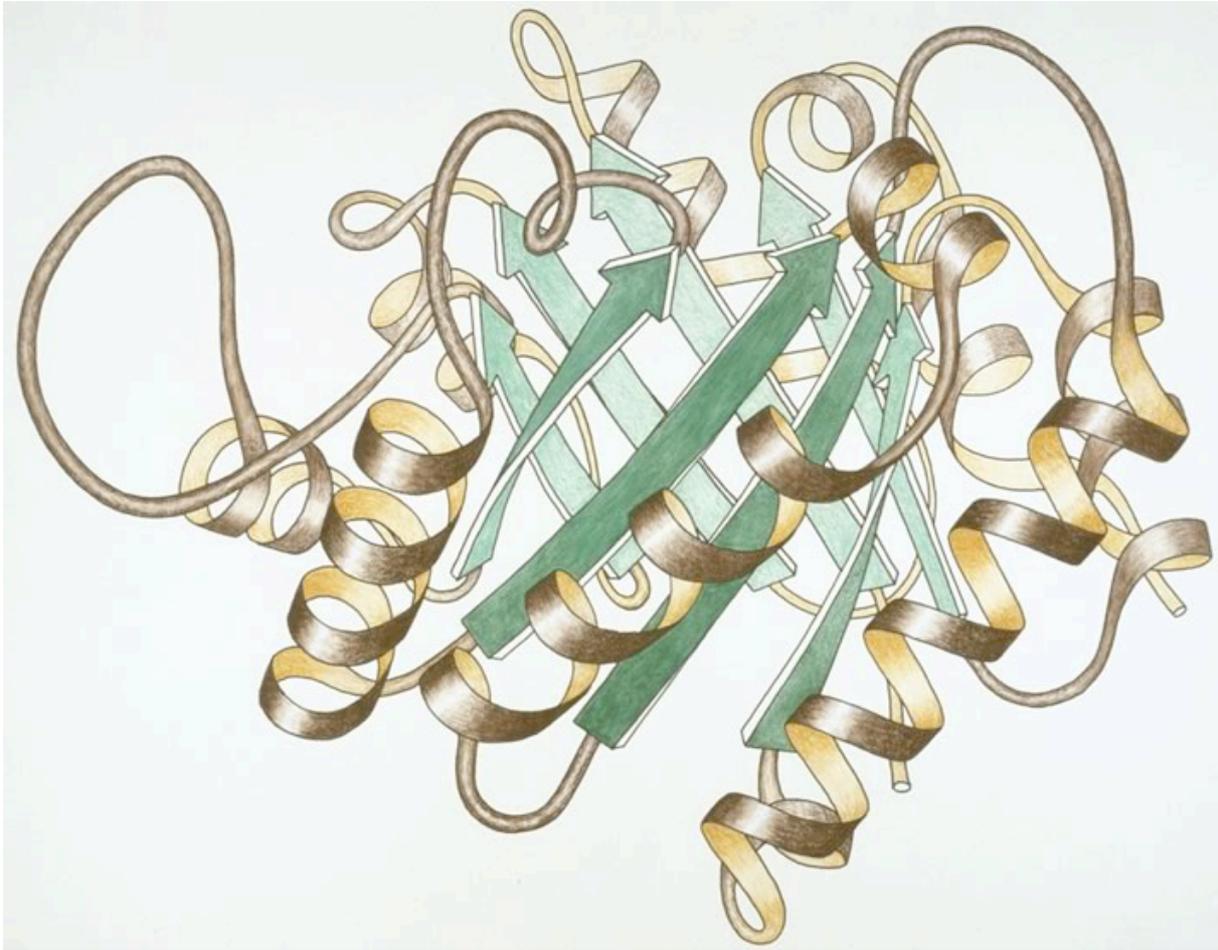
Dickerson und Irving Geis bereits in den 60er Jahren die Tertiärstrukturen von Proteinen schematisch dargestellt und zumindest einen Teil der Symbole für Helix und Faltblatt eingeführt. Jane Richardson schuf aber mit der Hilfe ihres Mannes David innerhalb eines Jahres ein konsistentes Visualisierungssystem, mit dem die Tertiärstrukturen der damals bekannten 75 Proteinstrukturen mit einer neuen, klareren Symbolik dargestellt werden konnten. Das System ist so konzipiert, dass auch alle neu entdeckten Proteine damit visualisiert werden können. Die unterschiedlichen Strukturelemente werden in der *Ribbon*-Darstellung symbolisch so dargestellt: Alpha-Helices werden als flache, spiralige Bänder gezeichnet. Beta-Faltblätter als gerade oder gebogene Pfeile einer bestimmten Dicke und Richtung, die flexiblen, nicht-repetitiven Strukturen als „Seile“ und die Disulfidbrücken als „Blitze“. Kreise stehen für Metallionen, kleinere Moleküle, die an das Protein gebunden sind, werden als *Wireframe* (Liniendiagramm) gezeichnet (Richardson, 1981, S. 259):

„ $\beta$  strands are shown as arrows with thickness, helices as spiral ribbons, and nonrepetitive structure as ropes. Disulfides are shown as ‚lightning bolts.‘ Circles represent metals, and some prosthetic groups are shown as atomic skeletons (...)“

Die Koordinaten der dreidimensionalen Struktur entnahm Richardson einem Computerprogramm von Richard Feldmann. Sie druckte *Wireframe*-Darstellungen der Proteinstrukturen aus und übertrug mit Pauspapier von Hand ihre neuen Konventionen auf diese Strukturen. Sie zeichnete die Strukturen damals alle von Hand. Eine solche frühe Handzeichnung von Jane Richardson ist in *Abbildung 17* dargestellt. Obwohl es sich bei diesen Darstellungen eigentlich um „technische“ Bilder handelt, zeichnen sie sich durch eine hohe Ästhetik aus.

Weitere kanonische Varianten sind der Chemie entliehen: etwa die *Wireframe*-Darstellung (*Abbildung 16-e*), das Kalottenmodell (*Abbildung 16-d*) oder die Oberflächendarstellung (*Abbildung 16-b*) und Kombinationen (*Abbildung 16-c*). Die verschiedenen Varianten zeigen das Protein aus unterschiedlichen Perspektiven und betonen unterschiedliche Eigenschaften. Keine Darstellung kann alle Eigenschaften sinnvoll repräsentieren, keine ist auch für alle Zwecke in gleichem Mass geeignet (Goodsell, 2003). Die Darstellungsform von Richardson eignet sich für eine Übersicht über die Tertiärstruktur und zeigt, wo welche strukturellen Motive (Sekundärstrukturen) vorkommen. Sie versteckt aber die Information, wo die einzelnen Aminosäuren lokalisiert sind verbirgt die Ausmasse des Proteins. Die *Wireframe*-Darstellung zeigt hingegen, wo welche Aminosäure lokalisiert ist, zeigt aber die Tertiärstruktur nicht und ist sehr unübersichtlich. Das Kalottenmodell zeigt den Aufbau aus den unterschiedlichen Atomen und deren Grösse sowie die Form und die Ausmasse des Proteins. Auch das Kalottenmodell verbirgt jedoch Informationen zur Sekundärstruktur. Proteindarstellungen sind typische Beispiele für kanonische Bilder und Darstellungsformen, allerdings mit dem Unterschied, dass mehrere Darstellungsformen gebräuchlich sind. Zusammen ermöglichen diese eine differenzierte Darstellung des Unsichtbaren. Mit diesen unterschiedlichen Varianten haben die Chemie und Strukturbiologie einen interessanten Ausweg aus der Einengung der Perspektiven durch die kanonisch-metaphorischen Darstellungsformen

gefunden. Durch die Vielfalt wird es möglich, denselben Inhalt aus einer ganzen Reihe von Perspektiven zu betrachten. Dabei wird dem Betrachter des kanonischen Bildes dessen Relativität viel stärker bewusst.



**Abbildung 17.** Protein in der *Ribbon*-Darstellung. In dieser Handzeichnung aus den 80er Jahren von Jane Richardson ist das Protein Triosephosphat-Isomerase dargestellt (Mit freundlicher Genehmigung von Jane Richardson, © Jane Richardson).

Neben dem Begriff der Darstellungsvarianten sind drei weitere Begriffe von Bedeutung, der Begriff des *Typus*, des *Exemplars* und des *Originals*. Kanonische Bilder sind Typen, die in verschiedenen Exemplaren zur Ausprägung kommen, die sich untereinander unterscheiden und auch nicht immer alle Merkmale des Typus aufweisen müssen. Der Typus kann abstrakt sein und nie zur Ausprägung kommen. Häufig ist der Typus identisch mit der ersten Zeichnung des Bildes, die als Vorläufer der folgenden gilt.

## Entstehung und Entwicklung kanonischer Bilder

Bei der Diskussion der Visualisierung von Proteinstrukturen wurde aufgezeigt, wie innerhalb eines Jahres ein konsistentes kanonisches Visualisierungssystem von zwei Wissenschaftlern entwickelt wurde. Diese Entwicklung baute auf Erkenntnissen auf, die während drei bis vier Jahrzehnten gewonnen worden waren. Auch Martin Rudwick kommt zu Schluss, dass sich kanonische Darstellungsformen nicht quasi „über Nacht aus dem Nichts“ entwickeln. Er hat die Entstehung der Darstellungsformen der sogenannten Tiefenzeit („Deep Time“) untersucht. Bei diesem Genre werden ausgestorbene, fossile Tiere wie zum Beispiel Dinosaurier in ihrer natürlichen Umgebung dargestellt:

„Such scences from deep time are clearly a pictorial genre, as much ruled by visual conventions as any other. But artistic conventions do not fall ready-made from heaven, nor are they concocted or decreed at a given moment. They are products of historical development; they are constructed in the course of artistic practice in specific historical circumstances. In this particular case, the practice is not only artistic but also scientific.“ (Rudwick, 1992, S. viii)

Wie die kanonische Darstellungsform der Proteinstrukturen beobachtet auch Rudwick bei der Darstellung der Tiefenzeit, dass kanonische Darstellungsformen aus einer historischen Entwicklung heraus entstehen. Rudwick nennt als Beispiel die Erfindung der „Unterwasser“-Ansicht im 19. Jahrhundert (Rudwick, 1992, S. 232). Bei der Rekonstruktion des Lebensraums von fossilen Organismen stellte sich das Problem, dass viele dieser Lebewesen im Wasser lebten. Das Problem der Darstellung wurde zunächst umgangen, indem an Land gespülte Organismen gezeichnet wurden oder das Wasser eines Meers oder eines Sees von oben, aus der Sicht des Betrachters an Land gezeigt wurde. Der englische Geologe Henry De la Beche (1765-1855) fertigte 1830 mit der Hilfe eines Illustrators die erste Lithographie einer wissenschaftlichen Unterwasserszene an, die einen Einblick in einen See wie in ein Aquarium erlaubt, „Duria Antiquior“ (*Ancient Dorset*). Dabei handelt es sich um eine echte Innovation der Darstellungskonventionen. Gleichzeitig hat dieses Bild auch die naturalistische Darstellung fossiler Organismen in grossem Mass beeinflusst. Das Bild und seine Darstellungsform wurden in der Folge häufig kopiert. Die neue Unterwasseransicht vermochte sich jedoch zunächst nicht durchzusetzen. Offenbar war es zu schwierig, sich sowohl die Vergangenheit und dazu auch noch die Unterwasserwelt vorzustellen. Rudwick (1992) und Gould (1998) haben spekuliert, das Aquarium habe dieser Sichtweise schliesslich zum Durchbruch verholfen. Rudwicks neue Darstellung der Unterwasserwelt konnte sich nämlich solange nicht durchsetzen, bis sie mit dem Aquarienboom in der Mitte des 19. Jahrhunderts zum Allgemeingut wurde, also sich auch die Betrachter an diese Sicht der Unterwasserwelt gewöhnt hatten.

Nachdem eine Darstellungsform erfunden worden ist, stellt sich eine weitere Frage, nämlich weshalb sich bestimmte kanonische Bilder durchzusetzen vermögen und wie sie kanonisiert werden. Diese Frage wird in den nächsten Kapiteln diskutiert.

### 3.2.1.3 Schlussfolgerungen und praktische Hinweise

Kanonische Bilder sind Standardbilder, welche einen wissenschaftlichen Sachverhalt immer wieder auf dieselbe Art und Weise darstellen. Die Verwendung einer einzigen Darstellungsform und eine fixierte Perspektive kann das Sehen und Denken einschränken.

Ein naheliegender Ausweg scheint darin zu liegen, das „alte“, „schlechte“ kanonische Bild zu verwerfen. Tatsächlich gibt es in der Wissenschaft Bilder von einer zweifelhaften Qualität, die durch neue ersetzt werden sollten. Die Darstellung der Evolution mit den gehenden Männern ist ein naheliegendes Beispiel. Es zeigt sich aber, dass ein solcher Ausweg bisweilen nur zu einem weiteren kanonischen Bild führt.

Unter Beibehaltung des kanonischen Inhalts kann selektiv die kanonische Darstellungsform verändert werden, also zum Beispiel die zugrunde liegende Metapher ausgetauscht werden.

Eine interessante Möglichkeit ist schliesslich die Verwendung von mehreren unterschiedlichen Darstellungen wie bei den Proteinstrukturen.

### 3.2.1.4 Referenzen

Bader B., Janser A. & Kwint M. (Hrsg.) Einfach komplex: Bildbäume und Baumbilder in der Wissenschaft. Zürich: Museum für Gestaltung, **2005**

Campbell L. Historical linguistics. Edinburgh: Edinburgh University Press, **1998**

Fleck L. Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Frankfurt am Main: Suhrkamp, **1980** (1. Ausgabe 1935 bei Schwabe, Basel)

Gallo R.C. The AIDS virus. *Scientific American*, **1987**, 256(1), 46-56

Goodsell D.S. Illustrating Molecules. In: Hodges E. (Hrsg.) The guild handbook of scientific illustration. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons, **2003**

Gould S.J. Ladders and Cones. In: Silvers R.B. Hidden histories of science. New York: A New York Review Book, **1995**

Gould S.J. Dinosaur in a haystack. London: Jonathan Cape, **1996**

Gould S.J. Seeing eye to eye, through a glass clearly. In: Leonardo's mountain of clams and the diet of worms: essays on natural history. London: Jonathan Cape, **1998**

Gould S.J. Evolution durch Gehen. In: Ein Dinosaurier im Heuhaufen. Streifzüge durch die Naturgeschichte. Frankfurt am Main: S. Fischer, **2000**

Haeckel E. Anthropogenie. Leipzig: Wilhelm Engelmann, **1874**

Hoffmann R. & Laszlo P. Darstellungen in der Chemie – die Sprache der Chemiker. *Angewandte Chemie*, **1991**, 103, 1-16

Lakoff G. & Johnson M. *Metaphors we live by*. Chicago and London: The University of Chicago Press, **1980**

Luria S.E. *Leben – das unvollendete Experiment*. München, Zürich: Piper, **1974**

Pörksen U. *Weltmarkt der Bilder*. Stuttgart: Klett-Cotta, **1997**

Rees D.C., Lewis M. & Lipscomb W.N. Refined crystal structure of carboxypeptidase A at 1.54 Å resolution. *Journal of Molecular Biology*, **1983**, 168, 367

Richardson J.S. The anatomy and taxonomy of protein structure. *Advances in Protein Chemistry*, **1981**, 34, 167-339

Richardson J.S. Early drawings of proteins. *Nature Structural Biology*, **2000**, 7, 624-625

Rudwick M. The emergence of a visual language for geological science 1760-1840. *History of Science*, **1976**, 14, 149-195

Singer S.J. & Nicolson G.J. The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. *Science*, **1972**, 175, 720-731

Watson J. & Crick F. Molecular structure of nucleic acid. A structure for desoxyribose nucleic acid. *Nature*, **1953**, 171, 737-738

### 3.2.2 Kopieren wissenschaftlicher Bilder

Das Bekannte ist fast immer der Ausgangspunkt für die Darstellung des Unbekannten; eine bestehende Darstellung wird immer einen Künstler in ihren Bann ziehen, selbst dann, wenn er danach strebt, das Gesehene wahrheitsgetreu festzuhalten.

–Ernst Gombrich, 2002, S. 72

#### 3.2.2.1 Beobachtungen und Fragestellungen

Kanonische Bilder sind definiert als formal und inhaltlich sehr ähnliche Standardbilder, welche in wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Publikationen wiederholt verwendet werden. Es sind abstrakte Typen, die in definierten Exemplaren zur Ausprägung kommen (Kapitel 3.2.1.). Bereits aus dieser Definition lässt sich erschliessen, dass der *Prozess des Kopierens* an der Entstehung kanonischer Bilder wesentlich beteiligt sein muss. Ausgehend von einem *Original* oder mehreren Originalen werden *Kopien* angefertigt, die in Folge erneut kopiert werden können. Die Kopien sind *Exemplare* der kanonischen Bilder. Beim Kopieren ist mit *Transformationen* zu rechnen.

Um diese theoretischen Überlegungen zu belegen und zu untersuchen, sollte der Prozess des Kopierens kanonischer Bilder ausgehend von Originalen anhand der folgenden Fragestellungen näher untersucht werden. Es sollten deshalb:

- kanonische Bilder und die definierten Exemplare (Kopien) in Lehrbüchern der Biologie und Biochemie,
- sowie deren Originale in der Literatur identifiziert und dokumentiert werden.
- Am Fallbeispiel „Struktur des HI-Virus“ sollten die Transformationen ausgehend vom Original, sowie die positiven und negativen Aspekte des Kopierens im Detail charakterisiert werden.

Die folgenden deutsch- und englischsprachigen Lehrbücher der Biologie und Biochemie wurden untersucht:

*Biologie*: Czihak *et al.* (1976), Baker & Garland (1982), Raven & Johnson (1992), Keeton & Gould (1993), Solomon, Berg & Martin (1999), Purves *et al.* (2001), Campbell, Reece & Simon (2004); *Biochemie*: Voet & Voet (1990), Stryer (1995)

#### 3.2.2.2 Resultate

Eine Auswahl von 12 kanonischen Bildern wurde identifiziert. *Tabelle 4* gibt eine Übersicht über die untersuchten Beispiele. Die Resultate sind in *Tabelle 5* dargestellt. Das Fallbeispiel HI-Virus wird separat diskutiert.

**Tabelle 4.** Übersicht über die untersuchten kanonischen Bilder in Lehrbüchern der Biologie und Biochemie.

- 
1. Struktur der DNA
  2. DNA Replikation (Meselson-Stahl Experiment)
  3. Struktur der tRNA
  4. Bakteriophagen (Hershey-Chase Experiment)
  5. Struktur von Hämoglobin
  6. Struktur des Influenza-Virus
  7. Fluid Mosaic Modell der Zellmembran
  8. Phylogenetischer Stammbaum der Darwinfinken
  9. Evolution der Giraffe – Darwin und Lamarck
  10. Homologie der Wirbeltiergliedmassen
  11. Evolution der Pferdehufe
  12. Die Struktur des HI-Virus
- 

**Tabelle 5.** Analyse kanonischer Bilder in Lehrbüchern der Biologie und Biochemie in Bezug auf den Prozess des Kopierens. Unter Kopien werden Kopien mit und ohne Transformationen zusammengefasst.

---

### 1. Struktur der DNA

*Beschreibung:* Im Jahr 1953 publizierten Watson und Crick die Struktur der DNA in der Fachzeitschrift *Nature* (Watson & Crick, 1953; zur Entdeckung der Struktur siehe Watson, 1969). Die Publikation war begleitet von einem einfachen schematischen Bild. Das kanonische Bild zeigt einen Ausschnitt der Doppelhelixstruktur der DNA.

*Original des kanonischen Bildes:* Watson & Crick, 1953

*Kopien:* Raven & Johnson (1992), Keeton & Gould (1993), Solomon, Berg & Martin (1999), Purves *et al.* (2001), Campbell, Reece & Simon (2004)

### 2. DNA Replikation (Meselson-Stahl Experiment)

*Beschreibung:* Im Jahr 1958 führten Meselson und Stahl ein Experiment durch, in dem sie den Mechanismus der DNA-Replikation nachweisen konnten, wie ihn bereits Watson und Crick vorgeschlagen hatten (Meselson & Stahl, 1958). Abbildung 6 der Publikation, eine einfache, schwarz-weiße und schematische Zeichnung zeigt, wie ein Strang zunächst zu zwei und anschliessend zu vier Strängen repliziert wird.

*Original:* Meselson & Stahl, 1958

*Kopien:* Raven & Johnson (1992), Keeton & Gould (1993), Stryer (1995), Solomon, Berg & Martin (1999), Purves *et al.* (2001)

### 3. Struktur der tRNA

*Beschreibung:* Die Darstellung der Struktur der tRNA ist in zwei Varianten kanonisiert, welche häufig nebeneinander dargestellt werden. Das erste kanonische Bild zeigt die sogenannte Kleeblatt (*Cloverleaf*)-Darstellung und den Aufbau aus Nukleotiden. Das zweite kanonische Bild zeigt ein Modell der dreidimensionalen Struktur der tRNA.

*Originale:* Die Originale stammen aus den folgenden Publikationen: Holley *et al.* (1965), Kim *et al.* (1974), Rich & Kim (1978)

*Kopien:* Czihak *et al.* (1976), Baker & Garland (1982), Voet & Voet (1990), Raven & Johnson (1992), Keeton & Gould (1993), Stryer (1995), Solomon, Berg & Martin (1999), Purves *et al.* (2001), Campbell, Reece & Simon (2004)

### 4. Bakteriophagen (Hershey-Chase Experiment)

*Beschreibung:* In einem vielzitierten Experiment zeigten Hershey und Chase 1952, dass die DNA als Erbmaterial zur Synthese von T2-Bakteriophagen verantwortlich ist und nicht die Proteinhülle des bakteriellen Virus. Das kanonische Bild zeigt die einzelnen Schritte des Experiments, in der auch das kanonische wissenschaftliche Zeichen des Bakteriophagen dargestellt ist.

*Original:* Das Original des Bildes konnte nicht identifiziert werden. Der Artikel zum Experiment von Hershey & Chase (1952) enthält das Bild nicht.

*Kopien:* Voet & Voet (1990), Raven & Johnson (1992), Keeton & Gould (1993), Solomon, Berg & Martin (1999), Purves *et al.* (2001), Campbell, Reece & Simon (2004)

### 5. Struktur von Hämoglobin

*Beschreibung:* Hämoglobin transportiert in den Erythrozyten an Eisen gebundene Sauerstoffmoleküle im Blut. Das Protein besteht aus vier Untereinheiten mit je einer Häm-Gruppe, welche ein Eisenatom koordiniert. In Lehrbüchern der Biologie und Biochemie wird die Quartärstruktur des Hämoglobin in einer ungewöhnlichen Darstellung gezeigt, welche nicht den üblichen Konventionen der Proteinstrukturen entspricht.

*Original:* Bei den kanonischen Bildern in den Lehrbüchern handelt es sich um Kopien der Originale von Irving Geis aus dem Jahr 1969. Die ungewöhnliche Darstellungsform ist darauf zurückzuführen, dass 1969 die gängigste Darstellungsform der Proteine (*Ribbon*-Darstellung; Richardson, 1981) noch nicht entwickelt war (siehe Dickerson & Geis, 1969; 1983).

*Kopien:* Voet & Voet (1990 – Original von Geis), Raven & Johnson (1992), Keeton & Gould (1993), Solomon, Berg & Martin (1999), Purves *et al.* (2001), Campbell, Reece & Simon (2004)

Dieses Beispiel gilt analog für Myoglobin, siehe Kapitel „Modelle“.

## 6. Struktur des Influenza-Virus

*Beschreibung:* Das Influenza-Virus wird in sehr vielen Varianten dargestellt. Eine dieser Varianten wurde kanonisiert. Das Bild zeigt das Virus als angeschnittene Hohlkugel mit den Oberflächenproteinen Hämagglutinin und Neuraminidase, den Lipidbilayer, die Matrixproteinschicht und die genetische Information (RNP) als Knäuel im Inneren der Kugel.

*Original:* Das Original stammt aus einem Artikel von Kaplan & Webster (1977) aus dem *Scientific American*.

*Kopien:* Voet & Voet (1990); Campbell, Reece & Simon (2004 – ähnlich, nicht identisch)

Das Bild ist im Internet und in Printmedien verbreitet (z.B. bei Medicalpicture.de, Lizenzierung medizinischer Bilder; Factsheet Tamiflu® Roche, 10.4.2006); NZZ am Sonntag, 15.1.2006; Deutsche Apotheker Zeitung (2006, 146(8))

## 7. Fluid Mosaic Modell der Zellmembran

*Beschreibung:* Die Darstellung von Zellmembranen als Lipidbilayer ist heute ubiquitär in allen wissenschaftlichen Publikationen kanonisiert, vgl. Gilbert & Mulkay, 1984, S. 153: „There are conventions certainly for representing membranes now. You just draw the little phospholipids and then everybody knows that means that it's fluid and it's all of the various things of the fluid mosaic model in effect“.

*Originale:* (1) Das aktuelle Modell der Zellmembran wurde 1972 in dem berühmten Artikel „The Fluid Mosaic Model of the Structure of Cell Membranes“ von Singer und Nicolson publiziert (Singer & Nicolson, 1972). Es ist mit Einschränkungen nach wie vor gültig. Es macht allgemeine Aussagen zur Struktur von biologischen Membranen. Abbildung 3 der Publikation zeigt eine schwarz-weiße, dreidimensional-geometrische Ansicht der Membran als Lipidbilayer, aufgebaut aus Phospholipiden mit integralen und peripheren Proteinen.

(2) 1985 erschien im *Scientific American* ein Übersichtsartikel zur Struktur der Membranen, der mit einem Bild von Dana Burns illustriert war (Bretscher, 1985). Im Gegensatz zum Bild von Singer und Nicolson war dieses Bild koloriert und zeigte weitere Bestandteile der Membran, u.a. Cholesterol,  $\alpha$ -Helices, Glykoproteine mit Oligosaccharidketten und extrazelluläre Anteile.

*Kopien Typus Singer und Nicolson:* Baker & Garland (1982), Stryer (1994), Campbell, Reece & Simon (2004)

*Kopien Typus Bretscher:* Voet & Voet (1990), Raven & Johnson (1992), Keeton & Gould (1993), Solomon, Berg & Martin (1999), Purves *et al.* (2001)

## 8. Phylogenetischer Stammbaum der Darwinfinken

*Beschreibung:* Die Darwinfinken umfassen eine Gruppe von 14 Vogelspezies, die Charles Darwin als erster bei seinen Reisen auf der Galápagos-Inselgruppe gesammelt hat. Sie sind das Standardbeispiel für *adaptive Radiation*, den Prozess der Entstehung neuer spezialisierter Arten und die Besetzung ökologischer Nischen ausgehend von einem gemeinsamen

Vorfahren. Das kanonische Bild der Darwinfinken zeigt den phylogenetischen Stammbaum der Vögel (Grant, 1986).

*Original des kanonischen Bildes:* Eine einflussreiche Übersicht zur Taxonomie der Darwinfinken in 14 Spezies legte David Lack 1945 und 1947 vor (Lack, 1947). Lack fertigte u.a. auf der Basis von morphologischen Variationen, dem Fress- und Brutverhalten und der Verteilung der Vögel einen spekulativen phylogenetischen Stammbaum der Finken an. Die am ökologisch bedrängten und spezialisiertesten Finken sind an der Spitze des Baumes angesiedelt (Grant, 1986, S. 12).

*Kopien:* Baker & Garland (1982), Keeton & Gould (1993), Purves *et al.* (2001), Campbell (2003), Campbell, Reece & Simon (2004)

siehe Grant (1986), Grant (2002), Weiner (1994)

## 9. Evolution der Giraffe – Darwin und Lamarck

*Beschreibung:* Die Unterschiede der Evolutionstheorie nach Lamarck und Darwin werden in Lehrbüchern der Biologie mit der Entwicklung des langen Halses der Giraffe veranschaulicht. Bei Lamarck erhalten die Giraffen den langen Hals durch Vererbung erworbener Eigenschaften als kontinuierlichen Prozess während mehrerer Generationen. Bei Darwin entsteht der lange Hals als Ergebnis einer natürlichen Selektion (für einen kritischen Kommentar zu dieser Geschichte siehe Gould, 1998).

*Original:* Die erste Abbildung konnte nicht identifiziert werden. Das klassische Lehrbuchbeispiel entstand vermutlich zu Beginn des 20. Jahrhunderts (Gould, 1998).

*Kopien:* Baker & Garland (1982); die Geschichte wird auch ohne Bild erzählt, z.B. bei Solomon, Berg & Martin, 1992, S. 371: „For example Lamarck suggested that the long neck of the giraffe developed when a short-necked ancestor stretched its neck to browse on the leaves of trees. Its offspring inherited the long neck, which stretched still further as they ate. This process, repeated over many generations, supposedly resulted in the long necks of modern giraffes“

## 10. Homologie der Wirbeltiergliedmassen

*Beschreibung:* Das kanonische Bild zeigt die Homologie der Knochen der Vordergliedmassen von Wirbeltieren bei der Diskussion der Evolutionstheorie. Während die Darstellungsform sehr einheitlich ist, unterscheiden sich die Bilder in der Auswahl der Wirbeltiere, deren Knochen dargestellt sind. Knochen der folgenden Spezies werden dargestellt: Mensch, Schwein, Pferd, Schaf, Katze, Hund, Fledermaus, Vogel, Reptil, Frosch

*Original:* Das Original konnte nicht identifiziert werden. Wahrscheinlich stammt es aus dem 19. Jahrhundert (Georges Cuvier?). Bei Romanes (1901) wurde eine ältere Variante identifiziert.

*Kopien:* Baker & Garland (1982), Raven & Johnson (1992), Keeton & Gould (1993), Solomon, Berg & Martin (1999), Purves *et al.* (2001)

## 11. Evolution der Pferdehufe

*Beschreibung:* Das Bild zeigt Knochen fossiler Pferde der Spezies Orohippus, Mesohippus, Miohippus, Protohippus, Pliohippus und Equus (heutiges Pferd). An den Knochen der Vorder- und Hinterextremität ist die Entwicklung des Hufs ausgehend vom ältesten Fossil zum heutigen Fossil deutlich erkennbar, indem die seitlichen Mittelfussknochen und Zehenknochen reduziert werden und sich zentral das Huf ausbildet.

*Original:* Im Jahr 1876 unternahm Thomas Huxley, ein Mitstreiter von Charles Darwin und Verfechter der Evolutionstheorie, eine Reise in die Vereinigten Staaten. O.C. Marsh, der führende Wirbeltierpaläontologe erstellte für Huxley eine Version des Bildes, das Huxley bereits 1870 vorgeschlagen hatte (vgl. Gould, 1991).

*Kopien:* Czihak *et al.* (1976, nach Osborn), Baker & Garland (1982), Raven & Johnson (1992), siehe auch: Romanes (1901)

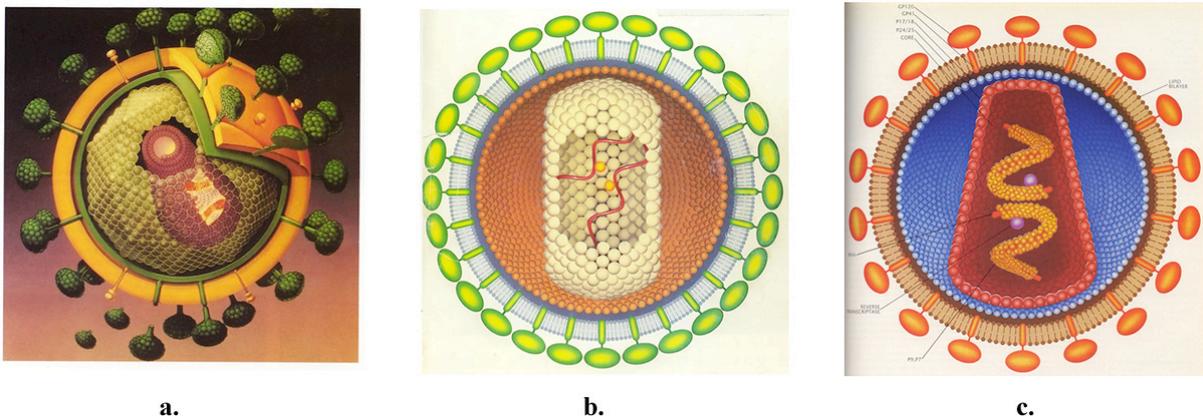
## 12. Die Struktur des HI-Virus

s. unten, wird separat besprochen

---

## Fallbeispiel: Die Struktur des HI-Virus

HIV, das *Human Immunodeficiency Virus*, welches die Immunschwäche AIDS auslöst, weist einen Durchmesser von etwa 100 nm auf. Es ist etwa 10-20 mal kleiner als ein Bakterium und kann mit Elektronenmikroskopen sichtbar gemacht werden. In diesen Bildern erscheint es als ovale bis runde, diffuse, schwarz-weiße Struktur, die nur mit einem geschulten Auge zu lesen ist (zum geschulten Auge vgl. Fleck, 1983; Daston & Galison, 2002). Zur Erklärung der Struktur und des Vermehrungszyklus des Virus werden deshalb meistens schematische Illustrationen verwendet, wie sie in *Abbildung 18* dargestellt sind. Diese drei Illustrationen sind die Originale der kanonischen Bilder, deren Exemplare in wissenschaftlichen Publikationen aller Art verwendet werden. Transformierte Kopien dieses allgemeinen Typus finden sich heute in den wichtigsten Lehrbüchern der Biologie oder der Biochemie (z.B. Campbell, 2002; 2003; Campbell, Reece & Simon, 2004; Stryer, 2002), in E-Learning Angeboten, in Printmedien, Nachrichtenmagazinen und auf dem Internet. Eine Übersicht über die Verbreitung im Internet kann über eine Bildersuche mit *Google* (<http://images.google.com>), zum Beispiel mit den Schlagworten „AIDS Virus“, gewonnen werden. Im Januar 2005 war jedes dritte Suchresultat, das ein schematisches Bild von des HI-Virus zeigte, eine Variante dieses allgemeinen Typus und eine (modifizierte) Kopie oder die Kopie der Kopie dieser Bilder.



**Abbildung 18.** (a) Diese Illustration zeigt den Wissensstand zur Struktur von HIV aus dem Jahr 1987. Trotzdem wird sie weiterhin in zahlreichen Publikationen und insbesondere von Nachrichtenagenturen häufig kopiert und weiterverwendet (Koch, 1987; © Osterwalder's Art Office). (b) Die erste Illustration von Kelvin aus dem Jahr 1987 ist aus heutiger wissenschaftlicher Sicht nicht mehr aktuell. Die Zahl der Oberflächenproteine ist zu gross, die Membran zu dick. Die Form des Capsids untypisch. Auch fehlen essentielle Bestandteile des Virus. Kopien dieser Abbildung werden weiter verwendet (Gallo, 1987, © George V. Kelvin). (c) Die zweite Illustration von Kelvin aus dem Jahr 1988 ist eine überarbeitete Variante der Illustration aus dem Jahr 1987. Auch hier ist die Membran aus Gründen der Visualisierung vergrößert gezeichnet; essentielle Bestandteile des Virus fehlen aus heutiger Sicht (Gallo & Montagnier, 1988; © George V. Kelvin).

Alle drei Originale, von denen sich die Kopien und die kanonischen Bilder ableiten, stammen aus den 80er Jahren. Das erste Bild (*Abbildung 18-a*) stammt aus einem Buch über AIDS von Michael Koch (Koch, 1987; Graphische Umsetzung: Graphico,

Hamburg). Das zweite und das dritte (*Abbildung 18-b* und *Abbildung 18-c*) wurden vom wissenschaftlichen Illustrator George V. Kelvin für die Zeitschrift *Scientific American* erstellt und begleiteten zwei Artikel über HIV. *Abbildung 18-b* ist die etwas ältere und unpräzisere Variante aus dem Jahr 1987 (Gallo, 1987), *Abbildung 18-c* die modifizierte Variante aus dem Jahr 1988 und ist unter diesen Bildern wissenschaftlich gesehen die zutreffendste (Gallo & Montagnier, 1988). Die Bilder von Kelvin basieren wahrscheinlich auf den einfachen, zweidimensionalen schematischen Stichzeichnungen von Hans Gelderblom aus Fachzeitschriften der Virologie basieren (z.B. Gelderblom *et al.*, 1987, *Abbildung 19*). Es handelt sich bei diesen Originalen also letztlich selbst um Kopien. Die Bilder von Kelvin sind graphisch „verschönert“. Die Frage, was mit Bildern bei einer solchen Verschönerung geschieht, wird im Kapitel zu den naturalistischen Bildern diskutiert.

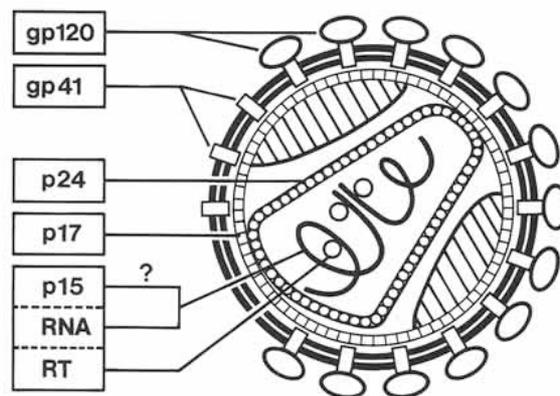


Abbildung 19. HIV (Gelderblom *et al.*, 1987; © Elsevier). Die naturalistische Illustration der Struktur von HIV basieren wahrscheinlich auf dieser einfachen Strichzeichnung von Gelderblom *et al.* aus dem Jahr 1987.

Alle drei Bilder sind also 20 Jahre alt. Es stellt sich deshalb die Frage, ob sie wissenschaftlich weiterhin gültig sind und weiterhin als Kopien verwendet werden sollen. Eine genaue Analyse der drei Illustrationen aus den 80er Jahren zeigt, dass diese den heutigen wissenschaftlichen Kenntnisstand über die Struktur des Virus unvollständig und teilweise falsch wiedergeben.

Nach zwei Jahrzehnten Forschung ist heute mehr über die Struktur des Virus bekannt. Alle drei Abbildungen enthalten Ungereimtheiten:

#### Illustration aus Koch (1987)

- Als Core ist die deltaikosaedrische Struktur bezeichnet. Diese entspricht möglicherweise dem, was heute als Matrixprotein bezeichnet wird und dessen Struktur heute als Ikosaeder vermutet wird (Forster, Mulloy & Nermut, 2000; Turner & Summers, 1999).
- Es ist unklar, worum es sich bei der grünen Struktur unterhalb der Membran handelt. Möglicherweise soll diese Schicht die Matrixproteinhülle darstellen.
- Die RNP liegt frei. Das Capsid ist nicht dargestellt.

- Nicht dargestellt ist der sog. Lateralkörper, die Enzyme Integrase und Protease und Proteine der Wirtszelle in der Zellmembran (Gelderblom, 1991; Goto *et al.*, 1998).

#### **Illustration von Kelvin (1987)**

- Die Anzahl der Oberflächenproteine ist mit 28 zu gross (statt 18, Özel *et al.*, 1988).
- Das Capsid ist zylinderförmig dargestellt, heute wird von einer konischen Form ausgegangen (Ganser *et al.*, 1999; Briggs *et al.*, 2003).
- Die Matrixproteinhülle ist rund dargestellt, heute wird die Form eines Ikosaeders vermutet (Forster, Mulloy & Nermut, 2000; Turner & Summers, 1999).
- Nicht dargestellt ist der sog. Lateralkörper, die Enzyme Integrase und Protease und Proteine der Wirtszelle in der Zellmembran (Gelderblom, 1991; Goto *et al.*, 1998).
- gp120 und gp41 sind direkt miteinander verbunden, was eine kovalente Bindung impliziert.

#### **Illustration von Kelvin (1988)**

- Nicht dargestellt ist der sog. Lateralkörper, die Enzyme Integrase und Protease und Proteine der Wirtszelle in der Zellmembran (Gelderblom, 1991; Goto *et al.*, 1998).
- gp120 und gp41 sind direkt miteinander verbunden, was eine kovalente Bindung impliziert.
- Die Matrixproteinhülle ist rund dargestellt, heute wird die Form eines Ikosaeders vermutet (Forster, Mulloy & Nermut, 2000; Turner & Summers, 1999).

Es muss betont werden, dass die Bilder aus den 80er Jahren nicht „falsch“ oder „schlecht“ sind. Sie repräsentieren aber einen veralteten Kenntnisstand und sollten heute durch neue Modelle ersetzt und in wissenschaftlichen Veröffentlichungen nicht mehr verwendet werden. Interessanterweise machen sowohl Koch als auch Kelvin darauf aufmerksam, dass es sich bei den Illustrationen um Modelle handle, die später überarbeitet und ergänzt werden würden.

#### **3.2.2.3 Schlussfolgerungen: Kopieren wissenschaftlicher Bilder**

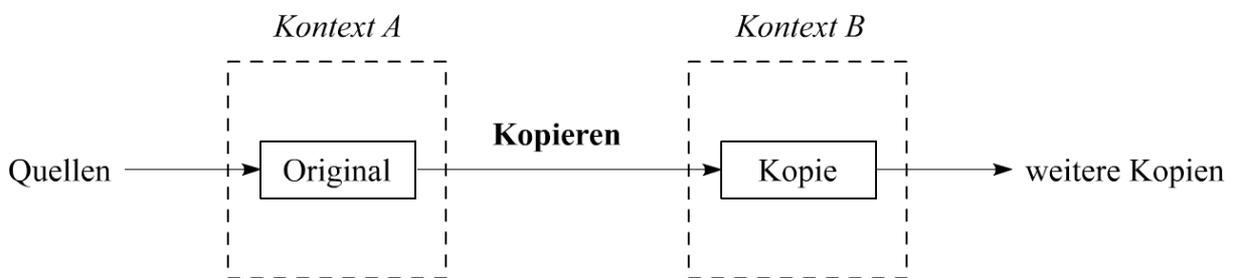
An 12 Beispielen konnte nachgewiesen werden, dass in den wichtigsten Lehrbüchern der Biologie und Biochemie kanonische Bilder verwendet werden. Diese Bilder sind sich trotz der unterschiedlichen Verlage, welche diese Bücher produzieren, inhaltlich und formal sehr ähnlich.

Mit einer Literaturrecherche wurden die Originale dieser Bilder in der wissenschaftlichen Literatur identifiziert. Aufgrund der Ähnlichkeit der Bilder in den Lehrbüchern der Biologie mit den Originalen konnte gezeigt werden, dass die

Exemplare in den Lehrbüchern durch den Prozess des Kopierens ausgehend von Originalen entstehen.

Trotz der hohen Ähnlichkeit sind die Kopien und die Originale untereinander nicht identisch. Ausgehend von den Originalen werden die Bilder mehr oder weniger stark umgestaltet. Diese *Transformation* werden im nächsten Kapitel im Detail diskutiert.

Kopieren von wissenschaftlichen Bildern bedeutet, dass Bilder (*Originale*) aus einem Kontext, z.B. aus einer Fachzeitschrift, in einen anderen Kontext, z.B. in ein Lehrbuch übernommen oder nachgezeichnet und dabei gegebenenfalls modifiziert werden. Damit wird in dieser Arbeit sowohl das Kopieren mit technischen Mitteln (z.B. Photokopie, digitale Kopie) wie auch mit manuellen Mitteln (z.B. Nachzeichnen eines Bilds mit einem Graphikprogramm) bezeichnet. Dieser Prozess ist in *Abbildung 20* schematisch dargestellt.



**Abbildung 20.** Der Prozess des Kopierens. Es ist dargestellt, wie ein Bild (ein Original) durch den Prozess des Kopierens von einem Kontext A in einen Kontext B übertragen wird. Die Kopie kann wiederum dazu verwendet werden, weitere Kopien herzustellen. Beim Kopieren werden die Bilder transformiert oder identisch wiederverwendet (Bild: A. Vögtli).

Das Kopieren von wissenschaftlichen Bildern hat eine lange Tradition. Bekannte Beispiele aus der Geschichte der Naturwissenschaften sind Dürers Rhinoceros (vgl. Gombrich, 2002) oder Hookes Zeichnung eines Flohs (Ford, 1992). Beide wurden häufig manuell kopiert, im Fall von Dürers Rhinoceros mit allen bekannten Ungereimtheiten, die das Bild enthält. Die Gründe, ein wissenschaftliches Bild nicht vollständig neu selbst zu erstellen, sondern das ganze Bild oder zumindest Teile davon zu übernehmen, sind vielfältig. Es kann einfacher, kostengünstiger und weniger zeitaufwändig sein ein Bild zu kopieren, anstatt ein komplett neues Bild zu entwerfen. Unter Umständen ist es gar nicht möglich, ein gleichwertiges Bild zu produzieren, weil die zugrunde liegenden Informationen oder die technischen und künstlerischen Mittel nicht gegeben sind. Der Wissenschaftshistoriker Brian Ford hat die Geschichte von wissenschaftlichen Bildern untersucht. Er macht zum Kopieren folgende Aussage:

„Plagiarism has been a rife in science since the discipline emerged (...) Each generation of copying takes one further from reality. A living specimen, well portrayed, becomes wooden and stiff as it is copied and re-copied. Scientific realities mutate (...) there are ‚icons‘ that stand out in scientific literature: illustrations to attract respect for learning, but which cannot be intended to represent reality.“ (Ford, 1992, S. 3)

Er weist auf den Verlust der *graphischen Qualität* der naturalistischen Darstellung bei mehrmaligem manuellen Kopieren hin. Die Ähnlichkeit eines Bildes zum Objekt wird dabei immer kleiner, bis am Ende das Bild nur noch als *Icon* für das Objekt steht.

### **Die Problematik des Kopierens**

Am Fallbeispiel der Illustrationen des HI-Virus wird deutlich, dass sich die *wissenschaftliche Qualität* des Originals unmittelbar auf die Qualität der Kopien auswirkt. Wissenschaftliche Bilder beruhen auf Quellen, z.B. auf Modellen, Theorien, Hypothesen, Experimenten oder publizierten Daten. Sie sind bestenfalls auf dem Kenntnisstand der Zeit, zu der sie publiziert wurden. Verändert sich dieser Kenntnisstand, so reduziert sich damit auch die wissenschaftliche Qualität des wissenschaftlichen Bildes (des Originals).

Die Verwendung von Bildern als Vorlagen für Kopien kann aus diesem Grund problematisch sein. Abzuklären, wann ein Bild ursprünglich entstanden ist, kann aber, gerade weil Bilder so häufig kopiert werden, sehr schwierig sein. Zumal bei Bildern in Lehrbüchern häufig auf die Quellenangabe verzichtet wird. Damit entsteht der Eindruck, ein Bild sei neu, repräsentiere den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand und sei speziell für das Lehrbuch erstellt worden. Eine genaue Analyse deckt aber häufig auf, dass es sich um eine Kopie eines viel älteren Originals handelt. Die Fallstudie zur Illustration des HI-Virus zeigt, dass etwa in Lehrbüchern oder auf dem Internet Illustrationen des Virus verwendet werden, die den aktuellen Kenntnisstand nicht mehr repräsentieren. Sie wurden nicht basierend auf aktuellen Forschungsergebnissen neu erstellt, sondern aus unterschiedlichen Motiven aus Publikationen aus den 80er Jahren kopiert und nachgezeichnet. Weil sich der Kenntnisstand nicht zwangsläufig verändert, ist die Aktualität alleine natürlich kein Maß für die Qualität eines Bildes. Es muss deshalb betont werden, dass ein kopiertes oder ein altes Bild nicht *per se* von einer schlechten wissenschaftlichen Qualität ist.

Auch graphische oder ästhetische Aspekte eines Bildes geben keinerlei Aufschluss über dessen wissenschaftliche Qualität. Häufig trügt der Schein: Die veralteten Illustrationen des HI-Virus aus den 80er Jahren sind von einer hohen graphischen Qualität. Dies ist sicher ein Grund, weshalb sie auch heute gerne noch verwendet werden. Die hohe Ästhetik impliziert eine hohe wissenschaftliche Qualität. Aufschluss über die wissenschaftliche Qualität eines Bildes kann aber letztlich nur eine fundierte Literaturrecherche geben, welche die geschichtliche Entwicklung der wissenschaftlichen Fakten mit einbezieht.

Die bereits erwähnten Probleme beim Kopieren werden durch die Dekontextualisierung der Originale noch verstärkt. Wird die Bildbeschriftung oder der Haupttext, auf den sich ein Bild bezieht, beim Kopieren nicht oder nur unvollständig übernommen, ist das Bild aus seinem ursprünglichen Kontext herausgelöst. Dabei können wichtige Informationen verloren gehen oder verzerrt werden. Bowen und Roth (2002) haben in Untersuchungen zu Lehrbüchern (Stufe High School und College) und Fachzeitschriften der Ökologie Beispiele, z.B. Diagramme, identifiziert, die verändert in neuere Lehrbüchern übernommen wurden. Die Veränderungen am Kontext und an den Bildern dienten eigentlich lediglich dazu, die Bilder graphisch oder inhaltlich an

das neue Lehrbuch anzupassen oder sie einfach lesbarer zu machen. Dabei wurde aber der *gegenteilige* Effekt erreicht. Gerade diese Veränderungen erschwerten die Interpretation der Bilder und erhöhten die Anzahl der möglichen Deutungen. Die Autoren der Studie führen das unter anderem darauf zurück, dass die Lehrbücher paradoxerweise kürzere Erklärungen z.B. in Form von Bildbeschriftungen enthielten als die Originale in den Fachpublikationen. Im Extremfall stand ein Bild nach der Dekontextualisierung für sich allein. Weil Bilder von Natur aus vieldeutig sind und keine eindeutigen Aussage machen (Gombrich, 1984), ging die intendierte Aussage des Autors der Originalpublikation verloren.

Eine progressive Modifikation eines wissenschaftlichen Bildes könnte wie folgt zustande kommen: Zunächst wird ein Bild aus einer Fachzeitschrift in ein Lehrbuch übernommen, graphisch an das Layout des Lehrbuchs angepasst und inhaltlich leicht verändert. Anschliessend wird das Bild für Vorlesungsunterlagen kopiert, erneut verändert und angepasst. Wenn ein solches Bild erneut verwendet wird, ist absehbar, dass das letzte Bild dieser Reihe nur noch eine Verzerrung des ursprünglichen Bildes und seiner Aussage darstellt.

### **Praktische Hinweise**

Wie soll vorgegangen werden, um die Probleme zu vermeiden, die beim Kopieren von wissenschaftlichen Bildern auftreten können? Das Fallbeispiel HIV hat aufgezeigt, dass eine Bildersuche bei *Google* bei diesem Beispiel nicht zum gewünschten Ergebnis führt. Auch Lehrbücher oder Vorlesungsunterlagen weisen eine hohe Dichte an kopierten Bildern auf.

Die erwähnten Probleme können einfach gelöst werden. Beim Kopieren eines wissenschaftlichen Bildes aus der Literatur, das mit oder ohne Modifikation wiederverwendet werden soll, ist es zunächst wichtig, die wissenschaftliche Qualität des Bildes zu evaluieren. Diese kann mittels einer genauen Recherche in der Fachliteratur beurteilt werden. Ist ein Bild von guter Qualität, kann es unter Berücksichtigung der Dekontextualisierung weiterverwendet werden. Falls es sich bei dem Bild um eine Kopie eines viel älteren Originals handelt, ist mit relevanten Auswirkungen auf die Qualität zu rechnen. Um die Entwicklung des Bildes über die Zeit nachvollziehen zu können, müssen Vorläufer in älteren Publikationen untersucht werden. Das Studium der Originalpublikationen ermöglicht, wissenschaftliche Bilder einzuordnen und zu datieren. Aufgrund der Literaturrecherche kann schliesslich unter Umständen auch ein neues Bild von hoher Qualität erstellt werden oder die Darstellungsform überdacht werden.

Es wurde gezeigt, dass die Dekontextualisierung von Bildern zu Problemen führen kann. Graphische und inhaltliche Anpassungen, etwa an ein Lehrbuch, können die ursprüngliche Aussage und Funktion eines Bildes verzerren. Veränderungen an Kontext und Bild müssen daher sehr sorgfältig geplant und überdacht werden. Unter Umständen ist die Dekontextualisierung gar nicht notwendig. Im Gegenteil: Durch Präsentation der Originalpublikation werden die Probleme vermieden, die beim Kopieren entstehen. Gleichzeitig werden zum Beispiel Studierende so bei der Interpretation von Bildern aus Originalpublikationen geschult, nicht an artifiziell-didaktischen Bildern.

Neben der wissenschaftlichen Qualität eines Bildes sind weitere Arten der Qualität beim Kopieren für die praktische Verwendung zu diskutieren.

Eine erste ist die rechtliche Qualität. Hier ist insbesondere das Urheberrecht zu berücksichtigen. Wissenschaftliche Bilder, wie etwa die Illustrationen von HIV, sind als „geistige Schöpfungen mit individuellem Charakter“ urheberrechtlich geschützt. Im Gegensatz zum Patentrecht gilt das Urheberrecht sofort nach der Erschaffung des Werks und erfordert keinerlei Registrierung. Es erlischt im Allgemeinen erst 70 Jahre nach dem Tod des Urhebers. Veröffentlichte Werke (z.B. wissenschaftliche Bilder) dürfen für den Eigengebrauch im persönlichen Bereich und durch eine Lehrperson für den Unterricht in der Klasse verwendet werden. Die Publikation eines urheberrechtlich geschützten Bildes in einer Zeitschrift, einem Buch oder auch auf dem Internet erfordert hingegen die Einwilligung des Urhebers. Wer geschützte Bilder kopiert, nachzeichnet oder modifiziert und diese in irgendeiner Form veröffentlichen möchte, sollte die Einwilligung dazu beim Urheber einholen (Schweizerisches Bundesgesetz über das Urheberrecht).

Eine zweite ist die *graphische Qualität*. Diese kann sich beim Kopieren wesentlich verschlechtern, sowohl bei einer technischen Reproduktion wie auch bei einer manuellen Nachzeichnung. Für Vorlesungen werden zum Beispiel Bilder aus Lehrbüchern oder Fachzeitschriften eingescannt, was häufig zu einer Qualitätseinbusse führt. Dies lässt sich vermeiden, wenn das Bild in digitaler Form kopiert wird. Einige Lehrbücher stellen CDs oder Internetseiten für das Lehrpersonal zur Verfügung, auf denen alle Bilder des Lehrbuchs digital in hoher Auflösung abrufbar sind. Viele Fachpublikationen liegen heute digital vor. Aus diesen lassen sich ebenfalls hochaufgelöste digitale Bilder gewinnen. Generell sollte auf eine hohe Auflösung für den Druck (z.B. eines Vorlesungsskripts) geachtet werden, da sonst Informationen verloren gehen können.

Manchmal lässt sich die graphische Qualität eines Bildes beim Kopieren auch verbessern. Wenn ein Original in schlechter Qualität vorliegt, kann es zum Beispiel mit einem Vektorgraphikprogramm nachgezeichnet werden. Dies ist allerdings meist nur bei einfachen, schematischen Bildern möglich.

Eine dritte Art ist die *didaktische Qualität*. Diese bezieht sich auf die Frage, wie effizient mit einem Bild gelernt werden kann. Zu diesem Thema existiert eine umfangreiche Literatur (Beispiele: Goldsmith, 1984; Weidenmann, 1993; Ballstaedt, 1997; Mayer, 2001).

Weitere Arten der Qualität lassen sich anführen, etwa die *ästhetische Qualität* (vgl. graphische Qualität). Entscheidend ist jedoch, dass nicht jede Art der Qualität zwangsläufig möglichst hoch sein muss. In einem Kontext kann etwa die wissenschaftliche, in einem anderen Kontext kann die graphische Qualität im Vordergrund stehen.

#### 3.2.2.4 Referenzen

Baker J.J.W. & Garland A.E. The study of biology, 4th edition, Addison-Wesley, **1982**

Ballstaedt S. Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial. Weinheim: Beltz / Psychologie Verlags Union, **1997**

Bretscher M.S. The molecules of the cell membrane. *Scientific American*, **1985**, 253(4), 100-108

Briggs J.A., Wilk T., Welker R., Krausslich H.G. & Fuller S.D. Structural organization of authentic, mature HIV-1 virions and core. *The EMBO Journal*, **2003**, 22(7), 1707-1715

Campbell N.A. Biologie, 6. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, **2003**

Campbell N.A., Reece J.B. & Simon E.J. Essential biology. San Francisco: Benjamin Cummings, **2004**

Czihak G., Langer H. & Ziegler H. (Hrsg.) Biologie: Ein Lehrbuch für Studenten der Biologie. Berlin: Springer, **1976**

Daston L. & Galison P. Das Bild der Objektivität. In: Geimer P. (Hrsg.) Ordnungen der Sichtbarkeit. Fotografie in Wissenschaft, Kunst und Technologie. Frankfurt am Main: Suhrkamp, **2002**

Dickerson R.E. & Geis I. The structure and action of proteins. New York: Harper and Row, **1969**

Dickerson R.E. & Geis I. Hemoglobin. Menlo Park: Benjamin Cummings, **1983**

Fleck L. Erfahrung und Tatsache. Frankfurt am Main: Suhrkamp, **1983**

Ford B.J. Images of science: A history of scientific illustration. London: The British Library, **1992**

Forster M.J., Mulloy B. & Nermut M.V. Molecular modelling study of HIV p17gag (MA) protein shell utilising data from electron microscopy and x-ray crystallography. *Journal of Molecular Biology*, **2000**, 298, 841-857

Gallo R.C. The AIDS virus. *Scientific American*, **1987**, 256(1), 46-56

Gallo R.C. & Montagnier L. AIDS in 1988. *Scientific American*, **1988**, 259(4), 41-48

Ganser B.K., Li S., Klishko V.Y., Finch J.T. & Sundquist W.I. Assembly and analysis of conical models for the HIV-1 core. *Science*, **1999**, 283, 80-81

Gelderblom H.R., Hausmann E.H., Özel M., Pauli G. & Koch M.A. Fine structure of human immunodeficiency virus (HIV) and immunolocalization of structural proteins. *Virology*, **1987**, 156(1), 171-6

Gelderblom H.R. Assembly and morphology of HIV: potential effect of structure on viral function. *AIDS*, **1991**, 5, 617-637

Gilbert G.N. & Mulkay M. Opening Pandora's box: a sociological analysis of scientists' discourse. Cambridge: Cambridge University Press, **1984**

Goldsmith E. Research into illustration. Cambridge: Cambridge University Press, **1984**

- Gombrich E. Bild und Auge. Stuttgart: Klett-Cotta, **1984**
- Gombrich E. Kunst und Illusion. Berlin: Phaidon, **2002**
- Goto T., Nakai M. & Ikuta K. The life-cycle of human immunodeficiency virus type I. *Micron*, **1998**, 29 (2/3), 123-138
- Grant P.R. Ecology and evolution of Darwin's finches. Princeton: Princeton University Press, **1986**
- Grant P.R. & Grant R. Adaptive radiation of Darwin's finches. *American Scientist*, **2002**, 90(2), 130-139
- Gould S. Ein kleiner Scherz des Lebens. In: Gould S. Zufall Mensch. München: Hanser, **1991**
- Gould S.J. The tallest tale. In: Gould S. Leonardo's mountain of clams and the diet of worms. London: Jonathan Cape, **1998**
- Hershey A.D. & Chase M. Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriophage. *The Journal of General Physiology*, **1952**, 36(1), 39-56
- Holley R.W., Apgar J., Evertt G.A., Madison J.T., Marquisee M., Merrill S.H., Penswick J.R. & Zamir A. Structure of Ribonucleic Acid. *Science*, **1965**, 147, 1462-1465
- Kaplan M.M. & Webster R.G. The epidemiology of influenza. *Scientific American*, **1977**, 237(6), 88-106
- Keeton W.T. & Gould J.L. Biological Science. New York: Norton, **1993**
- Kelvin G.V. Illustrating for science. New York: Watson-Guption Publications, **1992**
- Kim S.H., Suddath F.L., Quigley G.J., McPherson A., Sussman J.L., Wang A.H.J., Seeman N.C. & Rich A. Three-Dimensional tertiary structure of yeast phenylalanine transfer RNA. *Science*, **1974**, 185, 435-440
- Koch M.G. AIDS. Vom Molekül zur Pandemie. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, **1987**
- Lack D. Darwin's finches. Cambridge: Cambridge University Press, **1947**
- Mayer R.M. Multimedia learning. Cambridge: Cambridge University Press, **2001**
- Meselson M. & Stahl F.W. The replication of DNA in Escherichia coli. *PNAS*, **1958**, 44 (7), 671-682
- Özel M., Pauli G. & Gelderblom H.R. The organization of the envelope projections on the surface of HIV. *Archives of Virology*, **1988**, 100(3-4), 255-266

Purves W.K., Heller C., Sadava D. & Gordon H.O. Life, The science of biology 6<sup>th</sup> edition. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, **2001** (5<sup>th</sup> edition, 1997; 6<sup>th</sup> edition, 2001; 7<sup>th</sup> edition, 2003)

Raven P.H. & Johnson G.B. Biology 3<sup>rd</sup> edition. St. Louis (etc.): Mosby-Year Book, **1992**

Rich A. & Kim S.H. The three dimensional structure of transfer RNA. *Scientific American*, **1978**, 238(1), 52-62

Richardson J.S. The anatomy and taxonomy of protein structure. *Advances in Protein Chemistry*, **1981**, 34, 167-339

Romanes G.J. Darwin, and after Darwin. Chicago: The Open Court Publ., **1897-1901**, Bände 1-3

Roth W-M., Bowen M.G. & McGinn M.K. Differences in graph-related practices between high-school biology textbooks and scientific ecology journals. *Journal of Research in Science Teaching*, **1999**, 36(9), 977-1019

Singer S.J. & Nicolson G.J. The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. *Science*, **1972**, 175, 720-731

Solomon E.P., Berg L.R. & Martin D.W. Biology 5<sup>th</sup> edition. Fort Worth: Saunders College, **1999**

Stryer L. Biochemistry. New York: W.H. Freeman, **1995**

Turner B.G. & Summers M.F. Structural biology of HIV. *Journal of Molecular Biology*, **1999**, 285, 1-32

Voet D. & Voet J.G. Biochemistry. New York: John Wiley, **1990**

Voet D. & Voet J.G. Biochemie. Weinheim: Wiley-VCH, **1992**

Watson J.D. Die Doppel-Helix. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt, **1969**

Watson J. & Crick F. Molecular structure of nucleic acid. A structure for desoxyribose nucleic acid. *Nature*, **1953**, 171, 737-738

Weidenmann B. (Hrsg.) Wissenserwerb mit Bildern. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Hans Huber, **1993**

Weiner J. Der Schnabel des Finken oder Der kurze Atem der Evolution. München: Droemer Knauer, **1994**

### 3.2.3 Die Entstehung und Entwicklung wissenschaftlicher Tatsachen

Wissenschaftliche Studien haben gezeigt, dass sportliche Menschen seltener krank sind als Couch Potatoes, denn ihr Immunsystem ist 30 bis 50 Prozent stärker.

–Gesundheits-Magazin „Vista“, 6/2005, S. 20

#### 3.2.3.1 Beobachtungen und Fragestellungen

In der Untersuchung zu den kanonischen Bildern in Lehrbüchern der Biologie und Biochemie wurde darauf hingewiesen, dass beim Kopieren ausgehend von Originalen oder beim Kopieren der Kopien *Transformationen* erfolgen.

Beim Fallbeispiel der Struktur des HI-Virus wurde gezeigt, dass die bunten, dreidimensionalen Strukturen im *Scientific American* möglicherweise auf einer einfachen Strichzeichnung basieren, die in *Virology*, einer Fachzeitschrift der Virologie, veröffentlicht wurde. Die Illustrationen entstanden als Anpassung an die Bedürfnisse einer populärwissenschaftlichen Zeitschrift. Ganz offensichtlich beeinflusst der Kontext, in den ein wissenschaftliches Bild gestellt wird, die Gestaltung und den Inhalt des Bildes.

In diesem Kapitel sollten deshalb die folgenden zwei Fragen beantwortet werden:

- Welche Unterschiede bestehen zwischen wissenschaftlichen Bildern in Fachzeitschriften, Lehrbüchern und populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen?
- Welchen Transformationen unterliegen Bilder beim Kopieren zwischen diesen unterschiedlichen Medien, insbesondere beim Kopieren ausgehend von Originalen kanonischer Bilder?

Der deutsche Professor für Sprache und ältere Literatur Uwe Pörksen hat zur Klärung dieser Frage einen entscheidenden Beitrag geleistet, als er 1997 in seinem Buch „Weltmarkt der Bilder“ (Pörksen, 1997) Ludwik Flecks Erkenntnistheorie bezüglich ihrer Relevanz für das wissenschaftliche Bild diskutierte. Der Bakteriologe und Wissenschaftstheoretiker Ludwik Fleck (1896-1961) beschreibt im vierten Kapitel seines Buchs „Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache“ die Entwicklung wissenschaftlicher Sachverhalte ausgehend von der Fachwissenschaft zur Populärwissenschaft (Fleck, 1980, 1. Ausgabe 1935). Wie Pörksen zeigt und im Folgenden dargelegt wird, geht dieser Prozess mit einer unterschiedlichen Verbildlichung einher. In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse von Fleck und Pörksen präsentiert und mit weiteren Beispielen und Gedanken ergänzt. Als Grundlage für die Diskussion dient die Untersuchung zu den kanonischen Bildern aus dem letzten Kapitel.

### 3.2.3.2 Resultate

#### **Die Struktur des wissenschaftlichen Denkkollektivs**

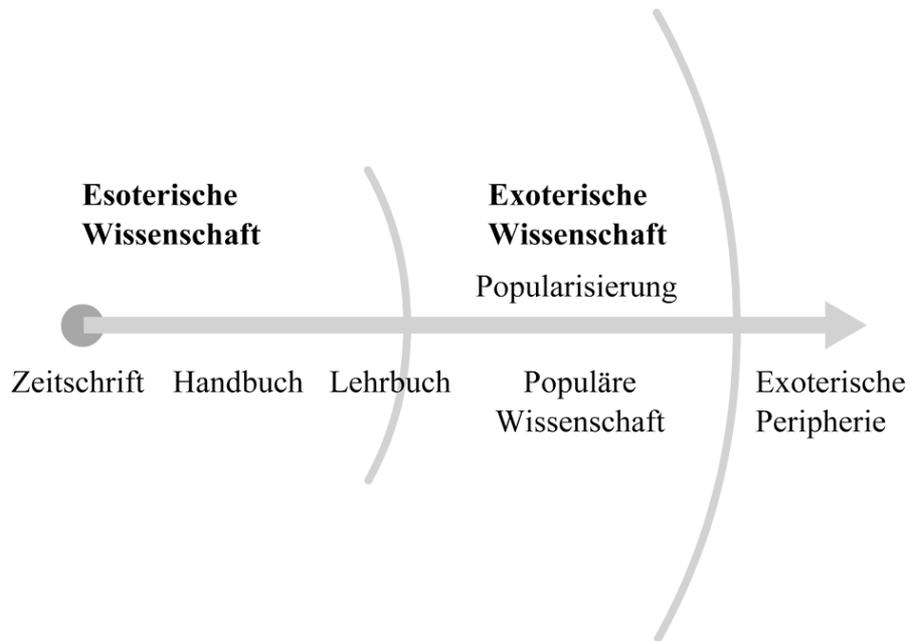
Fleck unterscheidet grundsätzlich zwei Arten der wissenschaftlichen Denkkollektive, die er als konzentrische Kreise unterschiedlicher Radien beschreibt und weiter unterteilt (Fleck, 1981). Im Mittelpunkt des ersten Kreises, der *esoterischen* Wissenschaft, stehen die speziellen Fachleute eines Fachgebiets. Bei diesen handelt es sich um schöpferisch an einem Problem arbeitende und gründlich unterrichtete Forscher. Diese Fachleute veröffentlichen ihre Untersuchungen, Beobachtungen und Experimente in Zeitschriften; Fleck nennt dies die *Zeitschriftwissenschaft*. Charakteristisch an den Artikeln in Fachzeitschriften ist, dass sie in ihren Standpunkten und Experimenten persönlich gefärbt sind. Gleichzeitig versuchen diese persönlichen Berichte über die Einleitung und die Diskussion an das allgemeine Fachgebiet, von dem sie ein Teil sind, anzuknüpfen. In jeder Einleitung zu einem wissenschaftlichen Fachartikel wird über die allgemein akzeptierten Erkenntnisse, den jeweiligen Stand der Forschung und ungelöste Probleme berichtet.

Die Sprache der esoterischen Zeitschriftwissenschaft ist hypothetisch und persönlich gefärbt. Geschrieben wird vorsichtig und häufig im Konjunktiv: „wir haben nachzuweisen *versucht*...“, „es scheint möglich zu sein, dass...“, „es konnte nicht nachgewiesen werden, dass...“.

Aus Zeitschriftenartikeln entstehen Handbücher. Sie bilden nach Fleck die *Handbuchwissenschaft*. Sie gehört ebenfalls zum inneren Kreis der esoterischen Wissenschaft, ist aber etwas weiter vom esoterischen Zentrum entfernt. In der Handbuchwissenschaft entsteht ein geschlossenes System, welches kollektivverbindliche und allgemeingültige Erkenntnisse vorlegt. Das Handbuch entsteht nicht durch reine Addition von Zeitschriftenartikeln, sondern durch Auswahl und eine ordnende Zusammenstellung. Es ist in der Sprache unpersönlicher als die Zeitschrift und vermittelt mehr Gewissheit: „es existiert das und das nicht“, „es gibt so und so etwas“. Die Handbuchwissenschaft lässt den Sachverhalt stärker belegt, sicherer und zusammenhängender erscheinen. Aus dem ungeordneten System der Zeitschriftwissenschaft entsteht durch Auswahl, Vermengung und Anpassung ein Sinngebendes und strukturiertes System.

Schliesslich kann die *Lehrbuchwissenschaft* als Einweihung in die Wissenschaft nach speziellen pädagogischen Methoden ebenfalls zur esoterischen Wissenschaft gerechnet werden. Fleck geht nicht näher auf die Lehrbuchwissenschaft ein.

Entfernt man sich noch weiter vom esoterischen Mittelpunkt der Fachleute, gelangt man zum zweiten Kreis, der *exoterischen* Wissenschaft und damit zur *Populärwissenschaft*. Dazu zählen nicht mehr die speziellen Fachleute, sondern die mehr oder weniger gebildeten „Dilettanten“. Der Begriff bezeichnet Nicht-Fachleute, also zum Beispiel Wissenschaftler, die selber nicht im Fachgebiet tätig sind oder gebildete Laien. Populär heisst, dass etwas auch für den Nicht-Fachmann verständlich ist.



**Abbildung 21.** Ludwik Flecks Unterteilung der Denkkollektive (Bild: A. Vögli).

Populärwissenschaft geht aus der Fach-spezifischen esoterischen Wissenschaft durch *Vereinfachung*, *Anschaulichkeit* und *Apodiktizität* hervor (apodiktisch: unumstösslich geltend, unbedingt richtig). Charakteristisch für sie ist die Unterdrückung von Einschränkungen, Komplikationen oder widersprechenden Befunden und Meinungen: Durch Vereinfachung und Wertung des fachmännischen Wissens entsteht ein anschauliches Bild. Fleck nennt die Diagnose eines bakteriellen Erregers als Beispiel: Der Fachmann (der esoterischen Wissenschaft) beschreibt die bakterielle Kultur mit einer komplizierten, vielleicht widersprüchlichen und hypothetischen Fachsprache. Für die Mitteilung an den Allgemeinarzt wird er jedoch eine allgemein verständliche, einfachere, anschauliche Sprache wählen. Beim Patienten schliesslich wird die Diagnose zur Gewissheit: „Es wurde Diphtherie festgestellt“. „Gewissheit, Einfachheit, Anschaulichkeit entstehen erst im populären Wissen“ (Fleck, 1980, S. 152). Je weiter man sich von der fachmännischen Wissenschaft entfernt, desto weniger sind Beweise gefragt. Die Populärwissenschaft beeinflusst die öffentliche Meinung und die Weltanschauung. Sie beschränkt sich aber nicht nur auf die gebildeten und ungebildeten Dilettanten, sie wirkt auch auf die Fachleute zurück.

Zusammenfassend unterscheidet Fleck also die folgenden Schritte von der Hypothese bis zur gesicherten Tatsache:

- 1. Esoterische Wissenschaft:      a. Zeitschriftenwissenschaft  
   b. Handbuchwissenschaft  
   c. Lehrbuchwissenschaft
  
- 2. Exoterische Wissenschaft:      a. Populäre Wissenschaft

Uwe Pörksen hat untersucht, ob diese Abstufung auch auf sprachlicher und visueller Ebene zu finden ist (Pörksen, 1997, S. 108 ff.). Die sprachlichen Aspekte wurden bereits diskutiert: Die anfänglich hypothetische Sprache des Konjunktivs („es könnte sein“) der esoterischen Wissenschaft wandelt sich zur festen Tatsache („es ist“) der Handbuchwissenschaft und besonders der populären Wissenschaft. Auf der visuellen Ebene diskutiert Pörksen zwei Beispiele: Die Darstellung des Stammbaums in der Evolutionstheorie und die Darstellung der DNA. Diese und weitere Beispiele zeigen, dass eine Entwicklung der Bilder parallel zur Sprache stattfindet und diese in fünf verallgemeinerte Stufen unterteilt werden kann (Pörksen, 1997, S. 133):

- |                                   |                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| 1. Die hypothetische Skizze       | Esoterische Wissenschaft           |
| 2. Das hypothetische Schema       | Zeitschrift-, Handbuchwissenschaft |
| 3. Die Lehrbuchzeichnung          | Lehrbuchwissenschaft               |
| 4. Die populäre Veranschaulichung | Populärwissenschaft                |
| 5. Der universelle Visiotyp       | Populärwissenschaft                |

In der esoterischen Wissenschaft steht zu Beginn die *hypothetische Skizze*. Sie dient als heuristisches Instrument für den Wissenschaftler. Uwe Pörksen hat solche Skizzen zum Beispiel bei Darwin (Skizze der Evolution) und bei Watson (Skizze der Basenpaarung der DNA) gefunden. Bei solchen Skizzen handelt sich nicht um perfekte Zeichnungen, sondern um einfache, schwarz-weiße Strichzeichnungen, welche zum Beispiel in ein Notizbuch, ein Laborjournal, auf ein Stück Papier oder eine Serviette gekritzelt werden. Diese Skizzen sind der Konjunktiv im visuellen Bereich, Hypothesen und visuelle Gedankenexperimente. Skizzen werden in der Regeln nicht in wissenschaftlichen Publikationen veröffentlicht.

Nach der detaillierten Ausarbeitung der Skizze, zum Beispiel für die Kommunikation mit Kollegen oder für die Veröffentlichung in einer Fachzeitschrift, gelangen wir im Rahmen der esoterischen Wissenschaft zu einem *hypothetischen Schema*. Dieses trägt noch Züge der Skizze, es ist aber zeichnerisch ausgereifter, stärker gegliedert und beschriftet. Ab dieser Stufe, insbesondere bei der Veröffentlichung von Erkenntnissen, werden auch andere Personen aus dem Umfeld des Wissenschaftlers oder wissenschaftliche Illustratoren mit der zeichnerischen Umsetzung der Zeichnungen beauftragt. Diesen einfachen, hypothetisch-schematische Darstellungen wurden in der Untersuchung zu den kanonischen Bildern und an weiteren Beispielen identifiziert. Beispiel sind in *Tabelle 6* dargestellt.

**Tabelle 6.** Bei den folgenden Bildern handelt es sich um Beispiele von Originalen kanonischer Bilder, die gemäss Pörksen als hypothetische Schemata bezeichnet werden. Es sind einfache, schwarz-weiße, schematische Zeichnungen aus Fachzeitschriften, die in Lehrbüchern und weiteren wissenschaftlichen Publikationen als Kopien transformiert wiederverwendet wurden.

- 
- Watson und Cricks Struktur der DNA (Watson & Crick, 1953)
  - Meselson & Stahls Schema der DNA Replikation (Meselson & Stahl, 1958)
  - Holleys *et al.* Struktur der tRNA (Holley *et al.*, 1965)
  - Kaplan & Websters Struktur des Influenza-Virus (Kaplan & Webster, 1977)
  - Singer und Nicolsons Fluid Mosaic Modell der Zellmembran (Singer & Nicolson, 1972)
  - David Lacks Stammbaum der Darwinfinken (Lack, 1947)
  - Hans Gelderbloms HI-Virus (Gelderblom *et al.*, 1987)
  - Campbells Schema der Entwicklung der indogermanischen Sprache (Campbell, 1998)
  - Charles Darwins Schema der Abstammung der Arten (Darwin, 1859)
- 

Die schematischen Zeichnungen sind in ihrer Darstellung unterschiedlich hypothetisch. Einige sind beinahe zaghaf, mit gestrichelten Linien und Fragezeichen gezeichnet (z.B. bei Gelderblom), andere haben definitiven Charakter (z.B. die Zellmembran bei Singer & Nicolson; die DNA von Watson & Crick; vgl. auch Pörksen, 1997, S. 123).

Im dritten Schritt entsteht die *Lehrbuchzeichnung*. Sie ist Teil der Handbuch- und Lehrbuchwissenschaft, zu der auch die Übersichtsartikel, die *Reviews*, zählen. Hier kommt der Prozess des Kopierens zum Tragen: *Die Lehrbuchzeichnung ist nämlich in der Regel eine modifizierte Kopie des hypothetischen Schemas (=Original)*. Der Übergang vom Originalbild aus dem Zeitschriftenartikel in das Lehrbuch und ähnliche Publikationen markiert den ersten Schritt des Prozesses, der schliesslich zum kanonischen Bild führt. Aus dem Lehrbuch wird das Bild weiterkopiert – als Kopie einer Kopie, von Lehrbuch zu Lehrbuch, von Übersichtsartikel zu Übersichtsartikel, bis schliesslich ein kanonisches Bild entstanden ist, das weltweit verwendet wird.

Der Übergang vom hypothetischen Schema zur Lehrbuchdarstellung geht einher mit *Transformationen* des Originals. Die Lehrbuchzeichnung enthält *didaktisierende Elemente*. Von der Psychologie wird etwa gefordert, Text und Bild sollen möglichst nahe zusammen kombiniert werden: „Prinzip der räumlichen Nähe: Studierende lernen besser, wenn entsprechende Wörter und Bilder nahe zusammen dargestellt werden“ (Mayer, 2001). In einem bekannten amerikanischen Biologielehrbuch werden zum Beispiel in den Bildern Sprechblasen verwendet, um das Dargestellte zu beschriften und zu beschreiben (Purves *et al.*, 2001). Weitere didaktische Elemente sind Sequenzierungen, Vergrößerungsansichten mit Pfeilen und Lupen, detaillierte Beschriftungen und so weiter.

Verändern kann sich auch der *Darstellungstypus*. Häufig entsteht erst auf der Stufe der Lehrbuchzeichnung ein Abbild. In Fachzeitschriften werden eher Diagramme verwendet, die Messergebnisse zeigen. Beim radioaktiven Zerfall wurde aufgezeigt,

dass eine mathematische Funktion und Messergebnisse im Lehrbuch als Abbild verbildlicht werden.

Der Übergang von der Hypothese zur handfesten Realität wird am besten aus *stilistischen Veränderungen* ersichtlich. Ursprünglich schwarz-weiße, zweidimensionale Schemazeichnungen werden in der Lehrbuchzeichnung naturalistisch, mit Perspektive, als dreidimensionales, fassbares Objekt dargestellt. Dabei werden sogar Unsicherheiten, die im Original durch Fragezeichen oder gestrichelte Linien ausgedrückt wurden, eliminiert.

Die Lehrbuchzeichnung dient Dozierenden und Lehrern zur Vermittlung der herrschenden Lehre in Lehrbüchern, Vorlesungen oder an der Schule. Häufig werden in der Lehre gefestigte, sichere und unpersönliche Fakten bei der Vermittlung vor. Der geschichtliche Hintergrund, wann, wo und über welche Irrwege eine wissenschaftliche Erkenntnis gewonnen wurde, interessiert weniger. Der Lehrende bleibt den Studierenden die Beweise schuldig. „Die Studierenden akzeptieren Theorien wegen der Autorität des Lehrers oder des Lehrbuchs, nicht aufgrund von Beweisen“ (Kuhn, 1976, S. 93-94).

Die Wissenschaft selbst benötigt kanonische Darstellungsformen zur Präsentation ihrer Resultate. Ein Beispiel ist die konventionalisierte Darstellung der Proteine (s. oben). Diese Darstellungsformen dienen zur Präsentation und Publikation von wissenschaftlichen Untersuchungen, in diesem Fall etwa zur Publikation einer neu aufgeklärten Proteinstruktur. In der Kladistik, der Studie evolutionärer Verwandtschaft zwischen den Organismen, haben sich die standardisierten phylogenetischen „Stammbäume“ durchgesetzt. Es sind die kanonischen Bilder der Evolutionstheorie. Jedes Fachgebiet verwendet einen kleineren oder grösseren, mehr oder weniger standardisierten Fundus an kanonischen Darstellungsformen und Bildern. Die Chemie benötigt Strukturformeln, um Strukturen und chemische Reaktionen darzustellen. Diese Strukturen sind hoch standardisiert, es handelt sich um eine eigentliche Bildsprache, die sich über Jahrzehnte oder Jahrhunderte herausgebildet hat. In anderen Gebieten, zum Beispiel in der Pharmakologie, ist die Bildsprache weit weniger standardisiert.

Die *populäre Veranschaulichung* schliesslich steigert die Darstellung des Bildes im Lehrbuch noch weiter hin zur naturalistischen Darstellung. Ein Beispiel ist etwa die Illustration des Stammbaums der Sprachen (*Abbildung 13*), die auf Campbells einfachem hypothetischen Schema aus einem Handbuch beruht. Die graphisch zaghafte, schematische Darstellung wurde hier zur festen Tatsache: zu einer fest verankerten, knorrigen alten Eiche (siehe dazu ebenfalls Pörksen, 1997). Fleck liefert ein weiteres Beispiel von der „exoterischen Peripherie“, dem äusseren Rand der Populärwissenschaft:

„Das Wort ist bereits zum Fleische geworden. Ich habe ein Beispiel solcher krass-populären Wissenschaft vor Augen: es handelt sich um eine Abbildung, die die hygienische Tatsache der Tröpfcheninfektion darstellt. Ein zum Skelett abgemagerter, sitzender Mann mit grau-violettem Gesicht hustet. Mit einer Hand stützt er sich mühsam an der Sessellehne, mit der anderen drückt er die schmerzende Brust. Aus dem offenen Mund fliegen die bösen Bazillen in Gestalt kleiner Teufelchen heraus... Ein rosiges Kind steht ahnungslos daneben.

Ein Teufel-Bazillus ist dem kindlichen Mund ganz, ganz nahe... Halb Symbol, halb Glaubenssache, ist der Teufel in dieser Abbildung leiblich gemalt. Er spukt aber auch tief in der Fachwissenschaft, in den Anschauungen der Immunitätslehre, in ihren Kampf- und Abwehrbildern.“ (Fleck, 1980, S. 155-156)

Diese Bilder von der „exoterischen Peripherie“ sind weit verbreitet, man findet sie in der Unterhaltung, der Werbung, im Film und im Fernsehen oder auch im Wissenschaftsjournalismus. Sie dienen zur Unterhaltung, zur Pointierung oder einfach nur dazu, eine Geschichte zu verkaufen. Sie sind auch wissenschaftlich häufig nicht ganz ernst gemeint, sondern dienen „nur als Illustration“.

### **Paradigma und wissenschaftliche Revolutionen**

Das Schema von Fleck ist selbstverständlich nicht absolut: Bilder der esoterischen Wissenschaft, selbst Hypothesen und Skizzen können bereits eigentliche populäre Veranschaulichungen sein. Es lässt sich auch noch weiter ergänzen. 1962 hat Thomas Kuhn aufbauend auf Flecks Arbeit die Begriffe *normale Wissenschaft*, *Paradigma* und *wissenschaftliche Revolution* eingeführt (Kuhn, 1962). Ein Paradigma entsteht gemäss Kuhn in der Wissenschaft dann, wenn sich eine wissenschaftliche Erklärung erfolgreich gegen konkurrierende Erklärungen durchzusetzen vermag. Normalerweise arbeiten Wissenschaftler innerhalb eines erfolgreichen Paradigmas oder innerhalb der sogenannten „normalen Wissenschaft“, deren Aufgabe Kuhn darin sieht „Aufräumarbeit“ zu leisten, Fakten zu sammeln und mit dem Paradigma abzugleichen und Lösungen für Probleme und Rätsel zu suchen, die sich im Zusammenhang mit dem Paradigma ergeben haben. Die normale Wissenschaft ist bemüht, Theorie und Tatsachen in eine möglichst gute Übereinstimmung zu bringen. Gemäss Kuhn wird das Paradigma solange erfolgreich bleiben, bis Probleme und Anomalien auftreten, die sich mit ihm nicht in Übereinstimmung bringen lassen oder nicht mit ihm erklärt werden können. Das führt zu einer Krise der Wissenschaft. Nicht jede Anomalie führt jedoch automatisch zu einem neuen Paradigma. Diskrepanzen und unerwartete Resultate sind nichts Aussergewöhnliches in der normalen Wissenschaft und treten regelmässig auf. Die meisten Wissenschaftler werden zunächst konservativ an einem gewohnten Paradigma festhalten. Zu einer wissenschaftlichen Revolution und einer Veränderung des Paradigma kommt es erst, wenn eine alternative Erklärung, ein alternatives Paradigma von einem Wissenschaftler oder eine Gruppe von Wissenschaftlern vertreten wird und erfolgreich durchgesetzt werden kann.

Diese Betrachtung erklärt, *weshalb in der Wissenschaft immer wieder dieselben kanonischen Bilder verwendet werden: Sie sind Teil der Normalwissenschaft und Teil eines Paradigma, also der herrschenden Lehre.*

Daraus lässt sich auch erschliessen, dass sich kanonische Bilder bei einem Paradigmenwechsel verändert werden können (zur wissenschaftlichen Revolutionen vgl. Cohen, 1994). So hat sich etwa die kanonisierte Darstellungsform der Dinosaurier im 20. Jahrhundert vom einen ins andere Extrem gewandelt. Zwischen ca. 1900 und 1970 wurden Dinosaurier gemäss dem geltenden Paradigma als schwerfällig, kaltblütig und dumm dargestellt. Mit der Dinosaurier-„Renaissance“ in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts hat sich die Visualisierung dramatisch verändert. Dinosaurier werden jetzt als schnelle, warmblütige, soziale und intelligente Kreaturen

dargestellt, die sich auch liebevoll um ihre Nachkommen kümmern. Die an der „Renaissance“ beteiligten Forscher, zum Teil selbst wissenschaftliche Illustratoren, verstanden es hervorragend, Bilder als Überzeugungsmittel zu benutzen. Wenige andere wissenschaftliche Revolutionen waren von einer derartigen Fülle von Bildern begleitet wie die Renaissance der Dinosaurier (Gould, 1993; Paul, 1996; Debus & Debus, 2002).

### 3.2.3.3 Schlussfolgerungen und praktische Hinweise

In Kapitel 3.2.1 wurde zunächst das Phänomen des *kanonischen Bildes* charakterisiert. Es wurde aufgezeigt, dass kanonische Bilder Standardbilder in wissenschaftlichen Publikationen sind, welche einen Sachverhalt aus einer bestimmten Perspektive formal und inhaltlich immer wieder sehr ähnlich zeigen.

Anhand einer Untersuchung zu kanonischen Bildern in Lehrbüchern der Biologie und Biochemie konnte in Kapitel 3.2.2 gezeigt werden, dass kanonische Bilder in diesen Medien häufig vorkommen und als Resultat des *Prozesses des Kopierens* ausgehend von *Originalen* entstehen. Es wurden positive und negative Aspekte dieses Prozesses diskutiert und unter anderem festgestellt, dass das Kopieren einen negativen Einfluss auf die *wissenschaftliche Qualität* haben kann.

In Kapitel 3.2.3 wurde die Entstehung kanonischer Bilder näher untersucht. Anhand des Schemas von Fleck und Pörksen konnten die Entwicklung wissenschaftlicher Bilder ausgehend von Originalen in der esoterischen Wissenschaft bis zu Populärwissenschaft nachvollzogen werden. Dabei wurde gezeigt, dass bei dieser Entwicklung eine Reihe von Transformationen stattfinden, welche einen massgeblichen Einfluss auf das Bild ausüben.

Ausgehend von dieser Theorie der Bildentstehung und Entwicklung lassen sich eine Reihe von Empfehlungen für die Literaturrecherche, die Analyse und die Erstellung wissenschaftlicher Bilder (und Texten) ableiten.

Als zentrale Forderung dieser Ausführungen lässt sich festhalten: *Zurück zu den Quellen!* Aufgrund der diskutierten Transformationen der wissenschaftlichen Bilder ist es wesentlich, Bilder und wissenschaftliche Informationen direkt von den Quellen der esoterischen Fachinformation zu beziehen. Als Quellen für die Literaturrecherche für die Erstellung wissenschaftlicher Kommunikationsmittel (z.B. Präsentationen, Vorlesungen) sollen deshalb primär Artikel aus Fachzeitschriften, *Reviews* und allenfalls Handbücher verwendet werden. Bei der Verwendung von Materialien aus der Lehrbuch- oder Populärwissenschaft besteht immer die Möglichkeit einer Verzerrung wissenschaftlicher Fakten durch die diskutierten Transformationen.

Demnach sind die folgenden Quellen für die Literaturrecherche nicht oder nur unter genauer vorgängiger Analyse zu verwenden: Lehrbücher, bestimmte Internet-Seiten (z.B. Wikipedia), Populär-wissenschaftliche Medien (z.B. Magazine, Bücher, Werbung), Filme, TV-Dokumentationen

Für Studierende und Wissenschaftler ist die Theorie zudem sehr hilfreich bei der Diskussion und der Klassifizierung der wissenschaftlichen Erkenntnisse und Bilder. So erlaubt sie beispielsweise, einen populärwissenschaftlichen Text anhand der Sprache und der Bilder als solchen zu erkennen und zu bewerten. Da die Populärwissenschaft aus der esoterischen Wissenschaft hervorgeht, ist es möglich, die

Quellen in der Fachliteratur zu identifizieren und sich dort ein differenziertes Bild einer Sache zu erarbeiten.

#### 3.2.3.4 Referenzen

Campbell L. Historical linguistics. Edinburgh: Edinburgh University Press, **1998**

Cohen B. Revolutionen in der Naturwissenschaft. Frankfurt am Main: Suhrkamp, **1994**

Darwin C. On the origin of species. London: John Murray, **1859**

Debus A.A. & Debus D.E. Paleoimagery: the evolution of dinosaurs in art. Jefferson, N.C., London: McFarland, **2002**

Fleck L. Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Frankfurt am Main: Suhrkamp, **1980** (1. Ausgabe 1935 bei Schwabe, Basel)

Gelderblom H.R., Hausmann E.H., Özel M., Pauli G. & Koch M.A. Fine structure of human immunodeficiency virus (HIV) and immunolocalization of structural proteins. *Virology*, **1987**, *156(1)*, 171-6

Gould S.J. (Hrsg.) The book of life. London: Ebury-Hutchinson, **1993**

Holley R.W., Apgar J., Evertt G.A., Madison J.T., Marquisee M., Merrill S.H., Penswick J.R. & Zamir A. Structure of Ribonucleic Acid. *Science*, **1965**, *147*, 1462-1465

Kaplan M.M. & Webster R.G. The epidemiology of influenza. *Scientific American*, **1977**, *237(6)*, 88-106

Kuhn T.S. Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt am Main: Suhrkamp, **1976**

Lack D. Darwin's finches. Cambridge: Cambridge University Press, **1947**

Mayer R.M. Multimedia learning. Cambridge: Cambridge University Press, **2001**

Meselson M. & Stahl F.W. The replication of DNA in Escherichia coli. *PNAS*, **1958**, *44 (7)*, 671-682

Paul G.S. The art of Charles R. Knight. *Scientific American*, **2002**, *274(6)*, 74-81

Pörksen U. Weltmarkt der Bilder. Stuttgart: Klett-Cotta, **1997**

Purves W.K., Heller C., Sadava D. & Gordon H.O. Life, The science of biology 6<sup>th</sup> edition. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, **2001**

Singer S.J. & Nicolson G.J. The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. *Science*, **1972**, *175*, 720-731

Watson J. & Crick F. Molecular structure of nucleic acid. A structure for desoxyribose nucleic acid. *Nature*, **1953**, *171*, 737-738

### 3.3 Der Einfluss der Darstellung

#### 3.3.1 Schematische Bilder

Diese Darstellungen schweben seltsam frei im Raum. Man sucht umsonst nach einem Bezugsrahmen, einem Stuhl oder einer Figur zur Orientierung. Der wird nicht gegeben.

–Roald Hoffmann & Pierre Laszlo, 1991, S. 6

##### 3.3.1.1 Beobachtungen und Fragestellungen

Stilistisch können wissenschaftliche Bilder in zwei grundsätzlich unterschiedliche Typen unterteilt werden. Der eine Typus umfasst Bilder, die in ihren visuellen Merkmalen stark reduziert sind. Dabei handelt es sich um einfache Linien- oder Umrisszeichnungen mit oder ohne einfache Texturen, schwarz-weiß oder mit wenigen Farben gestaltet. Zum anderen wird mit mimetischen Bildern versucht, einen wahren oder fiktiven Sachverhalt durch perspektivische Darstellung, das Spiel mit Licht und Schatten und einer hohen Bildkomplexität ähnlich einem Ölgemälde oder einer Photographie naturgetreu darzustellen. Der erste Typus soll hier versuchsweise als schematisches Bild, der zweite als naturalistisches Bild bezeichnet werden.

Folgende Fragestellungen sollten untersucht werden:

- Welche Merkmale zeichnen ein schematisches wissenschaftliches Bild aus?
- Welchen Einfluss hat die schematische Darstellung auf den wissenschaftlichen Inhalt?
- Welche wissenschaftlichen Sachverhalte werden schematisch dargestellt?
- Worin liegen die Vor- und Nachteile der schematischen Darstellung?

##### 3.3.1.2 Resultate

#### **Aspekthaftigkeit**

Mit „schematisch“ ist in wissenschaftlichen Bildern meistens gemeint, dass die Wirklichkeit, so wie sie sich den Augen präsentiert, nicht oder nur teilweise abgebildet ist. Das bedeutet etwa, dass das Dargestellte nicht im gleichen Masstab wie das wirkliche Objekt dargestellt wird oder dass die Wahl der Farben nicht der Realität entspricht. Anstelle eines Hauses steht etwa ein Rechteck. In einigen wenigen Aspekten kann das Schema der Wirklichkeit treu bleiben: Ein Rechteck ist vielleicht in Länge und Breite genau proportional zu dem originalen Haus, weil gerade diese Eigenschaften hervorgehoben werden sollen. Schematische Bilder operieren häufig mit diesen einfachen geometrischen Formen, mit Linien, Rechtecken oder Kreisen. Diese Geometrisierung geht oft einher mit einer Idealisierung: In einem Muster haben alle Einheiten die gleiche Form und den gleichen Abstand: Ein Objekt ist ein perfekter

Kreis statt eine diffus-elliptische Form. Diese ganz einfachen geometrischen Formen können auch zu eigentlichen *wissenschaftlichen Zeichen* kombiniert werden. Diese sind den Piktogrammen sehr ähnlich und werden miteinander zu wissenschaftlichen Bildern kombiniert. Die wissenschaftlichen Zeichen werden im nächsten Kapitel diskutiert.

Etwas schematisch darzustellen bedeutet, es auf einzelne, wenige Aspekte des Ganzen zu reduzieren, z.B. auf die Grössenverhältnisse, die Symmetrie oder die relative Position. Das Dargestellte wird einfach, aspekthaft, abstrahiert. In vielerlei Hinsicht ähneln die schematischen Bilder den Modellen, welche auch nur wenige Aspekte der Wirklichkeit zeigen und in Teilen sogar falsch sein können. Bilder selbst werden auch manchmal als Modelle bezeichnet. Schematisieren bedeutet also, wenig auszuwählen und hervorzuheben und gleichzeitig vieles wegzulassen.

Ein wichtiger Grund für die Schematisierung ist das Hervorheben dessen, was als relevant betrachtet wird. Dabei kann es sich um eine Art der Didaktisierung handeln. Dies geschieht vor allem im Hinblick auf die Funktion des Bildes und seiner Wahrnehmung durch den Betrachter. Das Hervorheben ist eine Hilfestellung für den Betrachter, welcher im Gegensatz zu einer Photographie auf das aufmerksam gemacht werden soll, was wichtig ist. Es ist somit möglich, den Blick des Betrachters in einem gewissen Masse zu steuern. Der Zeichner kann auch einzelne Teile eines Bildes stärker betonen als andere und sie damit visuell hervorheben, etwa durch dickere Linien, stärkere Farben oder einen höheren Naturalismus.

Die Aspekthaftigkeit ist jedoch nicht immer didaktisch: Die einfachen schematischen Darstellungen werden vor allem in der esoterischen Wissenschaft verwendet (siehe oben). Naturalistische Bilder hingegen sind ein Merkmal der Populärwissenschaft. Schematische Bilder liegen näher bei einer Skizze und einer Hypothese. Sie werden deshalb in der Wissenschaft häufig zur Darstellung von hypothetischen, noch nicht gesicherten oder unklaren Sachverhalten herangezogen. Die Selektivität gereicht dem Wissenschaftler hier nämlich zum Vorteil: die Erkenntnisse, die für eine naturalistische Darstellung benötigt würden, sind oftmals gar nicht vorhanden oder bekannt und müssten erfunden oder mit Spekulation ergänzt werden.

Für eine Schematisierung gibt es zudem auch praktische Gründe. Der Aufwand für die Erstellung eines naturalistischen Bildes ist meistens viel höher als der für die Erstellung eines schematischen Bildes. Schematische, skizzenhafte Bilder sind zumindest von Hand in der Regel einfacher zu erstellen als naturalistische.

### **Typisierung**

Eine Reihe von Autoren orten in der schematischen Darstellung im Gegensatz zu der naturalistischen Darstellung eine Verschiebung vom speziellen hin zum allgemeinen, d.h. eine Typisierung. Jane Maienschein hat die wissenschaftlichen Bilder in aufeinander folgenden Auflagen von E.B. Wilsons Lehrbüchern zur Zytologie untersucht (Maienschein, 1991). Sie zeigt, dass Wilson mit zunehmendem Vertrauen in seine Untersuchungen bei der Präsentation von allgemeinen Erkenntnissen von Photographien zu schematischen Bildern überging: „Photographs and drawings present the ‚facts‘ themselves, while diagrams present abstracted and generalized

interpreted information and theoretical ideas“ (Maienschein, 1991). Der Begriff „diagram“ ist hier als schematisches Bild zu übersetzen, nicht als Diagramm in Sinne eines logischen Bildes.

Martin Rudwick hat die Entwicklung von der naturalistischen zur schematischen Darstellung in der Entstehung der visuellen Sprache der Geologie zwischen dem Ende des 18. und dem Beginn des 19. Jahrhunderts beschrieben (Rudwick, 1976). Parallel zur Entwicklung der Geologie zu einer eigenständigen und selbstbewussten Wissenschaft verlief die Entwicklung einer visuellen geologischen Sprache, zu der unter anderem die geologische Karte, die Landschaftsdarstellung und die Darstellung der Schichten (Strata) als geologisches Profil gehören. Wurden Profile zunächst naturalistisch dargestellt, beispielsweise ausgehend von Beobachtungen von Minenarbeitern, entstand parallel zur Entwicklung der Geologie eine neue formale, abstrakte und verallgemeinernde Darstellungsweise.

Tatsächlich eignet sich das schematische Bild für die Darstellung eines allgemeinen Typus gerade deshalb besser, weil es nicht einen Sachverhalt mit seinen individuellen Merkmalen naturalistisch zeigt, sondern diese im Zuge der Abstraktion weglässt. Andererseits wäre es falsch zu vermuten, das Schematische sei immer typisiert. Schematische Bilder können selbstverständlich auch spezifische Sachverhalte zeigen und naturalistische Bilder können ebenso typisiert sein wie schematische. Schliesslich sind auch Kombinationen möglich: Ein naturalistisches Abbild kann in einzelnen Teilen schematisiert sein.

Das schematische Bild wurde in diesem Kapitel zunächst über stilistische Merkmale vom naturalistischen abgegrenzt, indem es als einfache Linien- oder Umrisszeichnung bezeichnet wurde. Nun kann aber auch eine schwarz-weiße Linienzeichnung einen Gegenstand naturalistisch abbilden. Auch kann der Gegenstand selbst so einfach sein, dass die „schematische“ Darstellung bereits „naturalistisch“ ist. Wie kann also beurteilt werden, ob ein Bild schematisch ist oder nicht? Es wurden einige Kriterien genannt: Der *Stil*, die *geometrische Darstellung*, die *Abstraktion* und die *Typisierung*.

Fallbeispiel: Botanische Darstellung der Brombeere



Fig. 533. *Rubus fruticosus*. 1 blühender Zweig. 2 Blüte im Längsschnitt. 3 Frucht. 4 Diagramm. (Nach WOSSIDLO.)

**Abbildung 22.** Botanische Darstellung der Brombeere (Strasburger, Noll, Schenck & Schimper, 1898, S. 485).

*Abbildung 22* zeigt die botanische Darstellung einer Brombeere aus dem „Strasburger“, einem bekannten Lehrbuch der Botanik, das seit dem 19. Jahrhundert in zahlreichen Auflagen erschien (Strasburger, Noll, Schenck & Schimper, 1898). Alle vier Einzelzeichnungen (der Zweig, die Blüte im Längsschnitt, die Frucht und das Blütendiagramm) sind schwarz-weiße, zum Teil einfach gestaltete Zeichnungen. Welche der einzelnen Zeichnungen sind nun schematisch, welche naturalistisch? Das Blütendiagramm (*Abbildung 22-4*) ist gut als schematisch erkennbar, es zeigt im Querschnitt die Anzahl und die ungefähre Lage von Kelch-, Kron-, Staub- und Fruchtblättern der Blüte von aussen nach innen. Es weist folgende Merkmale schematischer Bilder auf: es ist schwarz-weiß, eine einfache Linienzeichnung, zum Teil geometrisch-ideal angeordnet und abstrakt. Es zeigt auch eine typische und charakteristische Blüte mit fünf Kelch- und fünf Kronblättern, nicht eine individuelle, der zum Beispiel ein Kronblatt fehlen würde.

Die drei übrigen Zeichnungen sind ebenfalls schwarz-weiß, hier sind aber Texturen, Licht und Schatten angedeutet, sie sind nicht geometrisch und nicht abstrakt. Eine gewisse Idealisierung und Typisierung hat bei der Auswahl des Präparats oder

bei der Zeichnung vermutlich stattgefunden (Strasburer und Kollegen bezeichnen einige der Zeichnungen im Lehrbuch auch als „etwas schematisiert“). Es soll hier ein charakteristisches Exemplar gezeigt werden. Diese übrigen drei Zeichnungen sind zusammenfassend aber den naturalistischen Bildern zuzurechnen.

### „Gullivers Reisen im HIV-Land“

Das vollständige Ausblenden jedes Kontextes und Hintergrundes führt mitunter beim Betrachter zu einer absurd-reduzierten Auffassung des Dargestellten. Durch die völlige Abstrahierung des Dargestellten von Zeit und Raum kann der Betrachter den Bezug zur Realität verlieren. Es besteht die Gefahr, dass man sich in der Welt der schematischen Bilder, diesen ästhetischen, immer-geometrischen Formen, den Abläufen, Pfeilen und der Zeichensprache verirrt. Schematische Abbilder können die Wirklichkeit, über die eigentlich berichtet werden soll, in hohem Mass verschleiern und beschönigen.

Das wird beim Vergleich der didaktischen Darstellung eines Herzens als „Cartoon“ in einem Lehrbuch mit der Realität des Herzens als Organ klar. Die Unterschiede könnten nicht grösser sein. Auf der einen Seite das ansprechende schematisch-didaktische Bild aus wenigen Linien, bei dem venöses Blut blau und arterielles Blut rot eingezeichnet ist, auf der anderen Seite das blutige, fleischige Organ mit dem entsprechenden Geruch (Mishra, 1999).

Die Tendenz, das Unangenehme mit dem Gebrauch von wissenschaftlichen schematischen Bildern auszublenden, zeigt sich auch bei der Darstellung von Krankheiten in wissenschaftlichen Fachzeitschriften. Tami Spector hat in einem Artikel dokumentiert, wie die Darstellung des Syndroms AIDS ins Absurde geführt werden kann (Spector, 2003). Als Beispiel wird eine Zusammenstellung von Übersichtsartikeln zum Thema AIDS in der Fachzeitschrift *Nature* angeführt, die im Jahr 2001 erschien. Die 46seitige Übersicht, bestehend aus mehreren Artikeln und begleitet von vielen wissenschaftlichen Bildern, enthält die typischen kanonischen Darstellungen des Virus und die „Cartoons“ des Vermehrungszyklus, aber kein einziges Bild einer Person oder eines erkrankten Organs einer Person mit der Immunschwäche. Im ersten Artikel der Zusammenstellung wird die Vermehrung von HIV mit der satirischen Erzählung von Jonathan Swift vermischt. „Gulliver’s Travels in HIVland“ ist der Titel des Artikels:

„I, Lemuel Gulliver, have observed wondrous phenomena in many lands. In this my latest account, I shall endeavor to convince you that we are embarked upon a doleful new adventure that is only now beginning to unfold. My story concerns a creature, even smaller than the Lilliputians, indeed so minute as to be invisible, named – after quarrelsome debate among a band of pundits in 1986 – the human immunodeficiency virus.“ (Weiss 2001, S. 963, vgl. Spector, 2003)

Anstatt die realistischen Bilder der Krankheit zu zeigen, werden ausschliesslich die ästhetisch-schematischen Bilder der molekularen Ebene, zum Beispiel die Illustrationen des Virus oder die regenbogenfarbigen Proteinstrukturen abgebildet und mit einer lustigen Geschichte kombiniert (zu Bildern und Viruserkrankungen siehe auch: Gilman, 1988; Schell, 1997; Mayer & Weingart, 2004).

### 3.3.1.3 Schlussfolgerungen und praktische Hinweise

Schematische Bilder sind einfach, abstrakt, reduziert, geometrisch und typisiert. Aus diesen Merkmalen ergeben sich einige Vorteile für ihre Verwendung in der Wissenschaft. Die Einfachheit ermöglicht, wichtiges und essentielles hervorzuheben und überflüssiges wegzulassen. Dadurch lässt sich der Blick des Betrachters steuern. Die Einfachheit ermöglicht zudem, den Inhalt möglichst sachlich darzustellen. Gezeigt wird im wesentlichen nur, was bekannt ist, ohne mit fiktiven Elementen ergänzen zu müssen. Deshalb eignen sich schematische Bilder besonders gut für die Darstellung von skizzenhaftem und hypothetischem in der Wissenschaft.

Es wurde aufgezeigt, dass die Entfernung von der naturgemässen Darstellung, die auch durch den weissen Hintergrund des schematischen Bilds veranschaulicht wird, aber nicht immer zweckmässig ist und einen Sachverhalt idealisierend und ungenügend naturgetreu darstellen kann.

### 3.3.1.4 Referenzen

Ford B.J. Images of Science: A history of scientific illustration. London: The British Library, **1992**

Gilman S.L. Disease and representation. Images of illness from madness to AIDS. Ithaca and London: Cornell University Press, **1988**

Hoffmann R. & Laszlo P. Darstellungen in der Chemie – die Sprache der Chemiker. *Angewandte Chemie*, **1991**, 103, 1-16

Hüppauf B. „...and then movements of the muscular tissue stopped abruptly.“ – The scientists' frog in 19th and 20th century textbook illustrations. Images of the Sciences and Scientists in Visual Media. Symposium, Washington, November **2003**, <http://www.nyu.edu/deutscheshaus/imagesofsciency/>

Maienschein J. From presentation to representation in E.B. Wilson's The Cell. *Biology and Philosophy*, **1991**, 6, 227-254

Mayer R. & Weingart B. (Hrsg.) Virus! Mutationen einer Metapher. Bielefeld: transcript, **2004**

Mishra P. The role of abstraction in scientific illustration: implications for pedagogy. *Journal of Visual Literacy*, **1999**, 19(2), 139-158

Nicholson T., Lynch P.J. & Wayne T. Illustrating animals in their habitats. In: Hodges E. (Hrsg.) The guild handbook of scientific illustration. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, **2003**

Rudwick M. The emergence of a visual language for geological science 1760-1840. *History of Science*, **1976**, 14, 149-195

Schell H. Outburst! A chilling true story about emerging virus narratives and pandemic social change. *Configurations*, **1997**, 5(1), 93-133

Spector D.H. & Baltimore D. The molecular biology of the poliovirus. *Scientific American*, **1975**, 232(5)

Strasburger E., Noll F., Schenck H. & Schimper A. Lehrbuch der Botanik für Hochschulen, 3. Auflage. Jena: Gustav Fischer, **1898**

Weiss R.A. Gulliver's travels in HIVland. *Nature*, **2001**, 410, 963-967

### 3.3.2 Zeichen

The shape of the container, the size of the dials, the precise color of a substance may be irrelevant. Similarly, the particular proportions, angles, colors of a diagram may not matter. This is because in science the appearance of things are mere indicators, pointing beyond themselves to hidden constellation of forces.

–Rudolf Arnheim, 1969, S. 132

#### 3.3.2.1 Beobachtungen und Fragestellungen

Bei einigen schematischen wissenschaftlichen Bildern lassen sich einfache elementare Bausteine identifizieren, die im Folgenden *wissenschaftliche Zeichen* genannt werden. Dabei handelt es sich um einfache Abbilder und Symbole, die den Piktogrammen ähnlich sind. Sie sind zeichnerisch sehr einfach gestaltet. Mehrere Zeichen werden zusammen zu schematischen Bildern kombiniert.

Folgende Fragestellungen sollten untersucht werden:

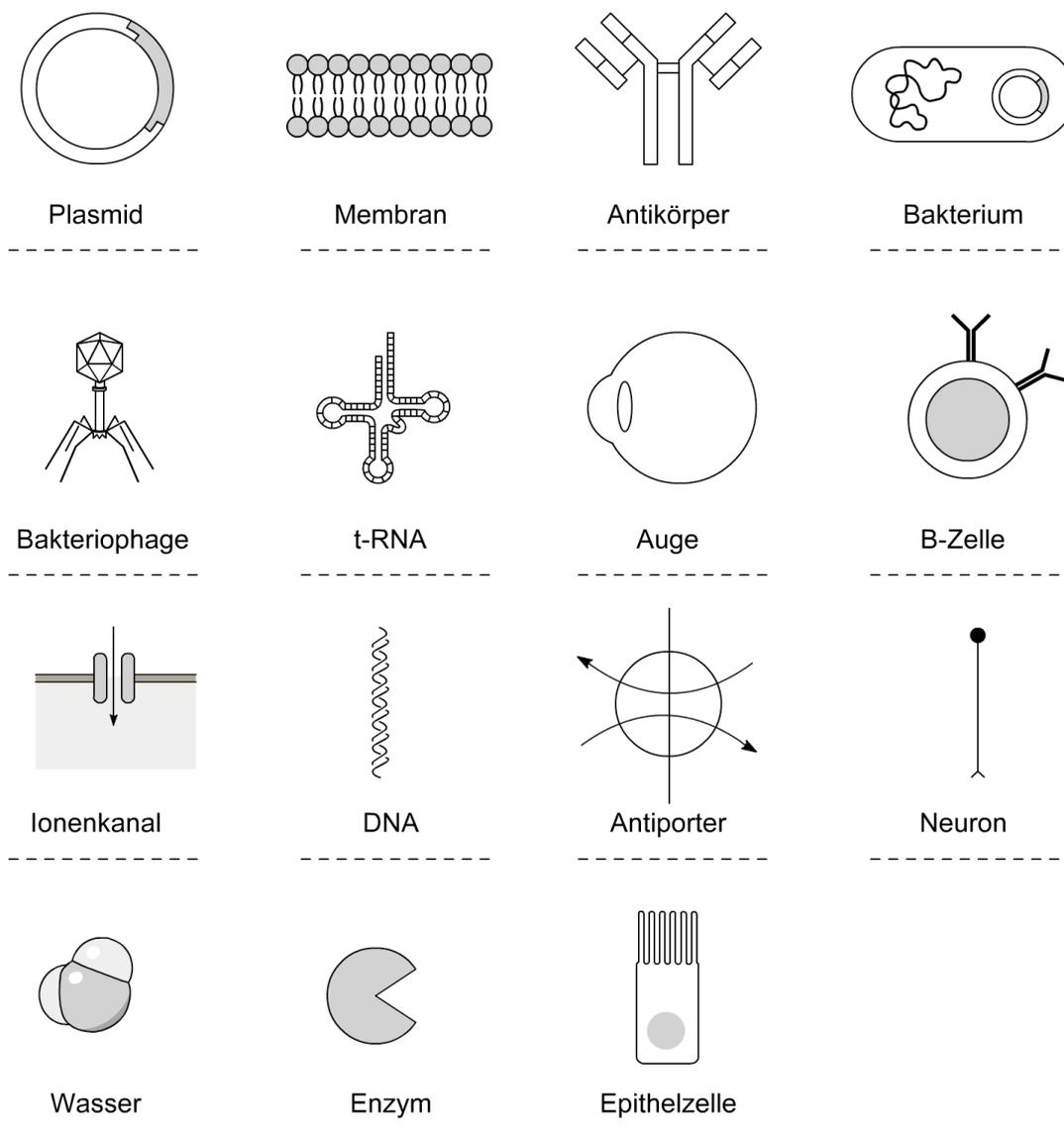
- Lassen sich in Lehrbüchern der Biologie und Biochemie kanonische wissenschaftliche Zeichen identifizieren?
- Welche Eigenschaften haben wissenschaftliche Zeichen?
- Welche Beziehungen bestehen zum repräsentierten Objekt?
- Welche Rolle spielt das Vorwissen beim Erkennen wissenschaftlicher Zeichen?
- Wie werden wissenschaftliche Zeichen zu Bildern kombiniert?

#### 3.3.2.2 Resultate

##### **Kanonische wissenschaftliche Zeichen in Lehrbüchern der Biologie und Biochemie**

Mit einer Literaturrecherche wurden in den folgenden Lehrbüchern der Biologie und Biochemie kanonische wissenschaftliche Zeichen identifiziert:

*Biologie*: Campbell (2003); Campbell, Reece & Simon (2004); Purves *et al.* (2001); Raven & Johnson (1992); Solomon, Berg & Martin (1999); *Biochemie*: Lehninger, Nelson & Cox (1998); Löffler & Petrides (1998); Stryer (1995); Voet & Voet (1990)



**Abbildung 23.** Eine Auswahl von 15 kanonischen wissenschaftlichen Zeichen, welche aus Lehrbüchern der Biologie und Biochemie abgeleitet wurden. In dieser Abbildung sind allgemeine Typen ohne Farbe dargestellt (Bild: A. Vögli).

In *Abbildung 23* ist eine Auswahl kanonischer Zeichen dargestellt, die in Lehrbüchern der Biologie und Biochemie gefunden wurden.

### Diskussion: Eigenschaften der wissenschaftlichen Zeichen

Die wissenschaftlichen Zeichen sind als schematische Bilder zeichnerisch sehr einfach umgesetzt. Sie bestehen lediglich aus einigen geraden und gekrümmten Linien. Das Plasmid beispielsweise besteht aus zwei konzentrischen Kreisen, welche durch wenige Linien verbunden sind. Noch einfacher gestaltet ist das Neuron, welches aus einem gefüllten Kreis, einer längeren und zwei kürzeren Linien besteht.

Andere Zeichen sind hingegen komplexer. Der Bakteriophage ist perspektivisch mit mehr Linien dargestellt und tendiert in die Richtung eines naturalistischen Abbilds. Neben der dreidimensionalen Form können auch Licht-Schattenverhältnisse

angedeutet werden und häufig sind die Zeichen eingefärbt. Auch sind innerhalb eines Zeichens mehrere Stufen der Komplexität möglich. Von jedem Zeichen existieren Darstellungsvarianten, die sich im Abstraktionsgrad unterscheiden. Es verhält sich ähnlich wie bei Karten unterschiedlicher Skalierung (etwa 1:25'000 und 1:100'000). Durch eine Verbesserung der Auflösung ist es hier demnach möglich, sich ausgehend von einem Zeichen dem Objekt immer stärker zu nähern.

### **Beziehung des Zeichens zum Objekt**

Seit Charles S. Peirce (1839-1914) werden Zeichen in Bezug auf das Objekt in *Icons*, *Symbole* und *Indices* unterteilt (Peirce, 1932, S. 156-173). Das Zeichen als *Icon* weist Ähnlichkeiten mit dem Objekt auf. In diesem Sinn sind alle Abbildungen Icons, zum Beispiel anatomische Zeichnungen oder die Abbildung eines Telephons als Piktogramm an einer Telephonzelle. Neben den direkten Abbildungen zählt Peirce auch Zeichen mit analogen und metaphorischen Beziehungen zum Objekt zu den Icons.

Das Zeichen als *Symbol* steht in einer völlig willkürlichen Beziehung zum Objekt. Wörter, Sätze und Texte sind Beispiel für Symbole, wie zum Beispiel „geben“, „Vogel“ oder „Heirat“. Bei keinem dieser Wörter existiert eine ikonische Beziehung zu der Sache. Irgendein anderes Wort könnte dasselbe ausdrücken, beispielsweise die französische Übersetzung „donner“, „oiseau“ und „mariage“. Neben den ikonischen gibt es auch symbolische Piktogramme, zum Beispiel das Piktogramm für den Informationsschalter, das „i“.

Das Zeichen als *Index* steht in einer direkten, kausalen und physikalischen Abhängigkeit zum Objekt. Ein tiefes Barometer und feuchte Luft sind Indices für Regen; Ein Wetterhahn ist ein Index für die Richtung des Windes; eine Sonnenuhr für die Zeit; Rauch für Feuer; ein Röntgenbild für den untersuchten Patienten; ein Fussabdruck im Sand für eine Person. Das letzte Beispiel, der Fussabdruck, hat auch ikonische Ähnlichkeit zu einem Fuss. Ein Zeichen kann für verschiedenes stehen, es kann auch gleichzeitig mehrere Beziehungen aufweisen und Icon, Symbol und Index zugleich sein.

Lässt sich diese Einteilung auf die wissenschaftlichen Zeichen in *Abbildung 23* anwenden? Können Icons, Symbole und Indices identifiziert werden? Beim Vergleich dieser Zeichen mit den originalen Sachverhalten kann unschwer festgestellt werden, dass in einigen Fällen eine direkte Ähnlichkeit besteht, die sie nach der Definition von Peirce als Icons qualifiziert. So können beispielsweise die Zeichen für das Auge, das Bakterium oder die Zellen leicht als Icons identifiziert werden. Sie alle weisen eine visuelle Ähnlichkeit zum realen Objekt auf, das von Auge oder unter dem Mikroskop beobachtet werden kann.

Die Beurteilung der Zeichen der Objekte der molekularen Ebene ist problematischer. Erschwerend kommt hier hinzu, dass die realen Objekte nicht direkt, sondern nur mit komplexen instrumentellen Hilfsmitteln und mathematischen Umrechnungen „gesehen“ werden können. Es stellt sich wiederum das Problem, wie solche Strukturen „in Wirklichkeit“ aussehen, denn die Objekte sollen als Referenz für die Beurteilung der Ikonizität dienen. Wir wissen es nicht, wir können sie ja nicht mit den eigenen Augen sehen – es liegen uns nur idealisierte Modelle und Metaphern vor.

Der Antikörper existiert so nicht und kann nicht mit Instrumenten gesehen werden. Und doch bestehen Analogien zwischen den Anordnungen der Einheiten des Zeichens und dem „realen Sachverhalt“. Da Peirce nun auch beim Vorliegen solcher Analogien von ikonischen Beziehungen spricht, kann man auch den Antikörper unter Vorbehalt zu den Icons zählen.

Die Zeichen enthalten auch eine Reihe von willkürlichen Elementen, die sie zum Teil als Symbole qualifizieren. Dazu gehört etwa die graue Einfärbung des Gens im Plasmid oder das Zeichen für das Enzym.

Bestehen auch indexikalische Beziehungen zwischen wissenschaftlichen Zeichen und Objekt? Auf den ersten Blick scheinen die Zeichen nicht kausal-physikalisch mit den realen Objekten verknüpft, wie etwa der Fussabdruck im Sand. Die wissenschaftlichen Zeichen scheinen primär ikonisch und zum Teil symbolisch zu sein. Bei genauerer Betrachtung kann jedoch festgestellt werden, dass bei einem Teil der Zeichen aufgrund der instrumentellen Gewinnung der Daten durchaus eine solche Beziehung besteht. Messergebnisse, wie Röntgenbeugungsmuster, elektronenmikroskopische Aufnahmen oder auch ein EKG sind Indices mit kausalem physikalischem Bezug zum Objekt. Da diese Messergebnisse zu Bildern verarbeitet werden, die wiederum als Vorlage zur Erstellung der wissenschaftlichen Zeichen dienen, liegt eine indexikalische Beziehung vor, allerdings nur eine indirekte über die Vorstufe. Eine Analogie für diese indirekte Abhängigkeit wäre der Fussabdruck im Sand. Würde dieser abgezeichnet, läge zwischen der Zeichnung und der vorbeigehenden Person nur indirekt eine indexikalische Beziehung vor. Das gilt hier nur für einen Teil der dargestellten Zeichen, etwa für den Antikörper oder den Bakteriophagen.

## **Erkennen wissenschaftlicher Zeichen: Test mit Studierenden**

### **Einleitung**

Studierende der Biologie und der Pharmazie in den höheren Semestern verfügen über ein entsprechendes Vorwissen, um die Zeichen in *Abbildung 23* zu erkennen. Um den Einfluss des Vorwissens zu testen, sollten die Zeichen in *Abbildung 23* ohne Beschriftung Studierenden der Pharmazeutischen Wissenschaften im 1. Jahr an der Universität Basel kurz nach dem Eintritt ins Studium vorgelegt werden. Diese Studierenden verfügten über ein naturwissenschaftliches Vorwissen aus dem Unterricht an den Mittelschulen, waren jedoch noch nicht fachspezifisch in Biologie oder Pharmazie an der Universität ausgebildet. Die Resultate sollten als Grundlage für die Diskussion der Wahrnehmung und des Erkennens wissenschaftlicher Zeichen dienen.

Die folgenden Fragestellungen sollten untersucht werden:

- Wie gut werden die Zeichen in *Abbildung 23* von Studienanfängern erkannt?
- Welche Einflussfaktoren spielen beim Erkennen eine Rolle?

### **Methoden**

Die Beschriftungen in *Abbildung 23* wurden entfernt und das Bild auf A4-Blätter kopiert. Die Blätter wurden am 4. Dezember 2006 49 Studierenden des Studiengangs „Pharmazeutischen Wissenschaften“ im 1. Jahr (Grundstudium) vorgelegt. Die Studierenden sollten die Zeichen während 10 Minuten alleine beschriften. Es wurde ihnen mitgeteilt, dass es sich um eine Studie zu wissenschaftlichen Zeichen handle.

### **Resultate**

An der Untersuchung nahmen 49 Studierende teil. Die Resultate sind in *Tabelle 7* dargestellt. Die Unterscheidung zwischen „richtig“ und „falsch“ beruhte auf der Intention des Zeichners. Bei einigen Zeichen wurden mehrere Antworten als richtig gezählt.

**Tabelle 7.** Resultate zur Untersuchung „Erkennen wissenschaftlicher Zeichen“. In der linken Spalte sind die richtigen Antworten gemäss Intention des Zeichners angegeben. In der rechten Spalte ist angezeigt, wieviele der 49 teilnehmenden Studierenden die Zeichen in diesem Sinn richtig beschrifteten.

<b>Richtige Antworten gemäss Intention des Zeichners</b>	<b>Anzahl Studierende, welche das Zeichen richtig erkannten (Prozent)</b>
<b>DNA</b> Doppelhelix	43 von 49 (87.8 %)
<b>Membran</b> Zellmembran Bilayer Lipiddoppelschicht	42 von 49 (85.7 %)
<b>Wasser</b> Wasser-Molekül, H <sub>2</sub> O	30 von 49 (61.2 %)
<b>Auge</b>	29 von 49 (59.2 %)
<b>Bakterium</b> Prokaryont	23 von 49 (46.9 %)
<b>Plasmid</b> Plasmidring	20 von 49 (40.8 %)
<b>Antikörper</b>	16 von 49 (32.7 %)
<b>Bakteriophage</b> Phage	7 von 49 (14.3 %)
<b>Kanal</b> Ionenkanal	7 von 49 (14.3 %)
<b>t-RNA</b>	4 von 49 (8.16 %)
<b>Neuron</b> Nervenzelle	2 von 49 (4.08 %)
<b>Enzym</b>	2 von 49 (4.08 %)
<b>Epithelzelle</b> Enterozyt	2 von 49 (4.08 %)
<b>Antiporter</b> Exchanger	1 von 49 (2.04 %)
<b>B-Zelle</b>	1 von 49 (2.04 %)

Die DNA (87.8%) und die Membran (85.7%) wurden am besten erkannt. Eine Mehrheit der Studierenden erkannte das Zeichen für Wasser (61.2%) und das Auge (59.2%). Das Plasmid (40.8%) und der Antikörper (32.7%) wurden von einer grösseren Minderheit erkannt. Die folgenden Zeichen wurden schlecht bis sehr schlecht erkannt: Bakteriophage (14.3%), Kanal (14.3%), tRNA (8.16%), Neuron (4.08%), Enzym (4.08%), Epithelzelle (4.08%), Antiporter (2.04%) und B-Zelle (2.04%).

### **Diskussion**

Die Untersuchung zeigt auf, dass verschiedene kanonische wissenschaftliche Zeichen von Studienanfängern unterschiedlich gut erkannt werden. Während 43 von 49 Studierenden das Zeichen für die DNA trotz hoher Abstraktion erkannten, wurde etwa der Antiporter nur von einer Person richtig beschriftet.

*Vorwissen.* Es wird deutlich, dass das Vorwissen der Studierenden eine Rolle spielt. Fachspezifische Zeichen mit einem kleinen öffentlichen Bekanntheitsgrad werden schlecht erkannt, so zum Beispiel der Kanal, das Neuron, das Enzym, die Epithelzelle, der Antiporter und die B-Zelle. Es überrascht, dass die tRNA schlecht erkannt wird, da es sich um ein Konzept handelt, das in der Molekularbiologie von ähnlich grosser Bedeutung wie die DNA ist.

*Fachbegriffe.* Die fachspezifischen Zeichen wurden zum Teil erkannt, es fehlten aber die Fachbegriffe. So wurde der (Ionen-)Kanal zum Beispiel als „Iontunnel“, „Zellöffnung“ oder „Schleuse bei einer Zelle“ bezeichnet. Der Antiporter wurde beispielsweise mit „Austausch“, „Stoffaustausch“ oder „Pforte“ beschriftet.

*Konzepte und Prozesse.* Einige Studierende bezeichneten die Zeichen nicht als Objekte, sondern thematische zugehörige Konzepte oder Prozesse. Beim Plasmid wurde zum Beispiel geantwortet: „Einbau fremder Erbsubstanz in DNA“ oder „DNA-Manipulation“. Hier wird deutlich, dass wissenschaftliche Zeichen für mehr stehen als das Objekt selbst. Ähnlich wie die allgemein bekannten Piktogramme stehen die wissenschaftlichen Zeichen somit für sehr viel mehr, als sie bildlich beinhalten. Der Betrachter des Piktogramms „i“ stellt sich einen Informationsschalter, vielleicht mit Bedienung und gewissen Serviceleistungen vor. In analoger Weise steht das wissenschaftliche Zeichen für eine Fülle von theoretischen Überlegungen, wissenschaftlichen Hintergründen, Experimenten und so fort, die im Zeichen nicht bildlich enthalten sind. Das Zeichen des Bakteriophagen steht indirekt für die Struktur des Phagen, seine Vermehrung in Bakterien, geschichtliche Aspekte der Entdeckung, die Rolle der Bakteriophagen in der Geschichte der Molekularbiologie und so fort. Wie der Chemiker in seinem Vorstellungsvermögen die einfachen Strukturformeln, die aus wenigen Strichen bestehen, in Moleküle und ihre Eigenschaften, etwa ihre dreidimensionalen Strukturen übersetzen kann, so ist es auch dem Biologen möglich, seine wissenschaftlichen Zeichen in eine dreidimensionale, grösser skalierte Form zu übersetzen. Er könnte Auskunft über die Prozesse geben, die an der Verbindung von einem Neuron zum anderen ablaufen oder über den zellulären Aufbau. Er könnte

gedanklich eine wissenschaftliche Animation ablaufen lassen, die die Prozesse auch dynamisch darstellt. Das Erkennen eines Zeichens beschränkt sich also nicht ausschliesslich auf seine Benennung.

*Allgemeines – Spezifisches.* Beim Zeichnen für das Bakterium antwortete eine Person für das Allgemeine spezifisch mit „E. coli“, andererseits bezeichneten die Mehrheit der Studierenden den Bakteriophagen mit „Virus“ (53.1%). Ein Zeichen kann, wenn es nicht beschriftet ist, für etwas Allgemeines oder etwas Spezifisches stehen.

*Dekontextualisierung.* Die Isolierung von Zeichen aus ihrem Kontext ohne Beschriftung wie in *Abbildung 23* ist artifiziell. Die Zeichen sind in wissenschaftlichen Bildern mit anderen Zeichen, mit der zugehörigen Bildbeschreibung, der Legende, der Beschriftung und dem zugehörigem Text kombiniert. Ihre Bedeutung wird wie in der Sprache aus dem *Kontext* und durch die *Unterscheidungsmerkmale* erschlossen. Der Kontext grenzt ein und verdeutlicht. Das Wort *pain* (englisch für Schmerz) ist nicht mehr englisch und bedeutet etwas ganz anderes, wenn darauf die zwei Wörter *et couvert* folgen. Dadurch wird definiert, dass es sich um den französischen Ausdruck für „Brot und Gedeck“ handelt. Während das Wort *pain* für sich alleine durchaus als französisches Wort gedeutet werden könnte, ist es unwahrscheinlich, dass das Zeichen „0“ als Pflaume gedeutet würde, wäre sie nicht als solche bezeichnet (Beispiele aus Gombrich, 2002, S. XIX). Das gilt auch für allgemein verwendete Zeichen in der Wissenschaft, etwa den Kreis, der für fast alles stehen kann, aber erst durch den Kontext und die Beschriftung definiert wird und allenfalls sogar ikonisch wird.

## Weitere Aspekte wissenschaftlicher Zeichen

### Ikonizität

Die Einteilung von Peirce ermöglicht es, wissenschaftliche Zeichen nach der Beziehung zum Objekt zu klassifizieren und zu differenzieren. Es stellt sich die Frage, ob die unterschiedlichen Beziehungen zum Objekt einen Einfluss auf das Erkennen der Zeichen haben und wie die wissenschaftlichen Zeichen allgemein von den Betrachtern erkannt und identifiziert werden.

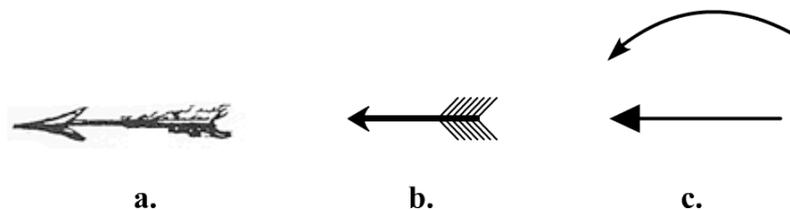
Anders als allgemein bekannte Zeichensysteme, wie etwa die Piktogramme in Bahnhöfen, werden die wissenschaftlichen Zeichen primär nicht von der Allgemeinheit, sondern nur von einem bestimmten Kreis von Wissenschaftlern verwendet. In der Biologie und Molekularbiologie bilden sie eine eigentliche „Zeichensprache“, welche die wissenschaftliche Gemeinschaft gemäss einer schweigend akzeptierten Konvention verwendet. Viele naturwissenschaftliche Disziplinen benutzen ihr eigenes „Wörterbuch“ von Zeichen und die entsprechende Grammatik zur Verknüpfung, zum Beispiel die Physik in der Elektronik, die Chemie oder auch die Geologie. Die biologische Zeichensprache muss denn auch im Studium oder bereits im Biologieunterricht an der Schule wie eine Sprache erlernt und geübt werden.

Die *Standardisierung* spielt ebenfalls eine Rolle. Obwohl sich durch den Gebrauch und den Prozess des Kopierens eine biologische Bildsprache entwickelt hat, ist diese

doch sehr variabel und nicht von einer Autorität strikt festgelegt. Es steht jedem Wissenschaftler frei, sein eigenes Zeichen für einen Sachverhalt neu zu erfinden. Dieser Möglichkeit der freien Auswahl wirkt allerdings der Prozess des Kopierens entgegen, der in Richtung einer Kanonisierung der Zeichen wirkt. Andere Zeichensysteme, wie etwa das chemische Strukturformelsystem sind hingegen so hoch standardisiert, dass von einer eigentlichen Bildsprache gesprochen werden kann. Vielleicht sollte auch die biologische Zeichensprache von einer Standesorganisation weltweit standardisiert werden. Einiges würde dafür sprechen. Die Möglichkeit einer freien Auswahl der Zeichen hat zur Folge, dass der Betrachter das jeweilige System immer wieder von Neuem entschlüsseln muss und derselbe Sachverhalt immer wieder in unterschiedlichen Darstellungen erscheint. Ein einheitliches Zeichensystem mit Verknüpfungsregeln würde die Kommunikation zweifellos erleichtern. In einzelnen, abgeschlossenen Bereichen findet eine solche Standardisierung bereits statt, zum Beispiel in Fachzeitschriften (etwa in den Fachzeitschriften *Nature Reviews*) oder in Lehrbüchern. Die Kanonisierung von Bildern hat aber, wie bereits gezeigt wurde, auch wesentliche negative Einflüsse auf die Qualität.

### Metazeichen

Wissenschaftliche Zeichen können zu Bildern kombiniert werden. Zusätzlich werden dabei auch weitere konventionalisierte, kanonische Zeichen verwendet. Solche Zeichen werden in dieser Arbeit *Metazeichen* genannt. Das bei weitem am häufigsten verwendete Metazeichen ist der Pfeil. In Kontinua ist er Stellvertreter und visuelle Metapher für alle ausgelassenen, nicht dargestellten Übergänge. Er ist Anzeiger, führt von Zustand A zum Zustand B und gibt eine Richtung an.



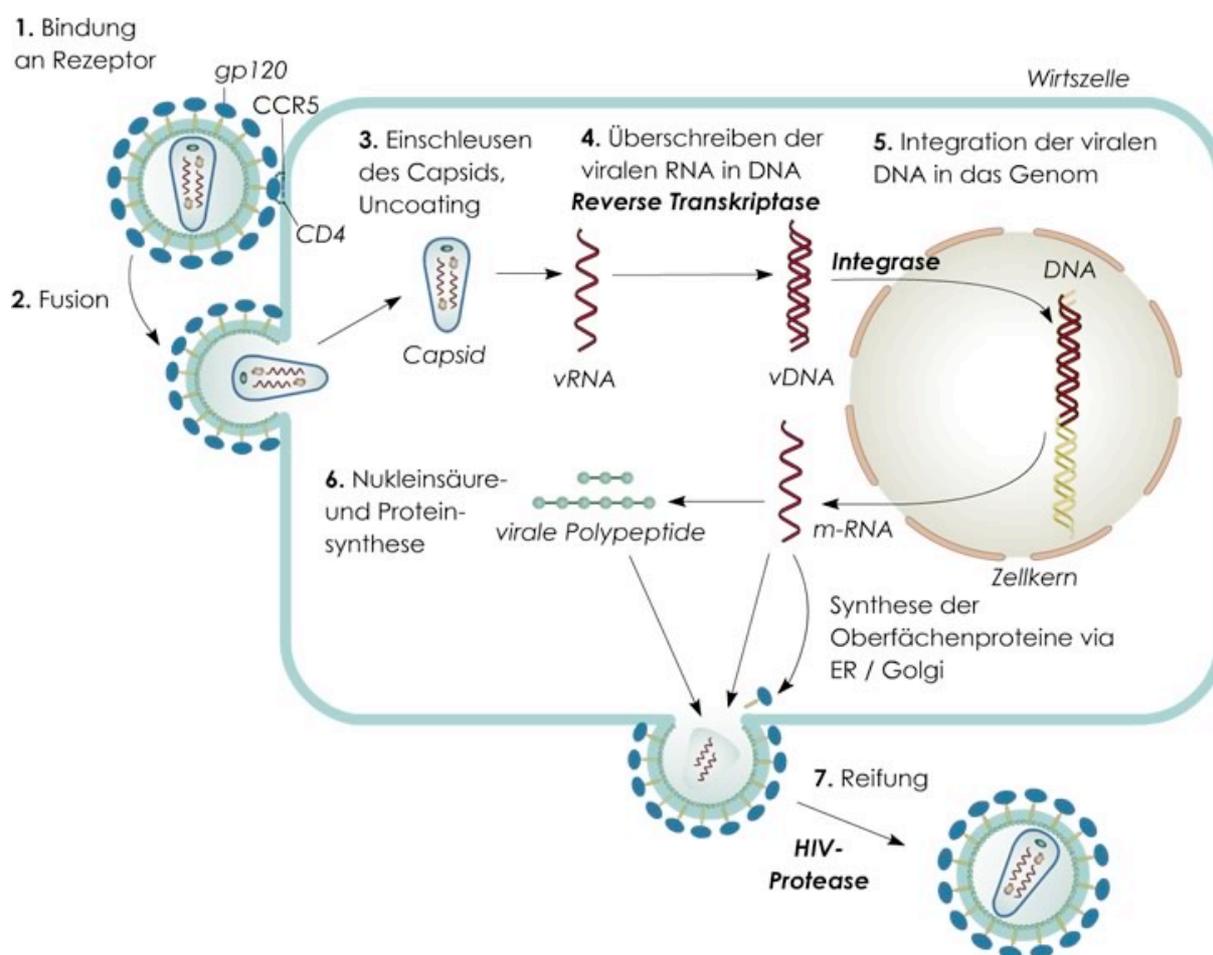
**Abbildung 24.** Metazeichen. Pfeile unterschiedlicher Abstraktion (Bild: A. Vögli).

Der Pfeil an sich ist ein mehr oder weniger abstraktes Abbild eines realen Objekts. Der Kunsthistoriker Ernst Gombrich (1909-2001) hat einmal versucht herauszufinden, wann der Pfeil zum ersten Mal in Bildern mit der Funktion der Instruktion auftritt. Das älteste technische Bild, das er identifiziert hat, stammt aus dem Jahr 1737, aus Bélidors *Architectura Hydraulica* (Gombrich, 1990). Es zeigt ein Wasserrad und der Pfeil verdeutlicht, in welche Richtung das Wasser fließt und wie sich das Rad dreht. Dieser Pfeil (*Abbildung 24-a*) ist trotz seiner symbolischen Bedeutung als Richtungsanzeiger sehr nahe beim Objekt. Auf seiner Spitze spiegelt sich das Licht, was ihm einen dreidimensionalen Charakter verleiht, fast so, als wäre er Teil der abgebildeten Szene und würde im Wasser mitschwimmen. Der Eindruck wird durch die naturalistischen Pfeilfedern noch verstärkt. Ein Beispiel aus dem 19. Jahrhundert aus Gregor Mendels „Versuche über Pflanzenhybriden“ (1865) zeigt hingegen einen

weitgehend abstrahierten Pfeil (*Abbildung 24-b*), der allerdings auch mit Federn und einem Widerhaken als Spitze dargestellt ist. Solche Pfeile findet man häufig in älteren Abbildungen. Die Pfeile in *Abbildung 24-c* werden heute in der Wissenschaft fast ausschliesslich verwendet. Der untere Pfeil ist vom Objekt noch weiter abstrahiert und besteht lediglich aus einer Linie und einem Dreieck. Pfeile können auch einfach oder mehrfach gebogen sein. Ein Beispiel zeigt der obere Pfeil in *Abbildung 24-c*. Dies ist eine weitere Loslösung vom Objekt.

### Kombination wissenschaftlicher Zeichen

Wissenschaftliche Zeichen werden kombiniert, um als schematische Bilder Prozesse, Abläufe oder Zusammenhänge zu visualisieren. *Abbildung 25* zeigt ein Exemplar eines kanonischen Bildes, den Replikationszyklus (Vermehrungszyklus) des HI-Virus in einer Wirtszelle, ein Bild, das sich seit den 80er Jahren beständig vermehrt hat und in ähnlicher Form in zahlreichen Lehr- und Sachbüchern und Fachzeitschriften zu finden ist (vgl. auch *Abbildung 26*).



**Abbildung 25.** Der Replikationszyklus des HI-Virus (Bild: Viktoria Lyuzkanova, A. Vögtli).

Bei *Abbildung 25* handelt es sich um ein sogenanntes *Chart*. Charts stellen qualitative Zusammenhänge zwischen Begriffen, Kategorien und Aussagen in zwei- oder mehrdimensionaler Anordnung dar (Ballstaedt, 1997, S. 107). Sie werden im

Deutschen auch als *Strukturdiagramme* bezeichnet. Sie bestehen aus einer bestimmten Anzahl Einheiten, welche graphisch durch Kästchen, Kreise oder ähnliche einfache Strukturen abgegrenzt sind. Die Einheiten stehen in einer oder mehreren inhaltlichen Relationen zueinander, die gerichtet oder auch ungerichtet sein können und durch Linien, Pfeile und Ähnliches dargestellt werden. Diese Relationen können auch mit Text bezeichnet werden. Ihre Anzahl ist nicht limitiert, jede Einheit kann in einer unbegrenzten Anzahl Verknüpfungen zu anderen Einheiten stehen. In der Praxis bestehen aber aufgrund der Übersichtlichkeit zwischen zwei Elementen meist nur wenige Beziehungen.

Die graphische Darstellung der Einheiten und der Relationen ist im Allgemeinen nicht durch allgemeine feste Regeln bestimmt, es sind aber gewisse standardisierte Darstellungsformen gebräuchlich, wie Flowcharts oder Stammbäume. Bei diesen ist vorgegeben, wie die Elemente aussehen und wie sie verknüpft werden.

Im einfachsten Fall besteht ein Chart nur aus Linien. Die Endpunkte der Linien und die Ecken repräsentieren dann die Elemente. Ein Y ist ein Beispiel für ein abstrahiertes Chart, bei dem vier Elemente durch drei Relationen verknüpft sind.

Der Replikationszyklus in *Abbildung 25* weist diese Positionierung ebenfalls auf und ist zudem noch zeitlich gegliedert. Beim Replikationszyklus handelt es sich um ein *Chart mit bildlichen Ergänzungen*. Die Elemente sind hier nicht durch Kästchen oder Kreise, sondern durch ikonisch-symbolische wissenschaftliche Zeichen des Virus dargestellt. Diese sind auch veränderbar. Das HI-Virus ist in kleinere Untereinheiten zerlegbar wie eine Matroschka, die im hohlen Inneren eine weitere Figur enthält, die wiederum ein Figur enthält. Die Zeichen verändern auch ihre Form und Farbe. Die bildlichen Ergänzungen durch ikonische wissenschaftliche Zeichen und deren räumliche Anordnung rücken das Chart in die Nähe eines Abbilds einer Zelle, die von einem Virus infiziert wird. An diesem Eindruck ist die Darstellung der Zelle durch das abgerundete Rechteck wesentlich beteiligt. Die Zelle selbst ist nicht Teil des Netzwerks des Charts, sondern eine Art Hintergrundbild, das den Rahmen des Bildes definiert. Gegen die Betrachtung als Abbild spricht, dass ein solches Bild in der Natur im Elektronenmikroskop nicht zu sehen ist, wenn auch einzelne Teile des Prozesses so erscheinen können, wie zum Beispiel die Fusion mit der Zellmembran. Andere Teile des Bildes sind hingegen völlig fiktiv, weshalb Gilbert und Mulkay bei der Beschreibung solcher Bildkompositionen von *Working Conceptual Hallucinations* sprechen (Gilbert & Mulkay, 1984), von Halluzinationen der Wissenschaftler, wie auch von „Science Fiction“. Von der Fiktion wissenschaftlicher Bilder wird im folgenden Kapitel noch die Rede sein. Ein wichtiger fiktionaler Aspekt von *Abbildung 25* ist die Aufteilung in Schritte, die Sequenzierung des Ablaufs in Stadien durch die Pfeile. Solche Aufteilungen sind in der Wissenschaft ausserordentlich häufig.

Wenn die Aufteilung in Stadien willkürlich oder fiktional ist, wie lässt sich dann der Prozess in der Realität beschreiben? Es handelt sich um einen ungerichteten, chaotischen, diffusen, zeitlich und räumlich zusammenhängenden Ablauf, ein Kontinuum, bei dem sich der jeweils nächste Schritt durch eine kleine Änderung gegenüber dem vorhergehenden unterscheidet.

### 3.3.2.3 Schlussfolgerungen und praktische Hinweise

Einige wissenschaftliche Bilder bestehen aus wissenschaftlichen Zeichen, welche die kleinsten Einheiten dieser Bilder darstellen. Die praktische Bedeutung ergibt sich dadurch, dass ein Erkennen der Zeichen häufig Voraussetzung zum Verständnis ist. Das Erkennen ist dabei nicht nur auf die Benennung reduziert, sondern enthält auch die weiterführenden Informationen, die im Zeichen selbst nicht enthalten sind.

Die Erstellung solcher Bilder, zum Beispiel durch einen Wissenschaftler oder Graphiker erfordert deshalb eine genaue Kenntnis der Zeichensysteme. Es ist meistens sinnvoll, bekannte Zeichen zu verwenden, statt immer wieder neue zu erfinden. Im Rahmen einer abgeschlossenen Publikation wie einer Vorlesung ist es empfehlenswert, einen definierten Satz von Zeichen zu verwenden, damit die Entschlüsselung der Bedeutung für die Studierenden möglichst einfach ist. Dieses „Wörterbuch“ sollte zu Beginn der Vorlesung mit den Studierenden diskutiert werden. Die Erstellung der Zeichen soll aufgrund der aktuellen Literatur erfolgen, um Problemen mit kanonischen Bildern und dem Prozess des Kopierens vorzubeugen.

### 3.3.2.4 Referenzen

Arnheim R. Anschauliches Denken. Köln: Dumont, **1996**

Ballstaedt S. Wissensvermittlung. Die Gestaltung von Lernmaterial. Weinheim: Beltz / Psychologie Verlags Union, **1997**

Campbell N.A. Biologie, 6. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, **2003**

Campbell N.A., Reece J.B. & Simon E.J. Essential biology. San Francisco: Benjamin Cummings, **2004**

Gilbert G.N. & Mulkay M. Opening Pandora's box: a sociological analysis of scientists' discourse. Cambridge: Cambridge University Press, **1984**

Gombrich E. Pictorial Instructions. In: Barlow H., Blackmore C. & Weston-Smith M. (Hrsg.) Images and understanding. Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney: Cambridge University Press, **1990**

Gombrich E. Kunst und Illusion. Berlin: Phaidon, **2002**

Keeton W.T. & Gould J.L. Biological Science. New York: Norton, **1993**

Lehninger A.L., Nelson D.L. & Cox M.M. Prinzipien der Biochemie. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag, **1998**

Löffler G. & Petrides P.E. Biochemie und Pathobiochemie. Berlin, Heidelberg: Springer, **1998**

Mendel G. Versuche über Pflanzenhybriden, oder, Die Entdeckung der Vererbungsregeln. Stuttgart: Ernst Klett, **1999** (Original von 1865)

Peirce C.S. (Hrsg. Hartshorne C. & Weiss P.) Collected papers of Charles Sanders Peirce. Volume II: Elements of logic. Cambridge: Harvard University Press, **1932**

Purves W.K., Heller C., Sadava D. & Gordon H.O. Life, The science of biology 6<sup>th</sup> edition. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, **2001**

Raven P.H. & Johnson G.B. Biology 3<sup>rd</sup> edition. St. Louis (etc.): Mosby-Year Book, **1992**

Solomon E.P., Berg L.R. & Martin D.W. Biology 5<sup>th</sup> edition. Fort Worth: Saunders College, **1999**

Stryer L. Biochemistry. New York: W.H. Freeman, **1995**

Voet D. & Voet J.G. Biochemistry. New York: John Wiley, **1990**

Voet D. & Voet J.G. Biochemie. Weinheim: Wiley-VCH, **1992**

### 3.3.3 Naturalistische Bilder

Artists are a bit like magicians: we use optical illusions to fool people into thinking they are seeing a version of reality.

–Gregory S. Paul, 1996, S. 81

#### 3.3.3.1 Beobachtungen und Fragestellungen

Im Gegensatz zum schematischen Bild und zu den wissenschaftlichen Zeichen sind naturalistische Bilder wirklichkeits- und naturgetreu dargestellt. Unter der Konvention der Perspektive, mit dem Spiel von Licht und Schatten und Farbe wird versucht, ein mimetisches Bild zu schaffen, das einen möglichst ähnlichen Eindruck wie die Natur hinterlassen soll. Die naturalistischen wissenschaftlichen Bilder sind häufig Teil der Lehrbuch- und noch öfter Teil der Populärwissenschaft.

Folgende Fragestellungen sollten untersucht werden (vgl. schematische Bilder):

- Welche Merkmale zeichnen ein naturalistisches wissenschaftliches Bild aus?
- Welchen Einfluss hat die naturalistische Darstellung auf den wissenschaftlichen Inhalt?
- Welche wissenschaftlichen Sachverhalte werden naturalistisch dargestellt?
- Worin liegen die Vor- und Nachteile der naturalistische Darstellung?

#### 3.3.3.2 Resultate

##### **Science – Fiction**

Wenn wir eine Photographie einer Person betrachten, sagen wir zum Beispiel „das ist Peter“, wir identifizieren also das Dargestellte mit einer realen Person oder Sache. Horst Bredekamp und Franziska Brons haben diesen Vorgang in der Mikrobiologie beschrieben. Sie sehen den Beginn der Identifikation von Photographie mit dem Objekt im 19. Jahrhundert. Der Bakteriologe Robert Koch begann um 1877 seinen Publikationen Photographien statt Zeichnungen beizufügen und betrachtete diese gar als objektiver als die Natur selbst: „Das photographische Bild eines mikroskopischen Gegenstandes ist unter Umständen wichtiger als dieser selbst“ (Bredekamp & Brons, 2004). Eine Identifikation mit dem Objekt bedeutet, ein Bild als Spiegel der Wahrheit zu betrachten. Es wird suggeriert, die dargestellten Objekte würden tatsächlich existieren. Aufgrund dieser intuitiven Überlegungen könnte man auch bei der Betrachtung von naturalistischen Bildern in der Wissenschaft unbewusst zu der Auffassung gelangen, diese Bilder würden wissenschaftlich abgesicherte, wahre, objektive Fakten darstellen. Ist die naturalistische Darstellung eine Art Gradmesser für die wissenschaftliche Verlässlichkeit eines Bildes? Ob dies zutrifft ist allerdings fraglich. Inwiefern ist das naturalistische Bild tatsächlich „naturalistisch“, also der

dargestellte Gegenstand „wirklichkeitsgetreu“ wiedergegeben? Was ist unter dem Begriff genau zu verstehen?

Ein Beispiel eines naturalistischen Bildes ist die preisgekrönte Illustration eines Nanoroboters von Coneyl Jay, der einem roten Blutkörperchen eine Spritze appliziert (siehe Ottino, 2003). Dieses Bild hat in der Fachzeitschrift *Nature* vor einiger Zeit eine Kontroverse ausgelöst. Der Wissenschaftler J.M. Ottino äusserte die Befürchtung, naturalistische, insbesondere Computer-generierte Bilder, könnten fälschlicherweise als wissenschaftlich objektive Fakten verstanden werden. Der dargestellte Nanoroboter sei Fiktion und werde aus physikalischen Gründen nie gebaut werden können (Ottino, 2003). In einer späteren Ausgabe der Zeitschrift hat ein wissenschaftlicher Illustrator die Befürchtungen Ottinos als unbegründet zurückgewiesen: Beim betreffenden Bild handle es sich nicht um eine wissenschaftliche Illustration und der Betrachter sei wohl intelligent genug, die Fiktion als solche zu erkennen (Ippolito, 2003). Der Illustrator und Biochemiker David Goodsell bemerkt zu Ottinos Artikel, die Wahl des Typs einer Illustration hänge auch vom Zielpublikum ab. Bei der Präsentation von Resultaten würden die Bilder die Daten unterstützen und sollen möglichst wissenschaftlich korrekt sein. Wenn es sich beim Zielpublikum jedoch um die Öffentlichkeit handle, soll das wissenschaftliche Bild Aufmerksamkeit erregen oder Konzepte vereinfacht „in einem Bissen“ erklären. Mit anderen Worten: Die populärwissenschaftliche Illustration muss nach Goodsells Auffassung nicht den gleichen Anforderungen genügen wie das Bild in der esoterischen Wissenschaft. Es kann auch nur kommerziellen Zwecken dienen oder einfach nur dazu, Aufmerksamkeit zu erregen (Goodsell, 2003).

Das Schlüsselwort ist Fiktion. Dass gerade um ein Bild der Nanotechnologie eine aufgeregte Diskussion geführt wird, hängt damit zusammen, dass die Nanotechnologie selbst eine Wissenschaft ist, bei der die Beziehungen zwischen *Science* und *Science Fiction* eine wichtige Rolle spielen und die aus der *Science Fiction* hervorgegangen ist (siehe dazu Milburn, 2002). Das Bild, das beinahe so aussieht, als wäre es von einem kleinen Betrachter mit einer Kamera aufgenommen worden, enthält zahlreiche fiktive (erfundene) Elemente. Der Nanoroboter existiert nicht, es handelt sich vielmehr um ein ausgeklügeltes visuelles Gedankenexperiment. Ist der Leser einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift so leichtgläubig, dass er den Nanoroboter für real existierend hält? Das ist zu bezweifeln. Ottinos Ablehnung und eingehende Diskussion der Machbarkeit des Nanoroboters zeigen vielmehr, dass ein solches Bild die stimulierende Eigenschaft hat, Diskussionen zu provozieren und Fragen aufzuwerfen. Zumindest der kritische Betrachter wird wohl ein fiktives Bild nicht bedingungslos als wahr akzeptieren.

Eine andere Situation liegt hingegen vor, wenn davon ausgegangen werden muss, dass es sich bei einem Bild um objektive Resultate wissenschaftlicher Untersuchungen handelt und das Bild nur einen geringen Anteil an fiktiven und subjektiven Elementen enthält. Dabei ist das Vertrauen und das Vorwissen des Betrachters entscheidend. Wenn ein Student in einem aktuellen Lehrbuch eine naturalistisch gezeichnete Zellmembran studiert, wird er in der Regel davon ausgehen, dass das Dargestellte der Wirklichkeit mehr oder weniger gut entspricht. Er könnte sogar gewisse Rückschlüsse

aus der Darstellung ziehen, zum Beispiel bezüglich des quantitativen Anteils der Proteine in der Zellmembran. Ohne Vorwissen und detaillierte Beschreibung im begleitenden Text wird es ihm schwerfallen, die fiktiven Elemente der Darstellung als solche zu erkennen.

Welche fiktiven Elemente enthalten die dreidimensionalen, naturalistischen Darstellungen von Zellmembranen? Es wurde gezeigt, dass die Darstellung des Unsichtbaren Metaphern des Sichtbaren sind. Entsprechend werden Zellmembranen gezeichnet: Die Elemente sind bunt eingefärbt, eine Lichtquelle ist angedeutet. Metaphern sind auch die Formen, wie die Phospholipide, deren Kopfgruppe als Kugeln dargestellt sind. Bei wissenschaftlichen Bildern werden häufig die Grössenverhältnisse ignoriert. Zellmembranen werden im Vergleich zu der Zelle häufig zu dick dargestellt. Auch die Mengenverhältnisse stimmen meistens aufgrund der reduktionistischen Darstellung nicht, die Zahl der Proteine ist in der Regel zu tief. Die Reduktion führt zum Weglassen von Elementen und dazu, dass der Hintergrund der Bilder einfarbig oder weiss ist, auch bei scheinbar naturalistischen Bildern.

Es gibt Versuche, die fiktiven Elemente bei der Darstellung der Zellmembranen zu minimieren. David Goodsell versucht bei seinen Bildern der molekularen Ebene, den Grössen- und Mengenverhältnissen und der naturgemässen Darstellung der Formen Rechnung zu tragen (z.B. Goodsell, 1994). Aber auch er stösst dabei an Grenzen. Seine Bilder enthalten ebenfalls fiktive Elemente und auch Goodsell ist gezwungen, der Übersicht wegen Elemente wegzulassen. Seine Arbeiten verdeutlichen, dass es unmöglich ist, die fiktiven Elemente eines Bildes gänzlich zu eliminieren, insbesondere dann, wenn es sich um Bilder der unsichtbaren molekularen Ebene handelt.

Die visuelle Darstellung eines wissenschaftlichen Sachverhalts verlangt nach einer konkreten Darstellung. Während man sich den Begriff „Protein“ als mentales Bild in irgendeiner Gestalt und Grösse vorstellen kann, muss es in einem tatsächlichen wissenschaftlichen Bild spezifiziert und explizit dargestellt werden. Ist jedoch nicht genau bekannt, wie eine Sache aussieht, müssen Ergänzungen mit fiktiven Elementen erfolgen. Aus Vorstellungen, Ideen, Hypothesen und Theorien werden so gegenständliche Objekte. Der Prozess kann mit einer Buchverfilmung verglichen werden, bei der fiktive Protagonisten durch Schauspieler ersetzt und konkretisiert werden (zu deren Aussehen im Buch keine vollständigen Angaben zu finden sind). Der Film widerspiegelt dabei nur die gedanklichen Vorstellungen einer kleinen Gruppe von Personen, dem Regisseur und seinen Mitarbeitenden, während die Zuschauer von der Umsetzung enttäuscht sein können, weil sie sich beim Lesen des Buchs alles ganz anders vorgestellt hatten.

Je naturalistischer die Darstellung, desto mehr fordert das Bild nach seiner eigenen Konkretisierung, desto mehr muss, wenn es nicht bekannt ist oder nicht in Erfahrung gebracht wurde, durch Erfindung ergänzt werden. Bei der Diskussion der Entstehung wissenschaftlicher Tatsachen wurde gezeigt, dass für die Präsentation von wissenschaftlichen Sachverhalten in Lehrbüchern oder populärwissenschaftlichen Medien die ursprünglich schematischen Bilder aus den Fachpublikationen häufig in naturalistische Bilder überführt werden. Aus schwarz-weissen, zweidimensionalen werden so farbige, dreidimensionale Bilder. Problematisch ist eine solche Überführung

dann, wenn die künstlerische Freiheit nicht durch zusätzliche Informationen aus der wissenschaftlichen Literatur belegt ist und die Bilder lediglich verschönert („aufgepeppt“) werden. Das naturalistische Bild ist dann lediglich ein schematisches Bild, das vorgibt „realistisch“ auszusehen. Der Begriff „naturalistisch“ im Sinne von „wirklichkeitsnah“ ist deshalb nicht unproblematisch. Einerseits kann ein Bild graphisch wirklichkeitsnah sein, indem es einen ähnlichen visuellen Eindruck vermittelt wie ein realer Sachverhalt. Andererseits bedeutet dies nicht, dass das Bild auch *wissenschaftlich* „wirklichkeitsnah“ ist, denn es kann gänzlich fiktiv sein.

Am extremsten tritt diese Tatsache bei den wissenschaftlichen Animationen zutage. Darstellungen von Kontinua wie die Replikation des HI-Virus (*Abbildung 25*), bei denen die einzelnen Schritte durch einzelne Bilder dargestellt sind, drängen sich dem Graphiker für die Erstellung einer Animation geradezu auf. Diese Bilder entsprechen nämlich den Schlüsselbildern einer Animation. Schlüsselbilder (auch *Keyframes*, *Extremes*) sind jene Bilder der Animation, bei denen eine relevante Änderung stattfindet, die Bilder dazwischen bezeichnet man als *Inbetweens*. Wenn sich also in einer Animation ein Kreis in ein Quadrat verwandelt, dann sind der Kreis und das Quadrat die Schlüsselbilder. Das Zeichnen der *Inbetweens* ist Fleissarbeit, die traditionellerweise von Assistenten erledigt wurde. Heute können solche Zwischenstufen zum Teil auch vom Computer berechnet werden.

Wissenschaftliche Animationen sind meist kurze Sequenzen wissenschaftlicher Inhalte, die heute häufig als zweidimensionale Vektoranimationen oder dreidimensionale Animationen realisiert werden. Im Gegensatz zu Filmen werden Animationen gezeichnet, nicht aufgenommen. Neuere Lehrbücher der Naturwissenschaften, Fachpublikationen wie *Nature* und *Science*, E-Learning Projekte und Firmen setzen neben den traditionellen wissenschaftlichen Bildern heute auch vermehrt Animationen ein. Bei ihrer Erstellung wird häufig von bestehenden wissenschaftlichen Bildern aus Lehrbüchern ausgegangen, die als *Keyframes* dienen. Der Graphiker / Wissenschaftler steht dabei unter anderem vor dem Problem, dass die Pfeile zwischen den einzelnen, statischen Bildern durch bewegte Bilder, die *Inbetweens*, ersetzt werden müssen. Das Resultat kann mit der Realität wenig gemeinsam haben und entspringt im Wesentlichen der Vorstellung des Ausführenden. Dies trifft insbesondere auf die Bewegungen von Objekten zu: Auf der molekularen Ebene sind Bewegungen in höchstem Mass zufällig, es herrscht ein wildes Durcheinander. In wissenschaftlichen Animationen hingegen bewegen sich die Objekte immer gemächlich und zielstrebig an den Ort, wo sie benötigt werden.

Wissenschaftler stehen allgemein vor einem Dilemma, das von Gilbert und Mulkay nach einem Forscher als „Trubshaw-Dilemma“ benannt wurde (Gilbert & Mulkay, 1984). In dieser Arbeit wird es das *didaktische Dilemma* genannt. Es besteht darin, dass bei der Vermittlung von Forschungsergebnissen durch Bilder auf der einen Seite die Versuchung besteht, den Sachverhalt möglichst anschaulich, naturalistisch und didaktisch zu präsentieren, um damit eine möglichst gute Vermittlung des Inhalts zu erreichen. Das bedeutet meist eine Popularisierung, eine Ergänzung durch Fiktion, eine naturalistische Darstellung und einen Verzicht auf hypothetische Elemente. Auf der anderen Seite ist aber nicht gewollt, dass die Betrachter des Bildes die fiktionalen

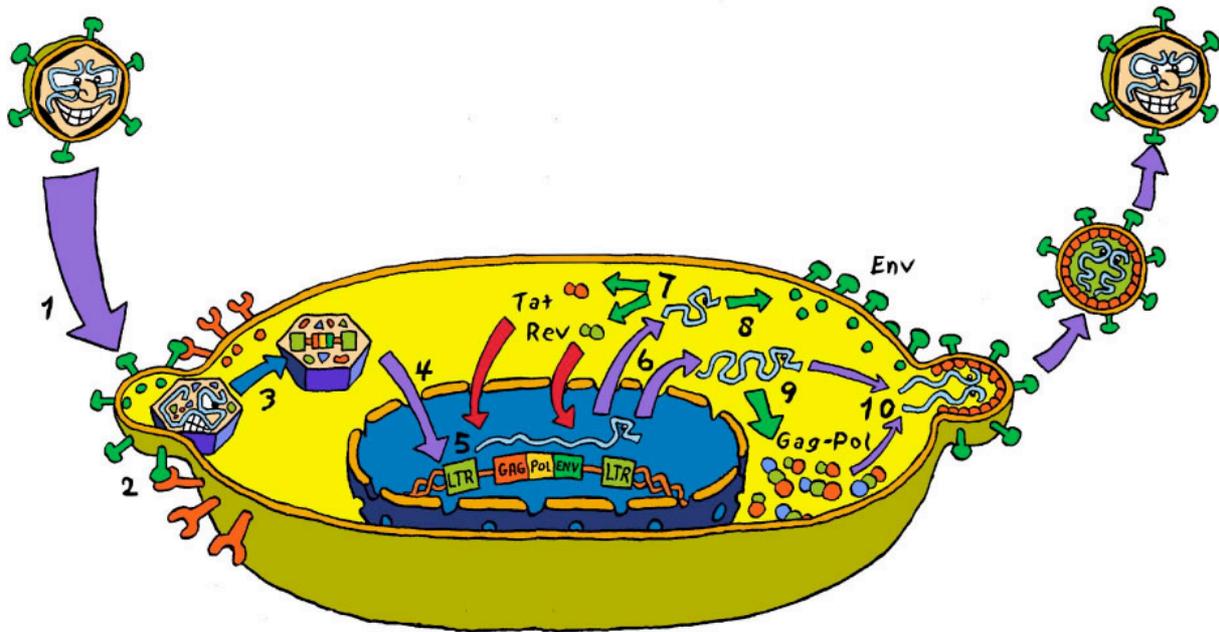
Elemente zu wörtlich nehmen und glauben, etwas würde auch „in Wirklichkeit“ so aussehen.

Zur Lösung dieses Dilemmas sind einige Ansätze denkbar. Durch eine Analyse von wissenschaftlichen Bildern ist es dem Betrachter möglich, fiktive und subjektive Elemente zu identifizieren und vom wissenschaftlichen Kern zu trennen. Studierende der Naturwissenschaften sollten in der Interpretation wissenschaftlicher Bilder geschult und für die erwähnten Probleme sensibilisiert werden.

Neben der Identifikation der fiktiven Elemente existieren weitere Möglichkeiten, das Problem der naturalistischen Darstellung anzugehen. Im begleitenden Text können beispielsweise die Limitationen des Bildes und die Darstellungsweise diskutiert werden. Das Bild selbst kann so gestaltet werden, dass fiktive, unsichere, hypothetische Elemente mit gestrichelten Linien, Fragezeichen oder Farbkodes gekennzeichnet werden.

Gilbert und Mulkey haben auf eine Darstellungsart hingewiesen, die sporadisch in wissenschaftlichen Publikationen verwendet wird: „Visuelle Witze“ (*visual jokes*). Dabei werden wissenschaftliche Inhalte auf eine lustige Art und Weise dargestellt, indem zum Beispiel zwei Gebiete auf unerwartete Weise kombiniert werden. *Abbildung 26* zeigt ein Beispiel aus einer seriösen wissenschaftlichen Publikation, nämlich erneut eine schematische Darstellung des Vermehrungszyklus des HI-Virus. Das Bild vom Wissenschaftler und Illustrator Ebbe Sloth Anderson erschien auch in einer Publikation zur medikamentösen Therapie von HIV (Nielsen, Pederson & Kjems, 2005). Interessanterweise wird das Bild im Artikel genauso wie ein normales Bild diskutiert – weder im Text noch in der Bildbeschreibung wird darauf aufmerksam gemacht, dass es sich nicht um ein „korrektes“ wissenschaftliches Bild handelt. Diese Art der Darstellung von wissenschaftlichen Inhalten enthält *inhärent* die Aufforderung, das Dargestellte zu hinterfragen und die Darstellungsart nicht unkritisch zu akzeptieren. Sie gibt nicht vor, etwas naturalistisch abzubilden, wovon gar nicht bekannt ist, wie es aussieht. Visuelle Witze sind also eine mögliche Lösung für das didaktische Problem.

Bei dieser Art der Darstellung besteht allerdings die Gefahr, den Inhalt der Lächerlichkeit preis zu geben und den wahren Sachverhalt zu verschleiern. Mögliche negative Aspekte solcher Illustrationen wurden bereits mehrfach diskutiert (vgl. die Kapitel zu den Metaphern und zu den schematischen Bildern). Besonders interessant an dieser Darstellung ist, dass das Virus wieder als „böser Feind“ animisiert wird. Es handelt sich um eine explizite visuelle Metapher.



**Abbildung 26.** Visuelle Witze. Der Replikationszyklus des HI-Virus (© Ebbe Sloth Anderson; diese Abbildung erschien in Nielsen, Pederson & Kjems, 2005).

Schliesslich stellt sich die Frage, ob bei einem fortgeschrittenen Kenntnisstand der Studierenden oder Schüler nicht auf didaktisierende Elemente verzichtet werden kann. Die Studierenden sollen sich auch mit den Bildern der Originalpublikation, also mit der Sache an sich und nicht bloss mit künstlichen Übersetzungen auseinandersetzen.

Die fiktiven Elemente eines Bildes sind nicht der einzige Grund, an der Wirklichkeitstreue des naturalistischen Bildes zu zweifeln. Fiktion in wissenschaftlichen Bildern bedeutet eine Ergänzung durch Erfundenes. Aber bereits das vorliegende Objekt kann verfälscht sein oder nicht der Realität entsprechen: Wenn ein Querschnitt der Sprossachse einer Pflanze mit chemischen Farbstoffen eingefärbt wird; wenn ein totes Insekt auf einem Zeichenbrett positioniert und abgezeichnet wird; wenn Viren im Reagenzglas gezüchtet und im Vakuum vom Elektronenmikroskop aufgenommen werden, ist dann nicht bereits das Objekt selbst nicht mehr ganz wirklichkeitsgetreu?

### 3.3.3.3 Schlussfolgerungen und praktische Hinweise

Mit naturalistischen wissenschaftlichen Bildern wird versucht, Wissenschaftliches naturgemäss und wirklichkeitsnah darzustellen. Nun handelt es sich bei wissenschaftlichen Erkenntnissen häufig um Hypothesen, vorläufige Annahmen, Modelle oder Unsichtbares. Hier eignet sich deshalb die schematische Darstellung besonders gut. Aus verschiedenen Gründen werden diese Erkenntnisse aber auch naturalistisch dargestellt. Ein Grund ist die Verwendung in der Lehre oder in der Populärwissenschaft, zum Beispiel in einer Zeitung als Illustration. Häufig werden dazu bestehende, einfache schematische Zeichnungen in naturalistische Darstellungen überführt, indem sie ausgeschmückt und mit fiktiven Elementen ergänzt werden. Diese

Darstellungen haben durchaus wichtige Funktionen, etwa in der Kommunikation mit Laien oder als Hilfe für die Vorstellung. Der wirklichkeitsnahe Stil deckt sich dann aber nicht immer mit der wissenschaftlichen Wirklichkeit. Daraus können insbesondere in der Lehre Probleme entstehen.

Die fiktiven und hypothetischen Elemente einer naturalistischen Darstellung sollten in der Wissenschaft und besonders in der Lehre gekennzeichnet oder diskutiert werden sollten. Einige Lösungsansätze zum „didaktischen Problem“ wurden besprochen. Grundsätzlich sollte die Zweckmäßigkeit einer naturalistische Darstellung in solchen Fällen überprüft werden.

#### 3.3.3.4 Referenzen

Bredenkamp H. & Brons F. Fotografie als Medium der Wissenschaft. Kunstgeschichte, Biologie und das Elend der Illustration. In: Maar C. & Burda H. Iconic Turn. Die neue Macht der Bilder. Köln: Dumont, **2004**

Gilbert G.N. & Mulkay M. Opening Pandora's box: a sociological analysis of scientists' discourse. Cambridge: Cambridge University Press, **1984**

Goodsell D.S. Labor Zelle: Molekulare Prozesse des Lebens. Berlin (etc.): Springer, **1994**

Goodsell D.S. Looking at molecules – an essay on art and science. *ChemBioChem*, **2003**, 4, 1293-1298

Gould S.J. (Hrsg.) The book of life. London: Ebury-Hutchinson, **1993**

Ippolito F. The subtle beauty of art in the service of science. *Nature*, **2003**, 422, 15

Milburn C. Nanotechnology in the age of posthuman engineering: science fiction as science. *Configurations*, **2002**, 10, 261-295

Nielsen M.H., Pederson F.S. & Kjems J. Molecular strategies to inhibit HIV-1 replication. *Retrovirology*, **2005**, 2(10)

Ottino M. Is a picture worth 1000 words? *Nature*, **2003**, 421, 474-476

Paul G.S. The art of Charles R. Knight. *Scientific American*, **2002**, 274(6), 74-81

## 4 Diskussion

In den Naturwissenschaften besteht die Tendenz, wissenschaftliche Bilder mit dem repräsentierten Objekt zu identifizieren und auf ihren wissenschaftlichen Inhalt zu reduzieren. Dabei werden formale Aspekte der Bilder, ihre Entstehung und Entwicklung vernachlässigt oder nur implizit wahrgenommen.

Basierend auf einer ausführlichen Literaturrecherche, theoretischen Überlegungen, Fallbeispielen, Sammlungen und Experimenten wurde eine Theorie zu den wissenschaftlichen Bildern entwickelt, welche eine Beschreibung und Analyse der Bilder ermöglicht und die Einflüsse der Entstehung und Entwicklung auf unterschiedliche Formen der Qualität der Bilder beschreibt.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen wurden praktische Hinweise in Bezug auf die Betrachtung, Verwendung und Erstellung wissenschaftlicher Bilder abgeleitet.

Zu den wichtigsten Erkenntnissen der Theorie gehören:

- Die Bedeutung der sprachlichen Bilder (Metaphern, Analogien, Vergleiche) und ihre bewusste Wahrnehmung und Anwendung.
- Der Bezug von gegenständlichen und theoretischen Modellen zu wissenschaftlichen Bildern.
- Die Indirektheit und Metaphorik der neuen instrumentellen Bilder und die digitale Manipulation.
- Die Existenz kanonischer Bilder und die Festlegung des Blicks durch diese Standardbilder.
- Die Entstehung kanonischer Bilder durch den Prozess des Kopierens und die Einflüsse des Kopierens auf unterschiedliche Arten der Qualität wissenschaftlicher Bilder.
- Die Entstehung und Entwicklung wissenschaftlicher Bilder ausgehend von esoterischer Fachwissenschaft zur Populärwissenschaft und die Transformationen der Bilder in diesem Prozess.
- Die Aufklärung der Merkmale schematischer Bilder.
- Die Beschreibung wissenschaftlicher Zeichen als kleinste Einheit bestimmter schematischer Bilder.
- Die Beschreibung der Fiktion in naturalistischen Bildern und das „didaktische Problem“

Die Theorie vermittelt erstens Erkenntnisse zur Erstellung und Verwendung wissenschaftlicher Bilder. Sie zeigt Methoden auf, welche insbesondere die wissenschaftliche, graphische und didaktische Qualität der Bilder und ihrer Verwendung erhöhen. Konkrete Anwendungen sind überall dort möglich, wo wissenschaftliche Bilder verwendet werden. Zum Beispiel im naturwissenschaftlichen Unterricht an der Schule und an der Hochschule zur Erstellung von Lernmaterialien wie Vorlesungsskripten und Lehrbüchern; bei der Erstellung und Verwendung in verschiedenen Kommunikationsformen der Naturwissenschaften, z.B. Artikel in Fachzeitschriften, Reviews, Handbücher, Vorträge, Poster; generell für die Erstellung

von Medien mit (populär-)wissenschaftlichen Inhalten, z.B. im Wissenschaftsjournalismus für Bücher, Zeitungen oder für das Fernsehen.

Die Theorie vermittelt zweitens Wege zu einer aktiven, bewussten und skeptischen Rezeption wissenschaftlicher Bilder. Sie richtet sich somit zweitens an alle Personen, die in irgendeiner Form mit wissenschaftlichen Bildern in Kontakt kommen oder an Personen, welche die Prozesse der Erstellung, Verwendung und Rezeption der Bilder in den Naturwissenschaften untersuchen.

## Teil II Vorlesung „Aktiver und passiver Transport durch Membranen“

### 1 Einleitung

#### 1.1 Übersicht

Im zweiten Teil der Arbeit wurden aus der Theorie zu den wissenschaftlichen Bildern Methoden zur Erstellung von Vorlesungsunterlagen abgeleitet. Die Methoden wurden bei der Überarbeitung der Wahlvorlesung „Aktiver und passiver Transport durch Membranen“ im Studium der Pharmazeutischen Wissenschaften an der Universität Basel angewendet. Die Vorlesung wurde im Wintersemester 2006/07 im Masterstudium Pharmazie (7. Semester) durchgeführt und von den Studierenden evaluiert.

#### 1.2 Einführung in das Thema der Vorlesung

In der modernen Arzneimitteltherapie und -forschung gilt der Grundsatz, dass ein pharmazeutischer Wirkstoff an eine molekulare Zielstruktur binden muss, damit ein biologischer Effekt ausgelöst werden kann. Die Zielstruktur wird im weitesten Sinn als *Rezeptor* bezeichnet. Die Rezeptortheorie (Maehle *et al.*, 2002) wurde durch Paul Ehrlich mitbegründet, der zu Beginn des 19. Jahrhunderts postulierte, dass bestimmte chemische Strukturen auf der Zelle für die selektive Bindung von Substanzen verantwortlich sind und dass die „Körper nicht wirken, wenn sie nicht gebunden sind“ (Ehrlich, 1909, S. 214):

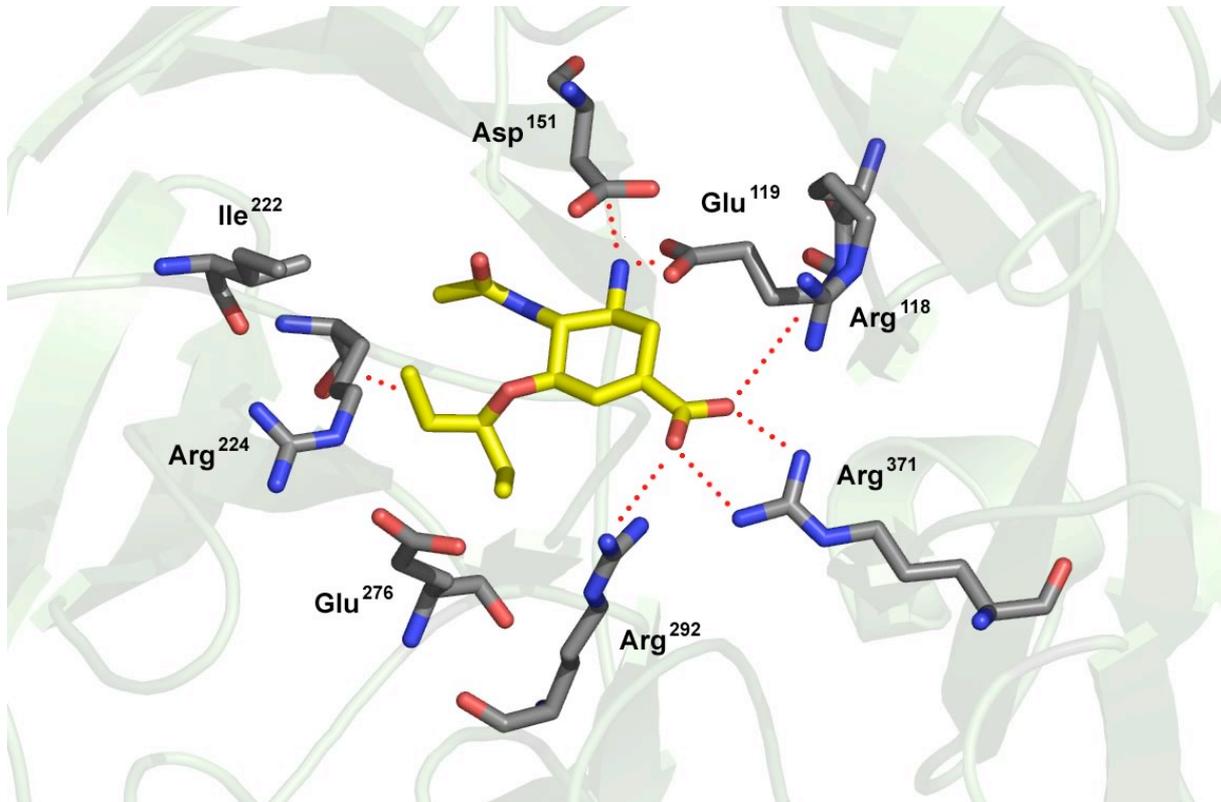
„Beherrscht wird das ganze Gebiet von einem ganz einfachen, ich möchte sagen selbstverständlichen Grundsatz. Wenn in der Chemie das Gesetz gilt: *corpora non agunt nisi liquida*, so ist für die Chemotherapie massgebend: *corpora non agunt nisi fixata!*“

Ein Beispiel für eine Zielstruktur (*Target*) ist das Enzym Neuraminidase des Grippevirus, welches sich in den Epithelzellen der Atemwege repliziert. Der antivirale Wirkstoff Oseltamivir, der bei der medikamentösen Therapie der Grippe verwendet wird, bindet an die virale Neuraminidase und hemmt dadurch ihre Funktion. Dies führt dazu, dass sich das Virus nicht weiter vermehren kann (Wutzler & Vogel, 2000). Die Bindung von Oseltamivir an die Neuraminidase ist in *Abbildung 27* dargestellt.

Neben der Bindungsstärke, der *Affinität* zum Rezeptor, ist die *Selektivität* ein weiterer wichtiger Aspekt. Der Wirkstoff soll nur an ein definiertes Target binden (z.B. an Proteine des Grippevirus), nicht aber an andere Rezeptoren (z.B. körpereigene Proteine). Eine unselektive Hemmung vieler Targets könnte zu Toxizität und unerwünschten Nebenwirkungen führen.

Eine starke und selektive Bindung eines Wirkstoffs an eine Zielstruktur ist aber nur eine Voraussetzung für den biologischen Effekt und eine effektive medikamentöse Therapie. Eine essentielle Bedingung ist, dass der Wirkstoff den Wirkort überhaupt in ausreichender Konzentration erreicht (Clark, 1933). Oseltamivir beispielsweise wird

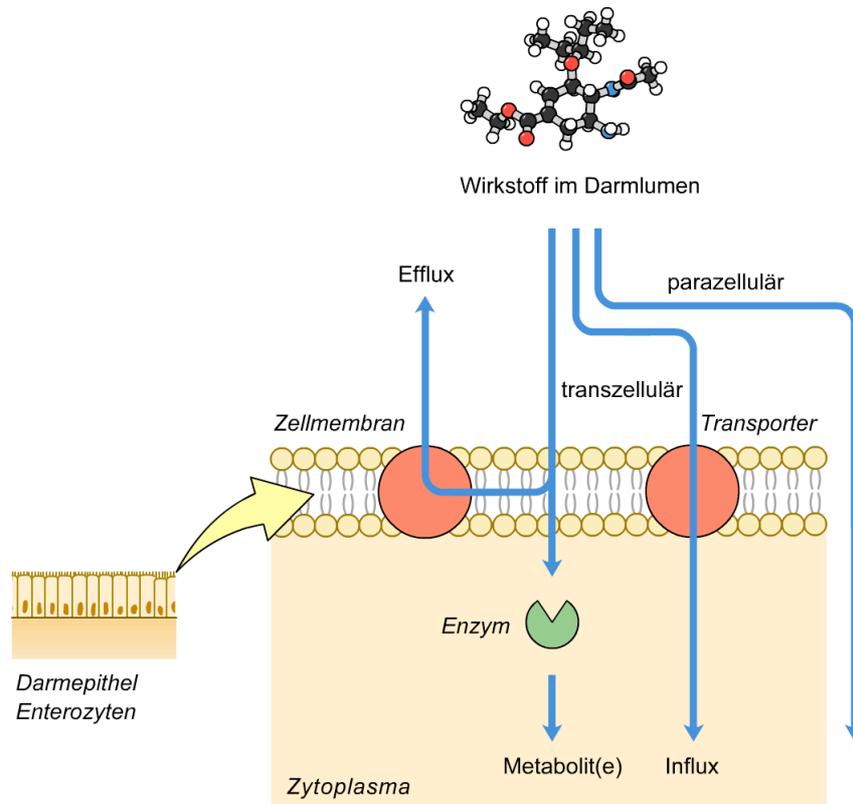
peroral in Form von Kapseln verabreicht und muss aus dem Darm zu den Epithelzellen der Atemwege und zu den Grippeviren gelangen.



**Abbildung 27.** Damit ein pharmazeutischer Wirkstoff einen biologischen Effekt auslösen kann, muss er an ein molekulares *Target* gebunden sein. Die Abbildung zeigt den antiviralen Wirkstoff Oseltamivircarboxylat (Tamiflu®, gelb), gebunden an das Enzym Neuraminidase N1 des Influenza-Virus A vom Subtyp H5N1. Rot eingezeichnet sind die mutmasslichen intermolekularen Wechselwirkungen, welche der Wirkstoff mit dem Enzym eingeht. Die Bindung bewirkt eine Hemmung der Funktion des Enzyms und verhindert die Vermehrung des Virus (Koordinaten aus Russell *et al.*, 2006; Bild erstellt mit PyMOL, <http://pymol.sourceforge.net>; Bild: A. Vögtli).

Dem Wirkstoff – oder der Gesamtheit aller Wirkstoffmoleküle aus der Arzneiform – begegnen auf dem Weg aus dem Darm zur Zielstruktur (z.B. in der Lunge) zahlreiche *Barrieren*, welche den Transport behindern und die Menge des Wirkstoffs, der schliesslich das *Target* erreicht, signifikant reduzieren können (van de Waterbeemd *et al.*, 2001). Bereits der Zerfall und die Freisetzung (*Liberation*) des Wirkstoffs aus der Arzneiform im Darm stellen eine erste Barriere dar. Der Wirkstoff muss im Darm in Lösung gehen, damit er absorbiert werden kann. Hierbei spielen u.a. die Arzneiform (Voigt, 2000), der Inhalt des Magen-Darm-Trakts und die physikochemischen Eigenschaften des Wirkstoffs eine entscheidende Rolle (Hörter & Dressmann, 2001). Wird der Wirkstoff unvollständig aus der Arzneiform freigesetzt, so erreicht nur ein Teil der Dosis den systemischen Kreislauf und das molekulare Target. Säurelabile Wirkstoffe können zudem im sauren Milieu des Magens (pH 1-2) abgebaut werden (z.B. Penicilline, Digoxin, Erythromycin, Protonenpumpen-Hemmer). Bereits im

Darm kann der Wirkstoff, bevor er das *Target* erreicht, biotransformiert werden und seine Aktivität verlieren (Doherty & Charman, 2002).

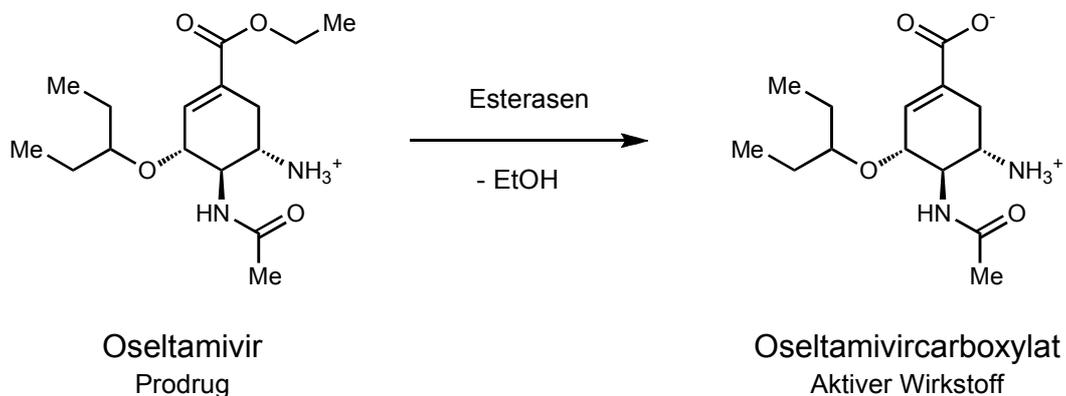


**Abbildung 28.** Die Abbildung zeigt, über welche Transportwege ein pharmazeutischer Wirkstoff die apikale Zellmembran eines Enterozyten im Darm passieren kann (vgl. Text). Als Beispiel ist Oseltamivir dargestellt. Der vesikuläre Transport ist nicht gezeigt (Bild: A. Vögli).

Eine weitere wichtige Barriere ist die *Transportbarriere*. Wirkstoffe müssen nach der oralen Verabreichung auf dem Weg zu ihrem *Target* in der Regel mehrere Zellschichten überwinden. Die erste Zellschicht, auf die der oral verabreichte Wirkstoff trifft, ist das einschichtige Oberflächenepithel im Darm, das von den Darmzellen (Enterozyten) ausgebildet wird (Welsch, 2006). Der Prozess der Aufnahme des Wirkstoffs aus dem Darm in die Blutgefäße der Darmzotten wird als *intestinale Absorption* bezeichnet. Die unterschiedlichen Transportwege an der apikalen Zellmembran am Enterozyten sind in *Abbildung 28* dargestellt. Wirkstoffe können zwischen den Epithelzellen passieren (sog. *parazellulärer Transport*). Dieser Transportweg spielt aber für die meisten Wirkstoffe eine untergeordnete Rolle, da die Zellen in den Zwischenräumen durch Verschlusskontakte (*Tight Junctions*) eine Barriere gegen den freien Stofftransport ausbilden (z.B. Schneeberger & Lynch, 2004). Die meisten Wirkstoffe passieren deshalb die Epithelzellen *transzellulär*. Dabei müssen die hydrophoben Zellmembranen überwunden werden. Hier sind verschiedene Transportmechanismen möglich. Ein lipophiler Wirkstoff kann passiv über die Membran diffundieren. Für hydrophile und geladene Wirkstoffe ist die Zellmembran – die im Kern hydrophob ist – jedoch eine Transportbarriere. Die physikochemischen

Eigenschaften eines Wirkstoffs determinieren sein Verhalten gegenüber der Transportbarriere.

Oseltamivir beispielsweise ist nur durch einen chemisch-pharmazeutischen Kunstgriff oral absorbierbar. Der Wirkstoff wird nämlich erst nach der Absorption im Darm und in der Leber durch enzymatische Hydrolyse zum aktiven Wirkstoff Oseltamivircarboxylat aktiviert. Die Umwandlung erfolgt nahezu vollständig (Fachinformation). Es handelt sich um einen sogenannten *Prodrug*, ein Begriff, der 1958 von Adrien Albert eingeführt wurde: „Sometimes the substance as administered, is only a ‚pro-drug‘ which has to be broken down to give the true drug.“ (Albert, 1958, S. 421). Die polare und im Magen-Darm-Trakt positiv geladene Carboxylatgruppe des aktiven Wirkstoffs wurde mit Ethanol verestert, damit der Wirkstoff intestinal absorbiert wird und oral als Kapsel verabreicht werden kann (Li *et al.*, 1998).



**Abbildung 29.** Aktivierung des Prodrugs Oseltamivir zum aktiven Wirkstoff Oseltamivircarboxylat.

Der Körper ist auf effiziente Mechanismen angewiesen, die auch hydrophile und geladene Nahrungsbestandteile die Membranbarriere passieren lassen, z.B. Ionen, Nukleinsäuren, Aminosäuren, Peptide, Lipide oder Zucker. Zu den Strukturen, welche den Transport dieser Substanzen ermöglichen, gehören die *Transportproteine*, d.h. Transporter und Kanäle, die den selektiven Transport bestimmter Substanzen und Substanzgruppen über Zellmembranen durch unterschiedliche Mechanismen begünstigen. Glucose beispielsweise kann aufgrund seiner hydrophilen Hydroxylgruppen Zellmembranen nicht überwinden. Der Zucker ist deshalb auf die Transporter GLUT (Glucose-Transporter, z.B. an der Blut-Hirn-Schranke) und SGLT (Sodium Glucose Transporter, z.B. im Darm) für den Transport über Membranen angewiesen (Brown, 2000). Transportproteine können aber auch pharmazeutische Wirkstoffe über Membranen transportieren (Amidon & Sadée, 1999).

Transporter transportieren aber auch in Gegenrichtung (sog. *Efflux*). So werden z.B. lipophile Substanzen, die in die Membran diffundiert sind, wieder aus der Membran zurück in den Darm transportiert. Der am besten charakterisierte Effluxtransporter ist P-Glykoprotein (P-gp), ein ATP-abhängiger Transporter. P-gp wurde zunächst als Faktor bei der Entstehung der Kreuzresistenz von Tumorzellen gegenüber Zytostatika entdeckt (Gottesman, Fojo & Bates, 2002). Später wurde gezeigt, dass der Transporter auch an physiologischen Geweben, z.B. im Magen-Darm-Trakt, vorkommt (Thiebaut

*et al.*, 1987). In den 90er Jahren wurde z.B. an Experimenten mit *Knockout*-Mäusen gezeigt, dass P-gp die Funktion einer Transportbarriere gegenüber Xenobiotika und pharmazeutischen Wirkstoffen wahrnimmt (Schinkel, 1999; Zhang & Benet, 1999).

Die diskutierten Transportprozesse spielen nicht nur bei der intestinalen Absorption eine wichtige Rolle, sie sind auch an den weiteren pharmakokinetischen Prozessen, d.h. der Biotransformation, der Verteilung und der Elimination beteiligt. Bei der ersten Leberpassage (*hepatischer First-Pass*) strömt das venöse Blut aus dem Darm an den Leberzellen (*Hepatozyten*) vorbei in Richtung Herz (Welsch, 2006). Neben zahlreichen Funktionen im Stoffwechsel hat die Leber durch ihre strategische Position zwischen Darm und systemischem Kreislauf eine wichtige Entgiftungs- und Ausscheidungsfunktion. Substanzen ohne physiologische Funktionen, sogenannte *Xenobiotika* (z.B. Zusatzstoffe in der Nahrung, Drogen oder Agrochemikalien) können hier durch Enzyme biotransformiert und der Ausscheidung in die Galle oder der Niere zugeführt werden (Testa, 1995; 2006). So werden lipophile Wirkstoffe beispielsweise besser wasserlöslich gemacht, damit sie effizient eliminiert werden können (Beyer, 1990). Durch diese erste Leberpassage kann ein wesentlicher Anteil des Wirkstoffs inaktiviert und eliminiert werden (z.B. Thummel, Kunze & Shen, 1997).

Eine kausale Bedingung für die hepatische Biotransformation (den *Metabolismus*) und die hepatische Elimination ist die Aufnahme in die Leberparenchymzellen (*Hepatozyten*) über deren sinusoidale Zellmembran, da der Metabolismus vorwiegend intrazellulär stattfindet. Bei dieser Aufnahme sind wiederum dieselben Transportprozesse involviert, die oben diskutiert wurden. Der biotransformierte und unveränderte Wirkstoff kann wieder zurück ins Blut oder über eine weitere Membran in die Galle transportiert und der Ausscheidung zugeführt werden (Transporter an der Leber: Kullak-Ublick, Stieger & Meier, 2004).

Hat der Wirkstoff nach der Leber schliesslich die systemische Zirkulation erreicht, muss er aus dem Blut zu seiner molekularen Zielstruktur gelangen. Wenn diese ausserhalb der Blutgefässe liegt, muss er dazu in das Gewebe verteilt werden (*Distribution*). Je nach Zielstruktur müssen erneut zelluläre Barrieren überwunden werden. Ein Beispiel einer solchen Barriere ist die Blut-Hirn-Schranke, die vom abgedichteten Endothel der Blutgefässe im Gehirn ausgebildet wird. Die Passage aus den Blutgefässen in das Hirngewebe wird dadurch erschwert. Wiederum entscheiden u.a. die diskutierten Transportprozesse, die Eigenschaften des Wirkstoffs und die spezifischen Eigenschaften der Barriere, ob eine Substanz die Barriere passieren kann. Die Blut-Hirn-Schranke stellt ein grosses Problem für die Entwicklung zentral wirksamer Medikamente dar, da sie generell für Wirkstoffe schlecht durchlässig ist (Pardridge, 2005).

Sobald der Wirkstoff in den Organismus aufgenommen wurde, beginnt auch seine Ausscheidung (*Elimination*). Neben der hepatischen Elimination sind an der Ausscheidung der Wirkstoffe insbesondere die Nieren beteiligt (renale Elimination). Alternative Ausscheidungswege, zum Beispiel über die Lunge, sind möglich und für einige Wirkstoffe bedeutsam. Die renale Klärung des Blut vom Wirkstoffs wird von drei Prozessen determiniert, der *Filtration*, der *Reabsorption* und der *Sekretion* (Thews, Mutschler & Vaupel, 1991).

Die Reabsorption und die Sekretion sind erneut Prozesse, bei denen der Wirkstoff eine Zellschicht, bzw. Zellmembranen passieren muss (oder parazellulär transportiert

wird). Wiederum sind die diskutierten Transportprozesse beteiligt und determinieren zusammen mit den Eigenschaften des Wirkstoffs (und weiteren Faktoren, z.B. der Proteinbindung) das quantitative Ausmass der Ausscheidung.

Oseltamivir, welches nach der Aktivierung durch Hydrolyse als Oseltamivircarboxylat vorliegt, wird vorwiegend renal ausgeschieden (Fachinformation). Es wird sowohl filtriert und auch sekretiert. Die Sekretion erfolgt vermutlich über organische Anionen Transporter (OAT): Oseltamivir trägt eine negative Ladung. Die Sekretion kann mit Probenecid inhibiert werden (Hill *et al.*, 2002). Deshalb wurde auch spekuliert, dass im Fall einer Grippepandemie das rare Oseltamivir mit Probenecid gestreckt werden könnte (Butler, 2005). Dies analog zu Penicillin, dessen Wirkdauer durch Probenecid signifikant verlängert werden kann (z.B. Burnell & Kirby, 1951).

Zusammenfassend sind Transportprozesse und Transportbarrieren entscheidend am Schicksal eines pharmazeutischen Wirkstoffs im Organismus, d.h. an seiner Absorption, der Distribution, am Metabolismus und an der Elimination beteiligt. Diese Prozesse, die mit der Freisetzung (Liberation) unter dem Begriff der *Pharmakokinetik* zusammengefasst werden (Dost, 1953; 1968), stehen wiederum in direktem Zusammenhang mit der *Pharmakodynamik* (d.h. dem Effekt des Wirkstoffs, seinen unerwünschten Wirkungen, den Interaktionen und Kontraindikationen). Schliesslich sind Transportproteine auch selbst interessante Targets für die Pharmakotherapie. So gehören etwa die Protonenpumpen-Hemmer (z.B. Omeprazol, Antramups®, Target: H<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase), die Antidepressiva (z.B. Fluoxetin, Fluctine®, Prozac®, Target: Neurotransmitter-Transporter) und die Calcium-Antagonisten (z.B. Amlodipin, Norvasc®, Target: Calciumkanäle) zu den weltweit am meisten verkauften Medikamenten (IMS Health).

Das Thema des aktiven und passiven Transport über Membranen ist deshalb für Studierende der Pharmazeutischen Wissenschaften von grosser Wichtigkeit.

## Referenzen

Albert A. Chemical aspects of selective toxicity. *Nature*, **1958**, 182, 421-422

Amidon G.L. & Sadée W. (Hrsg.). Membrane transporters as drug targets. New York: Kluwer Academic, **1999**

Beyer K-H. Biotransformation der Arzneimittel. Berlin, Heidelberg: Springer, **1990**

Brown G.K. Glucose transporters: structure, function and consequences of deficiency. *Journal of Inherited & Metabolic Diseases*, **2000**, 23, 237-246

Burnell J.M & Kirby W.M.M. Effectiveness of a new compound, Benemid, in elevating serum penicillin concentrations. *Journal of Clinical Investigation*, **1951**, 30(7), 697-700

Butler D. Wartime tactic doubles power of scarce bird flu-drug. *Nature*, **2005**, 438(3), 6

Clark A.J. The mode of action of drugs on cells. London: Arnold, **1933**

Doherty M.M. & Charman W.N. The mucosa of the small intestine. How clinically relevant as an organ of drug metabolism? *Clinical Pharmacokinetics*, **2002**, 41(4), 235-253

Dost F.H. Der Blutspiegel. Leipzig: Thieme, **1953**

Dost F.H. Grundlagen der Pharmakokinetik. Stuttgart: Thieme, **1968**

Ehrlich P. Chemotherapie von Infektionskrankheiten, 1909. In: Himmelwelt F. The collected papers of Paul Ehrlich. Volume III – Chemotherapy. London, Oxford, New York, Paris: Pergamon Press, **1960**

Gottesman M.M., Fojo T. & Bates S.E. Multidrug resistance in cancer: role of atp-dependent transporters. *Nature Reviews Cancer*, **2002**, 2, 48-58

Hörter D. & Dressman J.B. Influence of physicochemical properties on dissolution of drugs in the gastrointestinal tract. *Advances Drug Delivery Reviews*, **2001**, 46, 75-87

Hill G., Cihlar T., OO C., Ho E.S., Prior K., Wiltshire H., Barrett J., Liu B. & Ward P. The anti-influenza drug oseltamivir exhibits low potential to induce pharmacokinetics drug interactions via renal secretion – correlation of in vivo and in vitro studies. *Drug Metabolism and Disposition*, **2002**, 30, 13-19

Kullak-Ublick G.A., Stieger B. & Meier P.J. Enterohepatic bile salt transporters in normal physiology and liver disease. *Gastroenterology*, **2004**, 126, 322-342

Li W., Escarpe P.A., Eisenberg E.J., Cundy K.C., Sweet C., Jakeman K.J., Merson J., Lew W., Williams M., Zhang L., Kim C.U., Bischofberger N., Chen M.S. & Mendel D.B. Identification of GS 4104 as an orally bioavailable prodrug of the influenza virus neuraminidase inhibitor GS 4071. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, **1998**, 42(3), 647-653

Maehle A-H., Prüll C-R & Halliwell R.F. The emergence of the drug receptor theory. *Nature Reviews Drug Discovery*, **2002**, 1, 637-641

Pardridge W.M. The blood-brain barrier: bottleneck in brain drug development. *NeuroRx*, **2005**, 2, 3-14

Russell R.J., Haire L.F., Stevens D.J., Collins P.J., Lin Y.P., Blackburn G.M., Hay A.J., Gamblin S.J. & Skehel J.J. The structure of H5N1 avian influenza neuraminidase suggests new opportunities for drug design. *Nature*, **2006**, 443, 45-49

Schinkel A. P-glycoprotein, a gatekeeper in the blood-brain barrier. *Advanced Drug Delivery Reviews*, **1999**, 36, 179-194

Schneeberger E.E. & Lynch R.D. The tight junction: a multifunctional complex. *American Journal of Physiology - Cell Physiology*, **2004**, 286, C1213-C1228

Testa B. Drug Metabolism. In: Wolff M.E (Hrsg.) Burger's Medicinal chemistry and drug discovery, Volume 1: Principles and practice. New York (etc.): John Wiley & Sons, **1995**

- Testa B. & Krämer S.D. The biochemistry of drug metabolism: an introduction part 1. Principles and overview. *Chemistry & Biodiversity*, **2006**, 3(10), 1053-1101
- Thews G., Mutschler E. & Vaupel P. Anatomie, Physiologie, Pathophysiologie des Menschen. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, **1991**
- Thiebaut F., Tsuruo T., Hamada H., Gottesman M.M., Pastan I. & Willingham M.C. Cellular localization of the multidrug-resistance gene product P-glycoprotein in normal human tissues. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **1987**, 84(21), 7735-7738
- Thummel E.K., Kunze K.L. & Shen D.D. Enzyme-catalyzed processes of first-pass hepatic and intestinal drug extraction. *Advanced Drug Delivery Reviews*, **1997**, 27, 99-127
- van de Waterbeemd H., Smith D.A., Beaumont K. & Walker D.K. Property-based design: optimization of drug absorption and pharmacokinetics. *Journal of Medicinal Chemistry*, **2001**, 44(9), 1313-1333
- Voigt R. Pharmazeutische Technologie. Stuttgart: Deutscher Apotheker Verlag, **2000**
- Welsch U. Sobotta – Lehrbuch Histologie. München, Jena: Urban & Fischer, **2006**
- Wutzler P. & Vogel G. Neuraminidase inhibitors in the treatment of influenza A and B – overview and case reports. *Infection*, **2000**, 28(5), 261-266
- Zhang Y. & Benet L.Z. The gut as a barrier to drug absorption. *Clinical Pharmacokinetics*, **2001**, 40(3), 159-168

## 1.3 Studiengang Pharmazeutische Wissenschaften an der Universität Basel

Im Rahmen der Umsetzung der Bologna-Deklaration von 1999 wurde das traditionelle Studium der Pharmazie in Basel in den vergangenen Jahren reformiert. Der Bologna-Prozess hat das grundlegende Ziel, die Vergleichbarkeit der Studien und der Abschlüsse zu erhöhen und damit die Mobilität in Europa zu verbessern. Mit der Reform werden Studiengänge in zwei Stufen abgeschlossen: Mit einem Erstabschluss als Bachelor und einem Zweitabschluss als Master. Die Vergleichbarkeit wird mit dem Kreditpunktesystem ECTS gewährleistet. Ein Kreditpunkt entspricht einem Arbeitsaufwand von 30 Stunden, pro Studienjahr werden 60 ECTS-Kreditpunkte erworben (vgl. <http://www.bbt.admin.ch/themen/internationales/00163>).

**Tabelle 8.** Übersicht über den Studiengang „Pharmazeutische Wissenschaften“ an der Universität Basel. Der Abschluss des Bachelorstudiums ist die Grundlage für die Zulassung zu einem der beiden Masterstudiengänge.

---

### 1. Bachelorstudium

---

Dauer: 3 Jahre (180 ECTS-Kreditpunkte)

1. Jahr: Grundstudium: Naturwissenschaftliche und medizinische Grundlagen
2. Jahr: Aufbaustudium: Naturwissenschaftliche und medizinische Grundlagen
3. Jahr: Aufbaustudium: Pharmaziespezifische Fächer

Abschluss: *Bachelor of Science in Pharmaceutical Sciences*

---

### 2. Masterstudiengänge

---

#### 2a. Masterstudium „Pharmazie“

Dauer: 2 Jahre (120 ECTS-Kreditpunkte)

Primäre Ausrichtung: Tätigkeit in einer Offizin- oder Spitalapotheke

1. Jahr: Vertiefung des Bachelorstudiums und Masterarbeit (21 Wochen)
2. Jahr: Assistenzjahr in der Apotheke, Blockkurse

Abschluss: *Master of Science in Pharmacy*

---

#### 2b. Masterstudium „Pharmazeutische Wissenschaften“ (ab Herbst 2007)

Dauer: 1.5 Jahre (90 ECTS-Kreditpunkte)

Primäre Ausrichtung: Tätigkeit in der Pharmazeutischen Industrie

1. Jahr: Vertiefung des Bachelorstudiums 3. Semester: Masterarbeit (28 Wochen)

Abschluss: *Master of Science in Pharmaceutical Sciences*

---

Das Studium Pharmazeutischen Wissenschaften gliedert sich neu in den Bachelorstudiengang „Pharmazeutische Wissenschaften“ und in die zwei Masterstudiengänge „Pharmazie“ und „Pharmazeutische Wissenschaften“ (ab Herbst 2007; siehe *Tabelle 8*)

Das Bachelorstudium „Pharmazeutische Wissenschaften“ führt zum Abschluss „Bachelor of Science in Pharmaceutical Sciences“ und umfasst 180 Kreditpunkte, was

einer Studienzeit von 3 Jahren entspricht. Es gliedert sich in ein einjähriges Grundstudium und ein zweijähriges Aufbaustudium. Die Studierenden werden in der Entwicklung, der Herstellung, der Wirkweise und der Anwendung von Arzneimitteln ausgebildet. Im Grundstudium und im ersten Jahr des Aufbaustudiums werden die naturwissenschaftlichen und medizinischen Grundlagen vermittelt: Mathematik, Physik, Biologie inkl. Mikrobiologie, organische, anorganische, physikalische, biophysikalische und analytische Chemie, Biochemie, Anatomie und Physiologie. Im zweiten Jahr des Aufbaustudiums (3. Jahr des Studiengangs) folgen die spezifischen Fächer der Pharmazie: Pharmakologie, Toxikologie, Molekulare Wirkstoff-Mechanismen, Arzneiformenlehre, Biopharmazie, Pharmazeutische Biologie und Public Health. Der Abschluss berechtigt zum Einstieg in den Masterstudiengang „Pharmazie“ oder „Pharmazeutische Wissenschaften“. Er gilt auch als neuer universitärer Abschluss, berechtigt jedoch nicht zur Tätigkeit als Apothekerin oder Apotheker (Wegleitung für das Bachelorstudium in Pharmazeutischen Wissenschaften an der Universität Basel vom 1.9.2006, [www.pharma.unibas.ch](http://www.pharma.unibas.ch)).

Das Masterstudium „Pharmazie“ führt zum Abschluss „Master of Science in Pharmacy“ und für Studierende mit der Zulassung zu den eidgenössischen Medizinalprüfungen zum eidgenössischen Diplom für Apothekerinnen und Apotheker. Es ermöglicht die Tätigkeit als Apothekerin und Apotheker in einer öffentlichen Apotheke oder im Spital und qualifiziert für Tätigkeiten im Gesundheitswesen und als Industrieapotheker. Das Masterstudium Pharmazie dauert zwei Jahre (4 Semester, 120 Kreditpunkte). Im ersten Semester des 1. Jahres werden Inhalte aus dem Bachelorstudium erweitert, vertieft und angewendet. Neben wenigen Pflichtveranstaltungen gewinnen hier insbesondere die Wahlvorlesungen an Bedeutung. Diese ermöglichen es den Studierenden, selbst Schwerpunkte in ihrem Studium zu setzen. Im zweiten Semester setzen die Studierenden die erlernten Fähigkeit in einer Masterarbeit in der pharmazeutischen Forschung um.

Das zweite Jahr des Masterstudiums ist das sogenannte „Assistenzjahr“. Es bereitet die Studierenden auf die Tätigkeit in der Offizin- oder Spitalapotheke vor. Neben der praktischen Assistenz Tätigkeit in der Apotheke erlangen die Studierenden in Blockkursen pharmazeutische, soziale und kommunikative Kompetenzen (Wegleitung für das Masterstudium in Pharmazie an der Universität Basel vom 10.8.2006, [www.pharma.unibas.ch](http://www.pharma.unibas.ch)).

Mit dem Assistenzjahr ist der Masterstudiengang „Pharmazie“ stark auf die spätere Tätigkeit in der Apotheke ausgerichtet. Alternativ zum Masterstudium „Pharmazie“ wird deshalb ab Herbst 2007 der Masterstudiengang „Pharmazeutische Wissenschaften“ eingeführt, der verstärkt auf die Tätigkeit in der Pharmazeutischen Industrie ausgerichtet sein wird, ausgehend von der Identifizierung von Targets bis zur Formulierung und klinischen Überprüfung von Arzneimitteln. Dieses Masterstudium wird 1.5 Jahre dauern (90 Kreditpunkte) und ebenfalls eine Masterarbeit beinhalten. Es führt zum Abschluss „Master of Science in Pharmaceutical Sciences“ ([www.pharma.unibas.ch](http://www.pharma.unibas.ch)).

## 1.4 Wahlvorlesung „Aktiver und passiver Transport durch Membranen“

Im Rahmen der Vertiefung pharmazeutischer Inhalte im Masterstudium „Pharmazie“ im Studium „Pharmazeutische Wissenschaften“ an der Universität Basel wird im 7. Semester (1. Jahr Masterstudium) jährlich die Wahlvorlesung „Aktiver und passiver Transport durch Membranen“ durchgeführt (Abkürzung: APTM). Die Vorlesung wird ab Herbst 2007 auch von Studierenden des Masterstudiums „Pharmazeutische Wissenschaften“ belegt werden können. Die Vorlesung wurde im Jahr 2003 unter der Leitung von Prof. Dr. Beat Ernst zum ersten Mal durchgeführt.

Das Leitidee der Vorlesung ist, den Studierenden der Pharmazie die fundamentale Rolle der Transportprozesse pharmazeutischer Wirkstoffe zu vermitteln (vgl. Einleitung zum Thema).

Teilaspekte des Themas werden im Studium der Pharmazeutischen Wissenschaften in Basel in verschiedenen Lehrveranstaltungen diskutiert, etwa in der Anatomie und Histologie, der Physiologie, der Biochemie, der Biopharmazie, der Pharmakologie und der Vorlesung zu den Molekularen Wirkstoffmechanismen. Ziel der Vorlesung APTM ist es, die bereits diskutierten Aspekte in einen geordneten Zusammenhang zu setzen, anzuwenden und mit neuen Inhalten zu ergänzen.

## 1.5 Ziele

Aufgrund verschiedener Mängel (Uneinheitlichkeit, Redundanz, Präsentation) sollte die Vorlesung APTM auf das Wintersemester 2006 / 2007 hin komplett überarbeitet und neu erstellt werden. Die neue Vorlesung sollte mit den Studierenden des Masterstudiengangs „Pharmazie“ im 7. Semester durchgeführt werden.

*Vorlesungsskript.* Der Schwerpunkt der gesamten Überarbeitung lag auf der Erstellung eines neuen Vorlesungsskripts. Das ausführliche Skript sollte im Stil eines Lehrbuchs basierend auf abgeleiteten Methoden ausgehend von der in Teil I präsentierten Theorie zu den wissenschaftlichen Bildern neu erstellt werden (vgl. Abschnitt „Methoden“). Aus dieser praktischen Arbeit sollten zudem Rückschlüsse auf die Theorie gezogen werden. Die Grundlage zur Erstellung des Skripts sollte eine umfangreiche Literaturrecherche bilden. Die Erstellung des Skripts sollte auf eine mögliche Veröffentlichung des Skripts als Lehrbuch ausgerichtet werden.

*Qualitätskontrolle.* Die Qualität des Vorlesungsskripts und die Qualität der Bilder sollte durch die teilnehmenden Studierenden der Pharmazie am Schluss der Vorlesung durch eine summative Evaluation in Form eines Fragebogens evaluiert werden.

*Einbindung von E-Learning.* Die Vorlesung sollte gemäss dem Blended Learning Konzept *pharmasquare* gestaltet werden. Die Studierenden sollten zum Erhalt der Kreditpunkte erstens eine Standortbestimmung auf der virtuellen Lernumgebung von

*pharmasquare* online bearbeiten und zweitens eine Wirkstoff-Monographie in der Wirkstoffsammlung von *pharmasquare* erarbeiten. Zu den einzelnen Themen der Vorlesung sollten fakultative elektronische Selbstevaluationen auf der virtuellen Lernumgebung angeboten werden.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Material

#### 2.1.1 Hardware

Computer	Apple PowerBook G4 15''
CPU	PowerPC G4 (3.2), 867 MHz
RAM	512 MB
Speicherkapazität	40 GB
Betriebssystem	MAC OS X 10.3.9, Darwin 7.9.0

#### 2.1.2 Software

**Tabelle 9.** Verwendete Software bei der Erstellung der Vorlesungsunterlagen und zur Präsentation der Vorlesung.

Software	Hersteller	Version	Anwendung
Word	Microsoft	X	Verfassen der Vorlesungsunterlagen
PowerPoint	Microsoft	X	Präsentieren der Vorlesung
Excel	Microsoft	X	Erstellen von Tabellen und Diagrammen
TextEdit	Apple	1.3	Bearbeiten von Texten
Flash Pro	Adobe	7.1	Erstellen von Bildern und Animationen
Fireworks Pro	Adobe	7.0	Bearbeitung von Bildern
ChemDraw Ultra	Cambridgesoft	10.0	Visualisierung chemischer Strukturformeln und Reaktionen
Mac Bio GL	Biographics Laboratory 3R	3.0	Erstellen von Molekül- und Bearbeiten von Proteinstrukturen
Molscrip	Per Kraulis	2.1.2	Visualisierung von Molekülen und Proteinen
Pymol	DeLano Scientific	2002	Visualisierung von Molekülen und Proteinen
pharmasquare	IMP	1.5	Erstellung und Einbindung von E-Learning-Komponenten
Safari	Apple	1.3.2	Webbrowser
Acrobat Pro	Adobe	6.0.2	Bearbeiten von PDF-Dateien

## 2.2 Methoden

### 2.2.1 Methoden zur Erstellung des Vorlesungsskripts

Die Vorlesung APTM wurde aufgrund der Theorie zu den wissenschaftlichen Bildern geplant. Ausgehend von den theoretischen Erkenntnissen wurden Methoden abgeleitet, welche die *wissenschaftliche* und die *graphische* Qualität der Vorlesungsunterlagen gewährleisten sollten. Die abgeleiteten Methoden sind im Folgenden aufgelistet. Für die umfassende Diskussion der Erkenntnisse wird auf die Theorie im Teil I verwiesen.

**Tabelle 10.** Übersicht über die abgeleiteten Methoden.

---

Methode M1: Formale Aspekte
Methode M2: Metaphern
Methode M3: Quellen
Methode M4: Referenzierung
Methode M5: Hypothesen und Modelle
Methode M6: Volltext
Methode M7: Kanonische Bilder
Methode M8: Paradigmen
Methode M9: Zeichnen
Methode M10: Konsistentes Zeichensystem
Methode M11: Urheberrecht

---

#### **Methode M1: Formale Aspekte**

*Erkenntnis:* Wissenschaftliche Bilder werden auf ihren Inhalt reduziert: Formale Aspekte der Bilder werden im Studium der Naturwissenschaften in der Regel nicht diskutiert.

*Abgeleitete Methode:* In der Vorlesung wurden Aspekte der Theorie zu den wissenschaftlichen Bildern diskutiert.

#### **Methode M2: Metaphern**

*Erkenntnis:* Die Verwendung von Metaphern birgt Probleme, z.B. durch eine unpassende Wahl des sekundären Subjekts.

*Abgeleitete Methode:* Beim Studium der Literatur und beim Schreiben wissenschaftlicher Texte wurde auf eine bewusste Wahrnehmung und Anwendung der sprachlichen Bilder geachtet.

### **Methode M3: Quellen**

*Erkenntnis:* Wissenschaftliche Texte und Bilder entstehen durch den Prozess des Kopierens ausgehend von der esoterischen zur populären Wissenschaft. Bei diesem Prozess unterliegen die Texte und Bilder zahlreichen Transformationen.

*Abgeleitete Methode:* Als Quellen für die Literaturrecherche wurden vorwiegend wissenschaftliche Artikel in Fachzeitschriften, *Reviews* und Handbücher verwendet. Der Ursprung und die Originale der Texte und Bilder wurde in der Literatur identifiziert.

### **Methode M4: Referenzierung**

*Erkenntnis:* Die Dekontextualisierung wissenschaftlicher Bilder und Texte aus ihrem originalen Zusammenhang führt zu Problemen. Häufig fehlen Quellenangaben, was eine Überprüfung und Einordnung der wissenschaftlichen Information verunmöglicht. Studierende erhalten Sekundärliteratur ohne Bezug zur Originalliteratur und der Geschichte der Entstehung dieser Tatsachen.

*Abgeleitete Methode:* Wie in wissenschaftlichen Publikationen der esoterischen Wissenschaft üblich, wurden die Referenzen zu Texten und Bildern vollständig in einer umfangreichen Literaturliste zu jedem Kapitel aufgeführt. Im Text wurde auf die Literaturliste verwiesen. Vereinzelt wurden historische Bezüge zur Entstehung der wissenschaftlichen Fakten hergestellt.

### **Methode M5: Hypothesen und Modelle**

*Erkenntnis:* In der Lehrbuch- und Populärwissenschaft wird hypothetisches und modellhaftes als Fakten präsentiert. Naturalistische Bilder entstehen aus schematischen Bildern und werden bei diesem Kopierprozess mit fiktiven Elementen ergänzt und transformiert. Schematische Bilder eignen sich in der Regel besser zur Darstellung wissenschaftlicher Modelle und Hypothesen.

*Abgeleitete Methode:* Hypothesen und Modelle wurden als solche bezeichnet und sowohl in Texten und Bildern entsprechend dargestellt. Es wurden mehrheitlich schematische Bilder erstellt. Die Ergänzung mit fiktiven Elementen wurde soweit wie möglich reduziert. Das didaktische Dilemma wurde berücksichtigt. Es wurden vereinzelt „visuelle Witze“ verwendet, um das didaktische Problem aufzuzeigen.

### **Methode M6: Volltext**

*Erkenntnis:* In Vorlesungsskripten werden wissenschaftliche Bilder in der Regel dekontextualisiert und isoliert dargestellt (z.B. Handouts von PowerPoint Präsentationen). Die Studierenden müssen aufgrund ihrer Notizen und aufgrund des für sich alleine stehenden Bildes und wenig Text die wissenschaftlichen Aussagen rekonstruieren. Wissenschaftliche Aussagen sind aber komplex und erfordern eine

differenzierte Diskussion. Häufig sind etwa verschiedene Modelle eines Sachverhalts publiziert und es kann keine abschliessende Aussage gemacht werden.

*Abgeleitete Methode:* Das Vorlesungsskript wurde als fortlaufender Text mit Bildern und ausführlichen Bildbeschriftungen ähnlich einem Lehrbuch und einem wissenschaftlichen Übersichtsartikel (*Review*) erstellt.

### **Methode M7: Kanonische Bilder**

*Erkenntnis:* Kanonische Bilder schränken das Sehen durch eine standardisierte Darstellung ein. Sie entstehen ausgehend von Originalen in der esoterischen Fachliteratur und werden kopiert. Beim Kopieren unterliegen die Bilder zahlreichen Transformationen.

*Abgeleitete Methoden:* Die kanonischen Bilder definierter Themengebiete und die entsprechenden Originale in der Literatur wurden identifiziert. Neue Bilder wurden ausgehend von der Originalliteratur erstellt. Falls ein kanonisches Bild die Darstellung des Sachverhalts einschränkte, falsch oder veraltet darstellte, wurden neue, vom Standardschema abweichende Bilder erstellt. Falls Mängel an der wissenschaftlichen Qualität kanonischer Bilder festgestellt wurden, wurde ein neues Bild gezeichnet. Sowohl beim Text als auch bei den Bildern wurden immer mehrere Quellen zum gleichen Thema untersucht, um verschiedene Ansichten kennenzulernen.

### **Methode M8: Paradigmen**

*Erkenntnis:* Kanonische Bilder sind Teil wissenschaftlicher Paradigmen.

*Abgeleitete Methoden:* Bestehende Paradigmen wurden untersucht und überprüft.

### **Methode M9: Zeichnen**

*Erkenntnis:* Beim Kopieren von Bildern in Vorlesungsunterlagen kann sich die graphische Qualität verschlechtern.

*Abgeleitete Methode:* Bilder wurden aufwändig neu gezeichnet. Das Zeichnen der Bilder sollte zudem die Freiheit bei der Gestaltung der Bilder erhöhen.

### **Methode M10: Konsistentes Zeichensystem**

*Erkenntnis:* Vorlesungen und Präsentationen in der Wissenschaft werden häufig aus den unterschiedlichsten Quellen zusammengesetzt, was zu einer Inkonsistenz der verwendeten wissenschaftlichen Zeichen und Farbkodierungen führt.

*Abgeleitete Methode:* Es wurde ein einheitliches Zeichensystem und eine einheitliche Farbkodierung entwickelt, welche eine konsistente Darstellung der Bilder ermöglichte und die Wahrnehmung erleichtern sollte. Die Darstellungen wurden vereinheitlicht.

### **Methode M11: Urheberrecht**

*Erkenntnis aus der Theorie:* Bilder sind als „geistige Schöpfungen mit individuellem Charakter“ in der Regel urheberrechtlich geschützt.

*Abgeleitete Methode:* Im Hinblick auf eine Veröffentlichung als Lehrbuch wurden die Mehrheit der Bilder neu gezeichnet oder die Rechte zur Verwendung eingeholt. Texte wurde mit Ausnahme von Zitaten nicht abgeschrieben, sondern ausgehend von der Literatur neu formuliert.

### **Methoden zur Erhöhung der didaktischen Qualität: Multimedia-Prinzipien nach Mayer**

Die abgeleiteten Methoden betreffen vorwiegend die *wissenschaftliche* und die *graphische* Qualität der Bilder. Eine weitere wichtige Qualität von Bildern in Lernmaterialien ist die *didaktische*. Sie bezieht sich auf die Eignung des Materials, den Lernprozess optimal zu unterstützen, d.h. die Fähigkeit der Lernenden zu fördern, sich an die Lerninhalte zu erinnern, sie zu verstehen und sie anzuwenden.

Um die *didaktische* Qualität der Bilder und der Vorlesungsunterlagen zu erhöhen, wurde eine Auswahl aus den 7 Multimedia-Prinzipien von Richard Mayer angewendet (Mayer, 2001). Diese Prinzipien beschreiben die effektive Gestaltung multimedialer Lernmittel basierend auf empirischen Untersuchungen.

Multimedia im Sinn von Mayer ist definiert als die Kombination von Text- und Bildelementen (Mayer, 2001, S. 2). Dazu zählen sowohl geschriebener und gesprochener Text, sowie statische und animierte Bilder. Die Definition ist unabhängig von der Technologie, welche die Text- und Bildelemente darstellt und wird dadurch sehr breit. Multimedia umfasst beispielsweise: ein Bild, welches Text enthält, einen bebilderten Eintrag in einer Enzyklopädie, ein Kapitel in einem Lehrbuch, eine PowerPoint Präsentation, ein E-Learning Kurs am Computer mit Animationen und Tests oder ein Video mit gesprochenem Text.

Die Prinzipien konnten deshalb bei der Erstellung der Vorlesung ATPM nicht nur beim Zeichnen einzelner Bilder, sondern auch bei der Kombination von Bildern und Text in den Kapiteln des Vorlesungsskripts und bei der Präsentation des Materials mit den Studierenden angewendet werden.

Die Prinzipien sind in *Tabelle 11* aufgelistet. Mayer bespricht in seiner Übersicht jedes Prinzip in einem Kapitel (Mayer, 2001).

*Prinzip 1 (Multimedia Prinzip)* beschreibt, dass Studierende besser lernen, wenn Text- und Bildelemente kombiniert werden, als wenn ausschliesslich Text präsentiert wird. Text soll in Vorlesungsunterlagen grundsätzlich mit Bildern ergänzt werden. Dieses Prinzip macht keine Aussage über die Art der Bilder, ihre Positionierung oder wann sie verwendet werden sollen. Dies Fragestellungen werden in den weiteren Prinzipien untersucht.

**Tabelle 11.** Prinzipien zur Gestaltung multimedialer Lernmittel (aus Mayer, 2001, S. 184).

- 
- 1. Multimedia Principle:** Students learn better from words and pictures than from words alone.
  - 2. Spatial Contiguity Principle:** Students learn better when corresponding words and pictures are presented near rather than far from each other on the page or screen.
  - 3. Temporal Contiguity Principle:** Students learn better when corresponding words and pictures are presented simultaneously rather than successively.
  - 4. Coherence Principle:** Students learn better when extraneous words, pictures, and sounds are excluded rather than included.
  - 5. Modality Principle:** Students learn better from animation and narration than from animation and on-screen text.
  - 6. Redundant Principle:** Students learn better from animation and narration than from animation, narration, and on-screen text.
  - 7. Individual Differences Principle:** Design effects are stronger for low-knowledge learners than for high-knowledge learners and for high-spatial learners than for low-spatial learners.
- 

*Prinzip 2 (Prinzip der räumlichen Nähe)* beschreibt, dass Studierende besser lernen, wenn sich aufeinander beziehende Text- und Bildelemente auf einer Seite oder einem Bildschirm nahe beieinander präsentiert werden, als wenn sie voneinander getrennt sind. Aus den Untersuchungen und Ausführungen von Mayer liessen sich in Bezug auf die Gestaltung des Vorlesungsskripts zwei Konsequenzen ableiten: (1) Sich aufeinander beziehende Textabschnitte und Bilder sollten so nahe wie möglich beieinander und (2) Text sollte wenn möglich auch innerhalb des Bildes platziert werden.

*Prinzip 3 (Prinzip der zeitlichen Nähe)* beschreibt, dass Studierende besser lernen, wenn zusammengehörige Text- und Bildelemente gleichzeitig, als wenn sie nacheinander präsentiert werden. Sich aufeinander beziehende Text- und Bildelemente sollen also nicht nur räumlich (Prinzip 2), sondern auch zeitlich nahe beieinander platziert werden. Das bedeutet zum Beispiel, dass bei der Erklärung eines Prozesses mit einem Text und einer Animation der Text segmentiert in die Animation integriert werden soll und nicht zuerst der ganze Text und anschliessend die ganze Animation präsentiert werden soll. Dieses Prinzip wurde bei der Präsentation des Materials in der Vorlesung und als Ergänzung von Prinzip 2 angewendet.

*Prinzip 4 (Kohärenz Prinzip)* beschreibt, dass Studierende besser lernen, wenn irrelevantes Material weggelassen wird. Unter irrelevantem Material sind Bild- und Textelemente zu verstehen, welche nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Erreichen eines Lernziels stehen. Ein Lernziel ist beispielsweise, die physikalische Entstehung eines Blitzes in sequentiellen Schritten darzulegen. Bei der Präsentation des Materials wäre das Bild eines Flugzeugs, das von einem Blitz getroffen wird, belanglos. Bilder ohne erklärende, darstellende oder organisierende Funktion werden als dekorative Bilder bezeichnet (z.B. Carney & Levin, 2002).

*Prinzipien 5 und 6* beziehen sich auf die Gestaltung von Animationen mit geschriebenem und gesprochenem Text und wurden nicht berücksichtigt, da in den Vorlesungsunterlagen und in der Vorlesung keine Animationen verwendet wurden.

*Prinzip 7 (Prinzip der individuellen Unterschiede)* beschreibt, dass diese Effekte für Studierende mit weniger Vorwissen und für Studierende mit geringerem räumlichen Vorstellungsvermögen stärker sind. Die an der Vorlesung teilnehmenden Studierenden hatten ein hohes Vorwissen. Es war daher eher mit einer Reduktion der Stärke der Effekte zu rechnen.

### 2.2.1.1 Referenzen

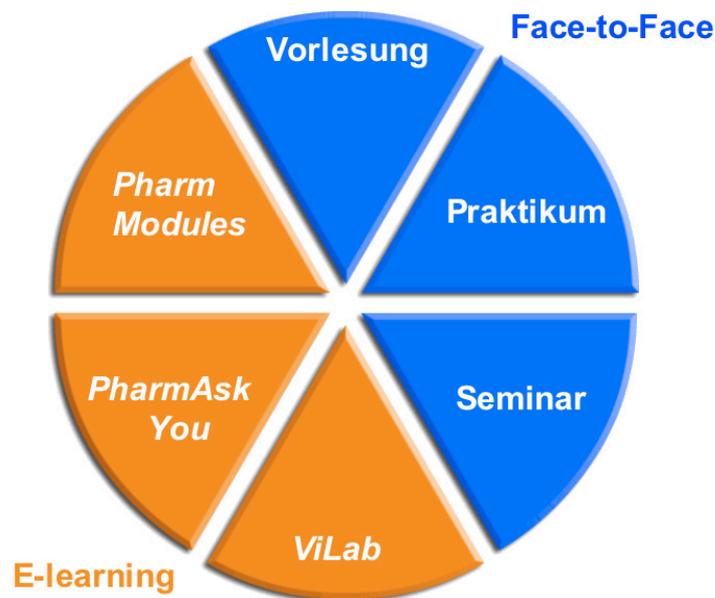
Carney R.N. & Levin J.R. Pictorial Illustrations still improve students' learning from text. *Educational Psychology Review*, **2002**, *14(1)*, 5-26

Mayer R.M. *Multimedia learning*. Cambridge: Cambridge University Press, **2001**

## 2.2.2 Ergänzung der Vorlesung mit E-Learning-Komponenten

### *pharmasquare*

*pharmasquare* (*pharma*<sup>2</sup>) ist das Blended Learning Konzept der Pharmazeutischen Wissenschaften an der Universität Basel (Vöggtli *et al.*, 2004; Weber *et al.*, 2006). Es ist ein Projekt des Swiss Virtual Campus ([www.virtualcampus.ch](http://www.virtualcampus.ch)) und wurde am Institut für Molekulare Pharmazie der Universität Basel unter der Leitung von Prof. Dr. Beat Ernst entwickelt. Es wird im Studium der Pharmazie derzeit an der Universität Basel, an der ETH Zürich und an der Universität Frankfurt am Main eingesetzt.



**Abbildung 30.** Das Blended Learning Konzept *pharmasquare*. *pharmasquare* kombiniert Face-to-Face- und E-Learning-Komponenten bei der Erstellung von Lehrveranstaltungen in den Pharmazeutischen Wissenschaften, um den Lernprozess der Studierenden optimal zu fördern. Face-to-Face-Komponenten sind Vorlesungen, Praktika und Seminare. E-Learning-Komponenten sind die Online-Lernkurse *PharmModules* (inkl. *PharmaTools*), das Testsystem *PharmAskYou* und die videobasierten, interaktiven Labore, die *ViLabs* (Bild: A. Vöggtli).

Das Unterrichtskonzept kombiniert Face-to-Face- mit E-Learning-Komponenten, um den Lernprozess der Studierenden der Pharmazeutischen Wissenschaften optimal zu fördern (*Abbildung 30*).

Zu den Face-to-Face-Komponenten gehören die Vorlesungen, Praktika und die Seminare. Diese Präsenzveranstaltungen finden an der Universität statt und zeichnen sich durch den persönlichen Kontakt zwischen den Dozierenden (Professoren, Assistenten) mit den Studierenden aus. In den Vorlesungen werden den Studierenden primär theoretische Inhalte vermittelt. In den Praktika führen sie unter Anleitung selbstständig wissenschaftliche Experimente im Labor durch und lernen die praktische Anwendung wissenschaftlicher Methoden. Die Seminare dienen zur vertieften Diskussion komplexer Fragestellungen zwischen den Dozierenden und den

Studierenden und zeichnen sich im Vergleich zu den Vorlesungen durch höhere Interaktivität und durch selbständiges Arbeit der Studierenden aus.

**Modul COX Drug Design**

← zurück  
Home  
**Einleitung**  
DuP697  
**Rofecoxib**  
Die Entwicklung vo..  
Aufgabe  
Feedback  
Thiophen Replaceme..  
Feedback  
Aufgabe Aktivität  
Feedback  
Aufgabe Rofecoxib  
Feedback  
**Celecoxib**  
Die Entwicklung vo..  
Aufgabe IC50 vs. ...  
Feedback  
Aufgabe Heterozykl..  
Feedback  
Aufgabe Selektivit..  
Feedback  
Aufgabe  
Feedback  
**Literatur**  
Literaturangaben

**Rofecoxib**

**Die Entwicklung von Rofecoxib**

Anhand von Veränderungen an der Struktur **DuP697** stellte die Forschungsgruppe von Merck (später Merck & Co., MSD) fest, dass die folgenden drei Punkte sehr wichtig waren für die Entwicklung eines potenten, selektiven Cox2-Inhibitors ausgehend von der Ausgangssubstanz DuP697 (Prasit *et al.*, 1999):

DuP697

- um Cox2-Selektivität zu maximieren, soll eine Methylsulfon-Guppe verwendet werden
- um die orale Absorption zu erhöhen, soll der zentrale **Thiophenring** durch einen anderen **Heterozyklus** ersetzt werden und / oder ein **Prodrug** entwickelt werden.
- um die Cox2-Selektivität zu erhöhen, soll der Substituent am 5-Ring (bei DuP697 Brom) ersetzt werden. Denn die Anwesenheit eines grossen Substituenten an dieser Position erhöht die Cox1 Aktivität.

Nun folgen Aufgaben zu diesen drei Punkten.

siehe Artikel von Prasit (1999) [Pubmed 10406640](#)

**Abbildung 31.** *PharmModules*. Screenshot aus dem *PharmModule* „COX Drug Design“ im Internet-Browser Safari. In diesem Online-Lernkurs wird die Entwicklung zweier pharmazeutischer Wirkstoffe nachvollzogen. Links ist die Navigationsleiste sichtbar, welche alle Seiten des Moduls enthält. Im Hauptfenster rechts sind Text und Bilder kombiniert. Im Hauptfenster werden auch Animationen, Filme, interaktive Übungen und dreidimensionale Strukturen angezeigt. Grün markiert sind Begriffe zu den *PharmaTools*, zum Beispiel zum Glossar und zur Struktursammlung (Bild: A. Vögli).

Zu den E-Learning-Komponenten gehören die *PharmModules*, inkl. *PharmaTools*, *PharmAskYou* und die *ViLabs*. Die E-Learning-Komponenten werden online am Computer bearbeitet und sind deshalb unabhängig von der Präsenz der Studierenden an der Universität. Diese Komponenten bilden zusammen die virtuelle Lernumgebung von *pharmasquare*. Die Lernumgebung ist eine PHP-Applikation und ist auf einem Apache-Server installiert. Sie ist unter der URL [www.pharmasquare.org](http://www.pharmasquare.org) mit einem Internetbrowser abrufbar.

*PharmModules* sind Online-Lernkurse, welche die Vorbereitung, Ergänzung und Repetition von Vorlesungen am Computer ermöglichen. Sie können selten auch zum Ersatz einer Vorlesung eingesetzt werden. Die *PharmModules* ermöglichen die Nutzung spezifischer Stärken des Computers für die Ausbildung der Studierenden. Neben der Präsentation von Text und Bildern enthalten sie Animationen, Filme,

interaktive Darstellungen dreidimensionaler Objekte, Testfragen und Links zu den *PharmaTools*. So können beispielsweise komplexe Prozesse, wie der Vermehrungszyklus eines Virus in Animationen einfach erklärt und Molekülstrukturen interaktiv dreidimensional betrachtet und manipuliert werden. Die Einbindung von Testfragen mit anspruchsvollen Fragetypen in die Lernmodule erhöht die Interaktion der Benutzer mit dem System. In *Abbildung 31* ist ein Screenshot eines *PharmModules* dargestellt.

Die *PharmModules* enthalten Links zu den *PharmaTools*. *PharmaTools* sind zum einen Sammlungen pharmazeutischer Inhalte: Sie beinhalten das umfangreiche Glossar der Pharmazeutischen Wissenschaften, eine Sammlung chemischer Strukturen, insbesondere pharmazeutischer Wirkstoffe, die Heil- und Giftpflanzen- und die Wirkstoffsammlung. Die Sammlungen und die Lernmodule sind untereinander verlinkt. Sie dienen in erster Linie zum Nachschlagen. Zum anderen sind *PharmaTools* kleine Programme, welche zum Beispiel zur Berechnung physikochemischer Eigenschaften von Wirkstoffen verwendet werden.

*PharmAskYou* ist das virtuelle Test- und Trainingssystem von *pharmasquare* zur Durchführung von Selbstevaluationen und Standortbestimmungen und zur Vergabe von Kreditpunkten. *Selbstevaluationen* sind fakultative Online-Tests, welche die Studierenden zur Überprüfung ihres Lernfortschritts während des Semesters und zur Prüfungsvorbereitung bearbeiten. Die Studierenden erhalten die Auswertung und das Feedback zu ihren Antworten sofort nach dem Absenden an den Server.

*Standortbestimmungen* (Stob) sind obligatorische Online-Tests, welche die Studierenden zur Selbstevaluation oder als Leistungsüberprüfung zum Erhalt von ECTS-Kreditpunkten bearbeiten. Im Gegensatz zu den Selbstevaluationen wird die Auswertung und das Feedback zu den Antworten gespeichert und erst nach Ablauf einer Frist vom Dozierenden (Tutor) per Email verschickt oder ausgedruckt abgegeben. Die Studierenden bearbeiten eine Standortbestimmung während einer bestimmten Zeitdauer, in der Regel innerhalb einer Woche.

*Abbildung 32* zeigt einen Screenshot der Standortbestimmung zur Vorlesung APTM. Dargestellt ist eine Multiple-Choice Frage. *PharmAskYou* ermöglicht auch komplexere Fragetypen, wie Text- und Bildzuordnungen, die Eingabe und Auswertung kurzer Essays und chemischer Strukturen.

## Stob APTM

[← zurück](#)[Home](#)**Fragen****Frage 1**

Frage 2

Frage 3

Frage 4

Frage 5

Frage 6

Frage 7

Frage 8

Frage 9

Frage 10

Frage 11

Frage 12

Frage 13

Frage 14

Frage 15

Frage 16

Frage 17

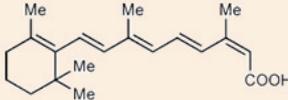
**Antworten Senden**

Senden

**Fragen**

**Frage 1**

**Frage: Welchen Aussagen zu Isotretinoin stimmen Sie zu?**



ist im Magen (nüchtern) besser löslich als im Darm

ist in Wasser gut löslich

ist lipophil

Die Bioverfügbarkeit wird durch die gleichzeitige Nahrungsaufnahme erhöht

Antwort speichern

**Abbildung 32.** *PharmAskYou*. Der Screenshot zeigt die eine Multiple-Choice Frage der Standortbestimmung zur Vorlesung APTM (Bild: A. Vögli).

*ViLabs* sind videobasierte, interaktive Labore zur Vorbereitung pharmazeutischer Praktika. Mit *ViLabs* können komplexe experimentelle Techniken, wie zum Beispiel SDS-PAGE oder Western Blot online am Computer simuliert werden, ohne dabei auf Laboreinrichtungen oder persönliche Betreuung angewiesen zu sein. Die Studierenden bearbeiten die *ViLabs* vor dem Eintritt in die Praktika und sind so optimal vorbereitet.

Im Blended Learning Konzept von *pharmasquare* werden E-Learning-Komponenten (*PharmModules*, *PharmAskYou* und *ViLabs*) mit Face-to-Face-Komponenten (Vorlesungen, Seminare, Praktika) modular und sequentiell miteinander verknüpft. Bei der Bearbeitung eines Themas werden in der Regel nicht alle Komponenten verwendet.

## Einsatz von *pharmasquare* in der Vorlesung APTM

In der Vorlesung APTM sollten eine Face-to-Face-Komponente (Vorlesung) und zwei E-Learning-Komponenten (*PharmAskYou* und *PharmaTools*) von *pharmasquare* kombiniert werden.

Zu jedem Thema innerhalb der Vorlesung sollte eine Selbstevaluation in *PharmAskYou* angeboten werden. Dies sollte es den Studierenden ermöglichen, ihre Kenntnisse während der Vorlesung online zu überprüfen und anzuwenden.

Das Ausfüllen einer *Standortbestimmung* nach der letzten Vorlesung sollte die erste Bedingung für die Vergabe der Kreditpunkte darstellen. Den Studierenden sollte eine Woche Zeit gegeben werden, um die Standortbestimmung zu bearbeiten.

Als zweite Bedingung für die Vergabe der Kreditpunkte sollten die Studierenden in der Wirkstoffsammlung (*PharmaTools*) eine Monographie zu einem Wirkstoff erstellen. Zu Beginn der Vorlesung sollte jeder Studentin und jedem Student ein Wirkstoff zugeteilt werden. Die Monographie sollte von den Studierenden während der ganzen Dauer online auf *pharmasquare* mit dem webbasierten *pharmasquare*-Editor erstellt werden.

Mit der Erstellung der Wirkstoff-Monographie wurden drei primäre Ziele verfolgt. Erstens sollte sie den Studierenden ermöglichen, die in der Vorlesung erarbeiteten allgemeinen und theoretischen Erkenntnisse praktisch an einem konkreten Beispiel anzuwenden. Zweitens sollte die Auseinandersetzung der Studierenden mit der wissenschaftlichen Primärliteratur gefördert werden. Drittens sollten bei der Anleitung der Studierenden zur Literaturrecherche Teilaspekte der Theorie zu den wissenschaftlichen Bildern präsentiert werden.

Zu Beginn der ersten Vorlesung sollte jeder Student / jede Studentin einen Wirkstoff zugeteilt erhalten. Eine schriftliche und mündliche Anleitung sollte abgegeben werden. Die Monographie konnte über die ganze Dauer der Vorlesung von den Studierenden mit dem Formularbasierten *pharmasquare*-Editor erstellt werden. Die Korrektur der Monographien sollte durch die Dozierenden nach dem Fertigstellen einer Monographie erfolgen. Die Abschnitte, welche auszufüllen waren, sind in *Tabelle 12* aufgelistet.

**Tabelle 12.** Die Wirkstoff-Monographien wurden in die folgenden Abschnitte gegliedert. Bei der Bearbeitung sollten die Studierenden die Angaben zu den einzelnen Abschnitten in der Literatur suchen und mit dem *pharmasquare*-Editor eintragen.

Chemische Struktur	Wirkungen, Wirkmechanismus
Physikochemische Eigenschaften	Dosierung
Molekulargewicht	Beratungshinweise
H-Brücken Donoren	Absorption
H-Brücken Akzeptoren	Interaktion mit Nahrung
log <i>P</i>	Bioverfügbarkeit
PSA	Distribution
Rotatable Bonds	Metabolismus
pK <sub>a</sub> -Werte	Halbwertszeit
Chemische Struktur	Interaktionen
Löslichkeit	Kontraindikationen
Spezialitäten	Unerwünschte Wirkungen
Wirkstoffklasse	Literatur

### 2.2.2.3 Referenzen

Vögtli A., Weber C., Lichtsteiner S., Rizzotti S., Burkhart H., Neier R., Khov-Tran V.V., Folkers G., Utelli A-B., Ernst B. *pharma*<sup>2</sup> – das Blended Learning Unterrichtskonzept für Pharmazeutische Wissenschaften. In: Brake C., Topper M., Wedekind J. *Der Medida Prix. Nachhaltigkeit durch Wettbewerb.* Münster, New York, München, Berlin: Waxmann, **2004**

Weber C., Vögtli A., Ensner A. & Utelli A-B. How to provide feedback to student's learning – assignment and feedback concept in the blended learning concept *pharma*<sup>2</sup>. *Chimia*, **2006**, 60, 66-69

### 2.2.3 Evaluation der Vorlesung

Nach der letzten Vorlesungsstunde sollte zur Qualitätskontrolle eine summative Evaluation mittels eines Fragebogen durchgeführt werden. Das primäre Ziel der Evaluation bestand darin, Rückmeldungen von den Studierenden zum Vorlesungsskript und den Methoden zu erhalten. Dabei lag ein spezieller Fokus auf der Qualität und der Verwendung der wissenschaftlichen Bilder. In zweiter Linie sollte auch das Thema und der Inhalt der Vorlesung und die Präsentation des Materials evaluiert werden. Die in der Evaluation gewonnenen Aussagen sollten neben der Beurteilung auch zur Anpassung oder Verbesserung der Qualität der Vorlesungsunterlagen verwendet werden.

## 3 Resultate

### 3.1 Vorlesungsskript

#### 3.1.1 Inhaltliche Struktur des Skripts

Bei der inhaltlichen Strukturierung des Vorlesungsskripts wurde der Weg oral verabreichter Wirkstoffe aus dem Darm zu ihren molekularen Zielstrukturen zugrunde gelegt (vgl. Einleitung). Der Wirkstoff unterliegt bei diesen Prozessen den pharmakokinetischen Prozessen der Freisetzung (Liberation), der Absorption, der Distribution, des Metabolismus und der Elimination. Das Vorlesungsskript wurde thematisch in 12 Kapitel gegliedert, welche in der Vorlesung präsentiert wurden (*Tabelle 13*). Die Diskussion der intestinalen Absorption bildete dabei einen inhaltlichen Schwerpunkt (Kapitel 1 bis 6). Dabei wurden die unterschiedlichen Transportwege beim Transport von Substanzen über Zellmembranen allgemein charakterisiert. Dies erklärt den relativ grossen Umfang dieses Themengebiets. Die Kapitel wurden thematisch weiter in Unterkapitel und einzelne Abschnitte gegliedert.

**Tabelle 13.** Struktur des Vorlesungsskripts und der Vorlesung APTM. Die Kapitel 6-8 wurden von Prof. Dr. B. Ernst (BE) und das Kapitel 12 wurde von Prof. Dr. J. Huwyler (JH) bearbeitet und vorgetragen (AV: A. Vögli).

---

#### **Freisetzung und Absorption im Darm**

1. Freisetzung aus der Arzneiform (AV)
2. Transzelluläre passive Diffusion (AV)
3. Parazelluläre passive Diffusion (AV)
4. Transporter und Ionenkanäle (AV)
5. Peptid-Transporter PEPT (AV)
6. H<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase: Protonenpumpen-Inhibitoren (BE)
7. Glucose-Transporter SGLT & GLUT (BE)
8. Drug Delivery über Membranen (BE)
9. Efflux – P-Glykoprotein (AV)

#### **First-Pass Metabolismus und Elimination in der Leber**

10. Organische Anionen-Transport-Polypeptide OATP (AV)

#### **Elimination an der Niere**

11. Organische Anionen Transporter OAT (AV)

#### **Verteilung zum Target über die Blut-Hirn-Schranke**

12. Barrieren im ZNS und *Drug Targeting* des ZNS (JH)
-

Die Kapitel 6-8 wurden von Prof. Dr. Beat Ernst (Institut für Molekulare Pharmazie, Departement Pharmazie, Universität Basel) und das Kapitel 12 wurde von Prof. Dr. Jörg Huwyler (Institut für Pharma Technology, Hochschule für Life Sciences, Fachhochschule Nordwestschweiz) bearbeitet und vorgetragen. *Diese Kapitel wurden bei der Beschreibung der Resultate und in der Diskussion (inkl. Evaluation) nicht berücksichtigt.* Die Resultate und die Diskussion bezieht sich ausschliesslich auf die Kapitel 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10 und 11.

### 3.1.1.1 Übersicht über den Inhalt der Kapitel

#### **Freisetzung und Absorption im Darm**

##### Kapitel 1. Freisetzung aus der Arzneiform

Das Kapitel gibt im ersten Unterkapitel eine allgemeine Einleitung ins Thema der Vorlesung. Im zweiten Unterkapitel wird die Bioverfügbarkeit diskutiert und als organisatorisches Prinzip für die Diskussion der Freisetzung, der Absorption und des First-Pass Effekts in der Leber eingeführt. Im dritten Unterkapitel wird die Freisetzung des Wirkstoffs aus der Arzneiform diskutiert. Der Schwerpunkt liegt auf dem Prozess der Dissolution, d.h. wie der Wirkstoff aus der Arzneiform in Lösung geht. Die Faktoren, welche die Dissolution beeinflussen, werden anhand von Fallbeispielen im Detail besprochen.

##### Kapitel 2. Transzelluläre passive Diffusion

Das Kapitel knüpft direkt an die Freisetzung an. In der Einleitung wird beschrieben, dass der Wirkstoff nach der Freisetzung gelöst im Darm vorliegt. Im Prozess der intestinalen Absorption wird er im Folgenden in die Blutgefässe der Darmzotten aufgenommen. Im ersten und zweiten Unterkapitel werden die anatomischen, zellulären und molekularen Strukturen beschrieben, welche an der Absorption beteiligt sind: der Magen und der Darm, die Enterozyten und die Zellmembranen der Enterozyten. Anschliessend werden die Transportwege charakterisiert, welche den Transport der Wirkstoffe über die Enterozyten und deren Zellmembran ermöglichen.

Als erster Transportweg wird im dritten Unterkapitel die (transzelluläre) passive Diffusion über Membranen charakterisiert. Der Schwerpunkt liegt bei der Diskussion der Beziehungen zwischen den physikochemischen Eigenschaften und der Permeation.

### Kapitel 3. Parazelluläre passive Diffusion

Als zweiter Transportweg wird in diesem Kapitel die parazelluläre passive Diffusion beschrieben. Wie bei der Diskussion der passiven Diffusion über Zellmembranen werden zunächst die beteiligten zellulären und molekularen Strukturen charakterisiert. Anschliessend werden die Beziehungen zwischen physikochemischen Eigenschaften und parazellulärem Transport mit Beispielen erläutert.

### Kapitel 4. Transporter und Ionenkanäle

*Transporter.* Als dritter Transportweg über Zellmembranen wird in diesem Kapitel die erleichterte Diffusion über Transportproteine genau charakterisiert. Im ersten Unterkapitel werden Transportproteine klassifiziert und definiert. Ein spezieller Fokus liegt auf der Diskussion der Energiekopplung und der Einteilung der Transporter auf der Grundlage ihres Transportmechanismus. Im zweiten Unterkapitel wird ein Überblick über kinetische Aspekte beim Transport von Wirkstoffen gegeben. Im dritten Unterkapitel wird anhand des Beispiels der Lactose Permease der Transportmechanismus von Transportern erläutert. Im vierten Unterkapitel wird die Bindung der Substrate an die Transporter und die Beziehung zwischen Struktur, Bindung und Transport veranschaulicht.

*Ionenkanäle.* Im diesem Kapitel wird der Transport von Ionen über Zellmembranen durch Ionenkanäle diskutiert. Im ersten Unterkapitel wird die Geschichte der Ionenkanalforschung von Luigi Galvani (um 1790) bis heute aufgezeigt und die Entstehung eines Membran- und Aktionspotentials repetiert. Im zweiten Unterkapitel werden die allgemeinen Eigenschaften der Ionenkanäle dargelegt. Als Beispiel eines strukturell gut charakterisierten Ionenkanals wird im dritten Unterkapitel der Transportmechanismus und die Selektivität des bakteriellen Kaliumkanals KcsA auf molekularer Ebene erklärt. Als Beispiel einer Kanalopathie wird im vierten Unterkapitel die Verlängerung des QT-Syndroms auf molekularer Ebene erklärt. Im fünften und letzten Kapitel werden Ionenkanäle diskutiert, welche *Drug Targets* sind: Natriumkanäle (Lokalanästhetika), Calciumkanäle (Calciumkanalblocker) und die nicotinischen Acetylcholinrezeptoren (Muskelrelaxantien).

### Kapitel 5. Peptid-Transporter PEPT

Als erstes Beispiel eines Transporters an der apikalen Membran der Enterozyten wird in diesem Kapitel der Peptid-Transporter PEPT1 im Detail vorgestellt. Neben der Charakterisierung der Isoformen, der Struktur, der Substrate, der SAR und des Transportmechanismus im ersten Unterkapitel steht hier die Diskussion der pharmakologischen Bedeutung als Arzneimittel-Transporter im zweiten Unterkapitel im Vordergrund.

### Kapitel 6. H<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase: Protonenpumpen-Inhibitoren (BE)

In diesem Kapitel wird am Beispiel der Protonenpumpen-Inhibitoren gezeigt, dass Transporter nicht nur in der Pharmakokinetik, sondern auch in der Pharmakodynamik als *Drug Targets* relevant sind. Im ersten Unterkapitel wird die Produktion und die Regulation der Salzsäure im Magen auf zellulärer Ebene geschildert. Im zweiten Unterkapitel werden verschiedene Ansätze zu Inhibition der Säureproduktion verglichen. Im dritten Unterkapitel wird das *Drug Design* der Protonenpumpen-Inhibitoren und der Wirkmechanismus auf molekularer Ebene erklärt.

### Kapitel 7. Glucose-Transporter SGLT und GLUT (BE)

Als zweites Beispiel eines Transporters an der apikalen Membran der Enterozyten wird in diesem Kapitel der Natrium Glucose Transporter (SGLT) präsentiert und mit dem Glucose-Transporter GLUT verglichen, dessen Isoformen an verschiedenen Organen im Körper lokalisiert sind.

### Kapitel 8. Drug Delivery über Membranen (BE)

Als Exkurs wird in diesem Kapitel die Verabreichung von Wirkstoffen über die Haut aufgezeigt. Durch die Verknüpfung von Wirkstoffen und 7 Molekülen Arginin über einen Linker gelingt es, die topische Verfügbarkeit von Wirkstoffen wie Cyclosporin A zu erhöhen.

### Kapitel 9. Efflux – P-Glykoprotein

Als vierter Transportweg an der Zellmembran wird in diesem Kapitel der Efflux von Wirkstoffen am Beispiel des primär aktiven Effluxtransporters P-Glykoprotein (P-gp) beschrieben. Im ersten Unterkapitel wird die Entdeckung von P-Glykoprotein als Faktor in der Entstehung der *Multidrug Resistance* geschildert. Im zweiten Unterkapitel wird P-gp ausgehend von der zellulären Lokalisierung in verschiedenen Organen genauer charakterisiert und die Entstehung des Paradigmas der „Barrierefunktion“ des Transporters nachvollzogen. Im dritten Unterkapitel wird die pharmakologische Bedeutung bezüglich der Absorption im Darm und der Distribution in das Gehirn erläutert.

### **First Pass Metabolismus und Elimination in der Leber**

### Kapitel 10. Organische Anionen-Transport-Polypeptide OATP

In der Einleitung zum Kapitel wird die Bedeutung der Leber für die Pharmakokinetik und insbesondere für die Bioverfügbarkeit dargelegt. Im ersten Unterkapitel wird die Anatomie und Histologie der Leber aufgezeigt. Im zweiten Unterkapitel werden die Transportprozesse an den Hepatozyten veranschaulicht. Als Beispiele von Influx-Transportern an der sinusoidalen Membran der Hepatozyten werden Organische Anionen-Transport-Polypeptide OATP im Detail diskutiert. Neben der allgemeinen

Charakterisierung der OATP liegt das Schwergewicht auf der Analyse ihrer pharmakologischen Bedeutung.

### **Elimination an der Niere**

#### Kapitel 11. Niere: Organische Anionen Transporter OAT

Im ersten Unterkapitel werden die Prozesse erläutert, die bei der renalen Exkretion von Wirkstoffen an der Niere beteiligt sind: die Filtration, die Reabsorption und die Sekretion. Der Schwerpunkt des Kapitels liegt bei der Diskussion der renalen Sekretion und der organischen Anionentransporter OAT, welche an der Sekretion wesentlich beteiligt sind. Im zweiten Unterkapitel werden die OAT detailliert beschrieben. Im dritten Unterkapitel wird die Bedeutung der OAT in Bezug auf die Pharmakokinetik und die Pharmakodynamik aufgezeigt.

### **Verteilung zum Target über die Blut-Hirn-Schranke**

#### Kapitel 12. Barrieren im ZNS und *Drug Targeting* des ZNS (JH)

Im ersten Teil des Kapitels zur Blut-Hirn-Schranke werden die Barrieren im ZNS diskutiert: Die zelluläre Blut-Hirn- und die Blut-Liquor-Schranke und die funktionelle Barriere zwischen der interstitiellen Flüssigkeit und dem Liquor. Die Rolle der Transportprozesse über die Blut-Hirn-Schranke wird aufgezeigt, mit einem Schwergewicht auf Influx- und Efflux-Transporter.

Im zweiten Teil des Kapitels werden experimentelle Methoden vorgestellt, welche es erlauben, Transportprozesse an der Blut-Hirn-Schranke zu charakterisieren. Am Beispiel des Targetings des Gehirns mit Immunoliposomen über Antikörper werden diese Methoden angewendet.

### 3.1.2 Formale Struktur des Vorlesungsskripts

#### 3.1.2.1 Übersicht

Das Skript wurde als fortlaufender Text geschrieben und thematisch in Kapitel, Unterkapitel und Abschnitte gegliedert (vgl. oben). Die Struktur der Kapitel wurde vereinheitlicht: Zu Beginn wurde das Thema in einer Einleitung eingeführt. Anschliessend folgte der durch Untertitel gegliederte Haupttext, welcher das Thema ausführte. Am Ende des Haupttexts wurden in einem Fazit die wichtigsten Schlussfolgerungen präsentiert und eine Tabelle mit Merkpunkten fasste die wichtigsten Punkte zusammen. Am Schluss des Skripts wurde die Literaturliste eingefügt.

Das Skript wurde aus kombinierten Text- und Bildelementen aufgebaut, welche formal standardisiert wurden. Eine Übersicht über die verwendeten Elemente ist in *Tabelle 14* gezeigt. Zwei Beispielseiten des Skripts sind in *Abbildung 33* gezeigt.

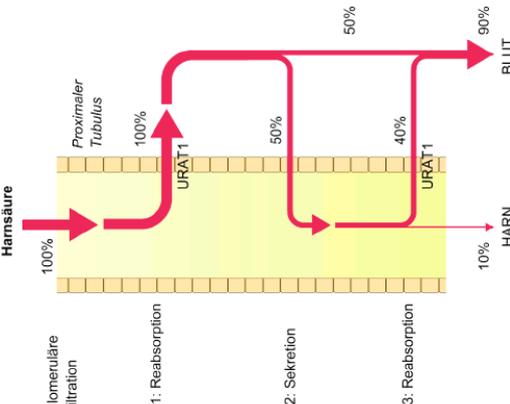
**Tabelle 14.** Übersicht über die Text- und Bildelemente des Vorlesungsskripts.

<b>Textelemente</b>	<b>Bildelemente</b>
<b>Titel</b> Kapitel, Unterkapitel, Abschnitt	<b>Abbildungen</b>
<b>Text</b>	<b>Logische Bilder</b>
<b>Verweise</b> Verweise auf: Literaturliste, Bildelemente, Tabellen, Fussnoten etc.	<b>Chemische Strukturformeln und Reaktionsgleichungen</b>
<b>Literaturliste</b>	<b>Mathematische Formeln</b>
<b>Textstrukturierende Elemente</b> Tabellen, Aufzählungen, Merkpunkte	<b>Kombinationen</b>
<b>Unter- und Überschriften</b> Bildunterschrift, Tabellenüberschrift	

#### 3.1.2.2 Formale Gestaltung des Textes

Zu den Textelementen gehörten erstens die Titel. Sie strukturieren die Text- und Bildelemente thematisch. Das zentrale Textelement war der Text selbst, der als Fliesstext (Volltext) formuliert wurde. Der Text enthielt Textformatierungen und Verweise auf andere Text- und Bildelemente. Der Text verwies auf: die Literaturreferenzen in der Literaturliste, auf Bildelemente, Tabellen, Fussnoten und weitere Elemente (z.B. andere Kapitel des Skripts oder Webseiten). Der Text enthielt textstrukturierende Elemente: Tabellen, Aufzählungen und Merkpunkte. Dazu gehörten auch die Bildunterschriften- und Tabellenüberschriften.

Reabsorption ist der Grund, weshalb nur eine geringe Fraktion (10%) der filtrierten und sekretierten Menge tatsächlich exkretiert werden.



**Abbildung 5.** Exkretion der Harnsäure. Gemäss dem 4-Komponenten-Modell wird Harnsäure zunächst glomerular filtriert (100%). Am S1-Segment des proximalen Tubulus wird sie wieder zu fast 100% reabsorbiert (URAT1). Am S2-Segment wird etwa 50% wieder sekretiert und schliesslich wird am S3-Segment wieder ca. 40% reabsorbiert. Am Ende verlässt nur etwa 10% der filtrierten Harnsäure den Organismus im Harn, während total 90% ins Blut reabsorbiert wurde (modifiziert nach Enomoto & Endou, 2005).

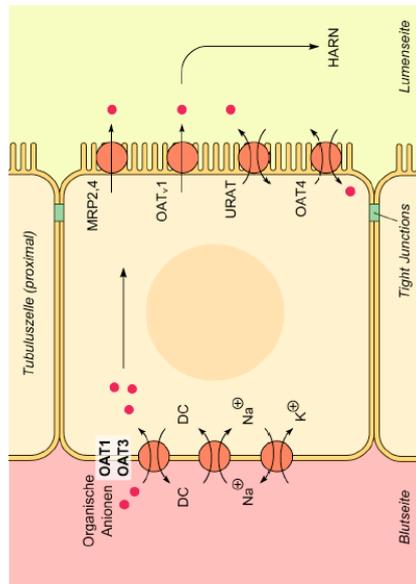
Weshalb wird Harnsäure reabsorbiert, wenn es sich um ein „Abfallprodukt“ des Organismus handelt? Die Ursache für diesen scheinbaren Widerspruch liegt darin, dass es sich bei Harnsäure um ein wichtiges Antioxidans handelt, also die Substanz auch physiologische Funktionen wahrnimmt.

Eine zu hohe Harnsäurekonzentration kann durch Akkumulation und Kristallisation allerdings zu gesundheitlichen Problemen wie Gicht führen, weshalb die Regulation der Konzentration bedeutsam ist. URAT1 ist offenbar am Wirkmechanismus der Urikosurika beteiligt. Urikosurika, wie Benzbromaron und

Organische Anionen lassen sich in endo- und exogene Substrate und Konjugate unterteilen (Tabelle 1). Zu den endogenen Substraten gehören zum Beispiel zyklische Nucleotide, Dicarboxylate, Folat, Harnsäure (Urat) und Eicosanide. Zu den exogenen gehören Xenobiotika und somit auch viele Arzneimittel. Beispiele sind Antibiotika, Virostatika, NSAID, Diuretika oder Zytostatika. Schliesslich sind auch Konjugate von endo- und exogenen Substanzen organische Anionen (Miyazaki, Sekine & Endou, 2004; Burchhardt & Burchhardt, 2003).

**Tubuläre Sekretion organischer Anionen**

Die Sekretion organischer Anionen ist ein zweistufiger Prozess (Abbildung 2):



**Abbildung 2.** Die Sekretion organischer Anionen in den Harn ist ein zweistufiger Prozess. (1) Das organische Anion wird zunächst über OAT1, (OAT2) oder OAT3 an der basolateralen Seite der Membran in die proximale Tubuluszelle aufgenommen. Beim Transport des organischen Anions wird ein Dicarboxylat (DC,  $\alpha$ -Ketoglutarat) mit dem Gradienten der Zelle hinaus transportiert. Der Dicarboxylatgradient wird durch den Natrium-Dicarboxylat Cotransporter aufrechterhalten, der an eine Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase gekoppelt ist. Man spricht von einem tertiär aktiven Transport. (2) Das organische Anion wird anschliessend über verschiedene Transporter an der apikalen Membran in das Tubulumen und den Harn sekretiert (vgl. Text; Bild modifiziert nach Miyazaki, Sekine & Endou, 2004).

**Abbildung 33.** Die Abbildung zeigt die Kombination der Text- und Bildelemente im Vorlesungsskripts APTM am Beispiel von zwei Seiten aus dem Kapitel „Organische Anionen Transporter OAT“.

### 3.1.2.3 Formale Gestaltung der Bilder

#### Verwendete Typen

*Tabelle 15* gibt eine Übersicht über die verwendeten Bildelemente im Vorlesungsskript.

**Tabelle 15.** Einteilung der verwendeten Bildelemente im Vorlesungsskript nach formalen Kriterien. Das Vorlesungsskript enthielt keine naturalistischen Bilder. Sie sind in der Tabelle der Vollständigkeit wegen aufgeführt.

---

<b>Einteilung</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>Abbildungen</b>	
- Schematische Bilder	Stilistisch einfache, geometrische, aspekthafte, typisierte Bilder
- Naturalistische Bilder	Stilistisch komplexe, naturgetreue, mimetische Bilder
- Instrumentelle Bilder	Durch Instrumente erzeugte Bilder, z.B. Photographien, elektronenmikroskopische Aufnahmen
<b>Logische Bilder</b>	
- Charts	Charts repräsentieren qualitative Zusammenhänge zwischen Begriffen, Kategorien und Aussagen in zweidimensionaler Anordnung. Es lassen sich Charts mit und ohne Bilder unterscheiden.
- Diagramme	Diagramme repräsentieren quantitative Zusammenhänge zwischen Variablen durch topologische und räumliche Beziehungen zwischen einfachen graphischen Elementen (Punkte, Linien und Flächen). Vertreter: Punkt-, Linien-, Säulen- und Balkendiagramme
<b>Chemische Strukturformeln</b>	Chemische Strukturformeln inkl. Reaktionsgleichungen
<b>Mathematische Formeln</b>	Mathematische Formeln
<b>Kombinationen</b>	Kombinationen der verschiedenen Typen visueller Elemente (z.B. schematische Bilder mit chemischer Struktur).

---

## Übersicht über die Bildelemente und ihre Erstellung

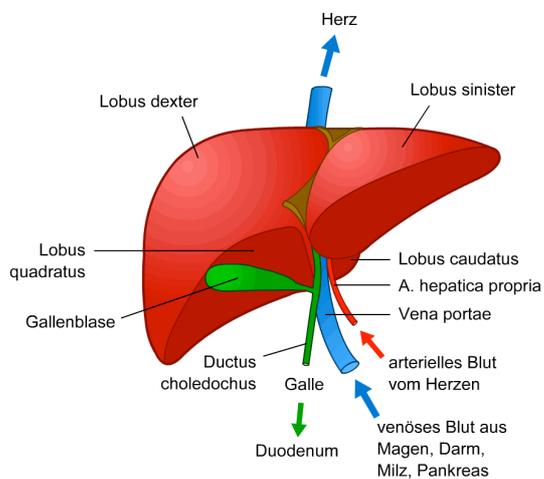
### Abbildungen: Schematische Bilder

Schematische Bilder sind stilistisch einfache, geometrische, aspekthafte und typisierte Bilder (vgl. Teil I). Die Abbildungen im Vorlesungsskript wurden in einem Kontinuum von der makroskopischen bis zur molekularen Ebene standardisiert dargestellt.

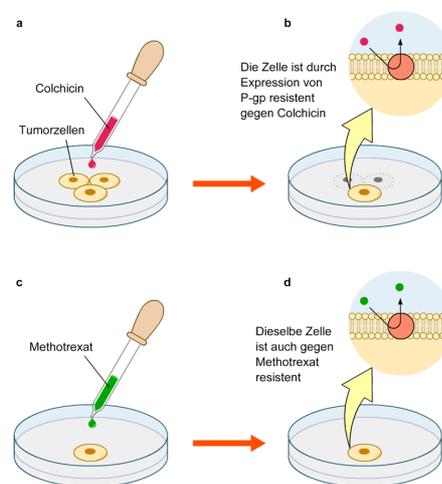
#### 1. Organ - makroskopische Ebene

*Beispiele:* Magen, Darm, Leber, Niere, Gehirn

**a.**



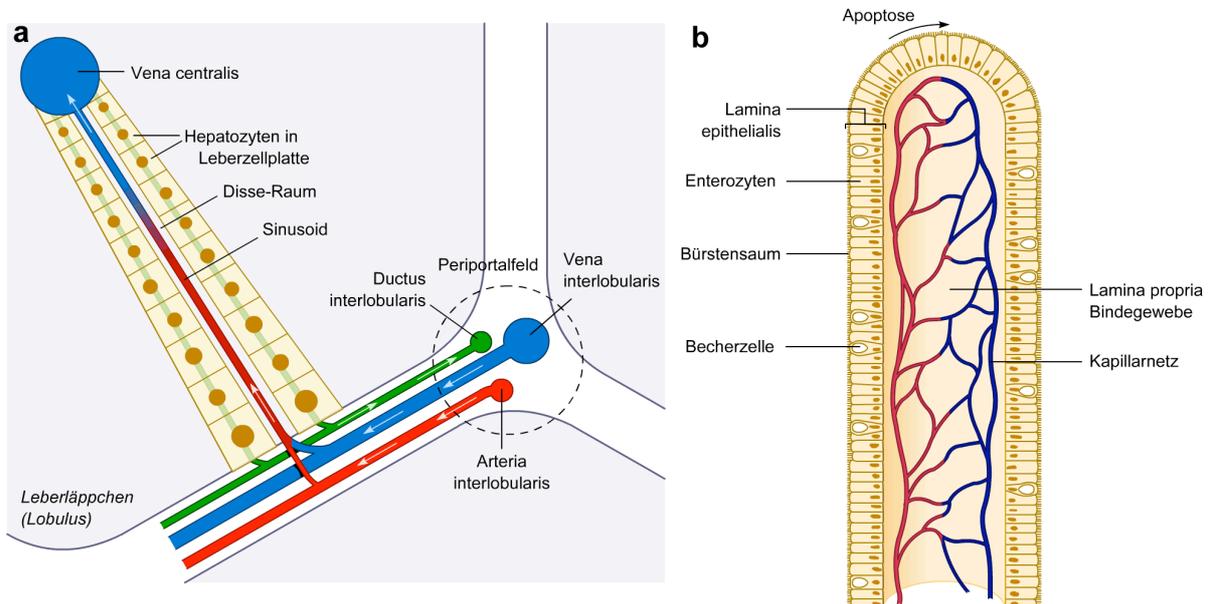
**b.**



**Abbildung 34.** Abbildungen auf der Ebene Organ - makroskopische Ebene. Auf der makroskopischen Ebene wurden in erster Linie Organe und Experimente mit Laborgerät dargestellt. Beispiele: **a.:** Anatomie der Leber, **b.:** *Multidrug Resistance* (Bild: A. Vögtli).

## 2. Gewebe

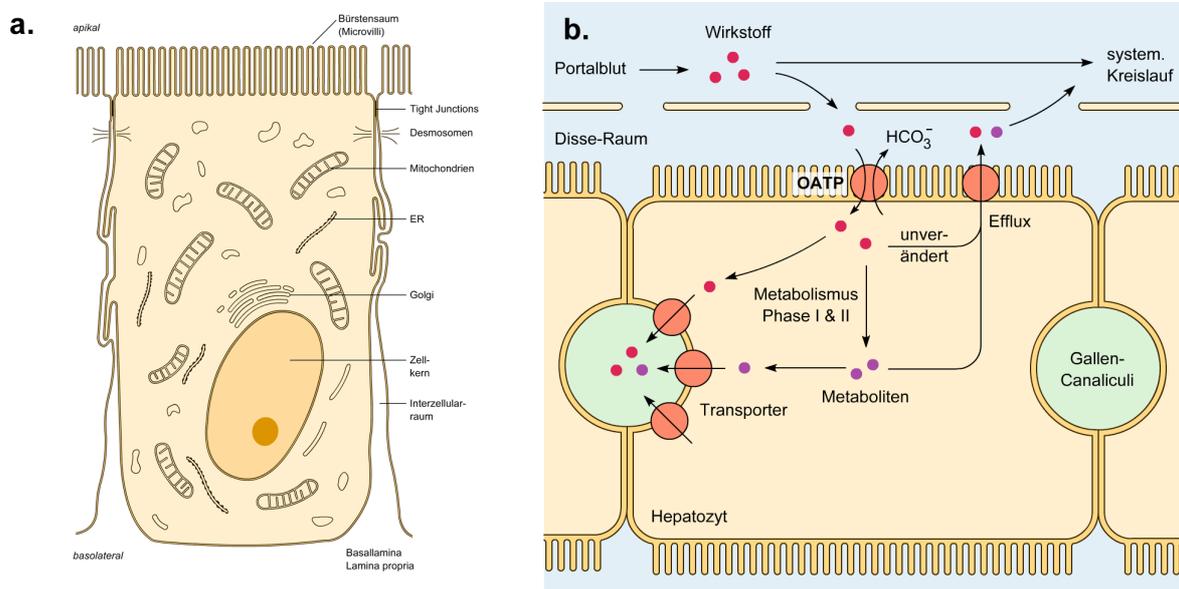
*Beispiele:* Zellverbände: Magendrüsen, Darmzotten, Leberläppchen, Nephron, Blut-Hirn-Schranke



**Abbildung 35.** Abbildungen auf der Ebene Gewebe. Die Abbildungen auf dieser Ebene sind schematisierte histologische Darstellungen von Zellverbänden. Beispiele: **a.**: Leberläppchen und Leberzellplatten mit Hepatozyten. **b.**: Darmzotte (Villus) mit Enterozyten (Bild: A. Vögli).

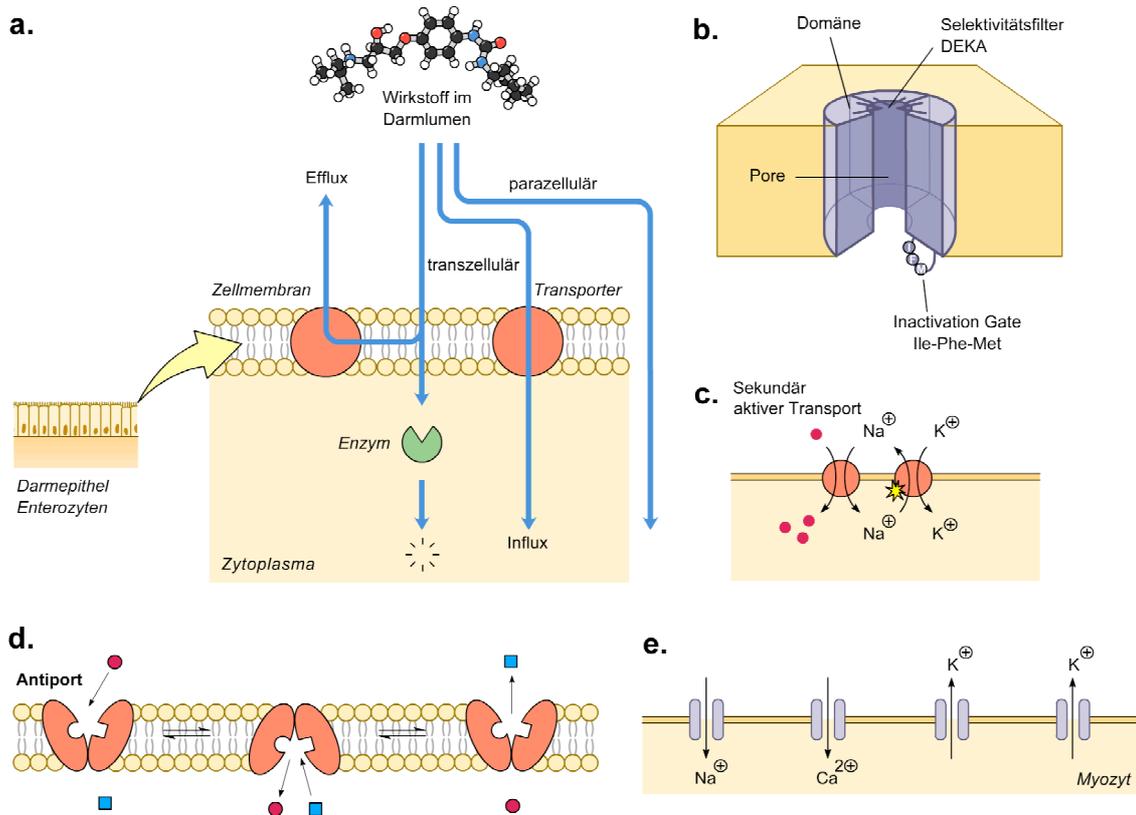
3. Zelle

Beispiele: Belegzelle, Enterozyt, Hepatozyt, Proximale Tubuluszelle, Endothelzelle



**Abbildung 36.** Abbildungen auf der Ebene Zelle. Auf dieser Ebene werden Zellen in unterschiedlichen Abstraktionsgraden dargestellt. Beispiele: **a.:** Zytologie eines Enterozyten. **b.:** Transportprozesse am Hepatozyten (Bild: A. Vögli).

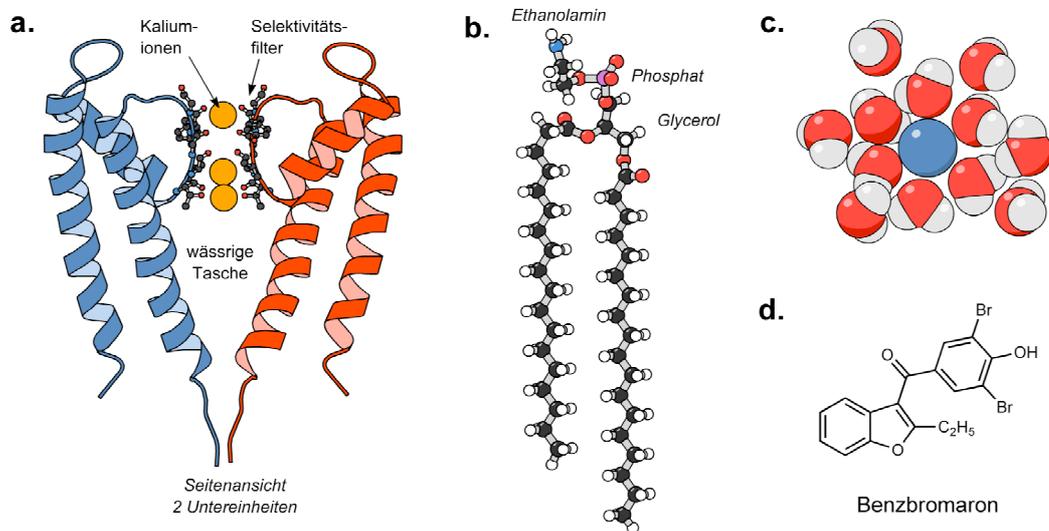
4. Zellmembran



**Abbildung 37.** Abbildungen auf der Ebene Zellmembran. Die Zellmembran und die Transportproteine wurden in verschiedenen Abstraktionsgraden und Vergrößerungen gezeichnet. In der einfachsten Darstellung und kleinsten Vergrößerung ist die Membran durch eine Linie (**a.**, links) oder durch zwei Linien dargestellt (**c.** und **e.**). Bei grösserer Vergrößerung wurden die Phospholipide eingezeichnet (**a.** und **d.**). Ein Spezialfall ist **b.** (Vergrösserte Darstellung mit Linien). Die wissenschaftlichen Zeichen unterscheiden sich ebenfalls im Abstraktionsgrad (s. unten; Bild: A. Vögtli).

## 5. Moleküle – Makromoleküle

*Beispiele:* Proteinstrukturen, Molekülmodelle



**Abbildung 38.** Abbildungen auf der molekularen Ebene. Auf dieser Ebene wurden kleine Moleküle, Ionen und Makromoleküle (Proteine) gemäss den Darstellungskonventionen der Chemie abgebildet. Beispiele: **a.:** 2 Untereinheiten des KcsA-Kaliumkanal in der *Ribbon*-Darstellung, **b.:** Phospholipid in der Kugel-Stab-Darstellung. **c.:** Hydrathülle und Ion als CPK-Modell. Die chemischen Strukturformeln (Beispiel **d.**) wurden nicht zu den schematischen Bildern gezählt (s. unten, Bild: A. Vögli).

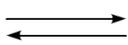
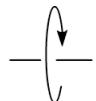
## Erstellung der schematischen Bilder

### Darstellungskonventionen: Standardisierung der Darstellung

Die Abbildungen wurden bezüglich der wissenschaftlichen Zeichen und Metazeichen, der Farben und der Orientierung standardisiert. Die verwendeten standardisierten wissenschaftlichen Zeichen sind in *Tabelle 16* und *Tabelle 17*, die Farben sind in *Abbildung 39* dargestellt. Die Zeichnungen wurden generell so orientiert, dass oben oder links der extrazelluläre Raum und unten oder rechts der intrazelluläre Raum lag.

**Tabelle 16.** Metazeichen (Auswahl). Zur Kombination der wissenschaftlichen Zeichen in schematischen Bildern wurden wissenschaftliche Metazeichen entworfen und verwendet.

---

					
Pfeil	Gleichgewicht	Rotation	Abstand	Pfeil	Regulation
					
Hemmung Blockierung	Hemmung Blockierung	Nummern	Zoom	Metabolismus	Klammer

---

**Tabelle 17.** Wissenschaftliche Zeichen. Zur Erstellung schematischer wissenschaftlicher Bilder im Vorlesungsskript wurden standardisierte wissenschaftliche Zeichen entworfen und verwendet. Diese Auswahl zeigt die wichtigsten Zeichen. Einige Zeichen sind in mehreren Vergrößerungen oder Abstraktionsgraden vorhanden. Die Stärke der Linien ist generell 1 Pixel.

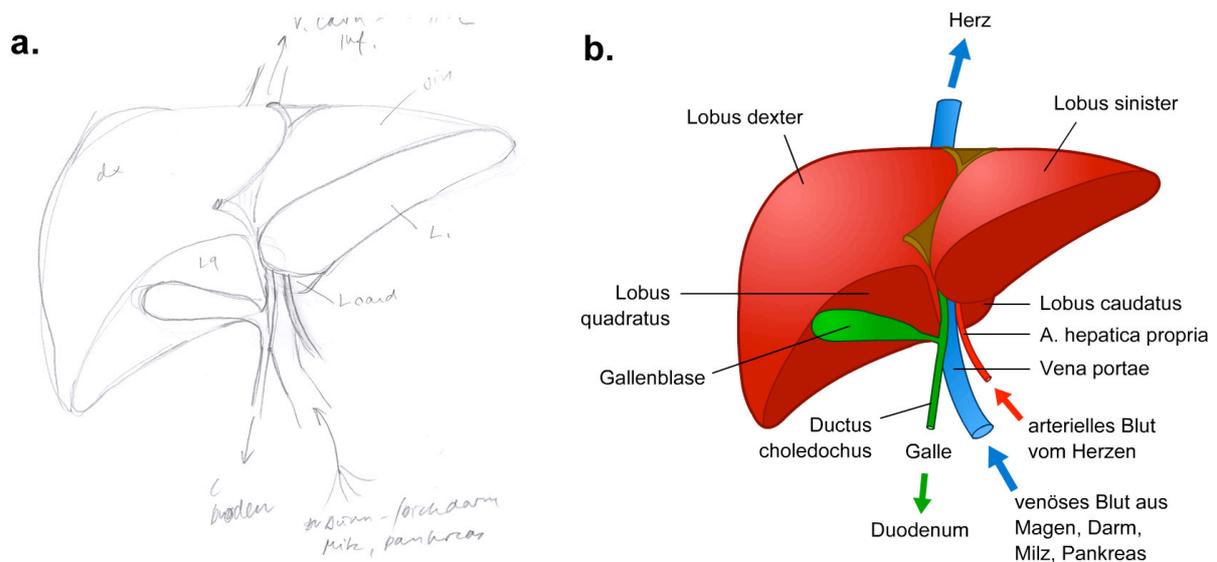
Unipporter	Antiporter	Symporter	ATPase	Effuxtrsp.	Ionenkanal
Unipporter	Ionenkanal	Ionenkanal	Ionenkanal	Protein	Rezeptor
GPCR	Enzym	Enzym	DNA	Wirkstoff	Metabolit
Membran	Membran	Membran	Zelle	Zelle	Zelle
Mitochondri.	ER	sER	Golgi	Wasser	Ion
Ion	Ion	Protein			

<b>Membran</b>	<b>(Makro)moleküle</b>	<b>Palette Pastellfarben</b>
 Zellmembran, #2B1B00 (Linie)	 Protein, Enzym, #88C77E	 violett, #CFCBDE
 Zellmembran, #FED176	 Protein, Enzym, #1F3A1B (Linie)	 blau, #B5CEEF
 Zellkern, #BD7602	 Enzym-Schere, #1F3A1B	 grün, #88C77E
 Zytoplasma, #FFEFC6	 Enzym-Schere, #1F3A1B	 gelb, #FFEFC6
 Phospholipid, #FEEDB3	 Protein, #FE775A	 orange, #F7A573
 Phospholipid, #8C6902 (Linie)	 DNA, GPCR, #990000	 rot, #D6004A
 Phospholipid FS, #999999 (Linie)	 Wirkstoff, #D6004A	
	 Metabolit, #993399	
<b>Transportproteine</b>	<b>Atome und Ionen</b>	<b>Metazeichen</b>
 Transporter, #FE775A	 Kohlenstoff, #000000	 Pfeile, #000000
 Transporter, #000000 (Linie)	 Sauerstoff, #FE3030	 Pfeile blau, #3980D5
 Kanal, #C4C1D7	 Wasserstoff, #FFFFFF	 Inhibition, #FF0000
 Kanal, #ACA9C2 (Linie)	 Stickstoff, #367DD3	 Nummern, #FF6600
 Kanal, #8E8EB5 (Anschnitt)	 Kalium, #FF9900	 Zoom, #FFFF99
 ATP, #ACA9C2 (Linie)	 Natrium, #009900	
	 Calcium, #88C77E	
<b>Kompartimente</b>	<b>Proteine (Molscript)</b>	
 Zytoplasma, #FFEFC6	 #3A9CFE, #005FD0	
 Extrazellulär, #FFEFC6	 #6BE4FE, #00C9FE	
 Arteriell Blut, #FFB2B2	 #8CFD66, #2BA301	
 Arteriell Blut, #FF0000	 #A0FEB7, #3AFD73	
 Venöses Blut, #0066CC	 #A0FE81, #4CFE20	
 Venöses Blut, #DEEFF7	 #FEE49A, #FECF17	
 Galle, #009900	 #F5B549, #E9950C	
 Galle, #D6F0D0	 #FEA396, #FF2E00	
 Harn, #FEFFBB		

**Abbildung 39.** Farben. Zur Erstellung der Abbildungen wurde eine standardisierte Palette von Farben zusammengestellt und verwendet. Der HEX-Code der Farben ist angegeben.

## Sequentielles Vorgehen beim Erstellen der schematischen Bilder

- (1) Die Literaturrecherche und die Überprüfung der kanonischen Bilder bildete die Basis für die inhaltliche Gestaltung der Bilder.
- (2) In einem zweiten Schritt wurde eine Skizze von Hand auf Papier erstellt. Optional wurde in einem Zwischenschritt die Skizze mit einem Scanner eingelese und als Vorlage für die Gestaltung des definitiven Bildes am Computer verwendet.



**Abbildung 40.** Verwendung von Skizzen bei der Erstellung von schematischen Bildern. Vor der Erstellung der definitiven Zeichnung wurde eine Skizze von Hand gezeichnet. Das definitive Bild wurde basierend auf der Skizze in Adobe Flash gezeichnet. Bei diesem Beispiel wurde die von Hand gezeichnete Skizze der Leber mit dem Scanner eingelese und in Flash digital durchgezeichnet (Bild: A. Vögtli).

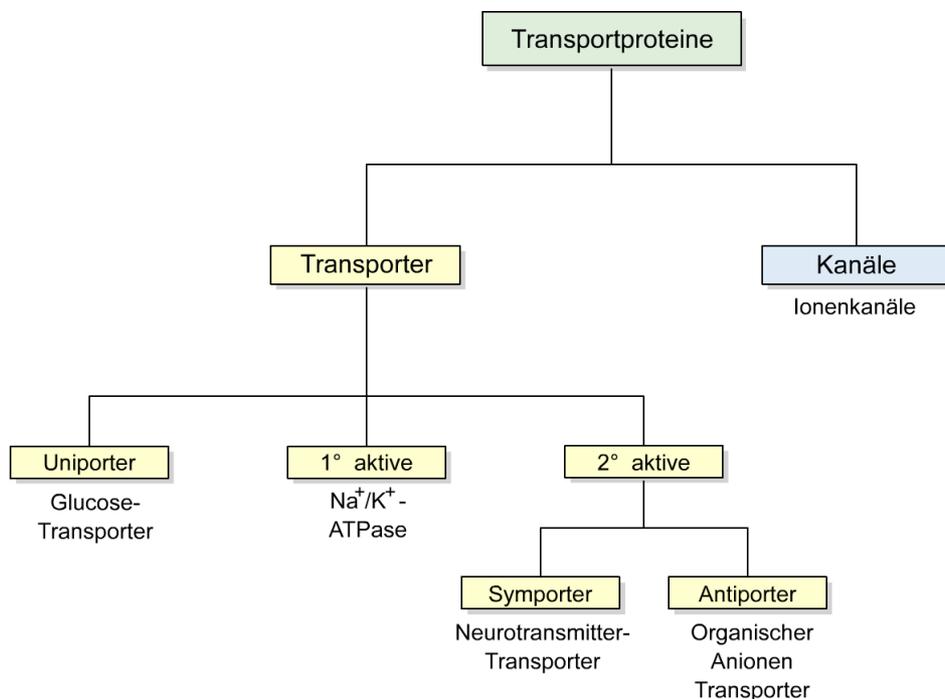
- (3) Am Computer wurde mit Adobe Flash (vgl. Abschnitt Material und Methoden) unter Berücksichtigung der standardisierten Elemente und Vorlagen das definitive Bild erstellt.
- (4) Die Bilder wurde mehrmals überarbeitet und verschiedene Versionen gespeichert. Die Dateien wurden im FLA-Format archiviert.
- (5) Die Bilder wurden als im PNG-Bildformat aus Adobe Flash mit einer Auflösung von 144 dpi exportiert.
- (6) In Adobe Fireworks wurden das PNG-Bildformat in das GIF-(wenige Farben) oder JPEG-Format (viele Farben) konvertiert.
- (7) Das fertige Bild wurde in das Vorlesungsskript in Microsoft Word eingefügt.

## Instrumentelle Bilder

Das Skript enthielt zwei instrumentelle Bilder: (1) die elektronenmikroskopische Aufnahme einer Tight Junction im Kapitel „Parazellulärer Transport“ und eine Bild mit mehreren Photographien im Kapitel „Ionenkanäle“.

## Logische Bilder

Die formale Darstellung der logischen Bilder (Charts und Diagramme) wurde vereinheitlicht. Die Angaben zur formalen Gestaltung sind in *Tabelle 18* dargestellt. Charts mit bildlichen Ergänzungen wurden formal nicht standardisiert und analog den schematischen Bildern erstellt. Es wurden Punkt-, Linien-, Säulen- und Balkendiagramme gezeichnet.



**Abbildung 41.** Beispiel eines Chart aus den Vorlesungsunterlagen (Bild: A. Vögli).

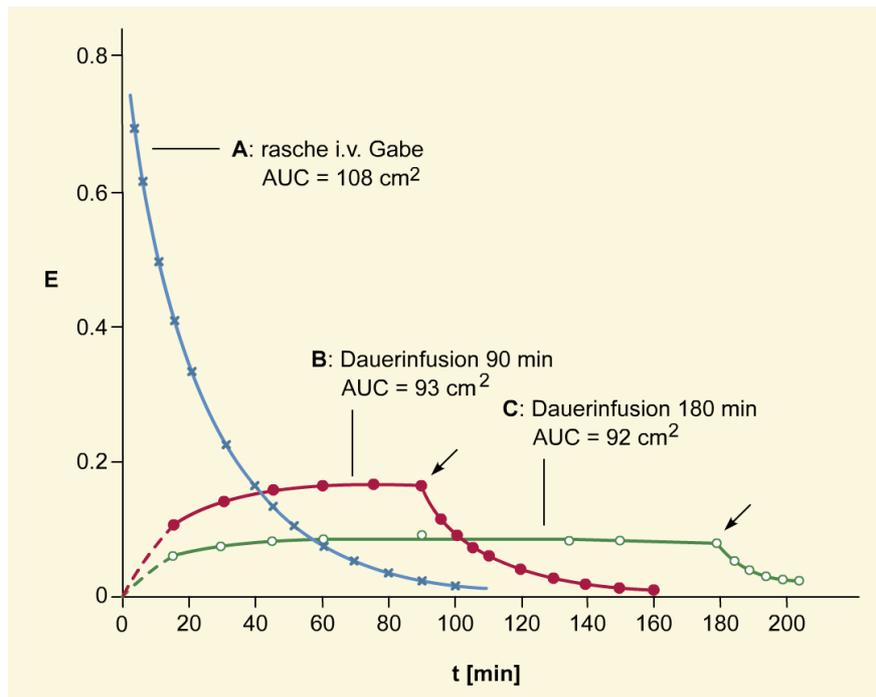


Abbildung 42. Beispiel eines Diagramms aus dem Vorlesungsskript (Bild: A. Vögli).

Tabelle 18. Formatierung der Charts ohne bildliche Ergänzungen und der Diagramme. Der HEX-Code der Farben ist dargestellt.

Charts	Diagramme
<p><b>Füllungen:</b>                      grün: #D7EBD3 (Box)                      gelb: #FFFFC4 (Box)                      blau: #D7E6F7 (Box)                      grau: #CCCCCC (Schatten)</p> <p><b>Linien:</b>                      schwarz, #000000, 1 pt</p> <p><b>Text:</b>                      Arial, 14 pt (vgl. oben)</p>	<p><b>Farben:</b>                      gelb: #FEF7DA (Hintergrund)                      rot: #990033 (generell Linien und Punkte)                      weitere Farben für Linien:                      blau: #4B7AB5                      grün: #3F7836</p> <p><b>Text:</b>                      Arial, 14 pt (vgl. oben)</p>

## Chemische Strukturformeln

Chemische Strukturformeln wurden in ChemDraw basierend auf einer Formatvorlage erstellt. Die Angaben der Formatvorlage sind in *Tabelle 19* zusammengefasst.

**Tabelle 19.** Einstellungen in ChemDraw für das Zeichnen chemischer Strukturformeln.

Chain Angle:	120°	Bond Spacing:	18% of length
Fixed Length:	16 pt	Bold Width:	1.6 pt
Line Width:	1 pt	Margin Width:	1.8 pt
Hash Spacing:	1.6 pt	Atom Labels:	Arial 9 pt, regular

### 3.1.3 Numerische Auswertung des Vorlesungsskripts

**Tabelle 20.** Numerische Auswertung der Vorlesungsskripts bezüglich der Text- und Bildelemente.

<b>1. Textelemente</b>	
Anzahl Seiten	total: <b>225</b>
davon Anzahl Seiten Referenzen	28
Anzahl Seiten ohne Referenzen:	197
Anzahl Tabellen	total: <b>14</b>
<b>2. Bildelemente</b>	
davon numerierte Bildelemente	113
<b>Abbildungen</b>	total: <b>77</b>
- Schematische Bilder	75
- Naturalistische Bilder	0
- Instrumentelle Bilder	2
<b>Logische Bilder</b>	total: <b>20</b>
<i>Charts</i>	total: 8
- Charts ohne Bilder	5
- Charts mit Bildern	3
<i>Diagramme</i>	total: 12
- Punktdiagramme	4
- Liniendiagramme	6
- Säulendiagramme	1
- Balkendiagramme	1
<b>Chemische Strukturformeln</b>	<b>89</b>
<b>Mathematische Formeln</b>	total: <b>16</b>
<b>Kombinationen</b>	total: <b>16</b>

*Tabelle 20* zeigt die numerische Auswertung des Vorlesungsskripts bezüglich der Bild- und Textelemente.

### 3.1.4 Resultate der Anwendung der Methoden

#### **Methode M1: Formale Aspekte**

Bei der Einführung zur Erstellung der Wirkstoff-Monographien wurde in der 3. Stunde der Vorlesung während 15 Minuten die Entstehung wissenschaftlicher Tatsachen nach Ludwik Fleck vorgestellt. Dabei wurde erläutert, welchen Transformationen wissenschaftliche Tatsachen bei der Entwicklung ausgehend von der esoterischen zur Populärwissenschaft unterliegen. Es sollte aufgezeigt werden, dass für die Literaturrecherche vor allem die Primärliteratur (Artikel in Zeitschriften und wissenschaftliche Handbücher) verwendet werden sollten.

Bei der Diskussion der Bilder im Vorlesungsskript wurden die Eigenschaften der schematischen Bilder dargelegt und mit denjenigen der naturalistischen Bildern verglichen.

Im Kapitel 4 (Transporter – Ionenkanäle) wurden die Funktion von Metaphern in der Wissenschaft am Beispiel der Transporter und Ionenkanäle besprochen (s. Methode M2).

Im Kapitel 9 (Efflux – P-Glykoprotein) wurde die Entstehung eines Paradigma anhand der „Barrierefunktion“ von P-Glykoprotein aufgezeigt. Paradigmen nach Kuhn wurden definiert und auf die Literatur verwiesen.

## **Methode M2: Metaphern**

### **Resultate und Diskussion: Sprachliche Bilder für Transportproteine**

Ein wesentlicher Aspekt der Vorlesung ATPM war die Diskussion der Transportproteine (Transporter und Kanäle). Wissenschaftliche Publikationen, die sich dem Thema der Transportproteine annehmen, enthalten eine Fülle von sprachlichen und tatsächlichen wissenschaftlichen Bildern. Die Bilder wurden anhand von Beispielen aus der Literatur näher untersucht, mit dem Ziel, Aspekte der Funktion und Verwendung der Bilder aufzuklären. Der Fokus lag dabei auf der Diskussion der Kanäle, die Erkenntnisse gelten aber analog für die Transporter.

### **Funktionen der sprachlichen Bilder von Transportproteinen**

#### *Beschreiben*

Zur Beschreibung der Strukturen der molekularen Transportsysteme finden häufig Vergleiche aus der makroskopischen Alltagswelt Verwendung. Beispiele aus drei Fachpublikationen zeigen dies auf:

„The four inner helices pack against each other as a bundle near the intracellular aspect of the membrane, giving the appearance of an inverted teepee. (...) X-ray analysis with data to 3.2 angstroms reveals that four identical subunits create an inverted teepee, or cone, cradling the selectivity filter of the pore in its outer end.“ (Doyle *et al.*, 1998, S. 70)

„The voltage-sensitive sodium channel is a bell-shaped molecule with several cavities“ (Sato *et al.*, 2001, S. 1047)

„The LeuTAa protomer resembles a shallow ‚shot glass‘, with the opening facing the extracellular space, the base facing the cytoplasm, and the bottom of the ‚glass‘ located 6Å into the bilayer-spanning portion of the transporter (...).“ (Yamashita *et al.*, 2005, S. 216)

Ein Kaliumkanal sieht aus wie ein umgekehrtes Tipi oder ein Kegel, ein Natriumkanal ist glockenförmig und ein Neurotransmitter-Transporter gleicht einem Schnapsglas. Alle drei Bilder stammen aus Publikationen der esoterischen Fachliteratur, in denen mit instrumentellen Methoden die Struktur oder Teilstruktur eines Kanals aufgeklärt wurde.

Diese Vergleiche sind Versuche, die Grobstruktur eines Transportproteins einfach zu charakterisieren und dem Leser der Publikation eine erste Übersicht zu vermitteln. Sie beschreiben die Form eines Transportsystems mit einem anschaulichen Bild und sind auch für Laien verständlich. Im Gegensatz zu anderen Bildern (s. unten) dienen diese einfachen Beschreibungen jedoch nicht als Modelle oder funktionelle Erklärungen und es werden keine Hypothesen aus ihnen gewonnen, die mit Experimenten getestet würden.

Die Publikation von Doyle *et al.* (1998) war die erste Publikation einer Kristallstruktur eines Ionenkanals und hat grosses Aufsehen erregt. Zum ersten Mal war es möglich,

die Strukturen zu „sehen“, welche die Funktionen des Kanals vermittelten (s. unten). Der Artikel wurde deshalb von anderen Publikationen sehr häufig zitiert. In diesen Publikationen wurde oft wieder das „umgekehrte Tipi“ als Bild für die Anordnung der Helices im Kanal verwendet. Durch die Referenzierung entstand so ein kanonisches Bild, dessen Ursprung durch die weite Verbreitung verloren ging. Die Kanonisierung ist auch damit zu erklären, dass das Bild den Sachverhalt sehr einfach und passend beschreibt. Die inneren Helices des Kanals sind wie das Gestänge eines Tipis angeordnet. In nachfolgenden Publikationen wurde das Bild noch weiter ausgearbeitet: die Öffnung des Tipis wurde als „smokehole“ (Rauchloch) bezeichnet (Bruening-Wright *et al.*, 2002). Es ist abzusehen, dass das Bild vom umgekehrten Tipi als kanonisches Bild noch lange erhalten bleiben wird.

### *Erklären, Veranschaulichen*

Sprachliche Bilder werden im Zusammenhang mit Transportproteinen auch häufig verwendet, um Sachverhalte einfach und anschaulich zu erklären. Ionen sind in Lösung von Wassermolekülen umgeben, die ihre Ladung stabilisieren. Es ist thermodynamisch gesehen energetisch ungünstig, wenn sie diese Hydrathülle ohne adäquaten Ersatz verlassen. Diese Situation wird im folgenden Artikel metaphorisch mit einem thermodynamisch behaglichen Heim umschrieben:

„This structure rationalized why a  $K^+$  ion is so willing to leave its thermodynamically comfortable home in aqueous solution to enter the pore in a largely dehydrated form“ (Miller, 2001, S. 23)

Hier handelt es sich nicht um einen Forschungsartikel, sondern um einen Übersichtsartikel, in dem Resultate von publizierten Untersuchungen beschrieben werden. Es hat bereits eine Popularisierung stattgefunden. Das Bild hat hier die Funktion, etwas Unbekanntes und schwer Einsichtiges mit einer einfachen Metapher verständlicher zu machen. Thermodynamische und energetische Betrachtungen werden in populären Erklärungen häufig mit einfachen sprachlichen Bildern vermittelt. Dabei soll der mathematische Formalismus umgangen werden und die kontraintuitiven und nicht-alltäglichen Beziehungen verständlich gemacht werden. Ein Beispiel ist etwa die Verwendung alpiner Bilder in der Energetik: Es wird von „Energiehügeln“ gesprochen, die zu überwinden sind und von „Energietälern“, in denen ein Molekül festsetzt (vgl. Teil I). Noch weiter entfernt vom esoterischen Zentrum ist das folgende populärwissenschaftliche Zitat:

„Hijacking a transporter seems a promising way to get a drug across the cell membrane“ (Alper, 2002, S. 838)

Hier wird der Transporter mit einer molekularen Waffe bedroht, damit er zu den eigenen Zwecken missbraucht werden kann (to hijack: entführen). Solche Metaphern wurden bei der Erstellung des Vorlesungsskripts als ungeeignet beurteilt und nicht verwendet.

Transporter sind auch „molekulare Maschinen“, wie zum Beispiel Bakteriorhodopsin:

„Bacteriorhodopsin is a deceptively simple molecular machine“ (Kühlbrandt, 2000, S. 569)

„Bacteriorhodopsin is a compact molecular machine that pumps protons across a membrane powered by green sunlight.“ (Goodsell D., [http://www.rcsb.org/pdb/molecules/pdb27\\_1.html](http://www.rcsb.org/pdb/molecules/pdb27_1.html))

Die Beschreibung als molekulare Maschine steckt den Rahmen zur Beschreibung der molekularen Welt basierend auf makroskopischen Regeln (vgl. Teil I). Die Metaphern „Molecular X“, bei denen X für eine Maschine oder einen anderen makroskopischen Gegenstand steht, sind in der Molekular- und Strukturbiologie geläufig. In der folgenden Liste sind einige dieser Metaphern, Analogien und Vergleiche aufgeführt, die aus der Literatur entnommen wurden:

Molecular Architecture, Molecular Axle, Molecular Chameleon, Molecular Engine, Molecular Fuel Tanks, Molecular Knife Throwing, Molecular Machine, Molecular Mirror, Molecular Modeling, Molecular Motor, Molecular Rotor, Molecular Spring, Molecular Scissors, Molecular Switch, Molecular Targets, Molecular Tools, Molecular Toolbox, Molecular Transport, Molecular Trojan Horse, Molecular Wheel

Diese Begriffe bezeichnen die Funktionen, die Eigenschaften oder die Struktur von Proteinen, von kleinen Molekülen oder sie beschreiben Prozesse. Grob können zwei Typen unterschieden werden. Erstens populäre Veranschaulichungen, die häufig im Titel eines Fachartikels verwendet werden, wie etwa „Chiral Compounds in Metabolism: a Look in the Molecular Mirror“. Der Artikel beschäftigt sich mit den Enantiomeren, Molekülen, die sich wie Bild und Spiegelbild zueinander verhalten. Im Titel haben diese Bilder wie eine Illustration vor allem die Funktion, die Aufmerksamkeit des Lesers zu gewinnen. Zweitens haben solche Bilder auch noch weitere Funktionen, z.B. als theoretische Modelle.

### **Sprachliche Bilder als Modelle**

Neben der Funktion als oberflächliche Beschreibungen, Veranschaulichungen und Erklärungen werden Bilder in der esoterischen Wissenschaft auch als Modelle verwendet. Dabei sind verschiedene Ansätze möglich. Modelle können aufgrund von Überlegungen, Gedankenexperimenten oder Beobachtungen aufgestellt werden. Von einem solchen Modell können Hypothesen abgeleitet werden, deren Validität mit Experimenten getestet werden. Recht früh wurde zum Beispiel die Zellmembran als „molekulares Sieb“ mit Poren beschrieben, etwa bei Bayliss (1918), der sich dabei auf Chemiker und Physiologen des 19. Jahrhunderts bezog:

„Membranes may also be looked from [the] point of view (...) of their structure. This may be one of the nature of a sieve, so that different membranes have different sizes of holes.“ (Bayliss, 1918, zitiert aus Hille, 1992, S. 184)

Die Idee, die Membran sei ein molekulares Sieb, hat funktionelle Konsequenzen. Beim diesem Modell können alle Ionen, deren Durchmesser kleiner ist als der Durchmesser der Poren des Siebs, auf die andere Seite der Membran passieren. Nur

die Ionen mit grösserem Durchmesser werden zurückgehalten. Die Poren des Siebs entsprechen den „Kanälen“ (auch Poren) in der Zellmembran. Bertil Hille hat diese Hypothese mit einfachen Mitteln getestet, um zu untersuchen, ob das Modell des Siebs zutrifft. Er hat zum Beispiel die Permeabilität verschiedener Substanzen durch den Natriumkanal (Hille, 1971;1972) und den Kaliumkanal (Hille, 1973) untersucht. Dabei hat er unter anderem herausgefunden, dass die Hypothese des Siebs für die grösseren Ionen zutrifft, nicht aber für die kleinen. Obwohl Natrium kleiner ist als Kalium, wird es nicht oder sehr selten durch den Kaliumkanal transportiert. Dies steht in direktem Widerspruch zum Modell eines molekularen Siebs. Das Modell ist also nur teilweise valide:

„In conclusion, the old idea that ionic channels act as molecular sieves explains one striking feature of ionic selectivity: The permeability cuts off at a definite ionic size.“ (Hille, 1992, S. 246)

Hille konnte mit seinen Experimenten das Modell der Poren des Siebs (der Ionenkanäle) präzisieren. Aufgrund seiner Resultate entwickelte er ein Modell der Kanäle, bei dem eine engste Stelle für die Auswahl der Ionen verantwortlich ist. Dieser sogenannte *Selektivitätsfilter* schliesst die grösseren Ionen mechanisch aus (Hille, 1971). Hille arbeitete auch mit gegenständlichen CPK-Molekülmodellen und entwickelte unter anderem ein Modell des Selektivitätsfilters für den Natriumkanal, der rechteckig war und eine Grösse von  $5.1 \times 3.1 \text{ \AA}$  hat.

Interessant an den Untersuchungen waren auch auf den ersten Blick widersprüchliche Resultate. So fand Hille, dass methylierte Kationen wie Methylamin den Kanal nicht passieren, obwohl Methylamin fast identisch gross ist wie Hydrazin und Hydroxylamin, welche beide den Kanal durchquerten. Hille schloss daraus, dass der Selektivitätsfilter über eine Reihe von Sauerstoffatomen verfügen musste, mit denen Moleküle wie Hydrazin oder Hydroxylamin Wasserstoffbrücken eingehen können. Die methylierten Kationen können keine Wechselwirkungen ausbilden, ihr Transport ist deshalb energetisch nicht begünstigt. Damit hatte sich auch das einfache Bild des „Siebs“ mehr in die Richtung eines Modells entwickelt, bei welchem physikochemischen und energetische Faktoren eine wichtige Rolle spielen. Die Funktionsweise der Kanäle konnte nur ansatzweise mit rein mechanischen Bildern erklärt werden.

Aus diesem Beispiel wird klar, dass einfache Metaphern, welche die Regeln der makroskopischen Alltagswelt ohne Einschränkungen auf die molekulare Ebene übertragen, bei der Beschreibung der molekularen Welt an eine Grenze stossen. Zur weiteren Modellierung werden mathematische, chemische und physikalische Beschreibungen erforderlich.

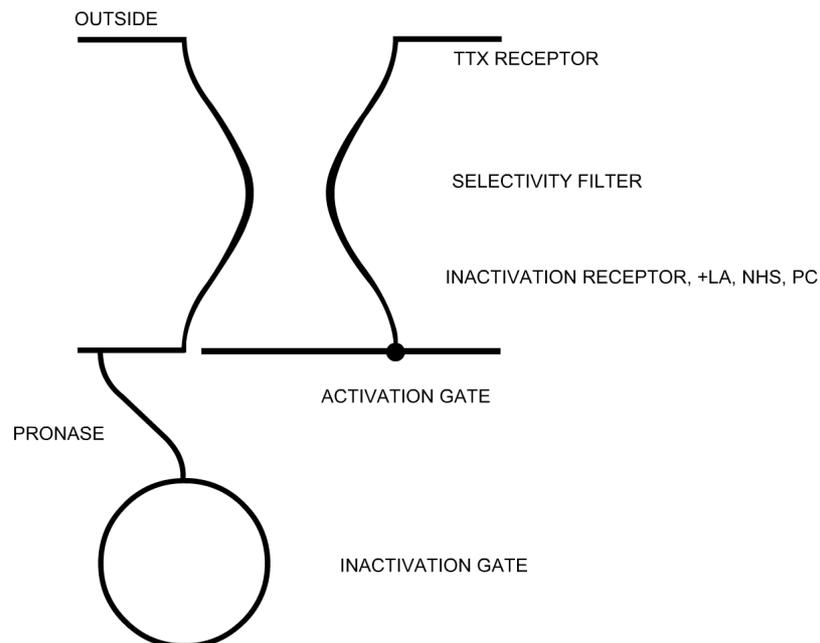
Aus metaphorischen Bezeichnungen für Transportproteine sind auch *wissenschaftliche Fachbegriffe* wie „Kanal“ oder „Pumpe“ entstanden. Der Prozess der Entstehung dieser Begriffe ausgehend von expliziten zu impliziten Metaphern wurde bereits in Teil I der Arbeit diskutiert.

## Tatsächliche Bilder – Sichtbarmachung

Neben den sprachlichen Bildern sind tatsächliche Bilder eine weitere Möglichkeit der Sichtbarmachung der unsichtbaren Transportproteine. Zwei Typen sind besonders hervorzuheben, erstens in die manuell erstellten schematischen und naturalistischen Bildern und zweitens die instrumentellen Bilder, also zum Beispiel Resultate von Messungen, elektronenmikroskopische Aufnahmen oder molekulare Modelle aus der Röntgenkristallographie.

### Manuell erstellte Bilder

In Publikationen von Clay Armstrong und Bertil Hille finden sich Beispiele beider Typen tatsächlicher Bilder. Die manuell erstellten Bilder sind einfache schematische Linienzeichnungen wie zum Beispiel die schematische Darstellung des Natriumkanals in *Abbildung 43* aus einem Artikel von Clay Armstrong (Armstrong, 1981). Das Bild fasst schematisch die Erkenntnisse zur Struktur des Natriumkanals zusammen, die Armstrong und andere mit Experimenten bis zu diesem Zeitpunkt gewonnen hatten. Das Bild ist schematisch: Das „Gate“ beispielsweise ist nach dem Modell der „Kugel an einer Kette“ von Armstrong gestaltet (z.B. Scholz, 2002, S. 54). Dabei handelt es sich um eine Metapher oder einen Vergleich aus dem makroskopischen Bereich.



**Abbildung 43.** Schematische Darstellung des Natriumkanals, aus Armstrong (1981, nachgezeichnet).

Das Bild ist eine Idee, eine einfache Skizze und Hypothese, die aufzeigt, wie der Kanal nach den Resultaten der Experimente ungefähr strukturiert sein müsste. Es ist wenig definitiv und enthält nur minimale fiktive Elemente. Es steht damit im Gegensatz zu naturalistischen Bildern, die einfache Modelle wie dieses mit zahlreichen fiktiven Elementen ergänzen, um sie anschaulicher zu machen.

### **Instrumentelle Bilder des Kaliumkanals: Aus einer abstrakten Idee wird ein konkretes Objekt**

1998 ereignete sich auf dem Gebiet der Ionenkanalforschung eine bildliche Revolution. Roderick MacKinnons Gruppe war es gelungen, Kristalle des bakteriellen Kaliumkanals KcsA zu gewinnen und mit einer Röntgenkristallstruktur Momentaufnahmen des geschlossenen Kanals mit einer Auflösung von 3.2 Å aufzunehmen (Doyle *et al.*, 1998). Für diese und weitere Untersuchungen wurde MacKinnon im Jahr 2003 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.

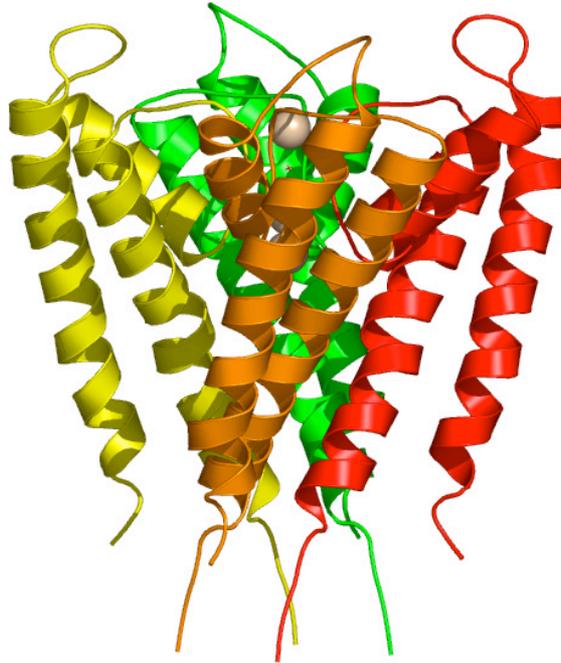
Seit Beginn der 80er Jahre hatte die Ionenkanalforschung von den neuen Methoden der Molekularbiologie profitiert. Nun war es möglich, hohe Konzentrationen von Kanälen in Proteinen zu exprimieren und Mutationsstudien durchzuführen. 1987 wurde die erste Aminosäuresequenz, der „Fingerabdruck“ eines Kaliumkanals publiziert (Tempel *et al.*, 1987). MacKinnon publizierte vor 1998 einige Studien zum Kaliumkanal, in denen er unter anderem zeigen konnte, dass der Kanal aus vier Untereinheiten aufgebaut sein musste. Jede Untereinheit beteiligte sich offenbar mit einem „Loop“ an der Bildung der engsten Stelle, des Selektivitätsfilters. Die Stelle war bei verschiedenen Ionenkanälen immer fast identisch aufgebaut, MacKinnon bezeichnet sie deshalb als „signature sequence“. Ausgehend von diesen Untersuchungen erstellte er wie Hille und Armstrong schematische manuelle Bilder vom gleichen Typus wie *Abbildung 43*. Bildlich knüpfte er damit an die alten Tradition an. Die schematischen Bilder blieben Hypothesen und Skizzen von etwas, das weiterhin unsichtbar blieb.

Die Bilder von 1998 änderten die Situation. Die Kristallstruktur zeigte die chemische Struktur des Kaliumkanals und seine dreidimensionale Struktur im Raum, so als hätte man davon eine Photographie wie von einem sichtbaren Objekt aufgenommen. Am Computer konnte die dreidimensionale Struktur rotiert, vergrößert und in beliebigen Darstellungsvarianten „angesehen“ werden (*Abbildung 44*). MacKinnon selbst sprach von der Fähigkeit, die Struktur zu „sehen“:

„The ability to actually look at ion channel structures has already begun to stimulate altogether new directions in ion channel research.“ (MacKinnon in Hille, Armstrong & MacKinnon, 1999, S. 1109)

Viele Hypothesen und Experimente konnten nun direkt visuell bestätigt werden, weil der Kanal von sich selbst erzählte:

„Not all protein structures speak to you in an understandable language, but the KcsA K<sup>+</sup> channel does.“ (MacKinnon, 2003, S. 220)



**Abbildung 44.** Der bakterielle Kaliumkanal KcsA als konkretes Objekt: Röntgenkristallstruktur (Kristallstruktur: 1BL8; Doyle *et al.*, 1998; Bild erstellt mit PyMOL, <http://pymol.sourceforge.net>; Bild: A. Vögli).

Die Idee von Hodgkin und Keynes (1955), die Ionen müssten nacheinander durch eine Art Kanal oder Röhre passieren, war sichtbar bestätigt worden: Die Kristallstruktur zeigte 3 Kugeln hintereinander in der Pore des Kanals. Auch die Konzepte von Hille und Armstrong wurden sichtbar und konkrete Objekte. An der engsten Stelle des Selektivitätsfilters waren Sauerstoffatome zu sehen, die offensichtlich die Wechselwirkungen des Kaliumions mit seiner Hydrathülle ersetzen. Die Bilder zeigten auch sofort, weshalb Natrium nicht oder sehr selten transportiert wurde: es war zu klein und passte nicht optimal in den Selektivitätsfilter. Es wollte sein thermodynamisch „behagliches Heim“ in der Hydrathülle (s. oben) nicht verlassen. Damit war auch die Frage des „molekularen Siebs“ geklärt.

Dieses „Sehen“ des Kaliumkanals als konkretes Objekt mit dieser instrumentellen Methode ist natürlich sehr ungewöhnlich und weit vom scheinbaren Realismus einer Photographie entfernt (vgl. Teil I).

### Schlussfolgerungen

Die Verwendung von Bildern ist ein integraler Bestandteil der Forschung und Kommunikation über Transportproteine. Die Strukturen auf der molekularen Ebene sind unsichtbar. Sie funktionieren nach Regeln, die aus dem Alltag nicht bekannt sind und zum Teil gegen die Intuition verstossen. Die Verwendung der Bilder ermöglicht, das Unsichtbare durch Metaphern, Analogien und Vergleichen mit makroskopischen Objekten, Prozessen oder Strukturen zu begreifen. Die Funktion der sprachlichen Bilder liegt also in einer Beschreibung, in Erklärungen oder populären Veranschaulichungen. Erweitert kommt ihnen eine Funktion als wissenschaftliche

Modelle zu, die Phänomene erklärend beschreiben. Sie liefern Vorhersagen, die experimentell getestet werden können.

Sprachliche Bilder werden auch zu Fachbegriffen. Es sind Bezeichnungen makroskopischer Objekte wie der *Pumpe*, dem *Kanal* oder dem *Carrier* (vgl. Teil I). Es sind einfache, ehemals hypothetische Bilder aus der Anfangszeit der Forschung, als die molekulare Struktur und Funktion noch nicht bekannt waren.

### **Praktische Umsetzung im Vorlesungsskript APTM**

Das Kapitel zum Thema „Ionenkanäle“ wurde gemäss der Geschichte der Erforschung der Kanäle strukturiert. Dabei wurde die Erforschung der Struktur und Selektivität des Kaliumkanals ausgehend von der abstrakten Idee bis zum konkreten Objekt nachvollzogen und kommentiert. Die Experimente von Hille zum molekularen Sieb wurden besprochen, um die Verwendung sprachlicher Bilder als Modell aufzuzeigen.

Generell wurden stark populärwissenschaftliche Metaphern vermieden (siehe oben). Die Eigenschaften von Metaphern wurden diskutiert.

Bei der Besprechung der Transporter wurde die Entstehung der Begriffe wie „Pumpe“ und „Carrier“ nachvollzogen. Dabei wurde gezeigt, wie sich das Modell der molekularen Fähre des Carriere hin zum Alternating Binding Modell (Rocker Switch Modell) verändert hat.

### **Referenzen**

Alper J. Breaching the membrane. *Science*, **2002**, 296, 838-839

Armstrong C.M. Sodium channels and gating currents. *Physiological Reviews*, **1981**, 61(3), 644-683

Bayliss W.M. Principles of general physiology, 2nd edition. London: Longmans: London, **1918**

Bruening-Wright A., Schumacher M.A., Adelman J.P. & Maylie J. Localization of the activation gate for small conductance  $Ca^{2+}$ -activated  $K^+$  channels. *The Journal of Neuroscience*, **2002**, 22(15), 6499-6506

Doyle D.A., Cabral J.M., Pfuetzner R.A., Kuo A., Gulbis J. M., Cohen S. L., Chait B.T. & MacKinnon R. The structure of the potassium channel: molecular basis of  $K^+$  conduction and selectivity. *Science*, **1998**, 280, 69

Hille B. The permeability of the sodium channel to organic cations in myelinated nerve. *The Journal of General Physiology*, **1971**, 58, 599-619

Hille B. The permeability of the sodium channel to metal cations in myelinated nerve. *The Journal of General Physiology*, **1972**, 59, 637-658

Hille B. Potassium channels in myelinated nerve. Selective permeability to small cations. *The Journal of General Physiology*, **1973**, 61, 669-686

- Hille B. Ion Channels of Excitable Membranes. Sunderland, Mass.: Sinauer, **1992**
- Hille B., Armstrong C.M. & MacKinnon R. Ion channels: from idea to reality. *Nature Medicine*, **1999**, 5(10), 1105-1109
- Hodgkin A.L. & Keynes R.D. The potassium permeability of a giant nerve fibre. *The Journal of Physiology*, **1955**, 128, 61-88
- Kraulis P.J. Molscript: A program to produce both detailed and schematic plots of protein structures. *Journal of Applied Crystallography*, **1991**, 24, 946-950
- Kühlbrandt W. Bacteriorhodopsin – the movie. *Nature*, **2000**, 406, 569-570
- MacKinnon R. Potassium Channels and the Atomic Basis of Selective Ion Conduction. Nobel Lecture, December 8, **2003**
- Miller C. See potassium run. *Nature*, **2001**, 414, 23-24
- Rhodes G. Crystallography made crystal clear. San Diego (etc.): Academic Press, **2000**
- Sato C., Ueno Y., Asai K., Takahashi K., Sato M., Engel A. & Fujiyoshi Y. The voltage-sensitive sodium channel is a bell-shaped molecule with several cavities. *Nature*, **2001**, 409, 1047-1051
- Scholz A. Mechanisms of (local) anaesthetics on voltage-gated sodium and other ion channels. *British Journal of Anaesthesia*, **2002**, 89(1), 52-61
- Tempel B.L., Papazian D.M., Schwarz T.L., Jan Y.N. & Jan L.Y. Sequence of a probable potassium channel component encoded at shaker locus of drosophila. *Science*, **1987**, 237(4846), 770-775
- Yamashita A., Singh S., Kawate T., Jin Y. & Gouaux E. Crystal structure of a bacterial homologue of Na<sup>+</sup>/Cl<sup>-</sup> - dependent neurotransmitter transporters. *Nature*, **2005**, 437, 215-223

### **Methode M3: Quellen**

Als Quellen wurden wissenschaftliche Artikel in Fachzeitschriften (inkl. *Reviews*) und Handbücher verwendet. Es wurden 17 Lehrbücher, vorwiegend zur Beschreibung der Histologie und Anatomie, verwendet. Die Auswertung der Referenzen ist in *Tabelle 21* dargestellt. Es wurden keine populärwissenschaftlichen Quellen (z.B. Wikipedia) verwendet. Der Ursprung und die Originale der Texte und Bilder wurde in der Literatur lokalisiert (vgl. Methode M7: Kanonische Bilder)

**Tabelle 21.** Anzahl Referenzen im Vorlesungsskript.

---

Anzahl Referenzen (total):	330
Artikel in Fachzeitschriften:	297
Handbücher	12
Lehrbücher	17
Andere Bücher	4

---

### **Methode M4: Referenzierung**

Die Verweise im Text und die Referenzierung in den Literaturlisten wurde bereits gezeigt (s. oben).

### **Methode M5: Hypothesen und Modelle**

Hypothesen und Modelle wurden als solche bezeichnet und sowohl in Texten und Bildern entsprechend dargestellt. Es wurden vorwiegend schematische Abbildungen gezeichnet. 75 von total 77 Abbildungen waren schematische Bilder (siehe numerische Auswertung).

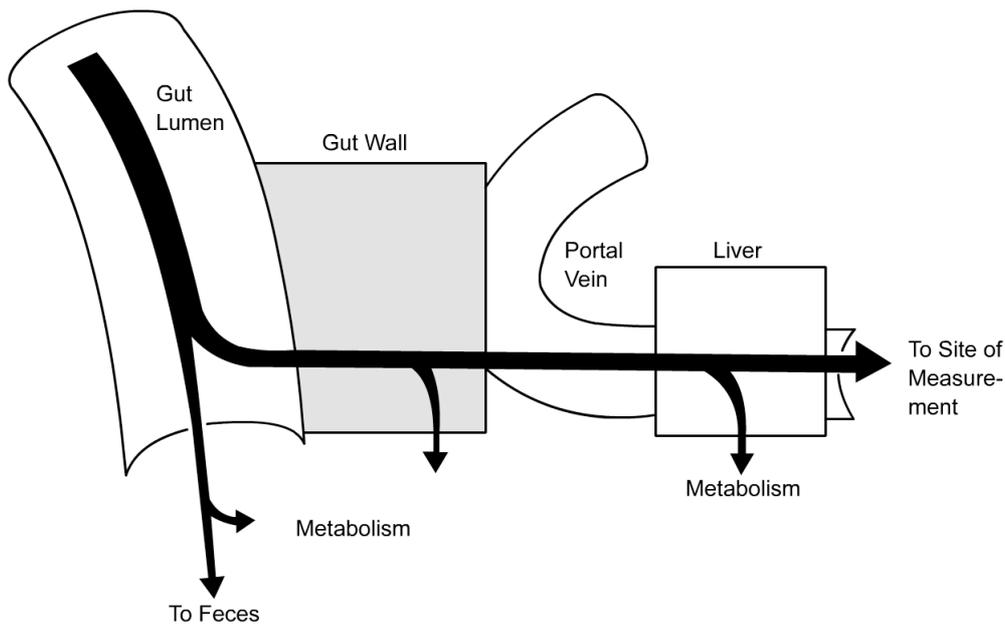
### **Methode M6: Volltext**

Die Gestaltung des Skripts mit fortlaufendem Text wurde bereits gezeigt (s. oben).

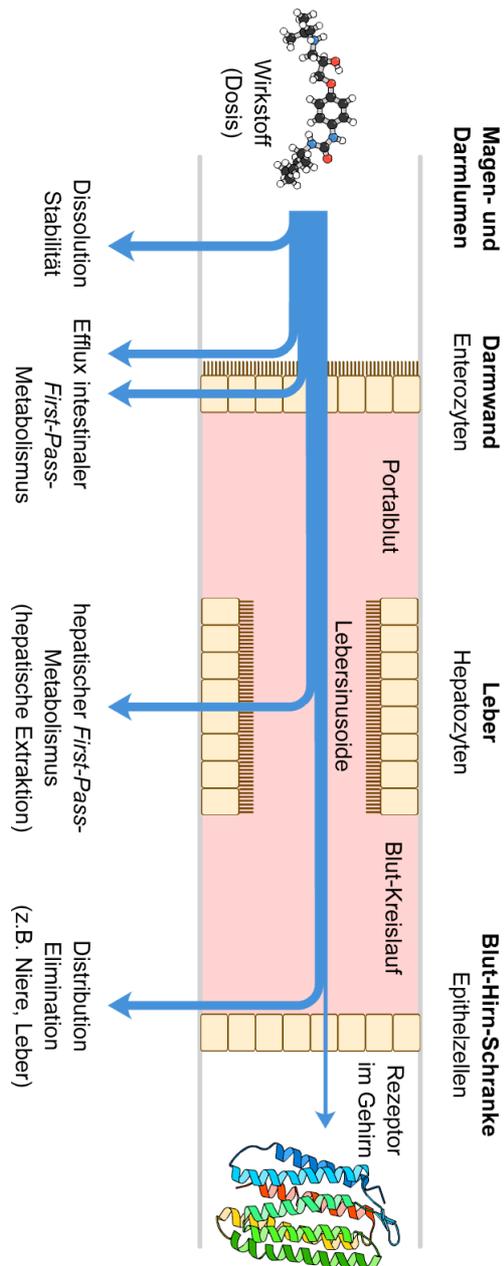
## Methode M7: Kanonische Bilder

Die kanonischen Bilder definierter Themengebiete, Exemplare der kanonischen Bilder (Kopien) und die Originale wurden identifiziert. Basierend auf der Literaturrecherche und der Analyse der wissenschaftlichen und graphischen Qualität der Bilder wurden neue Bilder für das Vorlesungsskript gezeichnet. Im Folgenden wird eine Auswahl kanonischer Bilder, deren Analyse und die Verwendung für das Vorlesungsskript aufgezeigt.

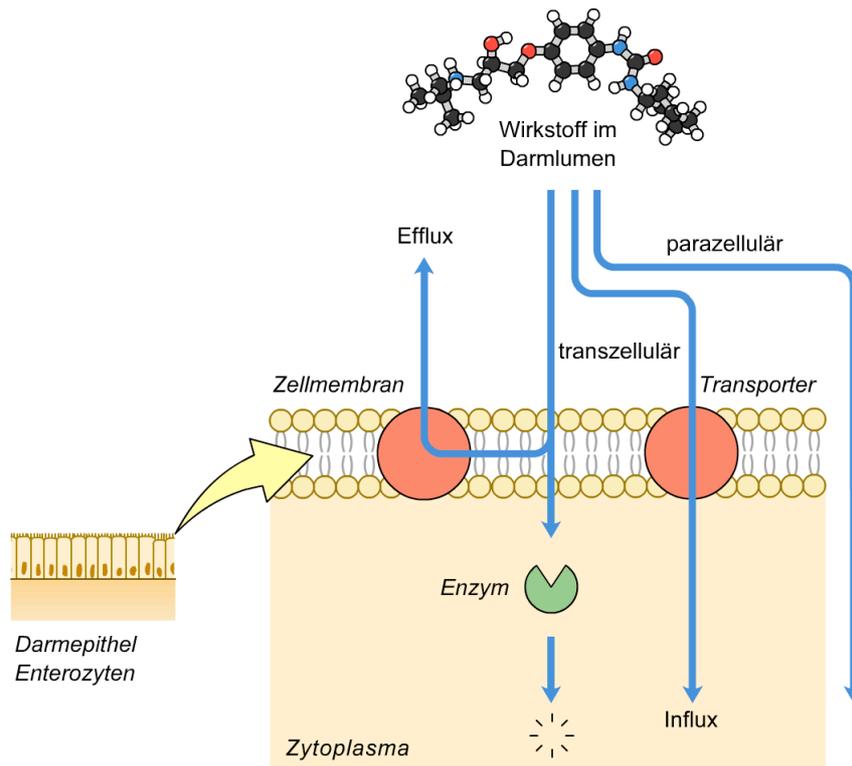
### Kanonisches Bild Bioverfügbarkeit (Kapitel Freisetzung)



**Abbildung 45.** Kanonisches Bild „Bioverfügbarkeit“. Die Abbildung zeigt das Original des kanonischen Bildes aus dem Lehrbuch von Rowland & Tozer (1989) zur Pharmakokinetik (nachgezeichnet).



**Abbildung 46.** Neugestaltung des kanonischen Bildes „Bioverfügbarkeit“ für das Vorlesungsskript APTM (1, Bild: A. Vögtli).



**Abbildung 47.** Neugestaltung des kanonischen Bildes „Bioverfügbarkeit“ für das Vorlesungsskript APTM (2). In dieser Darstellung sind die Transportprozesse an der Zellmembran eines Enterozyten im Detail abgebildet (Bild: A. Vögtli).

*Beschreibung:* Das kanonische Bild ist eine Visualisierung des Prozesses der Bioverfügbarkeit. Eine Dosis eines Arzneimittels im Darm wird absorbiert, gelangt in die Portalvene und über die Leber in den systemischen Kreislauf. Mit nach unten gerichteten Pfeilen wird aufgezeigt, welche Prozesse zu einer Reduktion der Bioverfügbarkeit und Verlust von Wirkstoff führen. Der Schwerpunkt liegt in der Regel auf dem Prozess des Metabolismus (intestinaler und hepatischer First-Pass Metabolismus).

*Original des kanonischen Bildes:* Rowland & Tozer (1989, S. 114). Das Buch ist in drei Auflagen herausgegeben worden: 1980, 1989 und 1995. Untersucht wurde das Bild in der 2. Auflage aus dem Jahr 1989 (*Abbildung 45*)

*Kopien:* Benet *et al.* (1996, S. 142), Wachter *et al.* (2001, S. 93), van de Waterbeemd & Gifford (2003, S. 196), Langguth, Fricker & Wunderli-Allenspach (2004, S. 133), Wilkinson (2005, S. 2213)

*Diskussion:* Die Kopien zeigen zwei interessante Transformationen des Originals.

Erstens ist eine Tendenz Richtung naturalistisches Bild feststellbar. Das Rechteck, welches die Leber darstellt, wurde bei Benet *et al.* so geformt, dass eine Leber angedeutet ist. Bei van de Waterbeemd & Gifford wurde die Abbildung koloriert und die Leber noch deutlicher naturalistisch gezeichnet. Statt dem Rechteck für den Darm

wurden Enterozyten gezeichnet. Eine gänzlich naturalistische Darstellung findet sich schliesslich bei Wilkinson.

Zweitens wurden die Abbildung jeweils für die eigenen Zwecke angepasst und spezifiziert (z.B. Transport von Cyclosporin bei Benet & Wachter und von Felodipin bei Wilkinson).

Das Bild ist geeignet für eine grobe Übersicht über die Bioverfügbarkeit und die Barrieren, welche sich dem Wirkstoff bei oraler Gabe in den Weg stellen. Da es aus den 80er Jahren stammt, ist der Prozess des Rücktransports über Effluxtransporter nicht dargestellt. Durch die stark schematisierte Darstellung werden die anatomischen Strukturen und die Transportprozesse aus diesem Bild nicht deutlich.

*Verwendung:* Basierend auf dem kanonischen Bild wurde ein neues Bild gemäss den Darstellungskonventionen des Vorlesungsskripts erstellt (*Abbildung 46*). Die Prozesse, die beim kanonischen Bild nur in einer groben Übersicht dargestellt sind, wurden in den einzelnen Kapitel im Detail besprochen und dargestellt (*Abbildung 47*).

*Referenzen:*

Benet L.Z., Wu C-Y., Hebert M.F. & Wachter V.J. Intestinal drug metabolism and antiport processes: a potential paradigm shift in oral delivery. *Journal of Controlled Release*, **1996**, *39*, 139-143

Langguth P., Fricker G. & Wunderli-Allenspach H. Biopharmazie. Weinheim: Wiley-VCH, **2004**

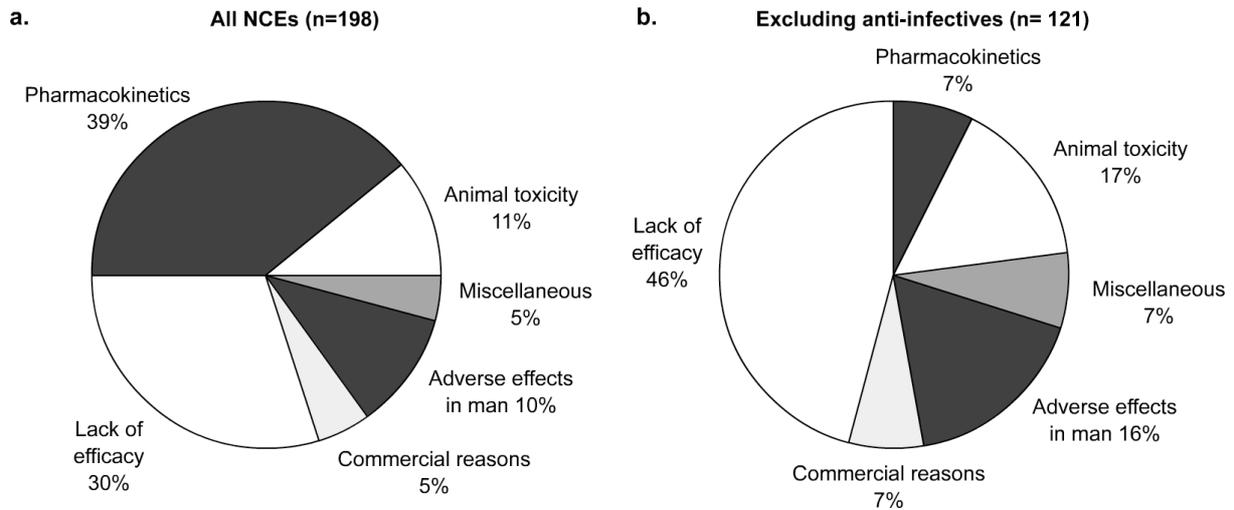
Rowland M. & Tozer T.N. Clinical pharmacokinetics: concepts and applications. Philadelphia: Lea and Febiger, **1989**

van de Waterbeemd H. & Gifford E. ADMET *in silico* modelling: towards prediction paradise? *Nature Reviews Drug Discovery*, **2003**, *2*, 192-204

Wachter V.J., Salphati L. & Benet L.Z. Active secretion and enterocytic drug metabolism barriers to drug absorption. *Advanced Drug Delivery Reviews*, **2001**, *46*, 89-102

Wilkinson G.R. Drug metabolism and variability among patients in drug response. *New England Journal of Medicine*, **2005**, *352*, 2211-2221

**Kanonisches Bild *Drug Attrition* (Kapitel Freisetzung)**



**Abbildung 48.** Kanonisches Bild „Drug Attrition“. Abbildung **a.** zeigt das kanonische Bild „Drug Attrition“, welches in Fachzeitschriften, in Lehrbüchern und Vorträgen kopiert und transformiert verwendet wird. Abbildung **b.**, zeigt Einschränkungen zu Abbildung **a.** und wird in Artikeln, welche das kanonische Bild verwenden, nicht dargestellt (siehe Text, Bild: nach Kennedy, 1997, nachgezeichnet)

*Beschreibung:* In einem Kreisdiagramm werden prozentual die Gründe für das Scheitern von 198 NCE (*New Chemical Entities*) im *Drug Discovery* Prozess dargestellt. Die Gründe sind: 39% Pharmakokinetik, 30% Mangel an Wirksamkeit, 11% Toxizität im Tier, 10% unerwünschte Wirkungen am Menschen, sowie 5% kommerzielle Gründe und 5% verschiedene Gründe (*Abbildung 48-a*).

*Original:* Kennedy (1997, S. 442), *Abbildung 48-a*

*Kopien:* Langguth, Fricker & Wunderli-Allenspach (2004, S. 167), Hodgson (2001, S. 722) van de Waterbeemd & Gifford (2003, S. 193), Wang (2004, S. 76), Diskussion bei Kubinyi (2003)

*Diskussion:* Das Bild stützt und visualisiert als Argument die Aussage, dass die pharmakokinetischen Eigenschaften von Wirkstoffen im *Drug Discovery* Prozess so früh wie möglich berücksichtigt werden sollten. In den Artikeln, welche das Bild verwenden, wird der Anteil von 39% der Pharmakokinetik im Text und im modifizierten Bild speziell hervorgehoben. Interessanterweise enthält die Originalpublikation von Kennedy eine wichtige Einschränkung. Die Untersuchung der 198 NCE wurde durch die 77 Antiinfektiva verzerrt, welche fast alle aufgrund schlechter pharmakokinetischer Eigenschaften scheiterten. Werden die Antiinfektiva nicht gezählt, macht die Pharmakokinetik nur 7% der Gründe für das Scheitern der NCE aus (siehe Kubinyi, 2003). Dafür wird der Mangel der Wirksamkeit mit 46% viel wichtiger. In der Originalpublikation wurde dies durch ein zweites Kreisdiagramm direkt unter dem ersten visualisiert (*Abbildung 48-b*). Die Kopien in den

Fachzeitschriften enthalten jedoch nur das erste Kreisdiagramm, nicht aber das zweite und gehen auf diese Verzerrung in der Regel nicht ein.

*Schlussfolgerungen:* Das kanonische Bild wurde für das Vorlesungsskript nicht verwendet. Bei einer Verwendung müssten die Einschränkungen diskutiert werden. Dies würde aber die Aussage, dass vor allem die Pharmakokinetik für das Scheitern der Entwicklung neuer Wirkstoffe verantwortlich ist, nicht zweifelsfrei unterstützen.

*Referenzen:*

Hodgson J. ADMET – turning chemicals into drugs. *Nature Biotechnology*, **2001**, *19*, 722-726

Kennedy T. Managing the drug discovery / development interface. *Drug Discovery Today*, **1997**, *2(10)*, 436-444

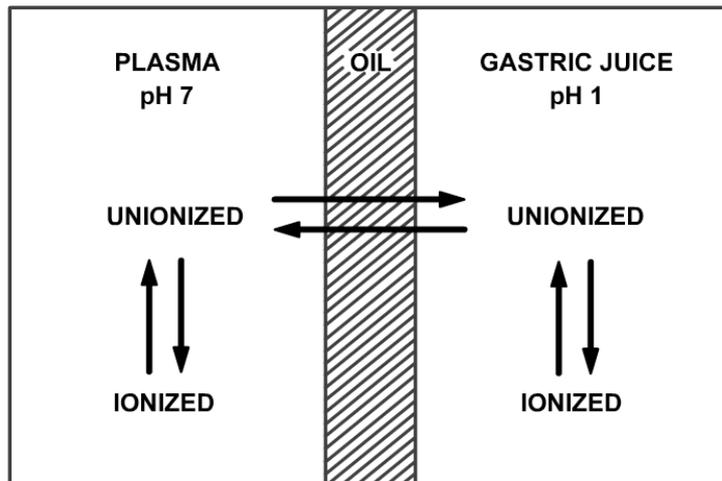
Kubinyi H. Drug research: myths, hype and reality. *Nature Reviews Drug Discovery*, **2003**, *2*, 665-668

Langguth P., Fricker G. & Wunderli-Allenspach H. Biopharmazie. Weinheim: Wiley-VCH, **2004**

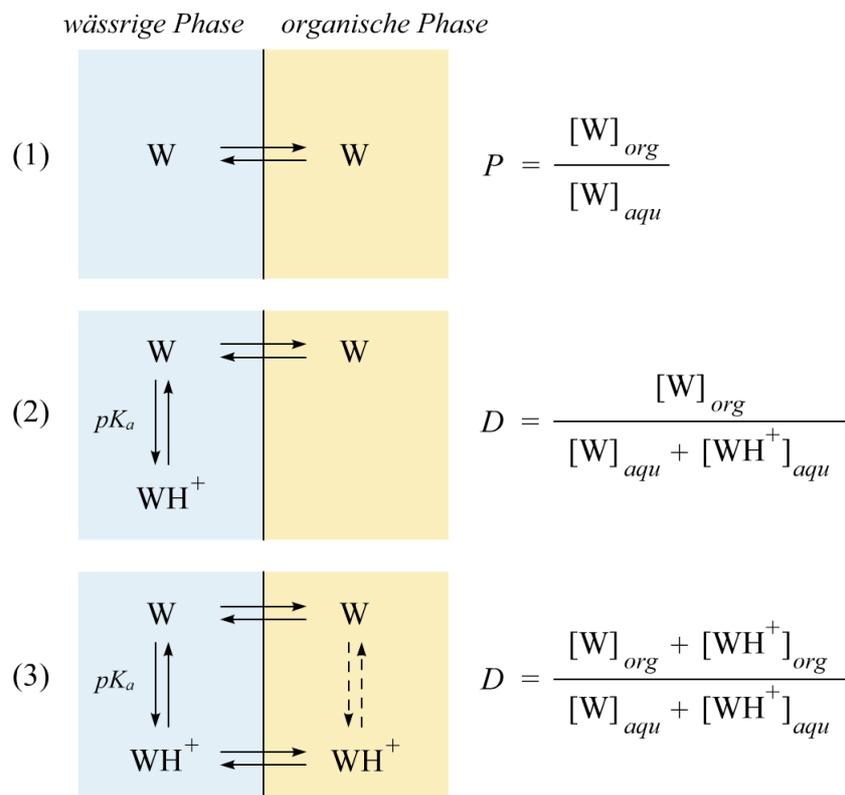
van de Waterbeemd H. & Gifford E. ADMET in silico modelling: towards prediction paradise? *Nature Reviews Drug Discovery*, **2003**, *2*, 192-204

Wang J. & Urban L. The impact of early ADME profiling on drug discovery and development strategy. *Drug Discovery World*, **2004**, *4*, 73-86

**Kanonisches Bild pH-Verteilungshypothese (Kapitel Passive Diffusion)**



**Abbildung 49.** Kanonisches Bild „pH-Verteilungshypothese“. Bei der Darstellung handelt es sich um das Original aus Shore, Brodie & Hogben (1957, nachgezeichnet).



**Abbildung 50.** Neugestaltung des kanonischen Bildes „pH-Verteilungshypothese“ für das Vorlesungsskript APTM. Die dritte Abbildung (3) zeigt die mögliche Verteilung geladener Wirkstoffe in die Membran (nach Camenisch *et al.*, 1996).

*Beschreibung:* Gemäss der pH-Verteilungshypothese von Brodie *et al.* kann sich nur die ungeladene Substanz in die Membran (organische Phase) verteilen, nicht jedoch die geladene (Shore, Brodie & Hogben, 1957; Hogben *et al.*, 1959, Brodie, Kurz &

Schanker, 1960). Das kanonische Bild visualisiert die Hypothese in einem stark schematisierten Bild.

*Original:* Shore, Brodie & Hogben (1957, S. 364), siehe auch Hogben *et al.*, (1959, S. 277), *Abbildung 49*

*Kopien:* (direkte Kopien) Forth, Henschler & Rummel (2005, S. 39), Pfeifer, Pfliegel & Borchert (1995, S. 34)

*Diskussion:* Das absolute Gültigkeit der pH-Verteilungshypothese wurde in den letzten Jahren angezweifelt (z.B. Pagliara *et al.*, 1999).

*Verwendung:* Die pH-Verteilungshypothese wurde im Kapitel 2 in einem Bild visualisiert und im Text diskutiert. Das kanonische Bild wurde modifiziert und durch die Möglichkeit der Diffusion von Ionen in die Membran ergänzt (*Abbildung 50*).

*Referenzen:*

Brodie B., Kurz H. & Schanker L. The importance of dissociation constant and lipid-solubility in influencing the passage of drugs into the cerebrospinal fluid. *Journal of Pharmacology And Experimental Therapeutics*, **1960**, 130(1), 20-25

Camenisch G., Folkers G. & van de Waterbeemd H. Review of theoretical passive drug absorption models: historical background, recent developments and limitations. *Pharmaceutica Acta Helvetiae*, **1996**, 71, 309-327

Forth W., Henschler D. & Rummel W. Allgemeine und spezielle Pharmakologie und Toxikologie (9. Auflage). München und Jena: Urban & Fischer, **2005**

Hogben C., Tocco D., Brodie B. & Schanker L. On the mechanism of intestinal absorption of drugs. *Journal of Pharmacology And Experimental Therapeutics*, **1959**, 125(4), 275-282

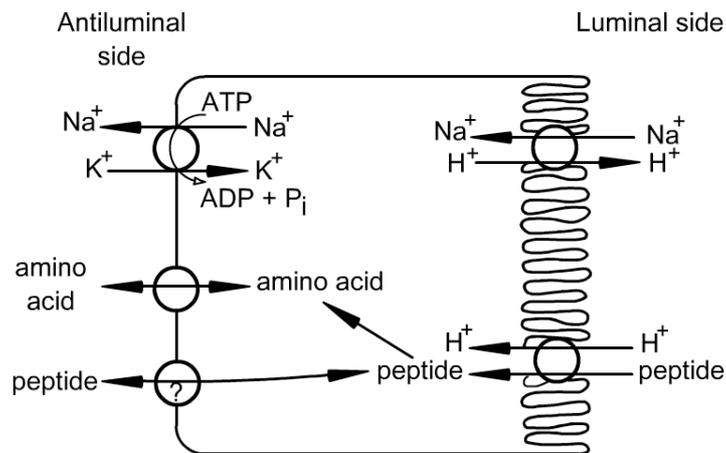
Pagliara A., Reist M., Geinoz S., Carrupt P-A. & Testa B. Evaluation and prediction of drug permeation. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, **1999**, 51, 1339-1357

Pfeifer S., Pfliegel P. & Borchert H-H. Biopharmazie. Berlin, Wiesbaden: Ullstein Mosby, **1995**

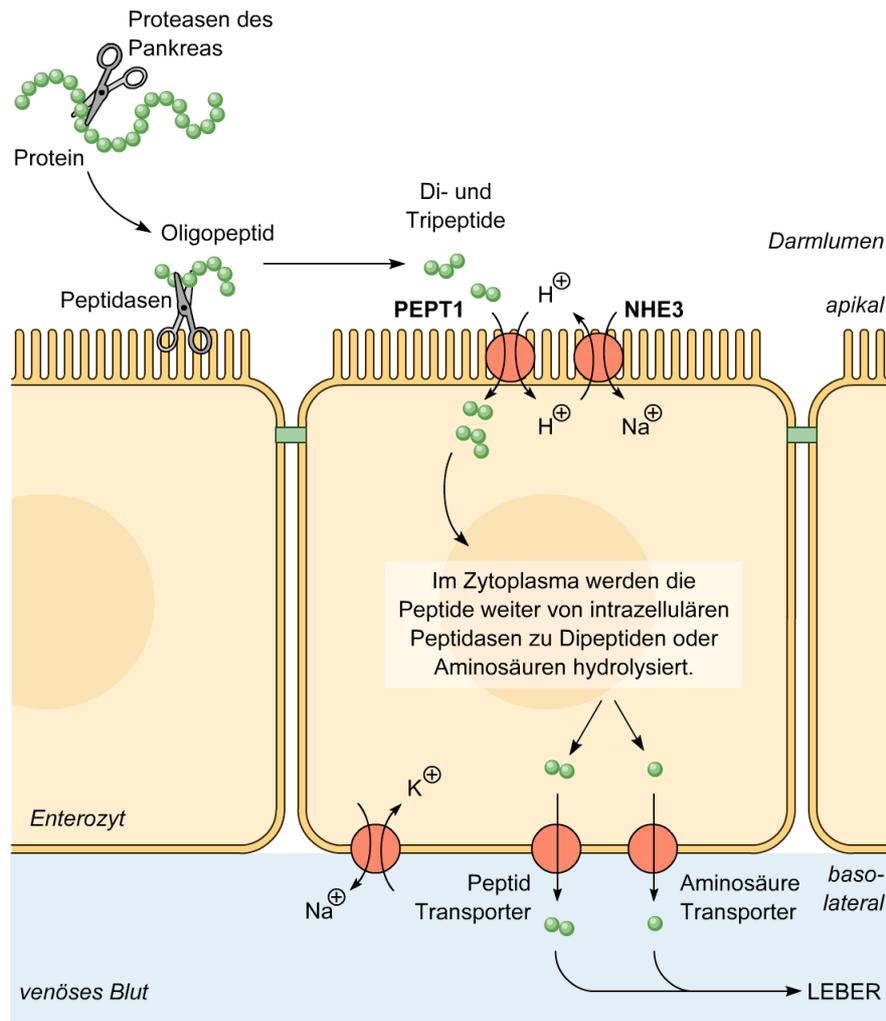
Shore P., Brodie B. & Hogben C. The gastric secretion of drugs: a pH partition hypothesis. *Journal of Pharmacology And Experimental Therapeutics*, **1957**, 119 (3), 361-369

van de Waterbeemd H., Smith D.A., Beaumont K. & Walker D.K. Property-based design: optimization of drug absorption and pharmacokinetics. *Journal of Medicinal Chemistry*, **2001**, 44(9), 1313-1333

**Kanonisches Bild Peptid-Transporter PEPT1 (Kapitel PEPT1)**



**Abbildung 51.** Original des kanonischen Bilds „Peptid-Transporter PEPT1“. In diesem Modell fehlen einige Elemente, welche in späteren Bildern ergänzt wurden. Die graphische Darstellung ist skizzenhaft, die Orientierung des Substratflusses (Peptide) verläuft von rechts nach links (aus Ganapathy & Leibach, 1985, S. G155, nachgezeichnet).



**Abbildung 52.** Neugestaltung des kanonischen Bildes „Peptid-Transporter PEPT1“ für das Vorlesungsskript APTM. Das Bild basiert auf neueren *Review*-Artikeln von Rubio-Aliaga & Daniel (2002) und Daniel (2004). Die Qualität des Bildes sollte durch die graphische Standardisierung und die Orientierung des Substratflusses von oben nach unten und links nach rechts erhöht werden (Bild: A. Vögli).

*Beschreibung:* Das kanonische Bild zum Peptid-Transporter PEPT1 zeigt den Transportmechanismus von PEPT1 am Enterozyten. An der apikalen Membran werden die Substrate (Di- und Tripeptide, sowie pharmazeutische Wirkstoffe) in die Zelle über PEPT1 aufgenommen. Der dafür notwendige Protonengradient wird durch NHE-3, einen apikalen  $Na^+/H^+$ -Antiporter, aufrecht erhalten. NHE-3 wird durch einen Natriumgradienten angetrieben, der durch eine basolaterale  $Na^+/K^+$ -ATPase erzeugt wird. Es handelt sich um einen tertiär aktiven Transport. Intrazellulär können die Substrate hydrolysiert werden, anschliessend werden sie basolateral über weitere Transporter in den extrazellulären Raum transportiert.

*Original:* Ganapathy & Leibach (1985, S. G155)

*Kopien:* Bai & Amidon (1992, S. 976), Yang, Dantzig & Pidgeon (1999, S. 1332), Meredith & Boyd (2000, S. 2000), Rubio-Aliaga & Daniel (2002, S. 436), Daniel & Rubio-Aliaga (2003, S. F886), Daniel (2004, Anhang S. C-1)

*Diskussion:* Aufgrund der Literaturrecherche zu den PEPT wurde die wissenschaftliche Qualität des Bildes als gut bewertet. Das Bild ist seit über 20 Jahren stabil. Die graphische Qualität der Kopien wurde für die Verwendung im Skript nur als genügend beurteilt: Die einzelnen Exemplare (Kopien) zeichnen sich durch eine variable und stark skizzenhafte graphische Darstellung aus. Die Richtung des Substratflusses verläuft je nach Kopie von oben nach unten, von links nach rechts oder von rechts nach links.

*Verwendung:* Für das Vorlesungsskript wurde der wissenschaftliche Inhalt des kanonischen Bildes kopiert. Die graphische Qualität wurde durch die Verwendung der standardisierten Elemente und durch die Ausrichtung des Substratflusses von oben nach unten und von links nach rechts erhöht (Leserichtung, *Abbildung 52*).

*Referenzen:*

Bai J.P.F. & Amidon G.L. Structural specificity of mucosal-cell transport and metabolism of peptide drugs: implications for oral peptide delivery. *Pharmaceutical Research*, **1992**, *9*, 969-978

Daniel H. & Rubio-Aliaga I. An update on renal peptide transporters. *American Journal of Physiology: Renal Physiology*, **2003**, *284*, F885-F892

Daniel H. Molecular and integrative physiology of intestinal peptide transport. *Annual Review of Physiology*, **2004**, *66*, 361-384

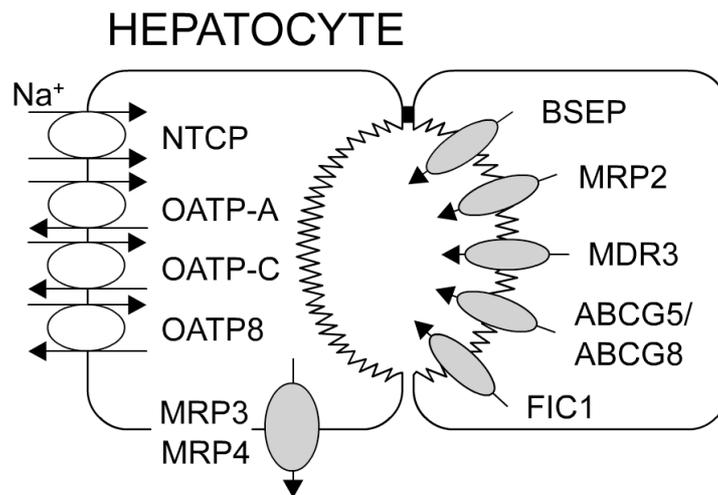
Ganapathy V. & Leibach F.H. Is intestinal peptide transport energized by a proton gradient? *American Journal of Physiology*, **1985**, *249*, G153-160

Meredith D. & Boyd C.A.R. Structure and function of eukaryotic peptide transporters. *Cellular and Molecular Life Sciences*, **2000**, *57*, 754-778

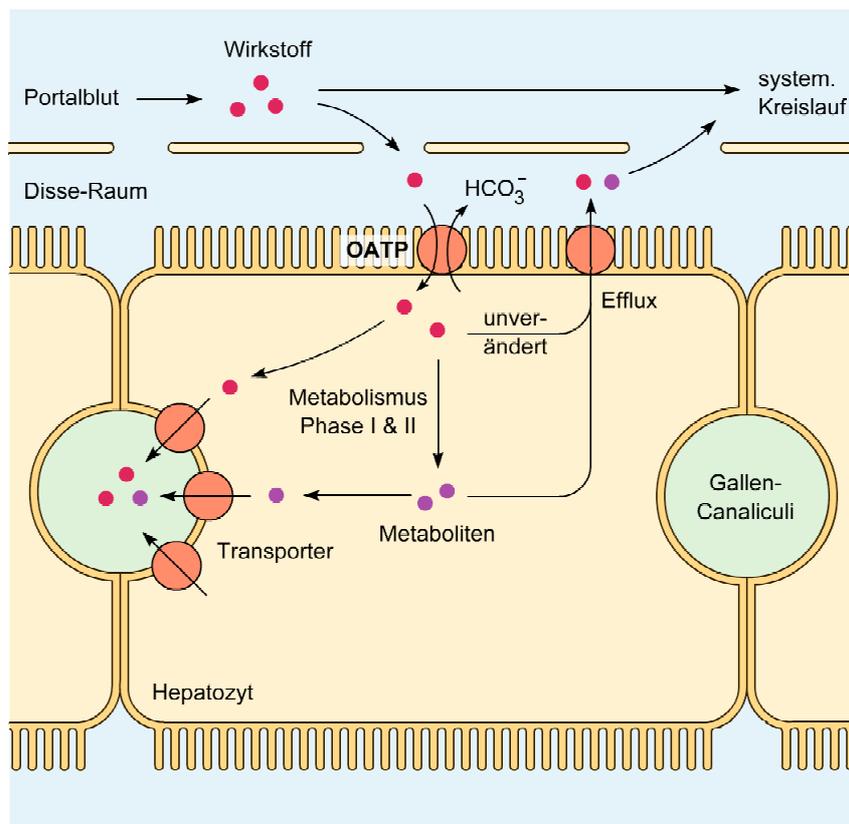
Rubio-Aliaga I. & Daniel H. Mammalian peptide transporters as targets for drug delivery. *Trends in Pharmacological Sciences*, **2002**, *23(9)*, 434-440

Yang C.Y., Dantzig A.H. & Pidgeon C. Intestinal peptide transport systems and oral drug availability. *Pharmaceutical Research*, **1999**, *16(9)*, 1331-1343

**Kanonisches Bild Transportprozesse am Hepatozyten (Kapitel OATP)**



**Abbildung 53.** Exemplar des kanonischen Bildes „Transportprozesse am Hepatozyten“. Es handelt sich um ein Beispiel aus der esoterischen Fachliteratur, welches sehr nahe beim Original liegt. Transformationen durch Popularisierung sind nicht erkennbar (Bild: Ausschnitt aus Kullak-Ublick, Stieger & Meier, 2004, S. 323, nachgezeichnet)



**Abbildung 54.** Neugestaltung des kanonischen Bildes „Transportprozesse am Hepatozyten“ für das Vorlesungsskript APTM. Das kanonische Bild wurde mit einer Einführung in die Leberhistologie ergänzt. Weitere Bilder desselben Typus wurden dargestellt (nicht gezeigt, Bild: Bild: A. Vögli).

*Beschreibung:* Das kanonische Bild zeigt in der Regel 1-3 stark abstrahierte Hepatozyten in der Form von Rechtecken. Die Rechtecke unterschieden sich in der Form. Häufig sind die Ecken abgerundet. Eingezeichnet sind zudem die Gallencanaliculi mit elliptischer bis runder Form und unterschiedliche Transporter an der sinusoidalen und an der canaliculären Membran.

*Original:* Das Original wurde nicht gefunden. Die beschriebenen Vertreter stammen aus der esoterischen Fachliteratur und sind vermutlich nahe beim Original (*Abbildung 53*).

*Kopien:* Keppler & Arias (1997, S. 17), Müller & Jansen (1997, S. G1288), Ferenci, Zollner & Trauner (2002, S.106), Kushuara & Sugiyama (2002, S. 44), Chandra & Brouwer (2004, S. 721), Hagenbuch & Meier (2004, S. 660), Kullak-Ublick, Stieger & Meier (2004, S. 323)

*Diskussion:* Durch die starke Abstraktion und schematische Darstellung der Leberzelle als Rechtecke wird vom Leser ein hohes Vorwissen über die Leberhistologie und –physiologie vorausgesetzt. Ohne dieses Vorwissen vermittelt das kanonische Bild – welches häufig die einzige Abbildung in den Artikeln ist – eine stark reduzierte Sicht der Leber.

*Verwendung:* Das Kapitel OATP wurde um ein Unterkapitel zur Leberanatomie und –histologie ergänzt (vgl. oben). Das Unterkapitel und die Bilder sind so aufgebaut, dass ausgehend vom Organ immer kleinere Substrukturen (Leberläppchen, Leberzellbalken) bis zu den Hepatozyten besprochen und gezeigt werden. Erst nach der Diskussion der Zytologie der Hepatozyten wird die abstrahierte Form der Hepatozyten gezeigt (*Abbildung 53*).

*Referenzen:*

Chandra P. & Brouwer L.R. The complexities of hepatic drug transport: current knowledge and emerging concepts. *Pharmaceutical Research*, **2004**, 21(5), 719-735

Ferenci P., Zollner G. & Trauner M. Hepatic transport systems. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, **2002**, 17 (Supp.), S105-S112

Hagenbuch B. & Meier P.J. Organic transporting polypeptides of the OATP/SLC21 family: phylogenetic classification as OATP/SLCO superfamily, new nomenclature and molecular/functional properties. *European Journal of Physiology*, **2004**, 447, 653-665

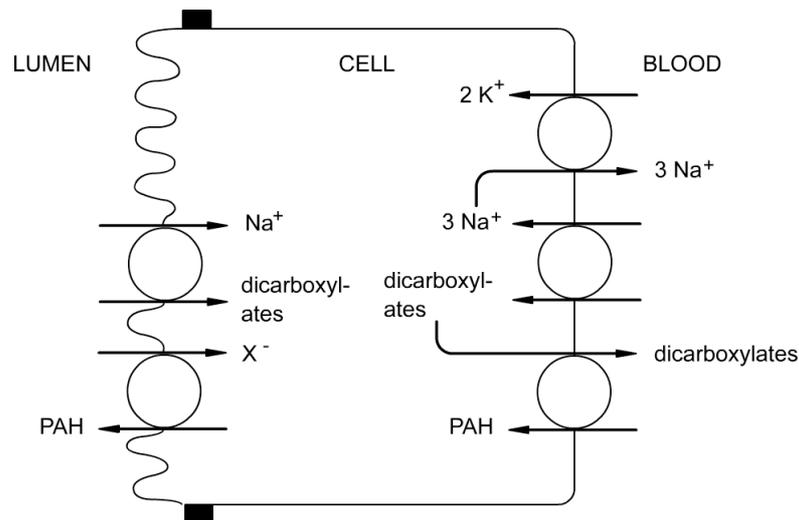
Keppler D. & Arias I.M. Introduction: transport across the hepatocyte canalicular membrane. *The FASEB Journal*, **1997**, 11, 15-18

Kullak-Ublick G.A., Stieger B. & Meier P.J. Enterohepatic bile salt transporters in normal physiology and liver disease. *Gastroenterology*, **2004**, 126, 322-342

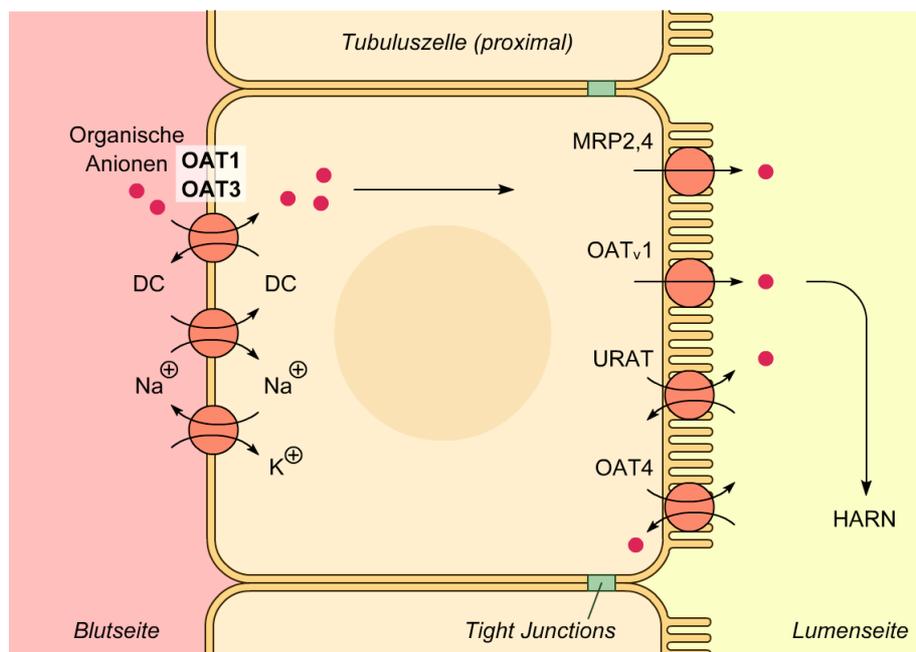
Kusuhara H. & Sugiyama Y. Role of transporters in the tissue-selective distribution and elimination of drugs: transporters in the liver, small intestine, brain and kidney. *Journal of Controlled Release*, **2002**, 78, 43-54

Müller M. & Jansen P.L.M. Molecular aspects of hepatobiliary transport. *American Journal of Physiology*, **1997**, 272, G1285-G1303

### Kanonisches Bild Organischer Anionen Transporter OAT1 (Kapitel OAT)



**Abbildung 55.** Kanonisches Bild „Organischer Anionentransporter OAT1“. Die Abbildung zeigt das Original aus Shimada, Moewes & Burckhardt (1987, nachgezeichnet).



**Abbildung 56.** Neugestaltung des kanonischen Bildes „Organischer Anionen Transporter OAT1“ für das Vorlesungsskript APTM. Das Bild wurde ausgehend von den Bildern in der Fachliteratur angefertigt. Es wurde graphisch an die Konventionen des Vorlesungsskripts

angepasst und der Substratfluss wurde von links nach rechts und von oben nach unten orientiert (Bild: A. Vögtli).

*Beschreibung:* Das kanonische Bild zeigt die Sekretion organischer Anionen an einer proximalen Tubuluszelle der Niere. In einem ersten Schritt werden die organischen Anionen an der basolateralen Membran der Zelle über den tertiär aktiven Transporter OAT1 in die Zelle aufgenommen. In einem zweiten Schritt werden sie über weitere Transporter in das Lumen des proximalen Tubulus in den Harn ausgeschieden.

*Original:* Pritchard (1987, S. 302); Shimada, Moewes & Burckhardt (1987, S. F800), *Abbildung 55*

*Kopien:* (Auswahl) Pritchard & Miller (1993, S. 769), Burckhardt, Inui, Masuda & Saito (2000, S. 945), Bahn & Wolff (2001, S. 114), Burckhardt & Burckhardt (2003, S. 110), Dantzer & Wright (2003, S. 186), Miyazaki, Sekine & Endou (2004, S. 658), Enomoto & Endou (2005, S. 196 und S. 198)

*Diskussion:* Die wissenschaftliche Qualität des kanonischen Bildes wurde als gut bewertet. Der Inhalt des Bildes ist seit 1987 konstant, obwohl das Modell der Sekretion in einigen Punkten konkretisiert wurde (z.B. beteiligte Transporter). Analog zum kanonischen Bild „Peptid-Transporter PEPT1“ wird auch hier die Orientierung des Substratflusses in einigen Exemplaren von rechts nach links eingezeichnet.

*Schlussfolgerungen und Verwendung:* Aufgrund der guten wissenschaftlichen Qualität wurde das kanonische Bild für das Vorlesungsskript kopiert und graphisch gemäss den Konventionen angepasst. Die neusten Erkenntnisse wurden eingezeichnet. Der Substratfluss wurde von links nach rechts und von oben nach unten orientiert (*Abbildung 56*).

*Referenzen:*

Burckhardt G., Bahn A. & Wolff N.A. Molecular physiology of renal *p*-aminohippurate secretion. *News in Physiological Sciences*, **2001**, *16*, 114-118

Burckhardt B.C. & Burckhardt G. Transport of organic anions across the basolateral membrane of proximal tubule cells. *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, **2003**, *146*, 95-158

Dantzer W.H. & Wright S.H. The molecular and cellular physiology of basolateral organic anion transport in mammalian renal tubules. *Biochimica et Biophysica Acta*, **2003**, *1618*, 185-193

Enomoto A. & Endou H. Roles of organic anion transporters (OATs) and a urate transporter (URAT1) in the pathophysiology of human disease. *Clinical and Experimental Nephrology*, **2005**, *9*, 195-205

Inui K-I., Masuda S. & Saito H. Cellular and molecular aspects of drug transport in the kidney. *Kidney International*, **2000**, *58*, 944-958

Miyazaki H., Sekine T. & Endou H. The multispecific organic anion transporter family: properties and pharmacological significance. *Trends in Pharmacological Sciences*, **2004**, 25(12), 654-662

Pritchard J.B. Luminal and peritubular steps in renal transport of p-aminohippurate. *Biochimica et Biophysica Acta*, **1987**, 906, 295-308

Pritchard J.B. & Miller D.S. Mechanisms mediating renal secretion of organic anions and cations. *Physiological Reviews*, **1993**, 73(4), 765-796

Shimada H., Moewes B. & Burckhardt G. Indirect coupling of Na of p-aminohippuric acid uptake into rat renal basolateral membrane vesicles. *American Journal of Physiology*, **1987**, 253, F795-F801

## Methoden M8: Paradigmen

### Fallbeispiel: P-Glykoprotein als „schützende Barriere“ gegen Xenobiotika

Populär und vereinfacht lässt sich das Paradigma für P-Glykoprotein (P-gp) in den Pharmazeutischen Wissenschaften etwa wie folgt beschreiben: „P-Glykoprotein (P-gp) gehört zur ATP-Binding Cassette Superfamilie. Es ist eine Efflux-Pumpe, welche physiologisch im Darmepithel, an der Leber, an der Niere und an der Blut-Hirn-Schranke lokalisiert ist. An diesen Organen dient es an der Zellmembran als Verteidigungsmechanismus gegen fremde, unerwünschte Substanzen (sogenannte *Xenobiotika*). P-gp sorgt als schützende Transportbarriere dafür, dass diese Substanzen nicht in ein Organ eindringen können (z.B. in das Gehirn) oder dass sie wieder aus dem Organismus ausgeschieden werden (z.B. an der Niere). P-gp spielt eine wichtige Rolle für die Pharmakokinetik pharmazeutischer Wirkstoffe. Im Darm reduziert es die Bioverfügbarkeit oral verabreichter Substanzen. An der Blut-Hirn-Schranke hemmt es die Verteilung von Substanzen ins Gehirn“. Eine solche Beschreibung findet sich etwa bei Wikipedia (englische Version, März 2006).

Das Kapitel „Efflux – P-Glykoprotein“ wurde inhaltlich so strukturiert, dass die Entstehung und Entwicklung dieses Paradigma aufgezeigt werden konnte. Der Ausgangspunkt bildete dabei die Isolierung des Proteins aus Colchicin-resistenten Zellen im Jahr 1976 und die Klonierung zehn Jahre später im Jahr 1986. Es wurde aufgezeigt, dass zu Beginn der Erforschung P-gp in der Pharmakokinetik noch keine Rolle spielte. Im Zentrum des Interesse stand die Entdeckung, dass P-gp ein Faktor bei der Entstehung der *Multidrug-Resistance* war, also der Kreuzresistenz von Tumoren gegenüber Zytostatika. Erst die Entdeckung von Thiebaut *et al.* im Jahr 1987, dass P-gp auch auf physiologischen Geweben lokalisiert war (u.a. Leber, Darm, Niere), war ein erster Schritt zu Hypothese, dass P-gp in der Disposition pharmazeutischer Wirkstoffe eine Rolle spielen könnte. Thiebaut *et al.* hatten gezeigt, dass P-gp an den Geweben an der apikalen Membran lokalisiert ist, welche an ein exkretorisches Gewebe grenzt. Thiebaut *et al.* (1987, S. 7737):

„Most of the sites in tissues containing detectable amounts of P-glycoprotein are on the apical membranes of cells facing an excretory compartment. This localization suggests that the protein has a role as a pump for physiological metabolites and chemotherapeutic drugs. (...)

One surprising finding of this study is the clear localization of P-glycoprotein to the apical surface of the columnar cells of the lower gastrointestinal tract. Since these cells represent a large fraction of the total P-glycoprotein-containing cells in the body, it seems likely that direct excretion of drugs into the lumen of the gastrointestinal tract may represent a major route of detoxification.“

Hier werden mögliche physiologische Funktionen von P-gp diskutiert. Die Chemotherapeutika und die *Multidrug Resistance* stehen jedoch weiter im Vordergrund. Cordon-Cardo *et al.* fanden P-gp auch an den Epithelzellen der Gehirngefäße, was eine Rolle in der Verteilung von Wirkstoffen in das Gehirn vermuten liess (Cordon-Cardo *et al.*, 1989). In den 90er Jahren wurde die Bedeutung

dieser physiologischen Lokalisationen deutlich, so dass Benet *et al.* 1996 von einem eigentlichen Paradigmenwechsel sprachen. Gemeint war damit, dass P-gp neu als Faktor in der Pharmakokinetik pharmazeutischer Wirkstoffe berücksichtigt werden musste. Wichtige Hinweise dafür lieferten die Versuche mit Knock-out Mäusen der Gruppe von Alfred Schinkel (siehe z.B. Schinkel, 1994; Review: Schinkel, 1999). Schliesslich wurde in den Vorlesungsunterlagen die Bedeutung von P-gp in der Pharmakokinetik im Darm und im Gehirn an Beispielen aufgezeigt.

## Referenzen

Benet L.Z., Wu C-Y., Hebert M.F. & Wachter V.J. Intestinal drug metabolism and antiport processes: a potential paradigm shift in oral drug delivery. *Journal of Controlled Release*, **1996**, 39,139-143

Cordon-Cardo C., O'Brien J.P., Casals D., Rittman-Grauer L., Biedler J.L., Melamed M.R., & Bertino J.R. Multidrug-resistance gene (P-glycoprotein) is expressed by endothelial cells at blood-brain barrier sites. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **1989**, 86(2), 695-698

Schinkel A., Smit J., van Tellingen O., Beijnen J., Wagenaar E., van Deemter L., Mol C., van der Valk M., Robanus-Maandag E., Te Riele H., Berns A. & Borst P. Disruption of the mouse *mdr1a* P-glycoprotein gene leads to a deficiency in the blood-brain barrier and to increased sensitivity to drugs. *Cell*, **1994**, 77(4), 491-502

Schinkel A. P-glycoprotein, a gatekeeper in the blood-brain barrier. *Advanced Drug Delivery Reviews*, **1999**, 36, 179-194

Thiebaut F., Tsuruo T., Hamada H., Gottesman M.M., Pastan I. & Willingham M.C. Cellular localization of the multidrug-resistance gene product P-glycoprotein in normal human tissues. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **1987**, 84(21), 7735-7738

### **Methode M9: Zeichnen**

Mit der Ausnahme von 5 Bildern wurden alle 218 Bildelemente neu entworfen und gezeichnet (s. oben)

### **Methode M10: Konsistentes Zeichensystem**

Die Verwendung eines einheitlichen Zeichen- und Farbsystems wurde bereits aufgezeigt (s. oben).

### **Methode M11: Urheberrecht**

Das Bundesgesetz über das Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (Urheberrechtsgesetz, URG, 1992, Artikel 19) hält fest, dass veröffentlichte Werke zum Eigengebrauch verwendet werden dürfen. Als Eigengebrauch gilt unter anderem „jede Werkverwendung der Lehrperson für den Unterricht in der Klasse“. Prinzipiell dürfen Text- und Bildmaterialien aller wissenschaftlichen Veröffentlichungen in der Lehre verwendet werden.

Dieses Recht zur freien Verwendung besteht jedoch nicht mehr, wenn ein Text veröffentlicht wird. Im Hinblick auf eine mögliche Publikation der Vorlesungsunterlagen wurden vom Autor alle Bilder (bis auf 5 Ausnahmen, siehe oben) neu gezeichnet und alle Texte geschrieben.

## 3.2 E-Learning

### 3.2.1 Selbstevaluationen

In der virtuellen Lernumgebung von *pharmasquare* wurde zu jedem Kapitel der Vorlesung APTM eine elektronische Selbstevaluation angeboten. Die Selbstevaluationen umfassten zwischen 4 und 9 Fragen und dienten zur kurzen Repetition nach dem Besuch der Vorlesung.

### 3.2.2 Standortbestimmung

Im Testsystem *PharmAskYou* wurde mit dem Formular-basierten *pharmasquare*-Editor die Standortbestimmung zur Vorlesung APTM erstellt (Stob APTM). Die Standortbestimmung umfasste 17 Fragen. Zu jedem Kapitel der Vorlesung wurden 1-2 Fragen gestellt. Der Fragetyp war vorwiegend Multiple Choice (13 von 17 Fragen, 76.5%). Bei 3 Fragen (17.6%) mussten die Studierenden die Antworten selbst eingeben (Texteingabe), eine Frage war eine Textzuordnung (5.9%). Jede Frage wurde mit maximal einem Punkt bewertet. In *Abbildung 32* ist ein Screenshot der Standortbestimmung dargestellt.

Die Studierenden konnten die Standortbestimmung vom 7.2.2007 bis am 12.2.2007 selbständig zuhause oder in den Computerräumen der Universität bearbeiten. Am 14.2.2007 wurde die ausgedruckten Auswertungen mit den Feedbacks den Studierenden verteilt.

An der Standortbestimmung nahmen 49 Studierende teil. Der Test wurde gut gelöst. 14 Studierende erreichten zwischen 90-99% der Gesamtpunktzahl (17 Punkte). 24 Studierende erreichten zwischen 80-89%, 5 Studierende zwischen 70 und 79%, 5 Studierende zwischen 60-69%. Das schlechteste Ergebnis lag bei 58%. Das beste Ergebnis bei 99%.

### 3.2.3 Wirkstoff-Monographien

Im Rahmen der Vorlesung ATPM wurden von den teilnehmenden Studierenden 48 Monographien für die Wirkstoff-Sammlung von *pharmasquare* in den *PharmaTools* erstellt (*Tabelle 22*).

**Tabelle 22.** Wirkstoff-Monographien. Im Rahmen der Vorlesung APTM wurden von den Studierenden die folgenden 48 Wirkstoff-Monographien erarbeitet (1 Monographie pro Studentin / Student).

Acetylsalicylsäure	Coffein	Levodopa	Omeprazol
Aciclovir	Dextrometorphan	Loperamid	Oseltamivir
Alendronat	Diclofenac	Loratadin	Paracetamol
Amoxicillin	Diltiazem	Lorazepam	Phenprocoumon
Atenolol	Domperidon	Lorsartan	Prednisolon
Benzylpenicillin	Enalapril	Mefenaminsäure	Propranolol
Celecoxib	Fexofenadin	Mefloquin	Ranitidin
Cetirizin	Fluconazol	Metformin	Rifampicin
Chloroquin	Fluoxetin	Methadon	Sumatriptan
Cinnarizin	Furosemid	Methotrexat	Terbinafin
Ciprofloxacin	Glibenclamid	Morphin	Trimipramin
Codein	Isotretinoin	Norfloxacin	Verapamil

### 3.3 Durchführung der Vorlesung

Die Vorlesung wurde in der zweiten Hälfte des Wintersemester 2006/2007 im Raum 103 am Biozentrum der Universität Basel vorgetragen. Sie fand wöchentlich jeweils Mittwochs von 10:15 Uhr bis 12:00 statt. Die erste Vorlesung fand am 13.12.2007 statt, die letzte am 14.2.2007. Die Reihenfolge der Themen ist in *Tabelle 13* dargestellt. Die Vorlesung „Ionenkanäle“ (total 4 Stunden) wurde aus organisatorischen Gründen bereits am 7. und am 14. November 2006 durchgeführt.

Zur Präsentation des Vorlesungsskripts wurde pro Kapitel eine PowerPoint Präsentation gestaltet, welche die wichtigsten Textelemente und alle Bildelemente in der Abfolge des Vorlesungsskripts enthielt.

## 3.4 Evaluation

### 3.4.1 Einleitung

Die Evaluation wurde mittels eines Fragebogens in der letzten Viertelstunde nach der letzten Vorlesung von A. Vögli durchgeführt. Der Fragebogen und die detaillierte Auswertung sind in Anhang A einzusehen. Die Vorlesung wurde von den teilnehmenden Studierenden der Pharmazie evaluiert.

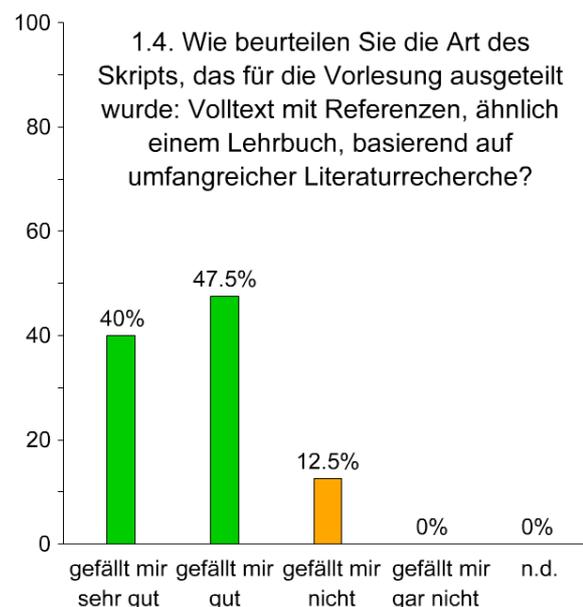
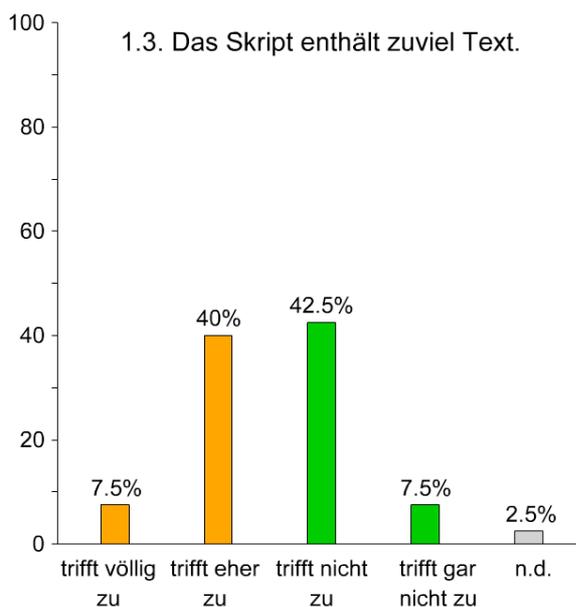
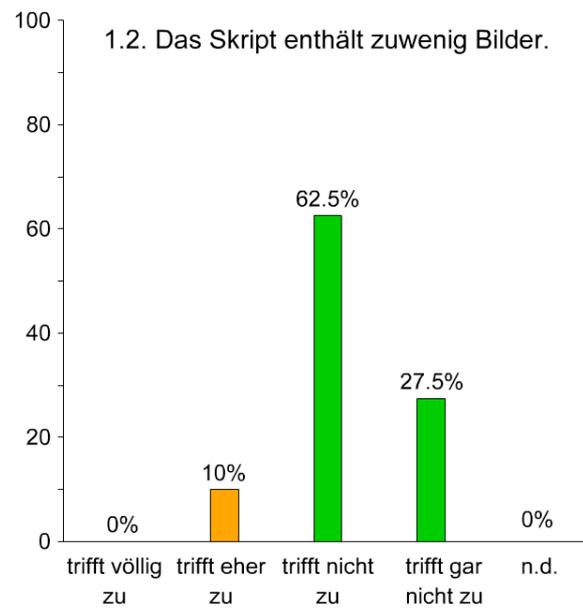
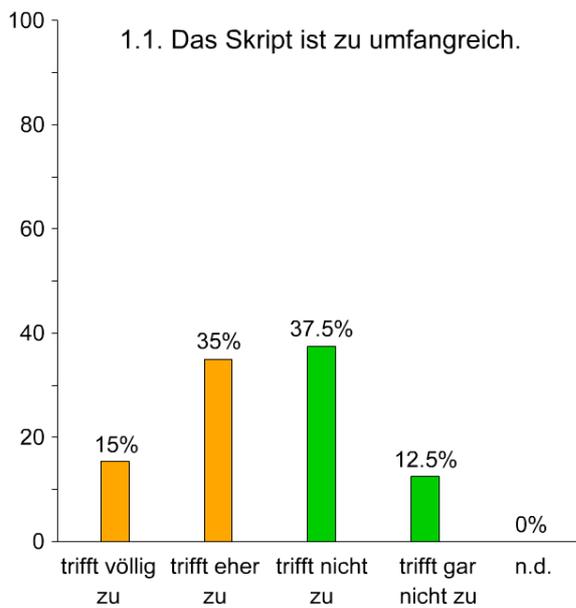
Der Fragebogen wurde in vier Abschnitte gegliedert:

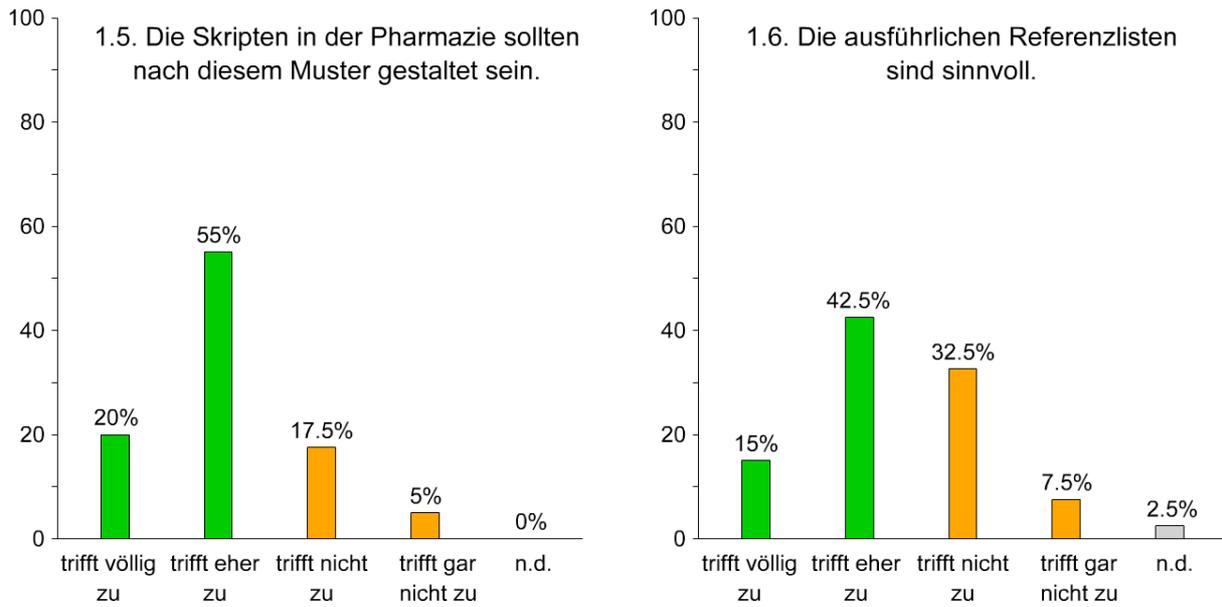
1. Skript
2. Bilder
3. Präsentation
4. Thema
5. Allgemeine Bemerkungen und Gesamtnote

Es wurden drei Typen von Fragen gestellt: (1) Multiple Choice Fragen, (2) Beurteilung von Aussagen durch Multiple Choice Fragen und (3) Offene Fragen.

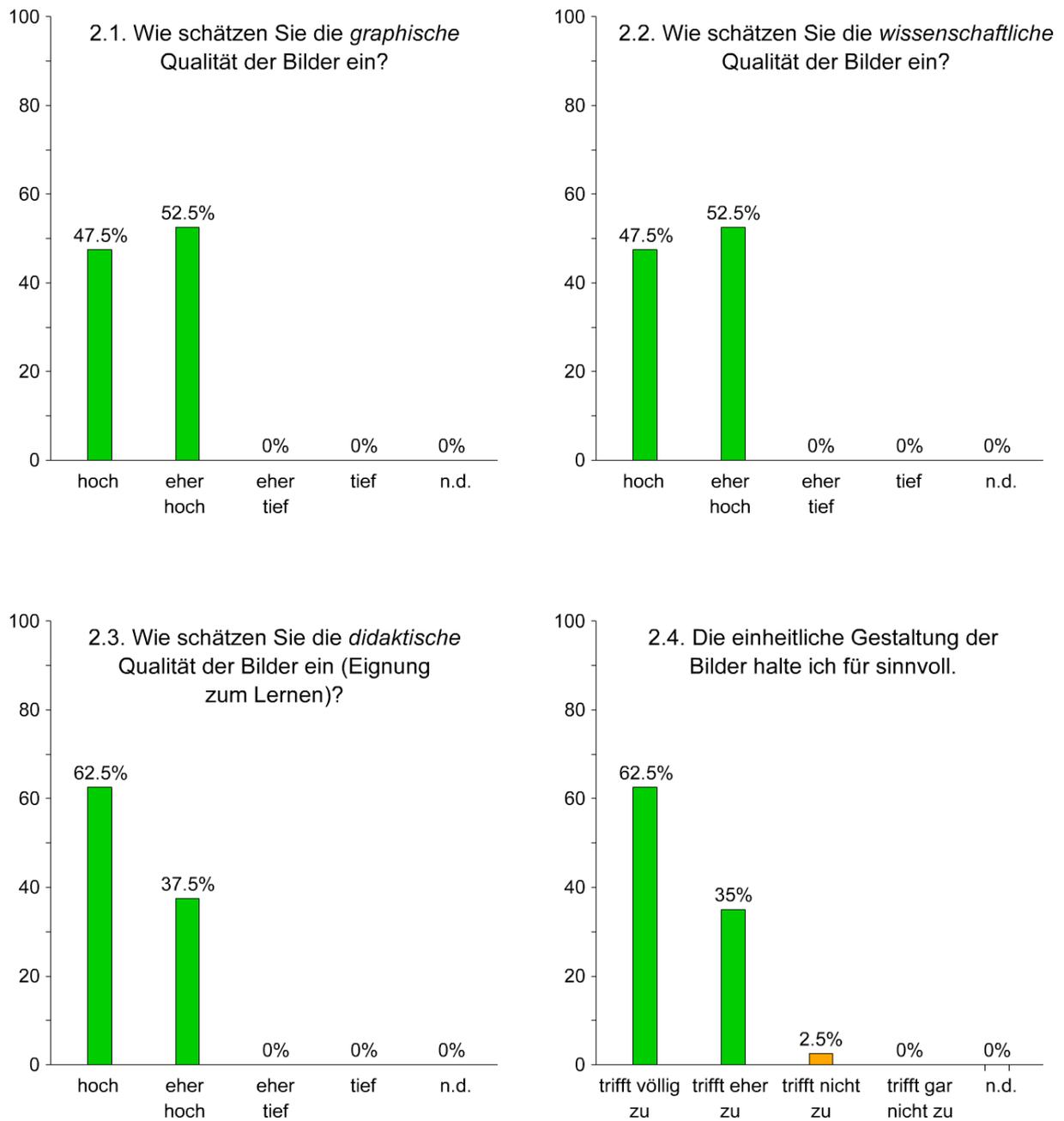
### 3.4.2 Resultate

Die Evaluation wurde am 8. Februar 2007 durchgeführt. Es nahmen 40 Studierende der Pharmazie im 4. Jahreskurs teil. In *Abbildung 57* bis *Abbildung 61* sind die numerischen Resultate der Evaluation dargestellt. Grün markiert sind positive, orange markiert sind negative Antworten im Sinn des Autors. Die Summe aller prozentualen Antworten ergibt pro Frage 100% (= 40 Studierende). Leere oder ungültig beantwortete Antworten sind unter n.d. (nicht definiert) zusammengefasst. Die vollständigen Resultate inkl. der Kommentare zu den Fragen und die Antworten zu offenen Fragen finden sich im Anhang A.

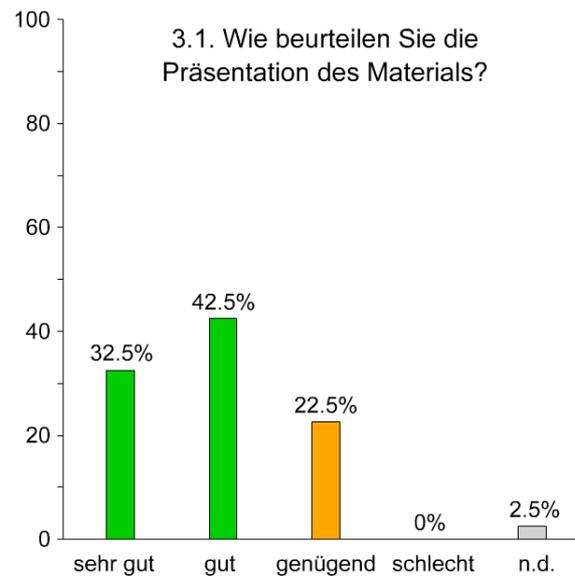




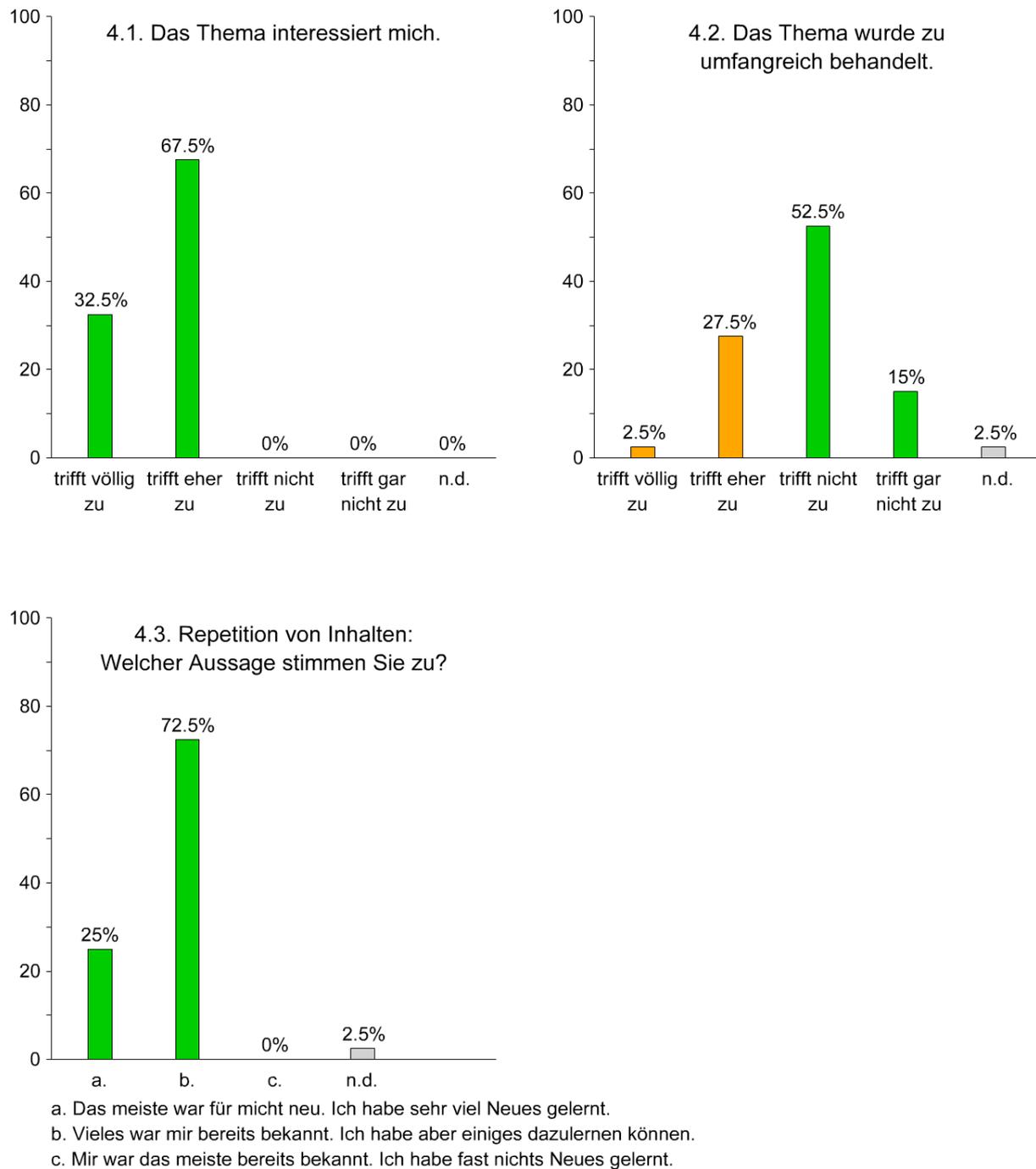
**Abbildung 57.** Resultate der Evaluation zur Vorlesung APTM, Abschnitt 1. Evaluation des Vorlesungsskripts.



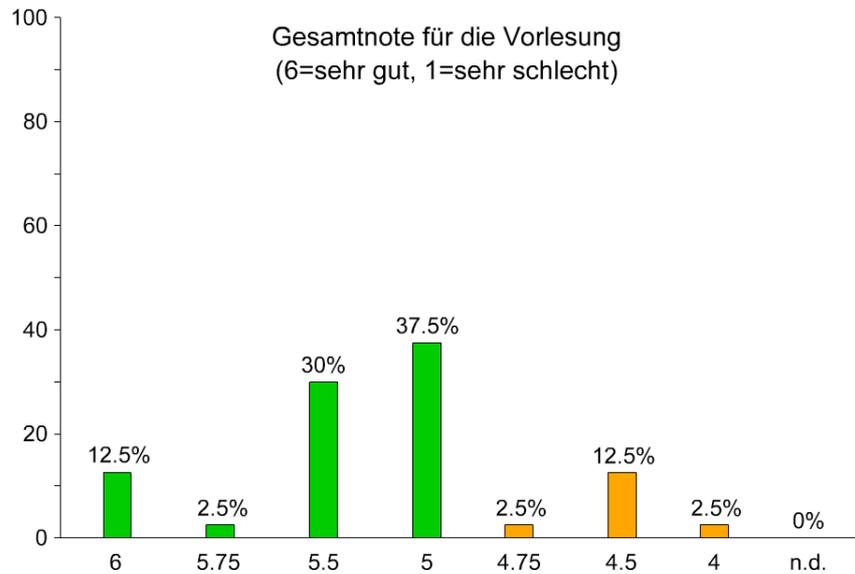
**Abbildung 58.** Resultate der Evaluation zur Vorlesung APTM, Abschnitt 2. Evaluation der Bilder im Vorlesungsskript.



**Abbildung 59.** Resultate der Evaluation zur Vorlesung APTM, Abschnitt 3. Evaluation der Präsentation.



**Abbildung 60.** Resultate der Evaluation zur Vorlesung APTM, Abschnitt 4. Evaluation des Themas und Inhalts der Vorlesung.



**Abbildung 61.** Resultate der Evaluation zur Vorlesung APTM, Abschnitt 5, Allgemeine Bemerkungen, Gesamtnote.

### Auswertung der offenen Fragen

Aus die offene Frage „Besonders gut gefallen hat mir:“ (Abschnitt 5, Allgemeine Bemerkungen) antworteten 25 Studierende. Die Antworten sind in Anhang A dargestellt. Am häufigsten wurde das Skript genannt (n=20, 80%). Geschätzt wurde zudem:

- die Aktualität der Information
- das Bildmaterial und dessen einheitlicher Stil
- die Sprache und die wissenschaftliche Darlegung
- die Leistungsüberprüfung mittels Standortbestimmung
- die Bearbeitung der Wirkstoffmonographie
- der Einbezug von Wirkstoffen
- die Präsentation des Materials

Auf die offene Frage „Nicht gefallen hat mir:“ (Abschnitt 5, Allgemeine Bemerkungen) antworteten 11 Studierende. Am häufigsten wurde hier die Präsentation des Materials in der Vorlesung (n=7, 63.6%) und das Skript (n=6, 54.5%) genannt. Kritisiert wurden zudem:

- die Repetition von Vorlesungsinhalten
- das langsame Tempo während der Vorlesung

## 4 Diskussion

Aus der in Teil I aufgestellten Theorie zu den wissenschaftlichen Bildern wurden 11 Methoden abgeleitet. Diese wurden bei der Erstellung der Vorlesungsunterlagen zur Wahlvorlesung „Aktiver und passiver Transport durch Membranen“ angewendet. Die zentralen Fragen der Diskussion dieser Arbeit lauten (1) Konnte die Qualität der Vorlesungsunterlagen zur Vorlesung APTM durch die Methoden gesteigert werden? und (2) Handelt es sich bei der Anwendung dieser Methoden generell um einen geeigneten Ansatz zur Erstellung von Vorlesungsunterlagen in den Naturwissenschaften? Bei der Diskussion werden die Vor- und Nachteile der Methoden basierend auf den Resultate ihrer Anwendung und auf der durchgeführten Evaluation besprochen.

*M1: Formale Aspekte.* Während der Vorlesung wurden Aspekte der Theorie zu den wissenschaftlichen Bildern an einzelnen Beispielen aufgezeigt. Aufgrund der knappen Zeitverhältnisse war es jedoch nicht möglich, das Thema der wissenschaftlichen Bilder systematisch zu besprechen. Es scheint aber zentral, dass im naturwissenschaftlichen Studium neben dem wissenschaftlichen Inhalt eine Auseinandersetzung mit formalen Aspekten und der Entstehung und Entwicklung wissenschaftlicher Tatsachen stattfinden sollte. Die Reflexion über die wissenschaftlichen Bilder ist dabei in einem grösseren Kontext als Bestandteil einer Auseinandersetzung mit der Wissenschaftstheorie zu sehen. Eine solche Veranstaltung muss jedoch in einer getrennten Vorlesung stattfinden und kann nicht in eine bestehende Vorlesung integriert werden.

*M2: Metaphern.* Die diskutierten Strukturen und Prozesse beim Thema „Aktiver und passiver Transport durch Membranen“ sind unsichtbar und schwer vorstellbar. Sprachliche Bilder waren hier deshalb von besonderer Bedeutung. Die bewusste Wahrnehmung und Anwendung der sprachlichen Bilder bei der Literaturrecherche und beim Verfassen des Vorlesungsskripts führte zu relevanten Resultaten. Die Methode ermöglichte das Verständnis der Funktionen der sprachlichen Bilder, wissenschaftlicher Methoden und Verfahren bei der Erforschung der Transportproteine. Dabei konnte die Entstehung und Kanonisierung von Fachbegriffen und Beschreibungen nachvollzogen werden, was eine differenzierte Verwendung ermöglichte.

Zweitens konnten mit der Methode populärwissenschaftliche Texte an ihren Metaphern erkannt und ihre wissenschaftliche Qualität beurteilt werden. Durch die bewusste Anwendung konnten Metaphern für vereinfachte, anschauliche Erklärungen verwendet werden, während gleichzeitig ungeeignete Metaphern vermieden wurden.

*M3: Quellen.* Die Methode, beim Schreiben eines naturwissenschaftlichen Textes vorwiegend Artikel aus Fachzeitschriften, *Reviews* und Handbücher zu verwenden, mag oberflächlich betrachtet selbstverständlich erscheinen. Beim Erstellen von Vorlesungsunterlagen an den Universitäten wird jedoch sehr gerne auf Lehrbücher, populärwissenschaftliche Quellen und das Internet zurückgegriffen (vgl. Teil I). Dies gilt insbesondere auch für die Verwendung von Bildern, die in der Regel nicht selbst

erstellt, sondern kopiert werden. Aufgrund der Transformationen, denen wissenschaftliche Texte und Bilder bei der Popularisierung und beim Kopieren unterliegen, ist es – wie in Teil I ausführlich dargelegt – zentral, Informationen direkt von der Quelle zu beziehen.

Das behandelte Gebiet ist zudem Gegenstand reger Forschungsaktivität. Das bedeutet, dass viele Informationen nur in der Fachliteratur zugänglich sind.

*M4: Referenzierung.* Neben der Verwendung von Quellen guter wissenschaftlicher Qualität ist es wichtig, diese Quellen auch zu referenzieren. Im Vorlesungsskript wurde die verwendete Literatur in ausführlichen Listen angegeben und aus dem Text auf diese Literaturlisten verwiesen.

Die Angabe der Quellen wurde aus mehreren Gründen als wichtig erachtet. Sie fördert erstens die Transparenz, da sie den Studierenden grundsätzlich ermöglicht, die Qualität der Vorlesungsunterlagen basierend auf den Quellen zu überprüfen. Dieses Vorgehen erforderte, dass alle verwendeten Quellen vollständig angegeben wurden. Die Referenzierung erlaubt den Studierenden, in der Literatur Unklares nachzuschlagen und fördert so die Auseinandersetzung mit der Primärliteratur.

Zweitens ermöglicht die Methode dem Autor, die Entstehung eines Textes nachträglich nachzuvollziehen, seine Qualität zu beurteilen, Informationen schnell wieder zu finden und den Text anzupassen. Dies ist angesichts der raschen Entwicklung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und der daraus resultierenden Notwendigkeit der Überarbeitung von grosser Bedeutung.

Drittens fördert die Referenzierung das Verständnis der Studierenden für die Entstehung von Vorlesungsskripten. Es wird ersichtlich, dass es sich nicht um absolute Wahrheiten handelt, sondern um individuelle Konstruktionen.

In der Evaluation wurden die umfangreichen Referenzlisten allerdings von 40% der Studierenden abgelehnt. Kommentiert wurde die Ablehnung mit den Aussagen „Brauche ich eigentlich nicht, jedenfalls momentan noch nicht. Evt. später hilfreich, wenn man etwas ganz genau wissen will“ und „Die Studierenden verlassen sich darauf, dass die Dozierenden auf dem neusten Stand der Wissenschaft sind“. Diese Ablehnung stützt die Vermutung, dass die Mehrheit der Studierenden nicht aktiv mit wissenschaftlicher Primärliteratur arbeitet und sich bei der Bearbeitung der Vorlesungsinhalte und Prüfungsvorbereitung vor allem auf Vorlesungsskripten und Lehrbücher abstützt. Dies wurde auch bei der Bearbeitung der Wirkstoff-Monographien beobachtet. Entsprechend kann gefolgert werden, dass die Auseinandersetzung der Studierenden mit der Primärliteratur gefördert werden sollte. Solange diese Auseinandersetzung fehlt, muss die Qualität der Vorlesungsunterlagen so hoch wie möglich und so nahe wie möglich an der Primärliteratur sein.

*M5: Hypothesen und Modelle.* Im Rahmen der Popularisierung wissenschaftlicher Tatsachen wird – vor allem auch in der Lehre – unsicheres, hypothetisches und modellhaftes als apodiktische Fakten präsentiert. Generell wurde deshalb auf der Ebene des Textes und der Bilder mit der einschränkenden Form der esoterischen Wissenschaft gearbeitet.

*M6: Volltext.* Das Vorlesungsskript wurde als fortlaufender Text ähnlich einem Lehrbuch gestaltet. Das Skript gefiel den Studierenden gut (47.5%) bis sehr gut (40%; Frage 1.4.). Es wurde auch bei der offenen Frage, was den Studierenden am besten gefallen habe, am meisten genannt (20 von 25 Antworten). Die Kommentare der Studierenden zum Skript zeigen, dass das Problem der Dekontextualisierung in PowerPoint Handouts gelöst werden konnte. Diese Handouts bestehen in der Regel aus isolierten Bildern und wenigen Stichworten. In mehreren Antworten wurde das Vorlesungsskript mit diesen Handouts verglichen und u.a. als „selbsterklärend“ bezeichnet. „Ein Skript ist erst dann gut, wenn es ausführlich ist und man beim Durchlesen versteht, um was es geht und das Wichtigste vor sich hat“.

Der Aussage „Die Skripten in der Pharmazie sollten nach diesem Muster gestaltet sein“ (Frage 1.5.) wurde von einer Mehrheit völlig (20%) oder eher (55%) zugestimmt. Eine Minderheit von 20% lehnte die Aussage ab. Diese Antworten zeigen, dass das Vorlesungsskript als eine Verbesserung wahrgenommen wird. Es handelt sich um einen geeigneten Ansatz, der mit Einschränkungen auf andere Fächer übertragen werden kann.

Einer Minderheit von 12.5% gefiel die Art des Skripts nicht. Als Gründe wurden unter anderem angegeben, dass die Zeit zur Bearbeitung zu lang sei. Dies ist auch vor dem Hintergrund zu sehen, dass der Umfang des Skripts von der Hälfte von der Studierenden als zu gross beurteilt wurde (50%, Frage 1.1). Zur Verbesserung für die nächste Veranstaltung sollte der Textanteil der Skripten gekürzt werden.

Mehrfach wurde das Problem genannt, dass sich die Studierenden während der Vorlesung nicht im Skript zurecht fanden und nicht wussten, wo sie ihre Notizen anbringen sollten. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass zur Präsentation des Materials eine abgekürzte PowerPoint Präsentation gehalten wurde, die nur die wichtigsten Stichworte, Bilder und Tabellen aus dem Skript enthielt. Die Projektion stimmte somit nicht exakt mit dem Skript überein, obwohl die Reihenfolge identisch war. Dies führte zu einer Teilung der Aufmerksamkeit zwischen den projizierten Folien und den Vorlesungsunterlagen. Es ist bekannt, dass eine solche Teilung zu einer Reduktion der Lernleistung führen kann (*Split-Attention Effect*, z.B. Chandler & Sweller, 1992). Das Problem sollte dadurch gelöst werden, dass die einzelnen Seiten des Skripts direkt auf die Leinwand projiziert werden, damit Präsentation und Skript vollständig übereinstimmen. Die wichtigsten Stichwörter könnten so vom Dozenten direkt im Skript markiert und ergänzende Notizen von den Studierenden eingefügt werden.

Ein zweiter Lösungsansatz wäre, das Skript nicht erst kurz vor der Präsentation zu verteilen, sondern das gesamte Skript bereits in der ersten Stunde der Veranstaltung abzugeben. Dieser Ansatz würde den Studierenden jedoch eine vorbereitende Überarbeitung des Materials ermöglichen und dabei helfen, dass sie sich während der Präsentation besser zurecht finden. Aufgrund der Überarbeitung während dem Semester war dies jedoch nicht möglich. Auch würde mit diesem Ansatz das Problem der getrennten Aufmerksamkeit nicht gelöst.

*M7: Kanonische Bilder.* Kanonische Bilder, Originale und Kopien konnten in der Literatur zu definierten Themengebieten der Vorlesung dokumentiert werden. Diese Beispiele stützen die allgemeinen Überlegungen in der Theorie zu den

wissenschaftlichen Bildern. Während in der Theorie in Teil I vorwiegend Bilder der Lehrbuch- und Populärwissenschaft charakterisiert wurden, wurden bei der Recherche zur Vorlesung APTM kanonische Bilder in der Fachliteratur untersucht.

An den untersuchten Fallbeispielen konnten die grundsätzlichen Eigenschaften und Probleme kanonischer Bilder auch in der esoterischen Wissenschaft dokumentiert werden:

- Identifikation von Originalen in der esoterischen Wissenschaft
- Entstehung der kanonischen Bilder durch den Prozess des Kopierens
- Kanonisches Bild als Typus, Ausprägung in definierten Exemplaren (Kopien)
- Transformationen beim Kopieren und Popularisierung
- Fixierung des Blicks, Einschränkung des Sehens
- Dekontextualisierung

Zwischen der Verwendung kanonischer Bilder in der esoterischen Wissenschaft und den äusseren Kreisen der Populärwissenschaft bestehen jedoch zwei wichtige Unterschiede. Erstens ist der Grad der Popularisierung geringer. Es werden zwar Transformationen an den Bildern durchgeführt, sie bleiben jedoch sehr nahe beim Original. *Zweitens wird im Rahmen der esoterischen Wissenschaft weiter am kanonischen Bild gearbeitet.* Das Bild repräsentiert ein Modell, welches laufend mit neuen Erkenntnissen ergänzt und revidiert wird. In der Populärwissenschaft wird hingegen ein Bild ausgewählt und dauerhaft stabilisiert.

Die Identifikation der kanonischen Bilder, ihrer Originale und der Kopien ist eine wichtige Methode zur Sicherung der wissenschaftlichen Qualität der Bilder.

*M8: Paradigmen.* Paradigmen sind vorherrschende Lehrmeinungen und Denkmuster, allgemein anerkannte Grundlagen (vgl. Kuhn, 1976). In der esoterischen Wissenschaft lassen sich Paradigmen an zwei Stellen einfach auffinden. Erstens in den Einleitungen zu Fachartikeln, wo allgemein akzeptierte Meinungen aufgezeigt werden und daran angeknüpft wird („It is well known that...“; vgl. Gross, Harmon & Reidy, 2002, S. 177). Zweitens finden sie sich in Übersichtsartikeln (*Reviews*).

Bei der Anwendung der Methode M8 standen zwei Aspekte im Vordergrund. (1) Vermittlung von Paradigmen in der Lehre und (2) Berücksichtigung der Paradigmen bei der Erstellung von Lernmaterialien.

(1) Bei der Vermittlung von Paradigmen besteht in der Lehre allgemein die Tendenz, sie als absolute Fakten, losgelöst von der Entstehung und Entwicklung und widersprechenden Meinungen zu präsentieren. Bei der Präsentation des Themas P-Glykoprotein in der Vorlesung APTM wurde deshalb die Entstehung des Paradigma „P-gp als schützende Barriere“ exemplarisch historisch nachvollzogen. Eine solche Behandlung des Themas gibt Einsichten in die wissenschaftliche Methodik; sie erlaubt aber auch die Beurteilung einer scheinbar wahren Tatsache aufgrund der vorliegenden Evidenz. Diese führt zu einer differenzierten Sicht eines wissenschaftlichen Sachverhalts.

(2) Eine solche differenzierte Sicht ist auch bei der Erstellung von Lernmaterialien erforderlich. Bei der Erstellung der Vorlesungsunterlagen wurde festgestellt, dass ein nicht überprüftes Paradigma ein Problem darstellen kann. Es ist ein Vorurteil, welches die Literaturrecherche und die Erstellung der Kapitel mental vorstrukturiert.

*M9: Zeichnen.* Die Methode, Bilder für Vorlesungsunterlagen neu zu zeichnen, bot eine Reihe von Vorteilen. Die Methode ermöglichte insbesondere:

- die optimale Freiheit bei der Gestaltung. Es konnte dabei genau das dargestellt werden, was gezeigt werden sollte.
- die Neugestaltung kanonischer Bilder (s. oben)
- die konsistente Darstellung mit wissenschaftlichen Zeichen und Farben
- die Vermeidung urheberrechtlicher Probleme mit geschützten Bildern

Die Vorteile der Methode wurden in der Evaluation bestätigt. Sowohl die graphische als auch die wissenschaftliche Qualität der Bilder wurde von 47.5% der Studierenden als „hoch“ und von 52.5% als „eher hoch“ beurteilt (= 100%, Frage 2.1. und 2.2.). Die positive Beurteilung der wissenschaftlichen Qualität ist als Bestätigung der Methoden zu werten, die Bilder aufgrund einer ausführlichen Literaturrecherche unter Berücksichtigung der Entwicklung wissenschaftlicher Bilder neu zu zeichnen. Die didaktische Qualität (Eignung zum Lernen) wurde von einer Mehrheit von 62.5% als hoch und von 35% als eher hoch eingestuft (Frage 2.3.). Diese Resultate bestätigen die Konzeption der Bilder nach den Multimedia-Prinzipien von Mayer.

Der grösste Nachteil der Methode ist der hohe zeitliche Aufwand, der mit der Erstellung der Bilder verbunden ist.

Bei der Erstellung der Vorlesungsunterlagen bestand zudem das Problem der eingeschränkten graphischen und technischen Fertigkeiten, so dass bestimmte Bildtypen nicht gezeichnet werden konnten (z.B. photorealistische Bilder). Der Mangel an naturalistischen Bildern ist darauf zurückzuführen. Dieses Problem kann aber durch die Zusammenarbeit mit einem Graphiker oder einem wissenschaftlichen Illustrator gelöst werden.

*M10: Konsistentes Zeichensystem.* Ein zentraler Punkt bei der Erstellung des Skripts lag bei der einheitlichen Gestaltung der Bilder, insbesondere bei der Erstellung eines konsistenten Zeichen- und Farbsystems. In der Evaluation wurde diese Methode von den Studierenden als sinnvoll erachtet (Frage 2.4., 62.5% stimmen der Methode völlig zu, 35% stimmen ihr eher zu). Der Vorteil der Methode liegt in der vereinfachten Wahrnehmung der Inhalte, welche nicht jedes Mal neu dekodiert werden müssen. Mögliche Nachteile ergeben sich jedoch aus der Kanonisierung und der damit verbundenen Festlegung des Blicks.

*M11: Urheberrecht.* Für die Lehre an den Universitäten dürfen auch geschützte Bilder frei verwendet werden. Probleme entstehen jedoch bei jeder Form der Veröffentlichung von Vorlesungsskripten, etwa als Lehrbuch oder auf dem Internet ohne Passwortschutz. Dabei müssen die Rechte für die Bilder eingeholt und gegebenenfalls abgegolten werden. Dies kann zeitaufwändig und teuer sein. Durch die

Methode, alle Bilder neu zu zeichnen (M9) entfällt dieses Problem. Basierend auf wissenschaftlichen Texten und Bildern wurden neue Bilder erstellt, über die frei verfügt werden kann.

### **Weitere Aspekte**

*Präsentation des Materials.* Die Präsentation wurde von einer Mehrheit der Studierenden als sehr gut (32.5%) oder als gut (42.5%) bewertet. Jedoch hielt fast ein Viertel (22.5%) der Teilnehmenden die Präsentation nur für genügend. Ein erster Grund, die Präsentation nur als genügend zu beurteilen, lag wie bereits diskutiert in der Teilung der Aufmerksamkeit durch die unterschiedliche Präsentation (siehe oben). Lösungsansätze für dieses Problem wurden bereits diskutiert. Zweitens wurde die Vorlesung als eher monoton und zu wenig interaktiv bezeichnet, da es sich fast ausschliesslich um eine Frontalvorlesung ohne Einbindung der Studierenden handelte. Dies war ein Mangel, der korrigiert werden sollte. Die Vorlesung sollte bei der nächsten Durchführung mit mehr Fragen und interaktiven Anteilen (Übungen) ergänzt werden.

### **Fazit**

Die Resultate aus der Anwendung der Methoden und aus der Evaluation mit den Studierenden validieren die abgeleiteten Methoden zur Erstellung der Vorlesungsunterlagen mit Einschränkungen. Sie unterstützen die Überlegung, diese Methoden auch bei der Erarbeitung anderer Vorlesungen anzuwenden, sofern keine Lernmaterialien gleichwertiger Qualität vorliegen.

Die wichtigste Einschränkung ist der hohe Aufwand, der mit der Anwendung einiger Methoden verbunden ist. Insbesondere die mehreren Methoden zugrunde liegende Literaturrecherche in der esoterischen Fachwissenschaft, das Schreiben des Skripts als Volltext mit Referenzierung und das Zeichnen der Bilder erfordern sehr viel Zeit. Zum Zeichnen der Bilder werden zudem entsprechende technische Fertigkeiten benötigt.

Im Rahmen der Vorlesung sind zu verbessern (1) die Übereinstimmung zwischen Skript und Präsentation, (2) die Länge des Skripts (moderate Kürzung des Texts) und (3) die Interaktivität der Präsentation durch das Stellen von Fragen oder das Ergänzen mit Übungen während den Stunden.

### **Referenzen**

Gross A.G., Harmon J.E. & Reidy M. Communicating science. The scientific article from the 17th century to the present. Oxford: Oxford University Press, **2002**

Kuhn T.S. Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. Frankfurt am Main: Suhrkamp, **1976**

# Anhang

## A. Evaluation der Vorlesung APTM

Teilnehmende: Studierende 4. Jahreskurs Pharmazie, Basel  
 Anzahl Studierende: 40  
 Datum: 8. Februar 2007

### 1. SKRIPT

#### 1.1. Das Skript ist zu umfangreich.

<i>trifft völlig zu</i>	<i>trifft eher zu</i>	<i>trifft nicht zu</i>	<i>trifft gar nicht zu</i>
n = 6	n = 14	n = 15	n = 5
15%	35%	37.5%	12.5%

*Kommentare:*

Die Vorlesungszeit ist fast zu knapp [Antwort: trifft eher zu]

#### 1.2. Das Skript enthält zuwenig Bilder.

<i>trifft völlig zu</i>	<i>trifft eher zu</i>	<i>trifft nicht zu</i>	<i>trifft gar nicht zu</i>
n = 0	n = 4	n = 25	n = 11
0%	10%	62.5%	27.5%

*Kommentare:*

[keine Kommentare]

#### 1.3. Das Skript enthält zuviel Text.

<i>trifft völlig zu</i>	<i>trifft eher zu</i>	<i>trifft nicht zu</i>	<i>trifft gar nicht zu</i>
n = 3	n = 16	n = 17	n = 3
7.5%	40%	42.5%	7.5%

[1 Antwort zwischen „trifft eher zu“ und „trifft nicht zu“ = 2.5%]

*Kommentare:*

– lange Zeit zur Nachbereitung nötig? [Antwort: trifft eher zu]

**1.4. Wie beurteilen Sie die Art des Skripts, das für die Vorlesung ausgeteilt wurde: Volltext mit Referenzen, ähnlich einem Lehrbuch, basierend auf umfangreicher Literaturrecherche?**

<i>gefällt mir sehr gut</i>	<i>gefällt mir gut</i>	<i>gefällt mir nicht</i>	<i>gefällt mir gar nicht</i>
n = 16	n = 19	n = 5	n = 0
40%	47.5%	12.5%	0%

*Kommentare:*

- Zur Nachbereitung viel Zeit nötig? Notizen machen ist so rel. schwierig? Man weiss nie, wo im Text der Dozent gerade ist! Man müsste den Text erst lesen – dann wäre der Besuch der Vorlesung aber kaum mehr nötig? (Da Inhalt zum Teil Repetition?) [Antwort: gefällt mir nicht]
- ideal zum Nachlesen, weniger geeignet für Notizen, da man den richtigen Ort der Notiz suchen muss [Antwort: gefällt mir gut]
- in Bezug auf Ähnlichkeit mit einem Lehrbuch. Allerdings hätte man das Skript besser eine Stunde im voraus erhalten sollen, damit man es durchlesen könnte [Antwort: gefällt mir sehr gut]

**1.5. Die Skripten zu Vorlesungen in der Pharmazie sollten nach diesem Muster gestaltet sein.**

trifft völlig zu	trifft eher zu	trifft nicht zu	trifft gar nicht zu
n = 8	n = 22	n = 7	n = 2
20%	55%	17.5%	5%

[1 x keine Antwort = 2.5%]

*Kommentare:*

- Ja :-)! [Antwort: trifft völlig zu]
- Jedoch nicht für alle Fächer/Vorlesungen sinnvoll. [Antwort: trifft eher zu]
- Pharmakologie / Pathophysiologie [Antwort: trifft völlig zu]
- Bitte(?) nicht (?) [Antwort: trifft gar nicht zu]
- für eine Prüfungsvorbereitung einfacher, sofern Verständnisfragen gefragt werden und kein MC-Fragen! [Antwort: trifft eher zu]
- wäre sinnvoll für eine Prüfungsvorbereitung [Antwort: trifft eher zu]

## 1.6. Die ausführlichen Referenzlisten sind sinnvoll.

<i>trifft völlig zu</i>	<i>trifft eher zu</i>	<i>trifft nicht zu</i>	<i>trifft gar nicht zu</i>
n = 6	n = 17	n = 13	n = 3
15%	42.5%	32.5%	7.5%

[1 Antwort zwischen „trifft eher zu“ und „trifft nicht zu“ = 2.5%]

*Kommentare:*

- ! [Antwort: trifft völlig zu]
- Brauche ich eigentlich nicht, jedenfalls momentan noch nicht. Evt. später hilfreich, wenn man etwas ganz genau wissen will ... [Antwort: trifft nicht zu]
- Diese sind aus wissenschaftlicher Sicht sicher sinnvoll, aus umweltpolitischen (Alleine heute 2 A4-Blätter pro Student!) jedoch Verschwendung! Die Studierenden verlassen sich darauf, dass die Dozierenden auf dem neusten Stand der Wissenschaft sind, und keinen „Quatsch“ erzählen! [Antwort: trifft gar nicht zu]

## 2. BILDER

### 2.1. Wie schätzen Sie die *graphische* Qualität der Bilder ein?

<i>hoch</i>	<i>eher hoch</i>	<i>eher tief</i>	<i>tief</i>
n = 19	n = 21	n = 0	n = 0
47.5%	52.5%	0%	0%

*Kommentare:*

[keine Kommentare]

### 2.2. Wie schätzen Sie die *wissenschaftliche* Qualität der Bilder ein?

<i>hoch</i>	<i>eher hoch</i>	<i>eher tief</i>	<i>tief</i>
n = 19	n = 21	n = 0	n = 0
47.5%	52.5%	0%	0%

*Kommentare:*

- jedoch wäre es nicht nötig alle Bilder neu zu zeichnen! Wäre auch so gut gewesen (+kurze Beschreibung)

### 2.3. Wie schätzen Sie die *didaktische* Qualität der Bilder ein (Eignung zum Lernen)?

<i>hoch</i>	<i>eher hoch</i>	<i>eher tief</i>	<i>tief</i>
n = 25	n = 15	n = 0	n = 0
62.5%	37.5%	0%	0%

*Kommentare:*

- Strukturformeln sind immer hilfreich [Antwort: hoch]

### 2.4. Die einheitliche Gestaltung der Bilder halte ich für sinnvoll.

<i>trifft völlig zu</i>	<i>trifft eher zu</i>	<i>trifft nicht zu</i>	<i>trifft gar nicht zu</i>
n = 25	n = 14	n = 1	n = 0
62.5%	35%	2.5%	0%

*Kommentare:*

- Die Bilder fand ich Klasse!! [Antwort: trifft völlig zu]
- Absolut nicht nötig, stört aber nicht. Wichtiger ist, dass die Abbildungen inhaltlich (wissenschaftlich) stimmen und didaktisch sinnvoll sind.[Antwort: trifft nicht zu]

## 3. PRÄSENTATION

### 3.1. Wie beurteilen Sie die Präsentation des Materials?

<i>sehr gut</i>	<i>gut</i>	<i>genügend</i>	<i>schlecht</i>
n = 13	n = 17	n = 9	n = 0
32.5%	42.5%	22.5%	0%

[1 Antwort zwischen „genügend“ und „gut“ = 2.5%]

*Kommentare:*

- Es hat mich jedes Mal wieder erstaunt, wie der Lektor das jeweils umfangreiche Skript genau in der zur Verfügung stehenden Zeit vollständig behandeln konnte. Enormes Zeitgefühl!! Und nicht etwa, indem er die Hälfte wegliess, sondern weil er das Wichtigste aus jedem Kapitel gekonnt herausstrich. Nachlesen konnte man es danach ja immer noch einmal (das Skript war ja sehr selbsterklärend). [Antwort: sehr gut]

## 4. THEMA

### 4.1. Das Thema interessiert mich.

<i>trifft völlig zu</i>	<i>trifft eher zu</i>	<i>trifft nicht zu</i>	<i>trifft gar nicht zu</i>
n = 13	n = 27	n = 0	n = 0
32.5%	67.5%	0%	0%

*Kommentare:*

[keine Kommentare]

### 4.2. Das Thema wurde zu umfangreich behandelt.

<i>trifft völlig zu</i>	<i>trifft eher zu</i>	<i>trifft nicht zu</i>	<i>trifft gar nicht zu</i>
n = 1	n = 11	n = 21	n = 6
2.5%	27.5%	52.5%	15%

[1 Antwort sowohl „trifft eher zu“ als auch „trifft nicht zu“ = 2.5%]

*Kommentare:*

[keine Kommentare]

### 4.3. Repetition von Inhalten: Welcher Aussage stimmen Sie zu?

- a. Das meiste war für mich neu. Ich habe sehr viel Neues gelernt.
- b. Vieles war mir bereits bekannt. Ich habe aber einiges dazulernen können.
- c. Mir war das meiste bereits bekannt. Ich habe fast nichts Neues gelernt.

<b>a.</b>	<b>b.</b>	<b>c.</b>
n = 10	n = 29	n = 0
25%	72.5%	0%

[1 Antwort sowohl a und b = 2.5%]

*Kommentare:*

- gute Repetitionen! Denn der Aufbau des Skriptes ist hervorragend.[Antwort: b]
- die ersten paar Lektionen waren sehr viel Wiederholung [Antwort: b]

## 5. ALLGEMEINE BEMERKUNGEN

### **Besonders gut gefallen hat mir:**

[Die leeren Zeilen trennen die Antworten einzelner Fragebogen ab]

- Das Lesen der Skripten bringe viele Infos zusätzlich zur Vorlesung, finde ich super. Ein Buch wird so überflüssig & die Aktualität der Informationen ist eher gewährleistet als bei einem Buch
- Der einheitliche Stil des Bildmaterials gefällt mir extrem gut, ebenfalls die klare, einfache und dennoch präzise Sprache der Erklärungen! Für mich sind deine / eure Skripte und auch die Auswertungen (Stob) bei weitem die besten. Ich wünschte mir andere Dozenten würden sich endlich ein Beispiel an euch nehmen!
- guter Aufbau des Skripts (auch, was die Reihenfolge der Themen entspricht!); sehr logischer & nachvollziehbarer Text. Eigentlich schon fast selbsterklärend bzw. man bräuchte die Vorlesung dazu gar nicht unbedingt...
- Doch durch das Herauspicken der wichtigsten Dinge durch den Lektor war die Vorlesung trotzdem toll zu besuchen.
- sehr aufschlussreiche Darstellungen / Bilder, die alles wesentliche zusammenfassten
- Absolut genialer Skript -> so sollte JEDER Skript sein, vom Beginn des Studiums an! Wenn man wirklich interessiert ist und alles genau wissen möchte, ist es manchmal sehr mühsam und zeitaufwändig, genügend Info-Material zusammen zu suchen. -> Der Skript dieser Vorlesung deckt jedoch alle Gebiete sehr ausführlich ab! Vielen Dank !!! :-)
- Skript
- klare Darstellung des Stoffs (allgemein)
- Evaluation mittels Stob
- Einheitlichkeit des Skripts
- Skript: gute Darstellungen & Erklärungen
- Skript: gut geschrieben und erklärt
- Dass der Dozent die Motivation hat, etwas zu verändern.
- Dozent vermittelt Freude an der Wissenschaft
- das Skript (weil es einen Text hatte und nicht nur Stichwörter)
- Das Skript ist super, sehr angenehm zu lesen, es enthält das Wichtigste. Bekanntes wird nochmal gut repetiert. Es ist wirklich super! Die Inhalte der Vorlesung sind spannend und ausführlich.
- die Bearbeitung einer Wirkstoff-Monographie
- die Leistungsüberprüfung mittels STOB

- 
- Art des Skripts
  - Inhalt und sehr breite und wissenschaftliche Darlegung der Thematik
  
  - Einbezug von Wirkstoffen & Medis in die Skripten
  - versch. Aspekte wurden gut behandelt
  
  - Skript in Form eines ausgeschriebenen Texts
  - Text ist gut verständlich / erklärend
  
  - ausführliches Skript und verständlich und nachvollziehbar vorgetragen
  
  - gutes, verständliches Skript und Vorlesung.
  
  - sehr ausführliches Skript -> nicht nur Stichworte und Bilder
  - verständliches Skript
  
  - das ausformulierte Skript
  
  - die Vorlesung war sehr interessant und der Stoff wurde gut erklärt
  
  - Gefallen haben mir die ausführlichen Skripte. D.h. auch wenn man mal eine Vorlesung verpasst hat, konnte man das Thema sehr gut auch selber erarbeiten.
  
  - Das hervorragende Skript! Sämtliche anderen Dozenten sollten sich daran ein Beispiel nehmen! Ein Skript ist erst dann gut, wenn es ausführlich ist und man beim Durchlesen versteht um was es geht und das wichtigste vor sich hat. Von daher: Kompliment! Das Skript zur Vorlesung ist sehr gut gelungen.
  
  - Skript ist nicht nur Ausdruck der während der Vorlesung projizierten Folien -> eigentlich zwei Wege, den Stoff zu lernen. Ist der eine Weg nicht eindrücklich, so ist es der andere (oder beide).
  - „Prüfung“ per Stob online ist besser, da es für mich langfristig gesehen eingänglicher ist, als wenn ich für einen Tag der Prüfung lerne. Es ist auch fairer, da man „schlechte Tage“ als Prüfungstage auslassen kann (bei vorgegebenem Zeitplan geht dies nicht).
  
  - mir hat das Skript sehr gefallen, es wird sicher ein sehr gutes Lehrbuch
  - durch die Bilder und den Text wurden mir Themen anderer Vorlesungen viel verständlicher
  - auch die Power-Point-Präsentation gefiel mir gut. Es waren die wichtigsten Stichworte. Habe sie deshalb auch zum Skript dazugeschrieben

**Nicht gefallen hat mir:**

- Vielleicht gibt es einen Weg die Textstücke optisch etwas aufzulockern. Z.B. Fettdrucken, kursiv von Schlüsselbegriffen, Aufzählungszeichen benutzen, mehr Absätze. Formuliert ist es sehr gut!
- Eigentlich nichts! Ausser, dass die Vorlesung eigentlich eher etwas früher im Studium Sinn machen würde. z.B. im 3. Jahr, oder sogar noch früher. Wie auch immer, obwohl vieles Repetition war, hat es nicht geschadet...
- Für Vorlesung würde ich ein Stichwort-Skript bevorzugen -> selber Notizen machen
- -> Lehrbuch-Skript zum Nachlesen
- Skript wie Lehrbuch ->Text?
- -> Wer einen Text lesen will, soll sich ein Buch besorgen? -> Ein gutes Buch zur Vorlesung empfehlen wäre super! Dann hat man Skript (kurz) und Buch zur Verfügung?
- eher monotone Präsentation, aber sehr ruhig und sachlich
- Reihenfolge in Vorlesung & Skript nicht immer übereinstimmend waren -> langes Suchen bis man Notizen zur richtigen Stelle machen kann
- z.T. war das Skript etwas zu ausführlich (v.a. am Anfang)
- Um in der Vorlesung dem Skript zu folgen, ist dieses fast zu umfangreich. Aber um das Ganze zu Hause nochmals nachzulesen, ist es super.
- Da das Skript vollständig ist, hätte man gar nicht die Vorlesung besuchen müssen!
- -> Das Skript hätte ich besser gefunden, wenn es so wäre wie in den anderen Vorlesungen. (Nur Bilder & Zusammenfas.) -> ich war während der Vorlesung mit dem Lesen des Skriptes beschäftigt!
- Didaktisch gesehen, war die Vorlesung leider etwas enttäuschend. Mir hat die Begeisterung fürs Thema gefehlt.
- Das Tempo der Vorlesung war mir zu langsam. Ich persönlich schätze es, wenn man rasch durch die Materie geht und bloss das Wichtigste festhält.
- Monotone Vortragsweise zieht die Spannung des Inhalts ein bisschen herunter.

**Gesamtnote für die Vorlesung (6=sehr gut, 1=sehr schlecht):**

[freie Antwort]

6	5.75	5.5	5	4.75	4.5	4
n = 5	n = 1	n = 12	n = 15	n = 1	n = 5	n = 1
12.5%	2.5%	30%	37.5%	2.5%	12.5%	2.5%

Mittelwert: 5.2

Modus: 5

**Weitere Kommentare:**

- Toll! Du (Alex) hast eine sehr angenehme Art vorzutragen. Man kann dir gut zuhören
- [zur Note 5.5.] (verglichen mit anderen Professoren wäre es eigentlich eine 6...)
- Das Skript ist gut: es braucht einfach zu lange, um es zu lesen.
- Wenn Sie für die „Beamer-Folien“ schon Zusammenfassungen machen, könnten Sie die den Studenten auch zugänglich machen. -> Genau dasselbe müssen wir zu Hause noch einmal machen?
- Ein gutes Skript machen ist eine Kunst, die nur wenige Dozierende beherrschen? -> Die Folien waren schon nahe dran?
- Da das Skript sehr Textlastig ist, ist es schwierig parallel die Vorlesung und das Skript zu verfolgen und Notizen zu machen.
- Kompliment für dieses super Skript!
- Ich bin gespannt auf das Buch!
- Tiptop!
- Gut wären noch interaktive Teile während der Vorlesung.
- Das Skript finde ich für ein Selbststudium sehr gut. Doch in der Vorlesung weiss man oft nicht auf welcher Seite man sich befindet. Häufig begann ich den Text zu lesen und hört nicht mehr richtig zu.
- Sehr gute Vorlesung! Nur weiter so!
- Eigentlich nichts wichtiges, aber die Skripte sollte man downloaden und selber ausdrucken können, damit man das Format selber wählen kann.

# Curriculum Vitae

## Alexander Vögli

---

Spalenring 87 · 4055 Basel · 061 321 33 47  
alexander.voegtli@unibas.ch

geboren am 15.4.1977 in Dornach, Solothurn

### Ausbildung

Jun. 2004 - Jun. 2007	Dissertation am Institut für Molekulare Pharmazie, Universität Basel bei Prof. Dr. Beat Ernst
Jan. 2002 - Jun. 2004	Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei <i>pharmasquare</i> am Institut für Molekulare Pharmazie, Universität Basel
Okt. 2000 - Okt. 2001	Apotheker-Assistent in Apotheken in Basel (Barfüsser-Apotheke, Rosen-Apotheke)
Okt. 1999 - Okt. 2000	Assistenzjahr in der Barfüsser-Apotheke, Basel
1996 - 2002	Studium der Pharmazie an der Universität Basel
1988 - 1996	Mathematisch-Naturwissenschaftliches Gymnasium Basel (Typ C)

### Erfahrungen in der universitären Lehre

#### *E-Learning*

- Programmierung der virtuellen Lernumgebung *pharmasquare* (PHP, HTML, CSS)
- Betreuung von *pharmasquare* während 5 Jahren
- Erstellung zahlreicher multimedial aufbereiteter Lernmodule mit Vektorgraphiken, Animationen und Filmen
- Betreuung von 10 Diplomarbeiten im Rahmen von *pharmasquare* (je 21 Wochen)
- Betreuung von 3 Semesterarbeiten und 4 Praktika

#### *Vorlesungen*

- Vorlesung „Aktiver und passiver Transport durch Membranen“ Wintersemester 2006/07, 2005/2006, 2004/2005, inkl. Abnahme mündlicher Prüfungen (7 h)
- Vorlesung „Ionenkanäle“ WS 2005/2006, 2006/2007 (4 h)
- Vorlesung „Literaturrecherche“ Wintersemester 2006/2007 (2 h)
- Diverse Vorlesungen als Aushilfe für Prof. Dr. Beat Ernst im Rahmen der Vorlesung „Molekulare Wirkstoff-Mechanismen“ 2003-2007

## Wissenschaftliche Publikationen

### Bücher

Vögtli A. & Ernst B. Wissenschaftliche Bilder. Basel: Schwabe, **2007**

Vögtli A. & Ernst B. Aktiver und passiver Transport durch Membranen (*in prep.*)

### Beiträge in Zeitschriften

Vögtli A. Feindbilder: „Gefährliche Gäste aus Russland“. *Schweizer Apothekerzeitung*, **2006**, 144(3), 103-104

Weber C., Vögtli A., Ensner A. & Utelli A-B. How to provide feedback to student's learning – assignment and feedback concept in the blended learning concept *pharma*<sup>2</sup>. *Chimia*, **2006**, 60, 66-69

Lichtsteiner S., Rizzotti S., Weber C., Vögtli A., Burkhard H., Neier R., Khov-Tran V.V., Folkers G. & Ernst B. Pharmasquare (*pharma*<sup>2</sup>). *Chimia*, **2003**, 57, 116-120

### Beiträge in Büchern

Vögtli A., Weber C., Lichtsteiner S., Rizzotti S., Burkhard H., Neier R., Khov-Tran V.V., Folkers G., Utelli A-B., Ernst B. *pharma*<sup>2</sup> – das Blended Learning Unterrichtskonzept für Pharmazeutische Wissenschaften. In: Brake C., Topper M., Wedekind J. Der Medida Prix. Nachhaltigkeit durch Wettbewerb. Münster, New York, München, Berlin: Waxmann, **2004**

### E-Letter

Vögtli A. Copying metaphors. E-Letter response to Chew M.K. & Laublicher M.D. Natural enemies – metaphor or misconception. *Science*, **2003**, 301, 52-53

### Diverse Poster-Präsentationen und Vorträge

## Preise und Auszeichnungen

Nominierung der interaktiven Animation „virusvermehrung“ für den Internationalen Medienkunstpreis („Die 50 Besten“), zusammen mit Maria Maier (2004)

Mediendidaktischer Hochschulpreis, Hauptpreis und Publikumspreis für „Pharmasquare“ mit dem pharmasquare-Team (2003)

Innovationspreis E-Learning des LearnTechNet der Universität Basel in der Kategorie „Studierende“ für das Pharmakologie Quiz zusammen mit Philipp Walter (2003)

Innovationspreis E-Learning des LearnTechNet der Universität Basel in der Kategorie „Didaktik“ für das Projekt „pharmasquare“, zusammen mit dem pharmasquare-Team (2003)

### **Teilnahme an Kongressen (Auswahl)**

Pharmaceutical Sciences World Congress, Amsterdam (2007, Präsentation)

Lerntec 2005, Messe Karlsruhe (2003-05, Präsentation)

PharmaDay, Pharmacenter Basel – Zürich, Basel (2003-2005, Poster)

GMW-Tagung, Universität Duisburg (2003, 2004, Präsentation)

WBT-Tagung, Olten (2003)

### **Internet-Projekte**

*pharmasquare* – <http://www.pharmasquare.org>

*Projekt Dioskurides* – <http://www.tiscalinet.ch/materiamedica>

*Pharmaquiz* – <http://www.pharmaquiz.ch>

### **Sprachen**

Deutsch: Muttersprache

Englisch: fließend in Wort und Schrift

Französisch: Schulkenntnisse

### **Fortgeschrittene Computer-Kenntnisse**

Textverarbeitung (Microsoft Office)

Bildbearbeitung (Adobe Fireworks)

Webdesign (Adobe Dreamweaver)

Vektorgraphik und Animation (Adobe Flash)

Programmierung und Scripting (PHP, HTML, CSS, XML, XSLT, Javascript, Flash Actionscript)

Darstellung chemischer Strukturen (Pymol, ChemDraw)