

HEIDELBERGER
JAHRBÜCHER
ONLINE
Band 4 (2019)

Gesellschaft der Freunde
Universität Heidelberg e.V.



Schönheit: Die Sicht der Wissenschaft

Joachim Funke & Michael Wink (Hrsg.)

HEIDELBERG
UNIVERSITY PUBLISHING

Schönheit: Die Sicht der Wissenschaft

Heidelberger Jahrbücher Online

Herausgegeben von der
Gesellschaft der Freunde Universität Heidelberg e.V.

Band 4

Schönheit

Die Sicht der Wissenschaft

Joachim Funke & Michael Wink (Hrsg.)

HEIDELBERG
UNIVERSITY PUBLISHING

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.dnb.de> abrufbar.



Dieses Werk ist unter der Creative Commons-Lizenz 4.0 (CC BY-SA 4.0) veröffentlicht. Die Umschlaggestaltung unterliegt der Creative-Commons-Lizenz CC BY-ND 4.0

Die Online-Version dieser Publikation ist auf den Verlagswebseiten von HEIDELBERG UNIVERSITY PUBLISHING (<https://heiup.uni-heidelberg.de>) unter der Rubrik Campus Media dauerhaft frei verfügbar (open access).
<https://doi.org/10.17885/heiup.hdjbo.2019.0>

Bildnachweis Cover:

Bill Anders/NASA: Earthrise

© 2019. Das Copyright der Texte liegt bei den jeweiligen Verfassern.

ISSN 2509-7822 (Print)

ISSN 2509-2464 (Online)

ISBN 978-3-947732-57-9 (Softcover)

ISBN 978-3-947732-58-6 (Hardcover)

ISBN 978-3-947732-56-2 (PDF)

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	
	Joachim Funke & Michael Wink	1
2	Schönheit aus evolutionärer Sicht	
	Michael Wink	5
1	Evolution	6
2	Problem der Schönheit	7
3	Symmetrien	
	Georg Wolschin	15
1	Einleitung	15
2	Symmetrien und Erhaltungsgrößen	23
3	Symmetrien und Naturgesetze	24
4	Suche nach der <i>CPT</i> -Verletzung	32
5	Ausblick	34
4	Ästhetische Ökonomie in der Gestalt der Pflanzen	
	Claudia Erbar & Peter Leins	39
1	Versetzte Fibonacci-Zahlen und Ästhetik	39
2	Buntheit der Blumen	62
3	Ästhetik durch Sparsamkeit und hohe Funktionalität: Verpackungen	76
4	Die Schönheit der Zwergmännchen	80
5	Abschließende Bemerkungen zur Schönheit von Pflanzen	83

5	Schön versus hässlich - Zur Stigmatisierung des Fremden in der Klassischen Antike	
	Caterina Maderna	91
1	Prämisse	91
2	Schöne Physiognomie und sozialer Status	92
3	Hässliche Emotionen in den Bildmedien Griechenlands	100
4	Hässliche Emotionen in den Bildmedien Roms	109
5	Hässliche Emotionen im Urteil von Philosophen und Literaten	112
6	Das Eigene, das Andere – und der schöne Nutzen der Hässlichkeit	117
7	Fazit und Ausblick	122
6	Gebräunte Haut als Schönheitsideal: Bundesweit repräsentative Ergebnisse zur Wichtigkeit attraktivitätsbezogener Motive für das Bräunungsverhalten	
	Tatiana Görig, Sven Schneider & Katharina Diehl	133
1	Einleitung	134
2	Methoden	135
3	Ergebnisse	137
4	Diskussion	140
7	Wie schön darf Gorgo sein? Die widersprüchliche Ästhetik der griechischen Kunst und Lebenskultur	
	Tonio Hölscher	149
1	Widersprüche zwischen Lebenswelt und Bildpraxis?	150
2	Die Gorgo als Inbegriff des Hässlichen	151
3	Schönheit als soziale Qualität	159
4	Erziehung zur Schönheit	171
5	Schönheit der Kunst	181
8	Die verborgene Schönheit der Natur: die Sicht des Physikers	
	Hans J. Pirner	189
1	Einleitung	189
2	Wie kann man Zeit sehen?	193
3	Den Raum erschließen	196
4	Zeit-Raum versus Raum-Zeit	200
5	Materie und Kräfte	205

9 Schönheit aus psychologischer Sicht

Joachim Funke	213
1 Einführung	213
2 Erklärungsmodelle	214
3 Schönheit und (psychische) Krankheit	216
4 Schönheit und Ehrfurcht	217
5 Schönheit von Gesichtern	217
6 Schönheit und Schulnoten	218
7 Schönheit und sozialer Status bei der Partnerwahl	219
8 Abschluss	219

10 Die Schönheit der Statistik

Christel Weiß	225
1 Einleitung	225
2 Historische Betrachtungen	226
3 Der Umgang mit Wahrscheinlichkeiten und Risiken	229
4 Reduktion auf das Wesentliche: Statistische Kenngrößen	233
5 Das Geheimnis von Schätzwerten	236
6 Effizienz statistischer Verfahren	238
7 Schlussfolgerungen	241

Vorwort

Im vorliegenden vierten Band der *Heidelberger Jahrbücher Online* (HDJBO), den die „Gesellschaft der Freunde Universität Heidelberg e.V.“ unter Federführung der beiden Editoren Joachim Funke und Michael Wink herausgibt, haben sich die Autorinnen und Autoren des Bandes diesmal mit dem Konzept der Schönheit in der Wissenschaft als fächerübergreifender Thematik auseinandergesetzt.

In der Antike wurde das Schöne mit dem Wahren und dem Guten gleichgesetzt. Was aber ist das Schöne? Zeigt es sich als Durchschnittswert (wie es bei Gesichtern der Fall zu sein scheint), im Kontrast zum Hässlichen (wie es in der Kunst gelegentlich geschieht), ist es ein westlich geprägtes Konzept (wie es Umberto Eco in seinem Buch „On beauty“ von 2004 vermutet)? Ist Schönheit überhaupt eine Kategorie für die Naturwissenschaften und existiert vermutlich sogar eine evolutionäre Grundlage? Gibt es schöne Formeln, schöne Theorien oder schöne Ergebnisse? Und wenn ja: lässt sich das Konzept der Schönheit in verschiedenen Disziplinen überhaupt konkret fassen? Oder sollten wir Fragen der Schönheit lieber der philosophischen Ästhetik überlassen und in den strengen Wissenschaften auf derartige subjektive Bewertungen verzichten?

Diese Thematik beleuchten wir im vorliegenden Band aus der bunten Sicht unserer Volluniversität. Zwölf Autorinnen und Autoren aus Geistes-, Kultur-, Naturwissenschaften und Medizin haben ihr Verständnis von Schönheit aus unterschiedlichen Gesichtspunkten erörtert. Die durchaus disziplinär angelegten Beiträge thematisieren ganz unterschiedliche Aspekte des Rahmenthemas und erzielen damit am Ende eine interessante Perspektivenvielfalt.

Caterina Maderna (Klassische Archäologie) beschreibt in ihrem Kapitel anschaulich, wie bereits in der Antike Schönheit mit sozialem Status verknüpft wurde und wie hässliche Darstellungen des Fremden in die Kunst Einzug hielten. Negativ

konnotierte Stereotypen fremder Kulturen in der bildenden Kunst Griechenlands und Roms bringen Clichés hervor, die auch in heutiger Zeit Wirkung zeigen, wenn wir nicht unser Bewusstsein dafür schärfen.

Michael Wink (Biologie) betrachtet Schönheit aus evolutionärer Sicht. Charles Darwin hat intensiv darüber nachgedacht, warum viele Vogelmännchen ein prächtig gefärbtes Federkleid tragen. Da er das Phänomen nicht durch die natürliche Selektion erklären konnte, begründete er das Konzept der Damenwahl ("female choice", sexuelle Selektion). Er nahm an, dass die Vogelfrauen einen Sensor für Schönheit besitzen und ihre Partner danach aussuchen. Offensichtlich gibt es evolutionäre Grundlagen der Schönheit.

Georg Wolschin (Theoretische Physik) behandelt das Thema der Symmetrien in der Natur. In der Elementarteilchenphysik, wo es neben Teilchen auch Antiteilchen gibt, sind verschiedene Symmetrien am Werk, die der Autor benennt. Als skeptische Naturwissenschaftler suchen die Physiker allerdings auch gezielt nach Verletzungen der Symmetrien, heute mittels Großtechnologie, wie am Kernforschungszentrum CERN betrieben.

Claudia Erbar (Biologie) und *Peter Leins* (Biologie) machen den Aspekt der ästhetischen Ökonomie in der Gestalt von Pflanzen stark. Die Optimierung von Locksignalen, die Anlage von Blättern entlang der Sprossachse oder die Verpackung empfindlicher Pflanzenteile sind Beispiele dafür, wie organismische Evolution von einem Ökonomieprinzip getrieben sind, das möglichst hohe Effizienz bei minimalem Aufwand sicherstellen soll.

Tatiana Görig, *Sven Schneider* und *Katharina Diehl* (alle aus der Medizinischen Fakultät Mannheim) befassen sich mit dem Schönheitsideal gebräunter Haut. Sie berichten über Ergebnisse einer bundesweit repräsentativen Umfrage unter 3000 Personen zur Wichtigkeit attraktivitätsbezogener Motive für das Bräunungsverhalten. Hintergrund sind die zahlreichen dermatologischen und onkologischen Risiken (z. B. vorzeitige Hautalterung, Hautkrebs), die ein derartig ungünstiges Schönheitsideal mit sich bringt.

Tonio Hölscher (Klassische Archäologie) fragt danach: „Wie schön darf Gorgo sein?“ (Gorgo ist eine geflügelte Schreck-Gestalt der Antike) und beschäftigt sich mit einer widersprüchlichen Ästhetik der griechischen Kunst und Lebenskultur, die bis in unsere Neuzeit reicht: Kann Hässliches schön sein? Wird eine brutale Filmszene dadurch ästhetisch aufgewertet, wenn man sie mit klassischer Musik unterlegt? Die Perfektion der Form ist keine Aussage über das inhaltliche Thema.

Hans J. Pirner (Theoretische Physik) bringt uns die verborgene Schönheit der Natur aus der Sicht eines theoretischen Physikers nahe. Neben den trigonometrischen Funktionen weist er auf die exponentielle Zerfallskurve als die andere allgegenwärtige Standardschönheit der Physik hin. Diese Schönheit liegt in ihren mathematischen Symmetrien und Strukturen, wird aber erst durch die technischen Hilfsmittel sichtbar, die die Physiker benutzen.

Joachim Funke (Allgemeine Psychologie) befasst sich mit psychologischen Erkenntnissen zur Schönheit. Dabei kommt nicht nur das Konzept der „guten Gestalt“ zur Sprache, sondern es geht auch um die Schönheit von Gesichtern sowie die Auswirkungen von Attraktivität auf Schulnoten und Partnerwahl. Auch das Thema „Ehrfurcht“ im Kontext von Schönheit wird hier angesprochen.

Christel Weiß (Medizin) beschäftigt sich mit der Schönheit der Statistik. Sie zeigt, dass die in Kennzahlen eingefangenen Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen nicht nur hilfreich bei der Bewältigung des Alltags sind, sondern gerade durch ihre Einfachheit auch eine inhärente Schönheit besitzen. Schönheit der Statistik ergibt sich insbesondere dann, wenn sich das scheinbare Datenchaos ordnen und verdichten lässt.

Die Publikation als e-Book hat sich bislang bewährt: Sie spart Kosten und ermöglicht dank „open access“ eine größere (und nachhaltigere) Verbreitung als die Print-Version. Der erste Band der Online-Reihe mit dem Titel „Stabilität im Wandel“ (Wink & Funke, 2016) wurde in den 24 Monaten nach Erscheinen mehr als 100mal zum Download¹ angefordert – das ist beachtlich! Der zweite Band „Citizen Science“ (Wink & Funke, 2017) kommt nach nur 12 Monaten Laufzeit auf Zugriffszahlen von 159 Downloads. Der dritte Band „Perspektiven der Mobilität“ (Funke & Wink, 2018) liegt mit 781 Downloads trotz des späteren Starts sogar an der Spitze. Auch diesem nun vorliegenden vierten Band wünschen wir angemessene Verbreitung!

Wem die digitale Ausgabe nicht genügt und ein Exemplar für seinen Bücherschrank wünscht: Dank der guten Zusammenarbeit mit „Heidelberg University Publishing (HeiUP)“ kann von allen Bänden für kleines Geld eine Print-Version

¹ Diese Download-Zahl betrifft jeweils den kompletten Band – einzelne Beiträge daraus können durchaus auf höhere Downloads kommen. Die Statistiken sind auf den zugehörigen Webseiten der jeweiligen Artikel tagesaktuell abrufbar. Auf Artekebene wurden insgesamt 14.242 Downloads registriert (Stand: 13.6.2019).

„on demand“ (sowohl in der preiswerten Softcover- wie auch in der etwas teureren Hardcover-Version) hergestellt werden. Dank der guten Zusammenarbeit der UB Heidelberg mit der „Gesellschaft der Freunde“ und dank deren finanzieller Unterstützung konnten zwischenzeitlich auch die zurückliegenden Ausgaben der Jahrbücher von der ersten Ausgabe im Jahr 1808 an bis zur Nachkriegszeit retrodigitalisiert werden und stehen damit einer interessierten Öffentlichkeit *online* zur Verfügung.

Wir bedanken uns für die wie immer harmonische Zusammenarbeit beim Team der Universitätsbibliothek unter Leitung von Frau Dr. Maria Effinger, aber auch beim Direktor der Universitätsbibliothek, Dr. Veit Probst, der diesen Weg digitaler Informationsverbreitung seit Jahren fördert, ohne die Print-Welt zu vernachlässigen. Ein besonderer Dank ist erneut unserer Cheflektorin Julia Karl (B.Sc. Psychologie) auszusprechen, die bisher alle unsere Online-Bände sorgfältig und schnell begleitet hat.

Wir sind gespannt, wie der neue Band ankommt und wie unser Jahrgangsthema aufgenommen wird. Feedback ist wie immer erwünscht!

Heidelberg, im Sommer 2019

Joachim Funke (Psychologie) und Michael Wink (Biologie)

Quellen

- Eco, U. (2004). *On beauty. A history of a western idea*. London: Secker & Warburg.
- Funke, J., & Wink, M. (Hrsg.). (2018). *Perspektiven der Mobilität* (Heidelberger Jahrbücher Online Band 3). <https://doi.org/10.17885/heup.hdjbo.2018.0>
- Wink, M., & Funke, J. (Hrsg.). (2016). *Stabilität im Wandel* (Heidelberger Jahrbücher Online Band 1). <https://doi.org/10.17885/hdjbo.2016.0>
- Wink, M., & Funke, J. (Hrsg.). (2017). *Wissenschaft für alle: Citizen Science* (Heidelberger Jahrbücher Online Band 2). <https://doi.org/10.17885/heup.hdjbo.2017.0>

Schönheit aus evolutionärer Sicht

MICHAEL WINK

Institut für Pharmazie und Molekulare Biotechnologie, Universität Heidelberg

Zusammenfassung

Charles Darwin und Alfred Russel Wallace postulierten, dass sich die Merkmale aller Lebewesen durch Variabilität und „Natürliche Selektion“ herausbildeten. Damit können Evolutionsbiologen die meisten Anpassungen erklären. Ein Problem sind jedoch die farbenprächtigen Federkleider vieler Vogel Männchen und deren aufwändiges und auffälliges Balzverhalten. Denn dadurch werden sie auffällig für diverse Raubfeinde und diese Merkmale müssten auf den ersten Blick einen negativen Selektionswert besitzen. Darwin erkannte das Dilemma und nahm an, dass es neben der „Natürlichen Selektion“ auch eine sexuelle Selektion geben müsse. Danach wählen die Vogelweibchen jeweils die Männchen mit dem schönsten Federkleid, Gesang oder Balzverhalten. D. h. für Darwin war Schönheit ein Wert und Selektionsmerkmal für sich. Diese These wurde von Richard Prum 2017 wieder aufgegriffen. Die meisten Evolutionsbiologen bevorzugen dagegen eine Interpretation der evolutionären Anpassung: Danach sind Schönheitsmerkmale Luxus-Merkmale der Männchen, die den Weibchen als indirekte und ehrliche Fitness-Indikatoren dienen: Nur, wenn ein Männchen sich diesen kostspieligen Luxus leisten kann (Handicap-Prinzip) und dabei auch noch überlebt, dann sollte es gute Gene tragen und fit sein. Wenn ein Vogelweibchen daher ein besonders schönes und attraktives Männchen zum Partner wählt, hat es dadurch auch ein besonders fittes Männchen selektiert, so dass die gemeinsamen Nachkommen eine besonders gute Chance zum Überleben haben. Durch sexuelle Selektion bleiben daher die Handicap-Merkmale erhalten. Obwohl Schönheit sehr stark subjektiv beeinflusst ist, gibt es offenbar evolutionäre Grundlagen, nicht nur bei Vögeln, sondern vermutlich auch bei uns Menschen.

1 Evolution

Charles Darwin (1809 -1882) gehört bekanntlich zu den bedeutendsten Biologen der letzten 200 Jahre. Sein größter Verdienst besteht darin, dass er eine Theorie zur Entstehung der Arten vorgeschlagen hat (Darwin 1859), die bis heute Bestand hat. Vor Darwin nahm man allgemein an, dass Gott alle Lebewesen einzeln geschaffen hatte (gemäß der biblischen Schöpfungsgeschichte). Dabei hatte er sie so konstruiert, dass sie sehr gut an die diversen Lebensbedingungen auf unserer Erde angepasst sind und erfolgreich fortpflanzen können. Eine Abwandlung der Schöpfungsidee war nicht vorgesehen, d. h. Arten galten als konstant.

Darwin ging dagegen von der Veränderlichkeit der Arten aus, die alle durch gemeinsame Abstammung miteinander verbunden sind (Stammesgeschichte; Phylogenie). Danach gab es vor langer Zeit Urformen des Lebens, aus denen sich neue Arten kontinuierlich und graduell abgeleitet haben. Die Anpassungen, die wir bei den heute lebenden Arten sehen, erklärt Darwin durch das Prinzip der „natürlichen Selektion“. Darwin geht davon aus, dass die meisten Merkmale einer Art und innerhalb einer größeren Population variabel sind. Die Natürliche Selektion bewirkt, dass die Individuen, die zufällig besser an eine Umweltsituation angepasst sind, eher überleben und mehr Nachkommen produzieren und dabei diese adaptiven Merkmale an ihre Nachkommen weitergeben. Darwin wusste zwar, dass es Vererbung gibt, kannte aber nicht deren Mechanismen. Wir wissen heute dagegen, dass unsere Erbinformation in den Chromosomen gespeichert sind und stofflich aus DNA besteht. Die moderne Biologie versucht zu erkennen, wie man über Gene den Phänotyp der diversen Lebewesen und die Komplexität der Anpassungen erklären kann.

Grundsätzlich hat sich das Prinzip der „Natürlichen Selektion“ bestens bewährt und Biologen beurteilen die diversen Merkmale eines Lebewesens unter dem Aspekt der evolutionären Anpassung (Adaptionismus). Je besser ein Individuum an seine Umwelt angepasst ist, desto höher (statistisch gesehen) sein Fortpflanzungserfolg und die Chance seine Gene an weitere Generationen weiter zu geben. Moderne Evolutionsbiologen finden sich daher meistens im Lager der „Adaptionisten“.

Aber auch heute noch gibt es viele Menschen, die an die biblische Schöpfungsgeschichte glauben und die Evolutionshypothese ablehnen. Eine Variante des Kreationismus ist die Vorstellung eines „intelligent designs“. Danach hat Gott wie ein Uhrmacher alle wichtigen komplexen Einzelelemente geschaffen, die im

Verlauf der Phylogenie durch Kombination zu neuen angepassten Formen führten (Storch et al. 2013).

2 Problem der Schönheit

Charles Darwin war nicht nur ein hochintelligenter Analytiker, sondern auch ein exzellenter Naturbeobachter. Viele Tiere tragen ein braun-schwarzes Federkleid, Fell oder Haut. Für Darwin waren dies Anpassungen zur Tarnung, um nicht von Fressfeinden entdeckt zu werden. Diese Anpassung konnte er leicht durch Natürliche Selektion erklären.

Aber wie erklärt man die prächtig und auffällig gefärbten Männchen vieler Vögel, Reptilien und Fische? Denn diese tragen keine Tarnfarben, sondern sind für jeden Fressfeind durch die auffälligen Farben leicht auszumachen. Neben der verschwenderischen Federpracht singen Vogelmännchen zur Brutzeit unentwegt oder zeigen pompöse Balztänze (Laubenvögel, Paradiesvögel, Pipras; Abb. 1). Einen direkten Anpassungswert für die Schönheit konnte Darwin nicht erkennen. Er hat scherzhaft gesagt, dass es ihm jedes Mal übel wird, wenn er ein prächtig befiedertes Pfauenmännchen sieht, das ein Rad schlägt (Abb. 2). Er schrieb 1860 an Asa Gray: „*The sight of a feather in a peacock's tail, whenever I gaze it, makes me sick!*“

Darwin nahm an, dass diese Schönheits-Merkmale nicht durch „Natürliche Selektion“ entstanden, sondern durch sexuelle Selektion. Für ihn waren es die Weibchen, die eine besondere Vorstellung von Schönheit haben mussten und immer die besonders hübschen und attraktivsten Männchen nach ihrem Schönheitsideal auswählten. Er nannte diese Selektion die „sexuelle Selektion“, die wir auch mit Damenwahl bezeichnen könnten. 1871 publizierte Darwin in *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex* (*Die Abstammung des Menschen und die geschlechtliche Zuchtwahl*) diese zweite Selektionstheorie. Darwin lebte in der viktorianischen Zeit, in der alleine die Vorstellung, dass Frauen etwas zu entscheiden hätten, nicht akzeptabel war. Deshalb wurde die Hypothese der sexuellen Selektion nicht populär, auch nicht unter Wissenschaftlern.

Selbst Alfred Russel Wallace (1823 – 1913), der gleichzeitig mit Darwin die Theorie der Evolution und natürlichen Selektion aufstellte, war für die sexuelle Selektionshypothese nicht zu haben. Im 20. Jahrhundert wurde dann auch bald eine adaptionistische Erklärung für die sexuelle Selektion entwickelt: Frauen

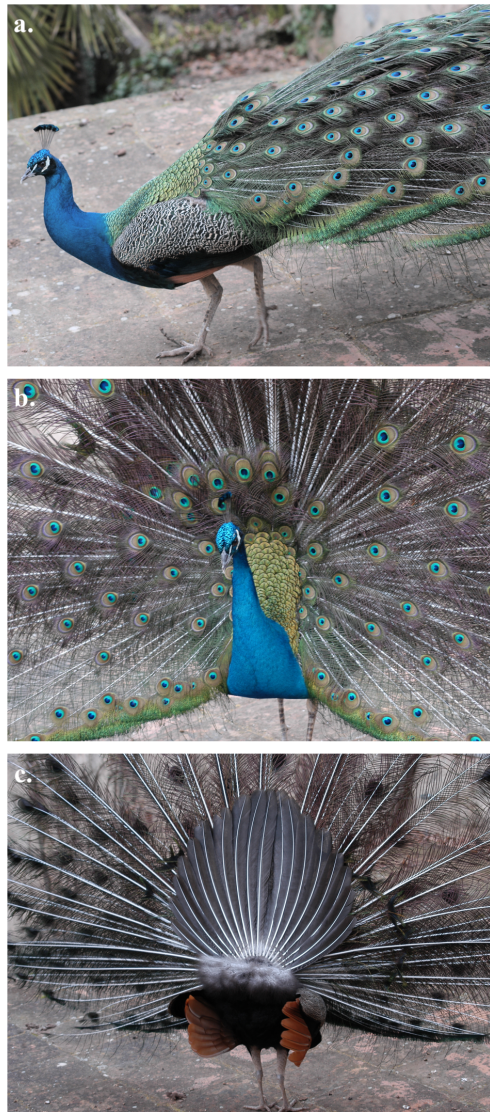


Abbildung 1: Pfauenmännchen (Fotos M. Wink). – a. normale Haltung, b. Radschlagend vor vorne, und c. von hinten.



Abbildung 2: Prachtkleider der Vogelmännchen; Weibchen tragen ein schlichtes Tarnkleid. – a. Auerhahn (Foto M. Vences), b. Kolbenente (Foto M. Vences), c. Weißkopfruderente (Foto M. Vences), d. Gimpel (Foto F. Schrauth), e. Blaukehlchen (Foto F. Schrauth), f. Steinschmätzer (Foto F. Schrauth), g. Schwarzkehlchen (Foto F. Schrauth), h. Zippammer (Foto F. Schrauth).

sollten daran interessiert sein, einen gesunden und fitten Mann zu finden, um erfolgreich Nachwuchs zu produzieren und groß zu ziehen. Aber wie soll ein Vogelweibchen erkennen, ob ein Männchen gesund ist, gute Gene besitzt und die Familie ernähren kann? Hier kommt jetzt das sogenannte „Handicap-Prinzip“ von Amotz Zohavi (1975), Lande (1980) und Kirkpatrick (1982) ins Spiel. Die Argumentation läuft wie folgt: Es ist energetisch sehr kostspielig, ein besonders farbenprächtiges Federkleid („sexuelle Ornamente“) zu entwickeln; vor allem kostet es zusätzlich Energie, viele Stunden am Tag zu balzen und zu singen. Denn diese Zeit fehlt für die Nahrungssuche. Zudem sind die auffällig lebenden Männchen ständig durch Fressfeinde gefährdet. Wenn ein Männchen trotz allem überlebt, besonders farbenprächtig ist, so soll dies ein indirektes Fitnessmerkmal darstellen. Vor allem ist das Signal ehrlich und kann kaum manipuliert werden. Nicht nur bunte Federn gelten als sexuelle Ornamente, auch die Einlagerung von roten oder orangefarbenen Karotinoiden in Federn (Flamingo), Schnabel (Amselmännchen) oder Haut (Schmutzgeier) gilt als Fitnessindikator (Abb. 3). Wenn also ein Vogelweibchen den buntesten und am längsten singenden Mann erwählt, so hat es damit wahrscheinlich einen Partner mit Fitness (Überlebenstalent) und guten Genen selektioniert. Diese guten Gene gehen dann an die nächste Generation, vor allem an die Söhne weiter. Somit wären die sexuellen Ornamente eine teure, aber nützliche Anpassung. Damit würde die sexuelle Selektion als Unterpunkt der natürlichen Selektion laufen und adaptionistisch zu erklären sein. Die Natur kennt offenbar auch diverse Ausnahmen. Bei vielen Vogelarten unterscheiden sich beide Geschlechter nicht (Abb. 4).

Darwin nahm an, dass die Vogelfrauen eine Vorstellung von Schönheit besitzen und unter dem Gesichtspunkt der Ästhetik ihren Partner selektieren. Darwins Idee der Schönheitsselektion geriet weitgehend in Vergessenheit, zumal sie nicht in das Theoriegebäude der Adaptionisten passte. Es ist der Verdienst des amerikanischen Ornithologen Richard Prum von der Yale University, der Darwin wieder las und durch seine eigenen Beobachtungen an Pipras (Schnurrvögel) überzeugt war, dass Darwin recht hatte und dass es primär nicht um Fitness, sondern um Schönheit geht. Prum publizierte seine Idee 2017 in einem weit beachteten Sachbuch *„The Evolution of Beauty- How Darwin’s forgotten theory of mate choice shapes the animal world and us“*. Während Prum für dieses Buch sogar für den Pulitzer-Preis 2018 nominiert wurde und das Buch von der New York Times zu den 10 besten Büchern des Jahres 2017 gewählt wurde, tut sich die Fachwelt mit der These

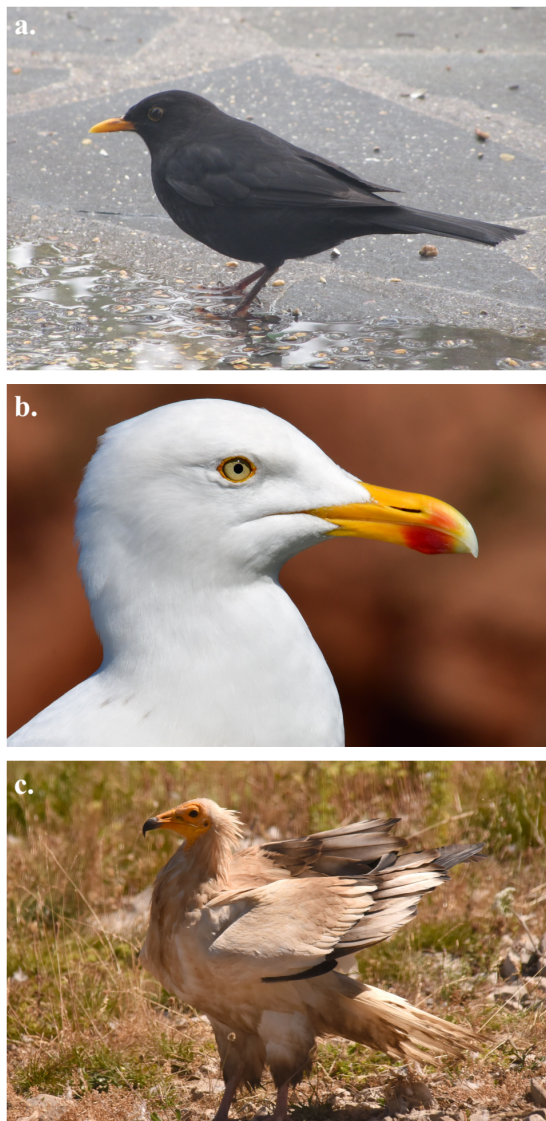


Abbildung 3: Schnabel und Hautfarben sind auch Signale. – a. Amsel (Foto F. Schrauth), b. Silbermöwe (Foto F. Schrauth), c. Schmutzgeier (Foto M. Vences).



Abbildung 4: Bei einigen Vogelarten tragen beide Geschlechter ein Prachtkleid. – a. Bienenfresser (Foto F. Schrauth), b. Wiedehopf (Foto M. Vences).

der ästhetischen Partnerwahl schwer. Viele Besprechungen von sachkundigen Kollegen fielen entsprechend negativ aus (Kempnaers, 2017; Borgia & Ball, 2018; Patricelli et al., 2018).

Wir Menschen sind Augentiere, die mit sehr gutem Farbsehen und Hören aber schlechtem Geruchsvermögen ausgestattet sind. Diese Eigenschaft teilen wir mit den Vögeln. Interessanterweise sind auch für uns die bunten Gefieder

vieler Vogelmännchen schön und wir können uns an den Vogelgesängen erfreuen. Offenbar besitzen wir einen ähnlichen Geschmack und ähnliche Vorliebe für Schönheit. Das würde dafürsprechen, dass Schönheit eine evolutionäre Basis hat und nicht nur ein Konstrukt der Kultur ist. Da Schönheit eine subjektive Größe („Schönheit liegt immer auch im Auge der Betrachterin“) ist, wird sie in den exakten Wissenschaften kaum behandelt, vor allem die Frage, ob Tiere eine Vorstellung von Schönheit besitzen, wird meist als unwissenschaftlich, da subjektiv, abgetan.

Wenn man Prums Buch gelesen hat, wird man seine Meinung vielleicht überdenken und feststellen, dass das Thema Schönheit auch für Biologen und Evolutionsforscher ein spannendes Thema sein müsste. Persönlich würde ich die adaptionistische These jedoch nicht gänzlich ablehnen (wie R. Prum dies macht), sondern nehme an, dass es zwar primär um Schönheit geht und sekundär erst um Fitness. Warum sollte Schönheit nicht auch als ehrliches Signal für Fitness dienen?

Literatur

- Borgia, G., Ball, G.F.(2018) Book review: The evolution of beauty: How Darwin's forgotten theory of mate choice shapes the animal world—and us. *Animal Behaviour* 137:187–188
- Darwin, C. (1859) *On the Origin of Species*. John Murray, London
- Darwin, C. (1871) *The Descent of Man, and Selection in Relation of Sex*. John Murray, London
- Kempenaers, B.(2017). The evolution of advertising. *Ardea* 105:85–87
- Kirkpatrick, M. (1982) Sexual selection and the evolution of female choice. *Evolution* 82, 1-12
- Lande, R. (1980) Sexual dimorphism, sexual selection, and adaptation in polygenic characters. *Evolution* 34, 292-305
- Patricelli G. L., Hebets, E. A., Mendelson, T. C. (2019) Book review of Prum, R. O. 2018. *The evolution of beauty: How Darwin's forgotten theory of mate choice shapes the animal world—and us* (2017), Doubleday, 428 pages, ISBN: 9780385537216 . *Evolution* 73, 115-124
- Prum, R. O. (2017) *Evolution of Beauty: How Darwin's forgotten theory of mate choice shapes the animal world and us*. Doubleday, New York

Storch, V., Welsch, U., Wink, M. (2013) Evolutionsbiologie. 3. Auflage; Springer, Heidelberg

Zahavi, A (1975) Mate selection- a selection for a handicap. Journal of Theoretical Biology 53, 205-214

Über den Autor

Prof. Dr. Michael Wink studierte Biologie und Chemie an der Universität Bonn. Nach Promotion und Habilitation an der TU Braunschweig folgten Stationen in Köln, München und Mainz. Seit 1989 arbeitet er als Ordinarius für Pharmazeutische Biologie an der Universität Heidelberg. Seine Arbeitsgebiete sind vielfältig und reichen von der Phytochemie, Arznei- und Giftpflanzen, Pharmakologie bis zur Systematik, Evolutionsforschung und Ornithologie. Er ist Autor/Co-Autor von mehr als 20 Büchern und über 800 Originalpublikationen.

Korrespondenz:

Prof. Dr. Michael Wink

Institut für Pharmazie und Molekulare Biotechnologie (IPMB)

Universität Heidelberg

Im Neuenheimer Feld 364

69120 Heidelberg

E-Mail: wink@uni-heidelberg.de

Homepage: <https://www.uni-heidelberg.de/institute/fak14/ipmb/phazb/>

https://www.researchgate.net/profile/Michael_Wink

Symmetrien

GEORG WOLSCHIN

Institut für Theoretische Physik, Universität Heidelberg

Zusammenfassung

Beauty in nature is often – but not always – due to symmetries, structures, or simplicity. Like beauty, simplicity is very hard to grasp or to define in a scientific sense. Structures are much easier to precisely describe and investigate in research projects, such as excellence clusters. In this article, the concept of symmetry, its relation to structures, and the connection to the notion of beauty is explored. Following an introduction about symmetries and structures that we encounter in everyday life, and their impact on our sense of beauty, specific examples from the physical sciences are explored in more detail. The relation between symmetries and conservation laws, as well as their significance for the laws of nature that govern the four fundamental interactions are discussed.

1 Einleitung

Das Konzept der Symmetrie und ihrer Brechung ist tief verankert im Bauplan der Natur. In der Welt der Teilchen und Kräfte lehrt es uns, wie die Welt im Innersten zusammenhält – und das auf eine weitgehend exakte, jedenfalls mathematisierbare Weise. Wie dies mit dem Begriff der Schönheit zusammenhängt, ist weniger genau fassbar. Sehen wir uns als Beispiel eines der Bilder von Maurits Escher an (Abb. 1.1): In den Zeilen dieses Bildes sind die Vögel und die Fische jeweils *translationssymmetrisch* (symmetrisch gegenüber Verschiebung), wir können die Tiere von links nach rechts und umgekehrt ineinander verschieben. Dies ist eine der einfachsten grundlegenden Symmetrien, die in der Natur vorkommen. Die meisten werden das Bild auch *schön* oder zumindest ästhetisch finden.

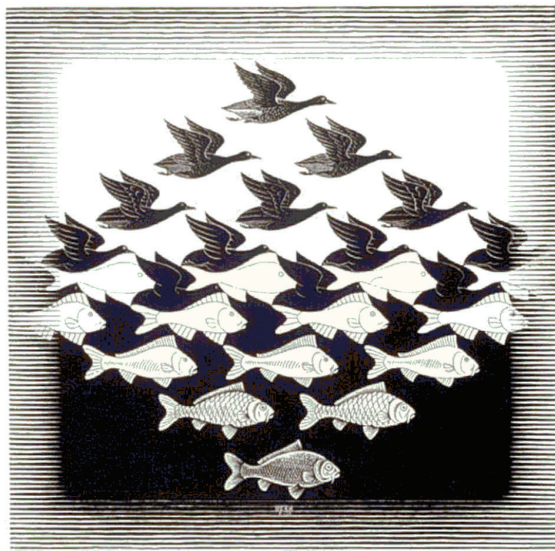


Abbildung 1.1: M. C. Escher: Luft und Wasser I.

© 2019 The M.C. Escher Company - the Netherlands. All rights reserved. Used by permission. www.mcescher.com

Sehr ästhetisch sind auch Mikroskopaufnahmen von Schneeflocken. Sie sind alle unterschiedlich, aber stets *drehsymmetrisch* (meist sechszählig wie in Abb. 1.2, selten auch zwölfzählig): “Under the microscope, I found that snowflakes were miracles of beauty; and it seemed a shame that this beauty should not be seen and appreciated by others. Every crystal was a masterpiece of design and no one design was ever repeated. When a snowflake melted, that design was forever lost. Just that much beauty was gone, without leaving any record behind.” (Wilson A. Bentley, 1865–1931).

Die beeindruckende Rotationssymmetrie der Schneeflocken bei Drehungen um 60, 120, 180, 240 und 300 Grad, und auch bei Spiegelungen an sechs Geraden durch den Mittelpunkt haben ihre Ursache in der eigenwilligen Struktur und den chemischen Eigenschaften des Wassermoleküls H_2O , die das sechseckige Muster bewirken. Für den Astronomen Johannes Kepler (1571–1630) erschien dies seinerzeit als ein Wunder der Natur: “Die sechs Winkel sind so gleich, das es unmöglich für einen Menschen wäre, etwas so Genaues herzustellen” – eine

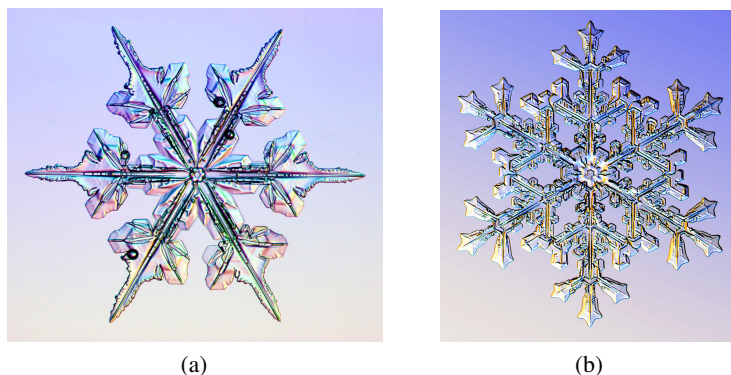


Abbildung 1.2: Rotationssymmetrie von Schneeflocken

© Kenneth G. Libbrecht, Caltech, with written permission

Erklärung für die große Vielfalt der Schneekristalle und ihre Struktur hatte Kepler aber noch nicht. Der Hamburger Biologe Irenäus Eibl-Eibesfeldt (1928–2018) schreibt sinngemäss zum Thema Symmetrien in seinem Werk *Weltsprache Kunst*, dass es in Natur und Kunst sichtbare Zeichen (“Wirkungsgesetze”) gibt, die als Archetypen des Ästhetischen zu interpretieren sind.

Aber nicht nur vom Standpunkt der Kunst und der Chemie sind symmetrische Strukturen wie die Schneekristalle von Interesse, sondern auch für die Mathematik, denn die Menge der Bewegungen, die den Kristall in sich überführen, bilden eine Gruppe im mathematischen Sinn. Allgemeiner bilden alle Bewegungen, die ein beliebiges Objekt ungeändert lassen, die Symmetriegruppe des Objekts, anhand derer man Objekte auch klassifizieren kann. So lassen sich etwa verschiebungssymmetrische Kristallstrukturen im dreidimensionalen Raum (siehe der Kochsalzkristall in Abb. 1.3) klassifizieren, und die Mathematik zeigt, dass es für die Anordnung von Atomen und Molekülen im Raum 230 mögliche Kristalltypen gibt.

Wie beim Schneekristall spielen oft mehrere Symmetrien gleichzeitig eine Rolle. Ein Beispiel zeigt Abb. 1.4, ebenfalls von Escher: Wir finden dort bei genauem Hinsehen translations- und drehsymmetrische Schmetterlingsanordnungen, und wenn wir die Farbrotaion dazunehmen, sowohl drei-, als auch sechszählige Drehungen. Rotationssymmetrie ist auch im Pflanzenreich oft zu finden, so bei vielen Blüten, siehe Abb. 1.5. Kombinieren wir Rotation und Translation, ergibt

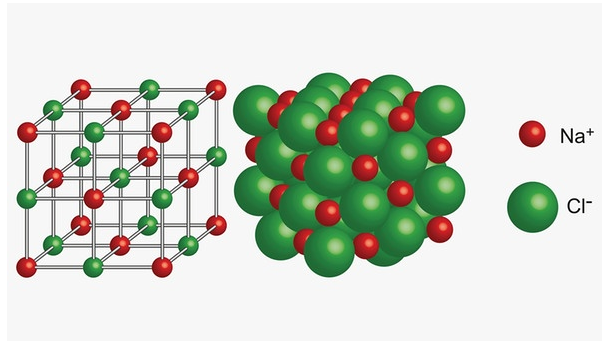


Abbildung 1.3: Kochsalzkristall NaCl

© Bayerischer Rundfunk

sich ebenfalls eine Symmetrie, wie man sie von Wendeltreppen oder auch der Doppelhelixstruktur der Desoxyribonukleinsäure (DNS) kennt.

Allerdings sind die Schmetterlinge in Abb. 1.4 selbst – wie die meisten Tiere und auch der Mensch – keineswegs rotationssymmetrisch oder spiralförmig aufgebaut, sondern rechts-links spiegelsymmetrisch wie die Libelle in Abb. 1.6. Nur sehr wenige wasserlebende Organismen weichen äußerlich von der Bilateralsymmetrie ab. Auch in der Technik sind Fahrzeuge, Schiffe und Flugzeuge meist bilateralsymmetrisch. Im Innern ist jedoch die Spiegelsymmetrie meist gebrochen – siehe Herz, Leber und Gallenblase beim Menschen, oder die Lenksäule im Auto. Das Erscheinungsbild der Natur und Technik im makroskopischen Bereich ist demnach nur teilweise symmetrisch. Dabei ist Asymmetrie hier nicht gleichbedeutend mit Unordnung oder Durcheinander, sondern gibt in der Regel einen Hinweis auf tiefer liegende Strukturen, wie sie beispielsweise zum Funktionieren eines Organismus notwendig sind: so hätten wir mit zwei spiegelsymmetrischen Herzen wohl Kreislaufprobleme.

Im Hauptteil dieses Kapitels werden wir uns dann wesentlich mit der Frage auseinandersetzen, wie es mit den Symmetrien bei den fundamentalen Naturkräften bestellt ist: Welche gibt es, sind sie erhalten oder gebrochen? Welche Konsequenzen hat das für die makroskopische, von uns direkt wahrgenommene, Welt und für das Universum? Gilt für die Symmetrie der Naturgesetze (oder auch ihre Verletzung) ähnlich wie bei Tieren und Pflanzen noch der Begriff der Schönheit?

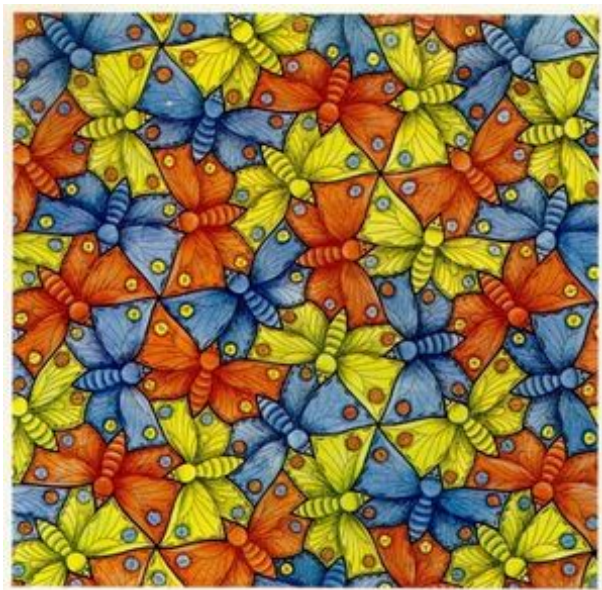


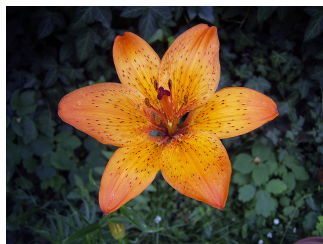
Abbildung 1.4: M. C. Escher: Symmetrie E70

© The M. C. Escher Company, B.V.

Genauer sollten wir hier wohl nach der “Schönheit” der Gleichungen fragen, in die sich die Naturgesetze fassen lassen.

Die von uns im Alltagsleben wahrgenommenen Symmetrien sind dabei nur begrenzt direkt übertragbar. So macht es bei den Naturgesetzen zwar Sinn, nach einer Spiegelsymmetrie zu fragen – jedoch handelt es sich hier um eine *Raumspiegelung* (= *Paritätsoperation*), bei der nicht nur rechts und links, sondern auch oben und unten, sowie vorne und hinten vertauscht werden. Lebewesen sind selbstverständlich nicht symmetrisch gegenüber Raumspiegelung, man denke nur an Ober- und Unterseite eines Pferdes. Die Ursachen für den formgebenden Unterschied liegen hier einerseits darin, dass es zwischen Bewegung und Form einen Zusammenhang gibt, andererseits an der Schwerkraft: beides bewirkt die Ausbildung von Bilateralsymmetrie. Bei den Naturgesetzen ist das jedoch anders.

Fundamental wie die Raumspiegelung ist für die Naturgesetze auch die Symmetrie bei *Ladungsaustausch*, bei der positive gegen negative Ladungen getauscht



(a) Feuerlilie



(b) DNS

Abbildung 1.5: Symmetrien bei Blüten und der Doppelhelix

© D. Barthel; A. Handy, SD Times

werden, und umgekehrt. Dazu kommt die Symmetrie bei *Zeitspiegelung*, die in der makroskopischen Welt im Unterschied zur Quantenwelt nicht real wahrnehmbar ist. Alle drei Symmetrien und verschiedene Kombinationen werden wir im Einzelnen untersuchen.

Zum Zusammenhang von Natur, Wissenschaft, Symmetrie und Schönheit gibt es viele Kommentare. So meinte der Mathematiker, Physiker und Philosoph Henri Poincaré (1854–1912): “The Scientist does not study nature because it is useful to do so. He studies it because he takes pleasure in it; and he takes pleasure in it because it is beautiful,” und J. W. N. Sullivan (1886–1937), der Biografien



(a) Libelle



(b) Vitruvianischer Mensch

Abbildung 1.6: Bilateralsymmetrie bei Lebewesen

© Leonardo da Vinci (1452–1519)

von Newton (1643–1727) und Goethe (1749–1832) verfasst hat, schrieb: “It is in its aesthetic value that the justification of the scientific theory is to be found and with it the justification of the scientific method.” Am Beispiel von Goethes Farbenlehre können wir jedoch gut sehen, wo die Grenzen einer solchen Betrachtungsweise liegen: In seinen über viele Jahre gemachten Überlegungen wollte er das Phänomen Farbe nicht einseitig naturwissenschaftlich-physikalisch, sondern in seiner “Gesamtheit” erfassen und beschreiben [1]. Für ihn war Licht eine Einheit und nicht aus verschiedenen Spektralfarben zusammengesetzt, wie es Newton in Experimenten mit Lichtspalt und Prisma nachgewiesen hatte [2]: Ein Prisma zerlegt weisses Licht in seine Farben, die verschiedenen Wellenlängen entsprechen; weisses Licht ist daraus zusammengesetzt. Daran kamen auch eingefleischte Goethe-Anhänger nicht vorbei, wenngleich der Meister selbst im Gespräch mit Johann Peter Eckermann (1792–1854) meinte, dass er in seinem Jahrhundert in der schwierigen Wissenschaft der Farbenlehre der einzige sei, der das Rechte wisse. In der Wissenschaft – und vor allem in den Naturwissenschaften – müssen jedoch Gültigkeit und Relevanz von Theorien stets anhand von beobachtbaren und messbaren Fakten beurteilt werden. Dennoch ist die Ästhetik – gerade im Laufe der Entwicklung neuer Theorien – ebenfalls eine wichtige Kategorie.



Abbildung 1.7: Isaac Newton bei Experimenten mit Licht

© Nature / Apic / Getty; Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd, Nature

Dabei spielen Symmetrien und ihre Brechung eine wichtige Rolle. Es ist in der theoretischen Physik vorgekommen, dass eine von der Struktur der Gleichungen her ästhetisch attraktive Theorie, die zur Entstehungszeit den Tatsachen zu widersprechen schien, viele Jahre später doch akzeptiert wurde, als man die Fakten wesentlich genauer kannte. Ein Beispiel ist Hermann Weyls (1885–1955) zweikomponentige Wellengleichung für masselose *Fermionen* (Teilchen mit halbzahligem Eigendrehimpuls, Spin) aus dem Jahr 1929 [3]: Sie ist formal ästhetisch, verletzte jedoch die lange Zeit für grundlegend gehaltene Raumspiegelungs-Invarianz und wurde deshalb abgelehnt. Dann entdeckte man fast 30 Jahre später experimentell im Kobaltzerfall [4], dass die Parität in der Natur durchaus verletzt ist – und die Weyl-Gleichung wurde nachträglich akzeptiert: Sie war nicht nur ästhetisch, sondern auch im Rahmen ihres Gültigkeitsbereiches korrekt.

Ein anderes Beispiel ist die ursprünglich 1926 von Erwin Schrödinger (1887–1961) formulierte Klein-Gordon-Gleichung [5, 6, 7]: historisch die erste relativistische (bei Geschwindigkeiten in der Nähe der Lichtgeschwindigkeit gültige) Wellengleichung. Auch sie erfüllt Kriterien mathematischer Eleganz, wurde aber verworfen, weil ihre Lösungen negative Wahrscheinlichkeitsdichten haben konnten – Wahrscheinlichkeiten müssen jedoch im Allgemeinen positiv (semi-)definit sein. Dennoch wurde die Gleichung viel später bei der Entwicklung von Quantenfeldtheorien als Basis für skalare Mesonfelder etabliert, setzte sich also langfristig als korrektes mathematisches Werkzeug in der Beschreibung der Natur durch.

Zweifellos gibt es aber auch mathematisch reichhaltige und ästhetisch ansprechende Theorien, die in der Natur keine Entsprechung gefunden haben – und andere, bei denen das noch eine offene Frage ist, wie im Fall der sogenannten Supersymmetrie in der Elementarteilchenphysik [8]. Dort ist bis heute unklar, ob es zu jedem elementaren *Boson* mit ganzzahligem Eigendrehimpuls ein entsprechendes *Fermion* mit halbzahligem Spin gibt – gefunden hat man jedenfalls nach heutigem Stand trotz intensiver Suche durch mehrere große internationale Kollaborationen (insbesondere ATLAS und CMS) am Large Hadron Collider LHC des Europäischen Forschungszentrums CERN in Genf noch keines [9]: Die Natur kann man nicht zwingen, Teilchen zu produzieren, nur weil Theorien sie vorhersagen. Angesichts mangelnder Fakten lässt sich Naturwissenschaft nicht allein durch mathematisch anspruchsvolle – und teils auch ästhetisch ansprechende – Theoriebildung ersetzen, wie das Kritikerinnen in der New York Times und Kritiker [10, 11, 12] publikumswirksam betont haben.



Abbildung 2.1: Emmy Noether (1882 - 1935)

Es ist demnach Ziel von Wissenschaft und insbesondere von theoretischer Physik, Modelle und Theorien zu entwerfen, die sowohl korrekt als auch ästhetisch sind, und darüber hinaus Vorhersagekraft haben. Symmetrien geben dabei wichtige Leitlinien. Im folgenden untersuchen wir zunächst den Zusammenhang von Symmetrien mit Erhaltungsgrößen – also Größen, die sich in bestimmten physikalischen Prozessen oder dem zeitlichen Verlauf der Entwicklung eines Systems nicht ändern. Anschliessend besprechen wir die für die Naturgesetze fundamentalen Symmetrien Raumpiegelung, Ladungskonjugation und Zeitumkehr. Wann sind sie erhalten, wann verletzt? Was bedeutet das für die Formulierung von Naturbeschreibung, und gibt es einen Zusammenhang zu Schönheit und Ästhetik?

2 Symmetrien und Erhaltungsgrößen

Grundlegend für die Verbindung zwischen Symmetrien von physikalischen Naturgesetzen und Erhaltungsgrößen (wie Ladung, Energie oder Impuls) ist das von Emmy Noether (Abb. 2.1) 1918 entwickelte und nach ihr benannte *Noether-Theorem* [13], das zu einer wichtigen Grundlage moderner Physik geworden ist. Demnach gehört zu jeder kontinuierlichen Symmetrie eine Erhaltungsgröße, und unter Symmetrie versteht man allgemein eine Transformation wie Translation oder Rotation, die das Verhalten eines physikalischen Systems nicht ändert.

Richard Feynman (1918–1988) hat *Symmetrie* etwas verständlicher so definiert: “Ein Ding ist symmetrisch, wenn man es einer bestimmten Operation aussetzen kann und es danach als genau das gleiche erscheint wie vor der Operation.” Dabei

beginnt man in der Physik häufig gar nicht mit der Symmetrie der Dinge, sondern mit den Symmetrien selbst, und fragt erst anschliessend nach den “Dingen” – wie etwa den Naturgesetzen, die eine vorgegebene Symmetrie haben.

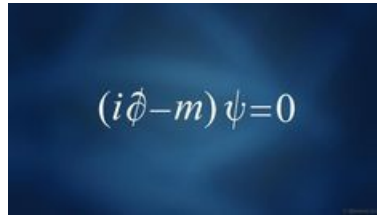
Eine Erhaltungsgröße eines Systems von Teilchen ist eine Funktion der Zeit, der Geschwindigkeit und des Ortes der Teilchen, deren Wert sich auf jeder Bahn durch den Phasenraum nicht mit der Zeit ändert. Zum Beispiel ist die Energie eines Teilchens, das sich in einem skalaren Potential bewegt, eine Erhaltungsgröße.

Allgemein folgt die Energieerhaltung aus der Homogenität der Zeit, die Impulserhaltung aus der Homogenität des Raumes: Der Impuls eines freien Teilchens ist konstant, nicht dagegen der Impuls eines Teilchens im Gravitationsfeld der Sonne, denn der jeweilige Ort ist wesentlich für die Bewegung des Teilchens. Aus der Isotropie des Raumes – also der Unabhängigkeit von der Richtung (Rotationsinvarianz) – folgt die Erhaltung des Drehimpulses. Beispielsweise bleibt der Drehimpuls eines Teilchens im Gravitationsfeld der Sonne stets erhalten, da das Gravitationspotenzial in allen Richtungen das gleiche ist. Im Folgenden werden wir insbesondere auch Symmetrien untersuchen, die der Erhaltung der *Ladung* von Elementarteilchen entsprechen – sie betreffen Wellenfunktionen dieser subatomaren Teilchen, wie Quarks, Neutrinos oder Elektronen. Die Ladung ist ein sogenannter lorentzinvarianter Skalar, der in allen Bezugssystemen den gleichen Wert hat – was ihn fundamental von Impuls und Drehimpuls unterscheidet (beides sind Vektoren, gerichtete Größen).

Den hier angedeuteten Zusammenhang von Symmetrien und Erhaltungsgrößen hat Emmy Noether in ihrem Theorem für solche physikalische Systeme mathematisch formuliert, deren Bewegungsgleichungen aus einem sogenannten Variationsprinzip abgeleitet werden können – das ist in der bekannten Newtonschen Physik, aber auch in der relativistischen Physik, wo die Galilei- durch die Lorentz-Transformation ersetzt wird, meist der Fall.

3 Symmetrien und Naturgesetze

Wir können die Definition der Symmetrie von Feynman – die sich an eine ältere von Hermann Weyl anlehnt – nun auch von Objekten im Raum auf die Naturgesetze selbst, beziehungsweise auf ihre Formulierungen durch Gleichungen, übertragen. Für die Skalensymmetrie von Newtons Gleichungen der Planetenbewegungen beispielweise gilt: Ein Naturgesetz wie das Newtonsche, das Zustandsvariable



$$(i\hat{\phi} - m)\psi = 0$$

Abbildung 3.1: Freie Dirac-Gleichung

© P. A. M. Dirac / Stellario Cama

wie Orte und Geschwindigkeiten und Parameter wie Massen und Naturkonstanten enthält, soll in Anlehnung an die Symmetrien von Objekten im Raum *symmetrisch* bezüglich einer Transformation heißen, wenn die Variablen und Parameter unter Beachtung der Regeln der Mathematik durch ihre transformierten Gegenstücke ersetzt werden können, und für diese identisch dasselbe Naturgesetz gilt [14]. In diesem Sinne untersuchen wir jetzt Naturgesetze im Hinblick auf ihre Symmetrien bezüglich Raumspiegelung (Paritätssymmetrie P), Ladungskonjugation (C) und Zeitumkehr (T).

Beginnen wir mit dem Gesetz, welches das Verhalten von Elektronen im Vakuum, und auch in starken elektromagnetischen Feldern beschreibt, wie sie beispielsweise ein Atomkern erzeugt. Der Kern ist aus positiv geladenen Protonen und neutralen Neutronen aufgebaut, und in seinem Feld besetzen die negativ geladenen Elektronen Quantenzustände, die wir auf der Grundlage eines von Paul Dirac (1902–1984) im Jahre 1928 gefundenen Gesetzes und der dazugehörigen, später nach ihm benannten Gleichung [15] präzise ausrechnen können – in einfachen Spezialfällen wie dem Wasserstoffatom lassen sich analytische Lösungen finden, im Allgemeinen braucht man bei schweren Atomen mit vielen Kernteilchen und Elektronen Computer, um das Problem numerisch zu lösen.

Die so bestimmten Quantenzustände mit den dazugehörigen vier räumlichen Wellenfunktionen (*Spinoren*) charakterisieren die – nach aussen hin neutralen – Atome, die Bausteine der materiellen Welt. Bis auf kleine Abweichungen wie die Lamb-Verschiebung, die man im Rahmen der Quantenfeldtheorie beschreibt, stimmen die Ergebnisse sehr genau mit den Messwerten überein, so dass die Dirac-Gleichung als die relativistisch korrekte Beschreibung des Elektrons gilt, in der auch der Eigendrehimpuls (Spin) des Elektrons bereits berücksichtigt ist.

Für Mathematiker und theoretische Physiker hat die Dirac-Gleichung (siehe Abb. 3.1) für freie Teilchen, ohne elektromagnetisches Feld, mit der imaginären Einheit i , dem Differenzialoperator $\not{\partial}$, dem vierkomponentigen Spinor ψ , und der Masse $m \simeq 511$ Kiloelektronenvolt/ c^2 des Elektrons als grundlegende Gleichung der relativistischen Quantenmechanik für Fermionen auch eine hohe ästhetische Qualität, und jeder sollte selbst entscheiden, ob er oder sie dem zustimmt.

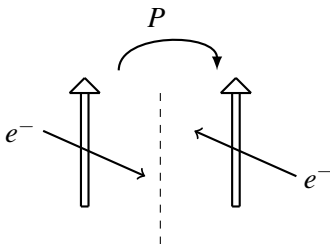


Abbildung 3.2: Paritätstransformation P bei Elektronen (e^-): Impulsumkehr (Pfeile), Spin bleibt erhalten (Doppelpfeile)

Nachdem wir das Naturgesetz der relativistischen Quantenmechanik und die ihm entsprechende Gleichung gefunden haben, können wir untersuchen, wie sie sich bei verschiedenen Symmetrioperationen verhält. Fangen wir an mit der Raumspiegelung (Paritätstransformation). Sie vertauscht bei den räumlichen Koordinaten sowohl rechts und links, als auch oben und unten, während die Zeitkoordinate unverändert bleibt. In kartesischen Koordinaten bedeutet dies, dass sich die Vorzeichen aller räumlichen Komponenten und demnach auch die des Impulses umkehren, siehe dünne Pfeile in Abb. 3.2¹. Der Eigendrehimpuls (Spin, dicke Pfeile) bleibt jedoch erhalten, ebenso die negative Ladung des Elektrons, symbolisiert durch e^- .

Der Spinor ψ ist eine Funktion von allen vier Raum-Zeit-Koordinaten, und wir müssen jetzt untersuchen, ob sich die Dirac-Gleichung ändert, wenn wir die Paritätstransformation ausführen. Das erfordert mathematische Operationen, die wir hier überspringen [16, 17, 18, 19] – das Ergebnis ist: Die Dirac-Gleichung ist invariant gegenüber der Raumspiegelung, sie ändert sich nicht bei der Paritätstransformation. Das gilt nicht nur für die freie Dirac-Gleichung, sondern auch für

¹ © Abbildung 3.2, 3.3, 3.4 aus G. Wolschin, Relativistische Quantenmechanik, Springer Spektrum, Berlin-Heidelberg 2016

die Gleichung mit elektromagnetischem Feld, und wir können daraus schließen, dass die elektromagnetische Wechselwirkung selbst paritätsinvariant ist.

Von den vier fundamentalen Kräften der Physik sind außer dem Elektromagnetismus auch die Gravitation und die starke Wechselwirkung invariant unter Raumspiegelungen: Die von ihnen verursachten Prozesse würden das betreffende System oder das jeweilige Elementarteilchen nach Raumspiegelung des Anfangszustands in den gespiegelten Endzustand überführen. Im Fall der schwachen Wechselwirkung, die den natürlichen radioaktiven Betazerfall vieler Elemente wie beispielsweise des schweren Wasserstoffisotops Tritium verursacht, haben jedoch Tsung-Dao Lee und Chen Ning Yang 1956 postuliert [20], dass dort die Raumspiegelungsinvarianz verletzt ist.

Dies konnte die chinesisch-amerikanische Physikerin Chien-Shiung Wu wenig später in Zusammenarbeit mit der Tieftemperaturgruppe des National Bureau of Standards beim Betazerfall von polarisiertem Cobalt-60 zu Nickel-60 experimentell bestätigen [4]: Es wurden deutlich mehr Elektronen antiparallel zur Spinrichtung der Kerne emittiert als parallel dazu. Der Unterschied hatte die maximal mögliche Größe, die Invarianz gegenüber Raumspiegelung war eindeutig verletzt. Kurz darauf konnte eine andere amerikanische Gruppe die Paritätsverletzung auch beim Zerfall des Myons in Elektron und Neutrino nachweisen [21]: Das Elektron wird bevorzugt entgegen der Spinrichtung des Myons ausgesandt.

Man schließt daraus, dass die beim Beta- und beim Myon-Zerfall ausgesandten, nahezu masselosen und ungeladenen, schwach wechselwirkenden *Neutrinos* "linkshändige" Teilchen mit bevorzugtem "Drehsinn" sind. Zwar ließe sich die Parität als fundamentale Symmetrie der Natur wiederherstellen, wenn Elementarteilchen wie das Neutrino "rechtshändige" Partner hätten (bei ungebrochener Paritätssymmetrie mit gleicher Masse, bei gebrochener Symmetrie mit unterschiedlicher Masse). Jedoch fehlt jede Evidenz dafür, dass es solche "Spiegelmaterie"-Teilchen gibt, so dass wir in der Physik heute davon ausgehen, dass die schwache Wechselwirkung die Parität verletzt. In den Worten von Lee und Yang [20]: "Weak interactions differentiate the right from the left".

Schon 1928 hatten Cox et al. erste Hinweise auf eine Paritätsverletzung anhand der Polarisation von Betastrahlung gefunden und publiziert [22]. Dies passte jedoch nicht zur damaligen Lehrmeinung, dass die Parität in der Natur erhalten sein müsse, und wurde als Messfehler angesehen ... Das Ergebnis löste in Physik und Naturwissenschaft einen ganz wesentlichen Paradigmenwechsel aus, da dies vor-

her undenkbar erschien. So hatte offenbar auch der Heidelberger Nobelpreisträger Hans Daniel Jensen (1907–1973) den lokalen Experimentalisten abgeraten², nach einer Paritätsverletzung zu suchen – was sie dann auch nicht taten, jedenfalls nicht vor Wus bahnbrechender Publikation.

Als nächstes untersuchen wir die Dirac-Gleichung und die elektromagnetische Wechselwirkung in Bezug auf ihr Verhalten bei Ladungskonjugation (C -Operation). Beim Vertauschen der Ladung (genauer: aller ladungsartigen Quantenzahlen) werden aus Teilchen wie dem negativ geladenen Elektron Antiteilchen mit entgegengesetzter Ladung; Impuls (dünne Pfeile) und Spinrichtung (dicke Pfeile) bleiben jedoch gleich (Abb. 3.3). Tatsächlich sind in Diracs Gleichung und dem vierkomponentigen Spinor, der sie löst, nicht nur Elektronen, sondern auch deren positiv geladene Antiteilchen enthalten. Als die Gleichung abgeleitet wurde, waren jedoch nur zwei Sorten von geladenen Teilchen bekannt: Elektronen, und positiv geladene Protonen. Man hielt deshalb zunächst das etwa 1836 mal schwerere Proton für das Antiteilchen des Elektrons, und erklärte die viel größere Masse durch die Wechselwirkung mit den anderen Teilchen im voll besetzten “Dirac-See” der Antiteilchen [23].

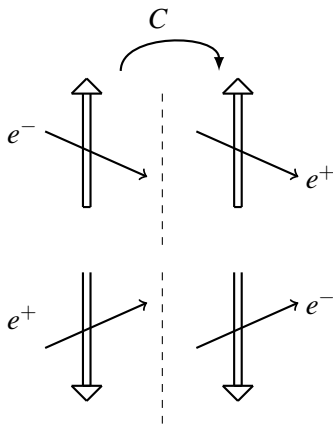


Abbildung 3.3: Ladungskonjugation C von Elektronen (e^-) und Positronen (e^+)

Im folgenden Jahr zeigte jedoch Hermann Weyl [24], dass aus Symmetriegründen Teilchen und Antiteilchen die gleiche Masse haben müssen, worauf Dirac noch

² priv. comm. J. Heintze (1926–2012)

im selben Jahr seine Theorie korrigierte, und ein “Antielektron” mit der gleichen Masse wie das Elektron, jedoch entgegengesetzter (positiver) Ladung postulierte [25]. Die zahlreichen Kritiker dieser revolutionären Hypothese verstummten bald darauf, als Carl David Anderson (1905–1991) unter Sekundärteilchen der kosmischen Höhenstrahlung anhand der Ablenkung im Magnetfeld das Antielektron identifizieren konnte [26]. Der heute gebräuchliche Name *Positron* stammt ebenfalls von Anderson [27]. Diese experimentelle Bestätigung der kurz zuvor in der Theorie postulierten Existenz von Antimaterie war ein ganz wesentlicher Schritt für die weitere Entwicklung der Naturwissenschaften – inzwischen kennt man für die zahlreichen heute bekannten, meist kurzlebigen Teilchen auch die jeweiligen Antiteilchen [28]. Die Antiteilchen zu den neutralen, bei Paritätsexperimenten als linkshändig identifizierten Neutrinos sind rechtshändig.

Während nicht nur die elektromagnetische, sondern auch die starke Wechselwirkung – die beispielsweise für den Zusammenhalt der Atomkerne sorgt – invariant gegenüber Ladungskonjugation ist, bricht die schwache Wechselwirkung nicht nur die Parität, sondern auch die Ladungsinvarianz, denn unter *C*-Konjugation wird aus einem linkshändigen Neutrino ein rechtshändiges – und das wird in der Natur nicht beobachtet. Für einige Jahre nach diesen Entdeckungen hatte man – im Sinne des Strebens nach Symmetrie und Schönheit in der Natur – die Hoffnung, dass wenigstens die *CP*-Symmetrie erhalten ist, bei der zusätzlich zur Raumspiegelung auch Teilchen mit Antiteilchen vertauscht werden. Schon 1964 zeigte jedoch eine US-amerikanische Wissenschaftlergruppe, dass sich Unregelmäßigkeiten beim Zerfall neutraler *K*-Mesonen nur durch eine Verletzung der kombinierten *CP*-Symmetrie erklären lassen [29]: Am Brookhaven National Laboratory fanden sie mit einer Rate von etwa zwei Promille *CP*-verletzende Zerfälle des K_L^0 -Mesons in zwei geladene π -Mesonen. Zwei der Gruppenmitglieder bekamen für die Entdeckung 1980 den Nobelpreis für Physik.

Die Entdeckung der Verletzung der Ladungspartität brachte eine Erklärungsmöglichkeit für die Unausgewogenheit unseres Universums mit sich: Planeten, Sterne und Galaxien bestehen aus Materie, man findet nur ganz wenige Anzeichen für Antimaterie im Weltall. Beim Urknall sollten jedoch Materie und Antimaterie zu gleichen Teilen aus Energie entstanden sein, wie wir es in der Tat heute in Teilchenbeschleunigern, beispielsweise dem LHC, bei Proton-Proton und Schwerionenkollisionen beobachten – woher kommt also die Materie-Antimaterie-Asymmetrie? Der russische Physiker Andrei Sakharow (1921–1989) wies 1967 darauf hin [30],

dass die CP -Verletzung neben Baryonenzahlverletzung und Nichtgleichgewicht eine von drei Voraussetzungen zur Erklärung der beobachteten Baryonenasymmetrie ist. Leider reicht aber die im Kaonenzerfall gemessene CP -Verletzung nicht für eine quantitative Erklärung aus, so dass die Ursache der Asymmetrie heute nach wie vor Gegenstand intensiver Forschung ist.

Eine dritte für die Physik – und besonders die Elementarteilchenphysik – zentrale Symmetrieoperation ist die Zeitumkehr-Transformation. Zwar ist es im Alltagsleben eher unwahrscheinlich, dass sich die Zeit umkehren lässt – sowohl der thermodynamische als auch der kosmologische Zeitpfeil sind von der Vergangenheit in die Zukunft gerichtet [31]. Die mikroskopischen Gesetze der Materie hielt man jedoch lange für zeitlich umkehrbar (reversibel). Das gilt insbesondere für die Grundgesetze der Quantenmechanik und die entsprechenden Gleichungen, etwa die bekannte Schrödingergleichung, oder die Diracgleichung im relativistischen Fall. Wenn wir die Zeitkoordinate umkehren, kehren sich auch der Impuls und der Spin um, die Ladung bleibt jedoch gleich (Abb. 3.4). Der zeitgespiegelte Zustand ist dann eine physikalisch mögliche Lösung der Grundgleichungen für die elektromagnetische Wechselwirkung, sowie für die Gravitation. Auch die Gleichungen der starken Kraft, die beispielsweise für den Zusammenhalt der Atomkerne sorgt, und die Gravitation sind zeitlich reversibel.

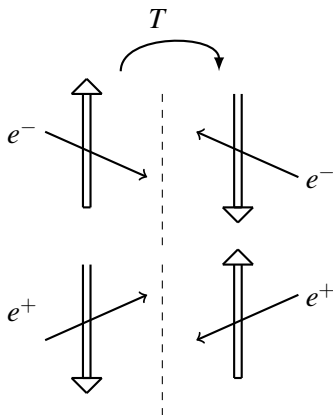


Abbildung 3.4: Zeitumkehrtransformation T von Elektronen (e^-) und Positronen (e^+)

Allerdings war bereits seit den 1950er Jahren das CPT -Theorem bekannt: Für jeden Prozess mit Materie läuft der entsprechende raumgespiegelte und zeitumgekehrte mit Antimaterie in gleicher Weise ab, wie Theoretiker [32, hyper-

ref[w:33]33] für Quantenfelder bewiesen hatten. Da die schwache Wechselwirkung nicht CP -invariant ist, folgt daraus, dass sie auch die Zeitumkehrinvarianz verletzen muss, wie das die CPLEAR-Kollaboration am CERN 1998 im System neutraler K -Mesonen (Kaonen), zu zeigen versuchte [34]; sie bestehen aus einem strange-Quark oder seinem Antiteilchen sowie einem up- oder down-Quark oder dessen Antiteilchen. Die Umwandlung eines neutralen Kaons in ein Antikaon erwies sich um 0,66 Prozent wahrscheinlicher als umgekehrt, demnach wäre die T -Invarianz verletzt. Leider ist ein nicht präzise bestimmbarer Teil des beobachteten Effekts wohl nicht durch die verletzte Zeitumkehrinvarianz verursacht worden, sondern durch die ebenfalls stattfindenden irreversiblen CP -verletzenden Zerfallsprozesse. Erst wesentlich später (2012) ist es der BABAR-Kollaboration am Forschungszentrum SLAC in Kalifornien gelungen, mit verschränkten Paaren von B -Mesonen die T -Invarianzverletzung durch die schwache Wechselwirkung unumstritten nachzuweisen [35]. Die B -Mesonen ähneln den K -Mesonen, sind aber schwerer und bestehen aus einem bottom- oder antibottom-Quark mit einem up- oder down-Partner.

Die auf diese Weise bewiesene Verletzung der T -Invarianz ist jedoch nicht gleichbedeutend damit, dass die fundamentalen Gesetze der Physik – speziell die schwache Wechselwirkung – zwischen Vergangenheit und Zukunft unterscheiden. Vielmehr erfordert das exakt zeitumgekehrte Analogon eines Prozesses, der die schwache Wechselwirkung enthält, auch eine Raumspiegelung (P) und einen Tausch von Materie und Antimaterie (C).

Die CPT -Symmetrie ist aber stets erhalten – jedenfalls im Rahmen des Standardmodells der Teilchenphysik, das als Quantenfeldtheorie eine einheitliche Beschreibung von drei der vier fundamentalen Wechselwirkungen (nicht jedoch der Gravitation) auf der Grundlage lokaler Eichsymmetrien und der dazugehörigen Symmetriegruppen ermöglicht. Dieses Modell beschreibt zahlreiche Phänomene der Teilchenphysik mit erstaunlicher Präzision. Es gelang 2012 am LHC des CERN [36, 37] sogar, als letzten fehlenden Modellteil das bereits 1964 von mehreren Autoren vorhergesagte Higgs-Boson [38, 39, 40] nachzuweisen (Abb. 3.5). Diese Teilchen entstehen kurzzeitig in der hochenergetischen Kollision von Protonen am LHC durch Anregung des umgebenden Higgs-Feldes. Das skalare Feld verleiht jedoch nicht nur dem Higgs-Boson, sondern auch den anderen elementaren Bosonen und Quarks ihre Masse – wenngleich der weitaus größte Teil der Masse im Universum nicht durch diesen Mechanismus zustandekommt, sondern über die

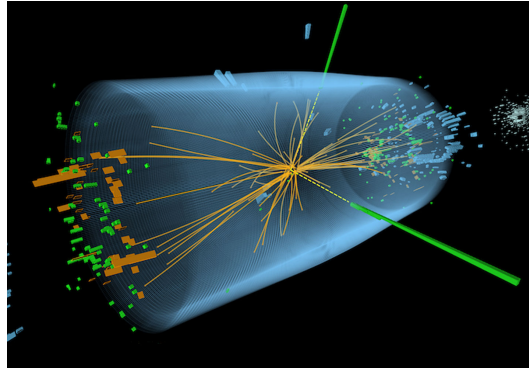


Abbildung 3.5: Zerfall des Higgs-Bosons in zwei Photonen (grün)

© CMS / CERN

Äquivalenz von Masse und Energie in der Bindungsenergie der makroskopischen Teilchen (Hadronen, Kerne) steckt. Ohne das Higgs-Feld gäbe es zwar auch Masse in anderer Form, jedoch keine aus Atomen aufgebaute Struktur der Materie, wie wir sie kennen, und natürlich auch keine Libellen, oder Menschen.

4 Suche nach der *CPT*-Verletzung

Trotz seiner Erfolge ist das Standardmodell der Teilchenphysik eher nicht die endgültige Theorie fundamentaler Naturforschung, sondern vielleicht nur Teil einer umfassenderen Beschreibung, die erst noch zu entwickeln ist – und dann hoffentlich auch formal-ästhetischen Kriterien in ähnlicher Weise genügt, wie das die Dirac-Gleichung für einen sehr viel kleineren Ausschnitt der Natur leistet. Grund zu dieser Annahme liefert insbesondere die Tatsache, dass das Standardmodell weder für die (wahrscheinliche, aber nicht bewiesene) Existenz dunkler Materie im Weltall eine fundierte und im Experiment bestätigte Erklärung anzubieten hat, noch zum Phänomen der “dunklen Energie”, die für eine beschleunigte Ausdehnung des Universums sorgt. Bei sehr hohen Energien wie beim Urknall in der Entstehungsphase des Universums ergeben sich ferner Widersprüche zur allgemeinen Relativitätstheorie, die sich erst nach Entwicklung einer konsistenten Quanten-Gravitationstheorie auflösen lassen – was jedoch derzeit in weiter



Abbildung 4.1: Suche nach einer *CPT*-Verletzung mit dem ALPHA Experiment am CERN

© M. Brice / CERN

ferne liegt. In dieser Situation gibt es zahlreiche Ansätze, das Standardmodell zu erweitern oder zu verbessern.

Die Möglichkeiten zu einer sinnvollen Erweiterung des Standardmodells der Teilchenphysik sind jedoch sehr eingeschränkt, sofern man am *CPT*-Theorem festhält. Wäre die *CPT*-Invarianz unter gewissen Umständen verletzt, ließe sich damit der Überschuss an gewöhnlicher Materie im Vergleich zur Antimaterie im Universum auch dann erklären, wenn dazu die *CP*-Verletzung allein nicht ausreicht. Ob diese Symmetrie jedoch – wie im *CPT*-Theorem gefordert – in der Natur tatsächlich exakt erhalten ist oder nicht, ist nach wie vor eine offene Frage.

Deshalb fahnden Wissenschaftler intensiv nach einer Verletzung dieser Symmetrie. Bei Teilchenzerfällen ließ sie sich bisher nicht nachweisen. Man sucht nun nach Unterschieden bei atomaren Energieübergängen in Atomen beziehungsweise Antiatomen. Einen ersten solchen Test legte 2016 die ALPHA-Kollaboration am CERN in Genf vor (Abb. 4.1). Sie maßen den Übergang vom $1S_{1/2}$ -Grundzustand in den mit einer Achtelsekunde vergleichsweise langlebigen ersten angeregten $2S_{1/2}$ -Zustand bei Antiwasserstoff-Atomen mittels Laserspektroskopie auf etwa zwei Zehnmilliardstel ($\simeq 2 \times 10^{-10}$) genau [41, 42], und verglichen das Ergebnis mit der entsprechenden Messung bei normalem Wasserstoff.

Die Idee, auf diese Weise die *CPT*-Invarianz zu testen, ist bereits 30 Jahre alt. Sie experimentell umzusetzen, war jedoch alles andere als einfach. Während sich

Antiprotonen und Positronen dank ihrer Ladung recht einfach bewegen und in elektrischen beziehungsweise magnetischen Teilchenfallen einfangen lassen, ist das bei neutralem Antiwasserstoff sehr viel schwieriger. Da Antimaterie beim Kontakt mit normaler Materie sofort zerstört wird, müssen die Parameter von elektrischem und magnetischem Feld in der Falle sehr präzise eingerichtet sein, um genügend Antiatome isolieren und dann per Laser anregen zu können.

Erstmals gelang es Forschern der ALPHA-Arbeitsgruppe bereits im Jahr 2010, Antiwasserstoff aus jeweils einem Antiproton und einem Positron in einer magnetischen Falle bei Temperaturen von wenigen Grad über dem absoluten Nullpunkt zu speichern. Die Experimentalisten konnten dann 2016 die geeigneten Bedingungen für die Laserspektroskopie an Antiwasserstoff herstellen. Das Ergebnis dieses komplexen Experiments läßt sich in eine Grenze für die mögliche Verletzung der *CPT*-Symmetrie bei Antiwasserstoff umrechnen. Demnach ist die *CPT*-Symmetrie bei Antiwasserstoff innerhalb einer Genauigkeit von etwa zwei Zehnmilliardstel erhalten. Das ist beeindruckend, genügt aber noch nicht als Beweis, dass die *CPT*-Symmetrie exakt gilt.

Vor allem mit dem neuen Antiprotonen-Ring ELENA (Extra Low Energy Antiproton ring) am CERN sollte es den dortigen Antiprotonen-Arbeitsgruppen ab 2020/21 möglich sein, die spektroskopischen Messungen zur *CPT*-Invarianz deutlich zu verbessern und auf andere Übergänge zu erweitern. Auch für die angestrebte Vereinigung des Standardmodells der Teilchenphysik mit der Gravitation wird das sicherlich wichtige Randbedingungen und neue Anregungen liefern. Viele Theorien wie etwa manche Stringtheorien, die auf eine solche Vereinigung hin arbeiten, setzen eine Verletzung der *CPT*-Symmetrie voraus – umso wichtiger ist es zu klären, ob sie in der Natur tatsächlich vorkommt.

5 Ausblick

Dieser Text sollte einen ersten und keineswegs umfassenden Einblick in die Rolle der Symmetrien und ihrer Verletzung in den Naturwissenschaften geben, und an manchen Stellen den Bezug zu Ästhetik und Schönheit herstellen. Die Verbindung zu Strukturen in Natur und Wissenschaft habe ich dabei nur an ganz wenigen Stellen erwähnt, der Heidelberger Forschungscluster “Structures” wird jedoch auf diesem Gebiet in den kommenden Jahren gewiss ganze Arbeit leisten. Schließlich sollten wir nicht vergessen, dass sich Schönheit in Natur, Kunst und

womöglich auch Wissenschaft keineswegs stets anhand von Symmetrien und ihrer Brechung entwickelt, sondern oft auch ohne jeden Bezug dazu – ein Beispiel ist Gayle Hermicks faszinierende Skulptur “Wandering the Immeasurable” (Abb. 5.1) gegenüber vom Eingang des Europäischen Forschungszentrums CERN in Genf.



Abbildung 5.1: Skulptur “Wandering the Immeasurable”

© Skulptur: Gayle Hermick, Foto: G. Wolschin

Literatur

- [1] J. W. Goethe, Zur Farbenlehre, Cotta, Tübingen, 2 Bde (1810).
- [2] I. Newton, New theory about light and colors, Phil. Trans. Roy. Soc. (1671–72) 3075.
- [3] H. Weyl, Elektron und Gravitation I, Z. Physik 56 (1929) 330.
- [4] C. S. Wu, E. Ambler, R. W. Hayward, D. D. Hoppes, R. P. Hudson, Experimental test of parity conservation in beta decay, Phys. Rev. 105 (1957) 1413.
- [5] E. Schrödinger, Quantisierung als Eigenwertproblem, Annalen Phys. 81 (1926) 109.
- [6] W. Gordon, Der Comptoneffekt nach der Schrödingerschen Theorie, Z. Physik 40 (1926) 117.
- [7] O. Klein, Elektrodynamik und Wellenmechanik vom Standpunkt des Korrespondenzprinzips, Z. Physik 41 (1927) 407.
- [8] J. Wess, B. Zumino, Supergauge transformations in four dimensions, Nucl. Phys. B 70 (1974) 39.
- [9] S. Chatrchyan, et al., Search for supersymmetry with razor variables in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV, Phys. Rev. D 90 (2014) 112001.
- [10] L. Smolin, The trouble with physics, Penguin books, London (2006).
- [11] P. Woit, Not even wrong, Basic books, New York (2006).
- [12] A. Giammanco, How beauty leads physics astray, CERN Courier 59 (1) (2019) 49.
- [13] E. Noether, Invariante Variationsprobleme, Nachr. d. König. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen, Math-phys. Klasse (1918) 235.
- [14] H. Genz, Symmetrie, in Lexikon der Physik, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg (1998).
- [15] P. A. M. Dirac, The quantum theory of the electron, Proc. Roy. Soc. A117 (1928) 610.
- [16] J. D. Bjorken, S. D. Drell, Relativistic Quantum Mechanics, McGraw Hill (2008).
- [17] O. Nachtmann, Elementarteilchenphysik, Vieweg, Braunschweig (1986).
- [18] F. Schwabl, Quantenmechanik für Fortgeschrittene, Springer, Berlin Heidelberg (2008).
- [19] G. Wolschin, Relativistische Quantenmechanik, SpringerSpektrum, Berlin Heidelberg (2016).
- [20] T. D. Lee, C. N. Yang, Question of parity conservation in weak interactions, Phys. Rev. 104 (1956) 254.

- [21] R. L. Garwin, L. M. Lederman, M. Weinrich, Observations of the failure of conservation of parity and charge conjugation in meson decays: the magnetic moment of the free muon, *Phys. Rev.* 105 (1957) 1415.
- [22] R. T. Cox, C. G. McIlwraith, B. Kurrelmeyer, Apparent evidence of polarization in a beam of *beta*-rays, *Proc. Natl. Acad. Sci (USA)* 14 (1928) 544.
- [23] P. A. M. Dirac, A theory of electrons and protons, *Proc. Roy. Soc. A* 126 (1930) 360.
- [24] H. Weyl, *Gruppentheorie und Quantenmechanik*, Hirzel, Leipzig (1931) 234.
- [25] P. A. M. Dirac, Quantised singularities in the electromagnetic field, *Proc. Roy. Soc. A* 133 (1931) 60.
- [26] C. D. Anderson, The apparent existence of easily deflectable positives, *Science* 76 (1932) 238.
- [27] C. D. Anderson, The positive electron, *Phys. Rev.* 43 (1933) 491.
- [28] M. Tanabashi, et al., Review of Particle Physics, *Phys. Rev. D* 98 (2018) 030001.
- [29] J. H. Christenson, J. W. Cronin, V. L. Fitch, R. Turlay, Evidence for the 2π decay of the K_2^0 meson, *Phys. Rev. Lett.* 13 (1964) 138.
- [30] A. D. Sakharov, Violation of CP invariance, C asymmetry, and baryon asymmetry of the universe, *ZhETF Pis'ma* 5 (1) (1967) 32.
- [31] H. D. Zeh, *The physical basis of the direction of time*, 4th edition, Springer, Berlin Heidelberg (2013).
- [32] W. Pauli, *Niels Bohr and the Development of Physics*. McGraw-Hill, New York, and Pergamon Press, London (1955).
- [33] G. Lüders, Proof of the TCP theorem, *Annals Phys.* 2 (1957) 1.
- [34] A. Angelopoulos, et al., First direct observation of time-reversal non-invariance in the neutral-kaon system, *Phys. Lett. B* 444 (1998) 43.
- [35] J. P. Lees, et al., Observation of time-reversal violation in the B^0 meson system, *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 211801.
- [36] CMS Collaboration, Combined results of searches for the standard model Higgs boson in pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV, *Physics Letters B* 710 (2012) 26.
- [37] ATLAS Collaboration, Combined search for the Standard Model Higgs boson using up to 4.9 fb^{-1} of pp collision data at $\sqrt{s} = 7$ TeV with the ATLAS detector at the LHC, *Physics Letters B* 710 (2012) 49.
- [38] P. W. Higgs, Broken symmetries and the masses of gauge bosons, *Phys. Rev. Lett.* 13 (1964) 508.
- [39] F. Englert, R. Brout, Broken symmetry and the mass of gauge vector mesons, *Phys. Rev. Lett.* 13 (1964) 321.
- [40] G. S. Guralnik, C. R. Hagen, T.W. B. Kibble, Global conservation laws and massless particle, *Phys. Rev. Lett.* 13 (1964) 585.

- [41] M. Ahmadi, et al., Observation of the 1S-2S transition in trapped antihydrogen, Nature 541 (2016) 506.
- [42] G. Wolschin, Laserspektroskopie mit Antimaterie, Spektrum Wiss. (7) (2017) 30.

Über den Autor

Georg Wolschin is a professor at the University of Heidelberg (UHD) since 2012. His physics education is from the Universities of Freiburg, Berkeley and Darmstadt, with a PhD from Darmstadt (1976) and a habilitation from Heidelberg (1982). He was editor of Spektrum d. Wissenschaft until 1989, and editorial director in publishing houses such as SpringerNature until 1993, followed by free-lance work as science journalist, scientist and docent until 2006, when he re-joined the University and coordinated the Collaborative Research Center “The dark universe” of the Universities of Bonn, LMU Munich and Heidelberg for three funding periods (2006–2018). He is now doing research at the Institute for Theoretical Physics of Heidelberg University, including teaching, and leading the Multiparticle Dynamics group. His current scientific interests are Relativistic heavy-ion collisions with emphasis on theoretical aspects of LHC physics, and analytical methods to model local equilibration in finite systems of fermions and bosons, with applications to relativistic heavy ions, and to cold quantum gases.

Korrespondenz:

Prof. Georg Wolschin
Institut für Theoretische Physik (ITP)
Universität Heidelberg
Philosophenweg 12–19
69120 Heidelberg
E-Mail: wolschin@uni-hd.de
Homepage: <http://wolschin.uni-hd.de>

Ästhetische Ökonomie in der Gestalt der Pflanzen

CLAUDIA ERBAR & PETER LEINS

Centre for Organismal Studies (COS) Heidelberg – Biodiversität und
Pflanzensystematik, Universität Heidelberg

Zusammenfassung

Sowohl in ihrer Entstehung als auch ihrer Funktionalität im fertigen Zustand streben Pflanzenstrukturen eine Optimierung an. Es ist die natürliche Selektion, die quasi vom Ökonomischen Prinzip bzw. Optimierungsprinzip beherrscht wird, vor dessen Hintergrund „erbarmungslose“ Konkurrenz abläuft (Evolution ist Massensterben). Häufig sind „Fibonacci-Zahlen“ bis hin zum Goldenen Schnitt im Spiel. Letztere, aber auch beispielsweise Verpackungstechniken (Verpacken empfindlicher Pflanzengewebe, zuweilen ohne Verpackungsmaterialien) oder Locksignale zum Zwecke der Blumenbestäubung können ästhetische „Empfindungen“ hervorrufen. Ist möglicherweise das „schöpferische“ Optimierungsprinzip mit dem ästhetischen „Empfinden“ des *Homo sapiens*, bewusst oder unbewusst, gekoppelt? Sind Denken und Handeln des Menschen nicht schon seit alters her vom Ökonomischen Prinzip gelenkt? Gibt es allgemein eine ökonomische Ästhetik?

1 Versetzte Fibonacci-Zahlen und Ästhetik

„Das Schöne ist eine Manifestation geheimer Naturgesetze ...“

Goethe, Aphorismen

Was ist schön? Diese Frage kann jeder subjektiv aufgrund seiner Empfindungen beantworten. Gibt es aber neben individuellen Schönheitsempfindungen auch allgemeingültige Gesetzmäßigkeiten für das „Schöne“?

1.1 Goldener Schnitt und Fibonacci-Zahlen

In der Kunst und in der Architektur spielt ein Proportionsverhältnis eine große Rolle, das als besonders harmonisch empfunden wird, der Goldene Schnitt. Zum ersten Mal wurde es in den „Elementen“ des Euklid (ca. 300 v. Chr.) definiert: „Eine gegebene gerade Linie, AB, so zu schneiden, daß das unter der ganzen und einem der Abschnitte enthaltene Rectangel dem Quadrate des anderen Abschnitts gleich sei“ (2. Buch, 11. Satz, Übersetzung von Lorenz 1824). Heute definieren wir, dass eine Strecke dann im Goldenen Schnitt¹ geteilt wird, wenn das Verhältnis aus der Gesamtstrecke zu seinem größeren Teil (a) dem Verhältnis des größeren zum kleineren Teil (b) entspricht (Abb. 1).



Abbildung 1: Eine Strecke im Goldenen Schnitt geteilt und dessen Formel.

Das besondere Teilungsverhältnis war aber schon Pythagoras und seinen unmittelbaren Schülern (ca. 500 v. Chr.) bekannt. Erst durch das Einzeichnen aller Diagonalen in ein regelmäßiges Fünfeck erhält man einen fünfzackigen Stern, das Pentagramm (Abb. 2), das Erkennungszeichen der philosophischen Schule der Pythagoreer. Sich im Pentagramm kreuzende Diagonalen werden im Goldenen Schnitt geteilt (z. B. Beutelspacher 2016).

Das als Zahl berechnete Teilungsverhältnis des Goldenen Schnittes ist eine irrationale Zahl, das heißt eine Zahl, die sich nicht als Bruch ganzer Zahlen darstellen lässt; anders ausgedrückt: Sie ist ein unendlicher nicht periodischer Dezimalbruch (hat also nach dem Komma eine unendliche nicht periodische Anzahl an Dezimalstellen). Als mathematisches Symbol für diese Zahl wird meist der griechische Buchstabe Phi (Φ) verwendet; ihr Wert beträgt 1,618033... .

¹ Ursprünglich wurde diese Teilung des Euklid bei der Übersetzung ins Lateinische als „proportio habens medium et duo extrema“ umschrieben (als „mittleres und äußeres Maßverhältnis“). Im späten Mittelalter findet sich die Bezeichnung „sectio aurea“ (= goldener Schnitt) und in der Renaissance dann „divina proportio“ (= göttliches Verhältnis) und „sectio divina“ (= göttlicher Schnitt). Die Bezeichnung Goldener Schnitt stammt aus dem 19. Jahrhundert (eingeführt von dem Mathematiker Martin Ohm 1835).

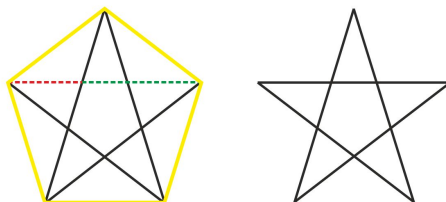


Abbildung 2: Regelmäßiges Fünfeck (gelb) und Pentagramm (fünfzackiger Stern); siehe Text.

In einem engen Zusammenhang zum Goldenen Schnitt steht die unendliche Zahlenfolge der Fibonacci-Reihe:

1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, ...

Die jeweils nächste Zahl in dieser Reihe wird als Summe der beiden vorangehenden erhalten. Das Verhältnis zweier aufeinanderfolgender Zahlen der Fibonacci-Folge strebt gegen den Goldenen Schnitt.

Als der italienische Mathematiker Leonardo da Pisa (genannt Fibonacci, Filius des Bonacci) im Jahre 1202 in seinem „Liber Abaci“ („Buch der Rechenkunst“) unter vielem anderen die später nach ihm benannte Fibonacci-Reihe entwickelte (als Lösung seines „Kaninchenproblems“; das Wachstum einer Kaninchenpopulation unter gewissen Prämissen; siehe z. B. Abb. 13 in Leins & Erbar 2008), stellte er keinen Bezug zum Goldenen Schnitt her.

Als das Symbol der Ästhetik von der Renaissance bis heute gilt die Proportionsstudie von Leonardo da Vinci, die man heute auf der Rückseite der italienischen Ein-Euro-Münze findet (Abb. 3).



Abbildung 3: Italienische Ein-Euro-Münze: Leonardo da Vincis Vitruvianischer Mann.

Die Skizze zeigt einen Mann mit gestreckten Extremitäten in zwei überlagerten Positionen: Mit den Fingerspitzen und den Sohlen berührt die Figur ein sie umgebendes Quadrat (*homo ad quadratum*) bzw. einen Kreis (*homo ad circulum*). Mit seiner Federzeichnung illustriert Leonardo da Vinci die von dem römischen Architekten Vitruv² aufgestellte Theorie des wohlgeformten Menschen (lat. *homo bene figuratus*) mit einem idealen Verhältnis der Körperteile zueinander (Vitruv, 33–22 v. Chr., 3,1,2). Die harmonisch proportionierte Gestalt entstand, da Leonardo für das Quadrat einen anderen Mittelpunkt wählte (für den „*homo ad circulum*“ setzte er den Zirkel exakt im Nabel an, beim „*homo ad quadratum*“ ist dagegen der Schritt der Mittelpunkt). Der erhaltene Teil von Leonardos Beschriftung nimmt aber weniger auf Kreis und Quadrat Bezug als auf die Proportionierung der einzelnen Körperteile. Dabei arbeitete er aber nicht mit Fibonacci-Zahlen, sondern bezieht sich auf das seit der Antike verbreitete, von Körpermaßen des Menschen abgeleitete duodezimale Maßsystem. Aber harmonische Proportionen lassen sich im Vitruvianischen Mann am besten mit Fibonacci-Zahlen erreichen.

Es war Johannes Kepler, der in seiner „*Weltharmonik*“ („*Harmonices Mundi*“, 1619), ohne sich auf Fibonacci zu beziehen, diese besondere Reihe mit dem Goldenen Schnitt in Verbindung bringt. Im Zusammenhang mit der Sphärenmusik und den Verhältnissen von Tonintervallen kommt er auf die „*proportio divina*“ zu sprechen, in der „die Idee der Zeugung verborgen liegt“, denn durch die Verhältnisse aufeinanderfolgender Fibonacci-Zahlen ist eine Näherung an den Goldenen Schnitt gegeben.

Es gilt heute als unwahrscheinlich, dass die antiken Tempel nach dem Goldenen Schnitt konstruiert wurden, obwohl dies in vielen Werken und Lexika postuliert wird (siehe Kugler & Götze 2016). Allerdings ist es erstaunlich, dass Vermessungen antiker Bauwerke und Skulpturen Harmonien nach dem Goldenen Schnitt ergeben (z. B. Beutelspacher & Petri 1995). Eine der bekanntesten Statuen der hellenistischen Kunst, die Venus von Milo bzw. Aphrodite von Melos, entstanden gegen Ende des 2. Jahrhunderts v. Chr., zeigt sich mit „göttlichen Proportionen“. Der Parthenon Tempel in Athen, etwa 450 v. Chr. erbaut, ist das oft zitierte Pa-

² Vitruvius (ca. 80–70 v. Chr. bis ca. 10 v. Chr.) verfasste eine umfassende Darstellung der Architektur sowie des damaligen Kenntnisstandes des Bauingenieurwesens („*De architectura libri decem*“, „Zehn Bücher über Architektur“). Sein Werk ist das einzige erhaltene antike Werk über diese Gebiete.

radebeispiel, das die Proportion des Goldenen Schnittes im Seitenverhältnis des Überbaus zum Unterbau zeigt. Auch im Concordia Tempel in Agrigent auf Sizilien, um 440 v. Chr. erbaut, lässt sich die harmonische Proportion finden (Abb. 4).



Abbildung 4: Dorischer Concordia-Tempel (um 440 v. Chr.), Agrigent, Sizilien. Die Proportionen von Höhe der Säulen und Fries ($a:b$) und innerhalb des Frieses ($a':b'$) entsprechen denen des Goldenen Schnittes ($\approx 1,61\dots$).

Ob nun bewusst oder intuitiv, in den Werken vieler Künstler und Architekten von der Antike bis heute findet sich der Goldene Schnitt vielfach als Voraussetzung für die harmonische Gestaltung, wenn vielleicht nicht so oft wie angenommen. Aber in der Pflanzenwelt, besonders in der Blattstellung, finden sich Goldener Schnitt und Fibonacci-Zahlen als häufiges Phänomen.

1.2 Versetzte Fibonacci-Zahlen, Blattstellung und Muster in der Entwicklung von Blüten

Blattanlagen (Blattprimordien) bilden sich an den Seiten des Sprossvegetationskegels bei jeder Pflanzenart nach einem geordneten und meist vorhersehbaren Muster. Es resultiert eine charakteristische Blattstellung an der Sprossachse, die Phyllotaxis (gr. „phyllon“ = Blatt, „taxis“ = Anordnung). Es gibt im wesentlichen drei Möglichkeiten, die sich in der Anzahl der Blätter pro sogenannten Knoten (Nodium) unterscheiden: 1, 2 oder mehrere Blätter.

Stehen Blätter entlang einer Sprossachse stockwerkweise zu mehreren an einem Knoten, wobei die Blattoorgane aufeinander folgender Knoten alternieren, also jeweils auf Lücke stehen, so bezeichnet man diese Blattstellung als quirlig oder

wirtelig (Abb. 5a). Eine solche findet sich im vegetativen Bereich der Blütenpflanzen relativ selten. Bei dem zumindest in seinem unteren Bereich im Wasser stehenden Tannenwedel (Abb. 5b) dient eine größere Anzahl nadelförmiger Blätter an einem Knoten insgesamt der Oberflächenvergrößerung, was sich für die Sauerstoffversorgung im Wasser günstig auswirkt.

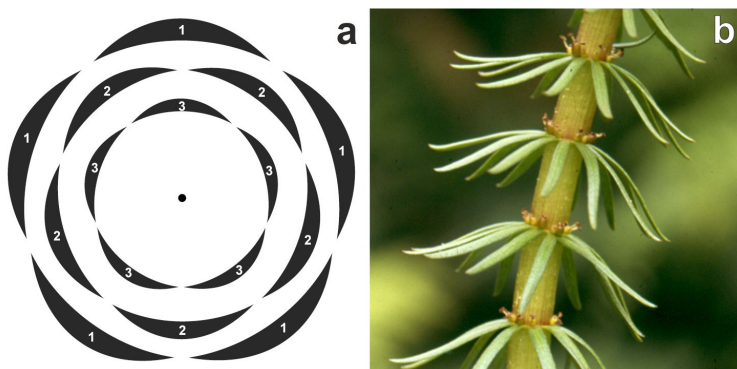


Abbildung 5: Quirlige (wirtelige) Blattstellung. – a, Diagramm. Die Blätter sind entsprechend ihrer Anlagenfolge nummeriert. – b, Tannenwedel (*Hippuris vulgaris*, Plantaginaceae).

Beträgt die Blattzahl pro Knoten zwei, ergibt sich in diesem speziellen Fall von Wirtelstellung eine sogenannte Gegenständigkeit der Blätter. Blätter aufeinanderfolgender Knoten sind um 90° versetzt, weshalb man diese Blattstellung auch als kreuz-gegenständig (= dekussiert; Abb. 6) bezeichnet. Sie ist häufig bei den Blütenpflanzen anzutreffen und ist typisch für eine ganze Reihe von Blütenpflanzenfamilien. So lässt sich die Familie der Lippenblütler (Lamiaceae) durch eine solche Blattstellung (in Kombination mit den typischen vierteiligen Klausenfrüchten) leicht erkennen.

Bei einer wechselständigen (schraubigen oder spiraligen) Blattstellung steht jeweils nur ein Blatt an einem Knoten. Die Blätter aufeinanderfolgender Knoten stehen meist in einem bestimmten (konstanten) Winkel zueinander, dem Divergenzwinkel. Häufige Winkel sind 180° , 120° , 144° , 135° , $138,46^\circ$.

Zwei geniale Gelehrte, Karl Schimper (1803 Mannheim – 1867 Schwetzingen) und Alexander Braun (1805–1877; studierte von 1824 bis 1827 in Heidelberg

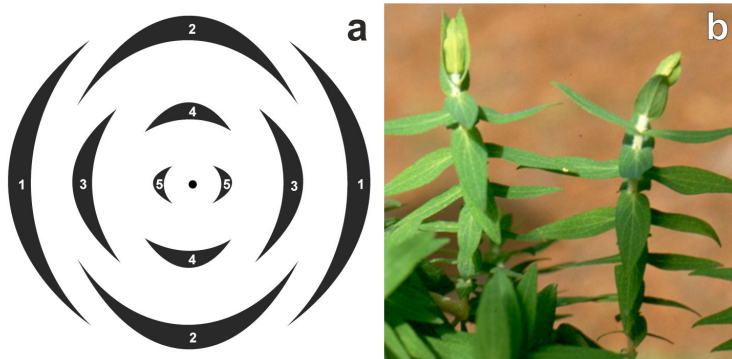


Abbildung 6: Gegenständige (dekussierte) Blattstellung. – a, Diagramm. Die Blätter sind entsprechend ihrer Anlagenfolge nummeriert. – b, Kreuzblättriges Johanniskraut (*Hypericum reflexum*, Hypericaceae) von den Kanarischen Inseln.

Medizin und Botanik), haben zum ersten Mal gezeigt (Schimper 1830³, Braun 1831, 1835), dass Divergenzwinkel ohne Gebrauch eines Winkelmessers mit Hilfe zweier versetzter Fibonacci-Reihen unschwer ermittelt werden können, indem sie daraus eine Bruch-Reihe, Schimper-Braun'sche Reihe genannt, aufstellten. Die Schimper-Braun'sche Reihe ist, wie die Fibonacci-Reihe auch, endlos und beginnt mit $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{5}{13}$, $\frac{8}{21}$, $\frac{13}{34}$... Während die Zähler-Zahlen einer vollständigen Fibonacci-Reihe entsprechen, beginnen die Nenner mit der Zahl zwei (die ersten beiden Glieder 1, 1 fallen weg). Die Schimper-Braun'schen Brüche beziehen sich auf den Kreisumfang (siehe Abb. 11 weiter unten). Will man die Divergenzen (Winkel zwischen zwei aufeinanderfolgenden Blättern) in Winkelgraden ausdrücken, so muss man den jeweiligen Bruch einfach mit 360 multiplizieren. Einige Beispiele mit verschiedenen Divergenzwinkeln seien kurz aufgeführt: Einen

³ Vor allem in seiner Münchener Zeit führte Schimper umfassende Untersuchungen über die Blattstellung bei Pflanzen durch, worüber er selbst nur eine Abhandlung veröffentlicht hat (1830). Da sich Schimper selbst nicht dazu entschließen konnte, weitere Arbeiten zusammenzuschreiben, veröffentlichte Braun (1835) drei Vorträge Schimpers über die Blattstellung, die dieser 1834 auf der Naturforscherversammlung in Stuttgart gehalten hatte, in der Zeitschrift „Flora“, wobei er ausdrücklich auf Schimpers Urhebererschaft hinwies. Beide hatten zuvor 1829 in Heidelberg erstmals von ihren Ergebnissen zur Blattstellung berichtet, auf der 8. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte.

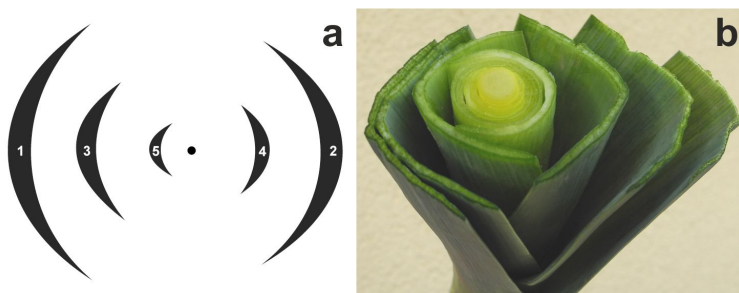


Abbildung 7: Zweizeilige (distiche) Blattstellung. – a, Diagramm. Die Blätter sind entsprechend ihrer Anlagenfolge nummeriert. – b, Lauch, Porree (*Allium porrum*, Amaryllidaceae-Allioideae).

Divergenzwinkel von 180° ($= 1/2$; Abb. 7a) – man bezeichnet die Blattstellung als zweizeilig oder distich – können wir beispielsweise beim Porree oder Lauch erkennen (Abb. 7b). Da die jungen Blattanlagen Stängel umfassend sind, findet eine nächste Blattanlage etwas höher am Stängel nur gegenüber der voraus gegangenen Platz. Mit dieser $1/2$ -Divergenz steht funktionell bei der Lauchpflanze die Eigenschaft im Zusammenhang, dass die Blätter übereinander dicht gedrängt an einer kurzen Sprossachse stehen und jedes Blatt unten eine lange ringsum geschlossene Blattscheide entwickelt (Lauch-Ringe beim Querschneiden). Insgesamt bilden alle ineinander geschachtelten Blattscheiden einen stabilen Scheinstamm über der im ersten Jahr kurz bleibenden Sprossachse. Im Spätsommer bis in den Winter hinein

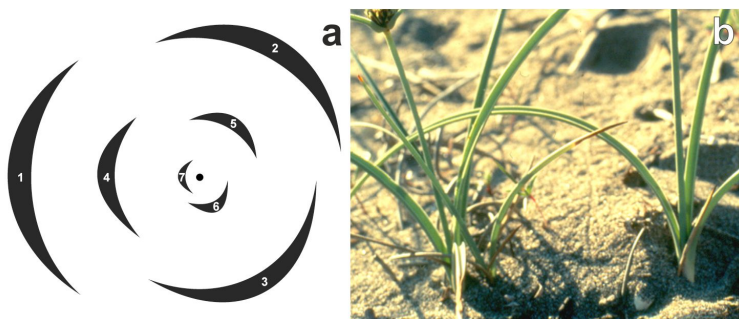


Abbildung 8: Dreizeilige (tristiche) Blattstellung. – a, Diagramm. Die Blätter sind entsprechend ihrer Anlagenfolge nummeriert. – b, Dünenscypergras (*Cyperus capitatus*, Cyperaceae) aus dem Mittelmeergebiet.

ist der Lauch als Küchengemüse zart und, wenn man ihn unten abschneidet, nur aus Blättern bestehend; im Frühjahr und Sommer des nächsten Jahres „stört“ ein langer zäher Schaft. Inzwischen aus der kurzen Achse entstanden, schiebt er die sich entwickelnden Blütenstände aus dem Scheinstamm nach oben.

Ein Divergenzwinkel von 120° ($= \frac{1}{3}$ -Divergenz; Abb. 8a) – man spricht von einer dreizeiligen Blattstellung – kann typisch für eine ganze Pflanzenfamilie sein, beispielsweise für die Ried- oder Sauergräser (Cyperaceae, Abb. 8b).

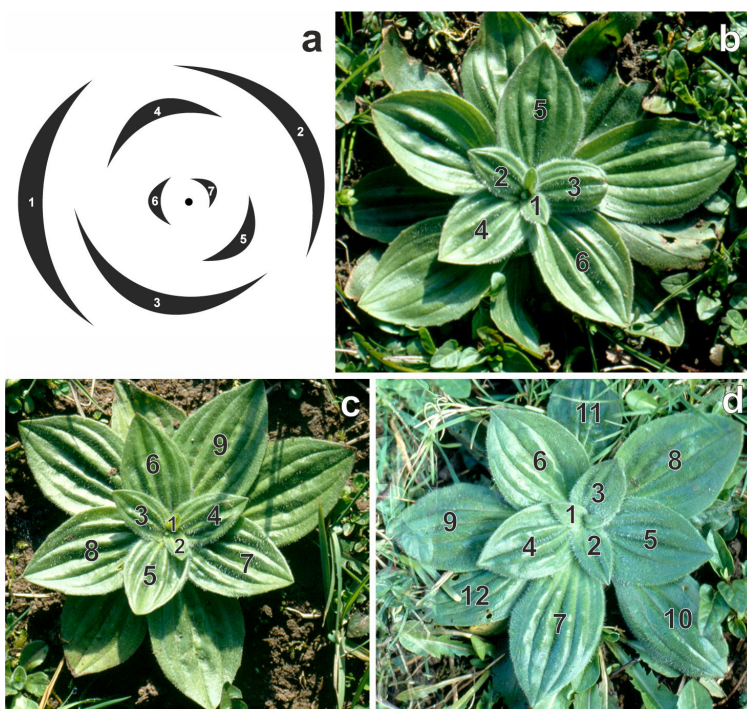


Abbildung 9: Wechselständige Blattstellung. – a, Diagramm. Die Blätter sind entsprechend ihrer Anlagenfolge nummeriert (Spirale im Uhrzeigersinn). – b–d, Verschiedene Blattrosetten des Mittleren Wegerichs (*Plantago media*, Plantaginaceae); Blätter jeweils entgegen ihrer Anlagenfolge nummeriert (die reale Entwicklungsspirale, d.h. von außen nach innen, in b+c entgegen dem Uhrzeigersinn, in d im Uhrzeigersinn). – b, $\frac{2}{5}$ -Sequenz (das 6. Blatt steht unter dem 1.). – c, $\frac{3}{8}$ -Sequenz (das 9. Blatt steht unter dem 1.). – d, Spirale annähernd nach Limitdivergenz (kein Blatt steht direkt unter einem anderen).

Höhere Divergenzen mit kleineren Winkeln lassen sich leichter an Rosetten als an lang gestreckten Stängeln verfolgen. Ein gutes Beispiel liefert uns der Mittlere Wegerich, ein häufiges Ruderalgewächs. Schauen wir uns verschiedene Blattrosetten an und ermitteln wir die Divergenz (Abb. 9). Es finden sich solche mit einer $\frac{2}{5}$ -Divergenz (= 144° ; Abb. 9a-b). Es gibt jedoch auch Individuen dieser Art mit einer Blattdivergenz von $\frac{3}{8}$ (Abb. 9c) und schließlich solche, die, misst man die Blattdivergenz mit dem Winkelmesser, einen Durchschnittswert von ungefähr 137° annehmen (Abb. 9d).

Die Brüche nähern sich bei gleichzeitig immer kleineren Differenzen zwischen aufeinander folgenden Gliedern der sogenannten Limitdivergenz, die es natürlich im eigentlichen Wortsinn gar nicht gibt: Die Bruch-Reihe hat ja keine Grenze und wird zu einer irrationalen Zahl, die ungefähr $137,5^\circ$ entspricht. Die Divergenzen $\frac{5}{13}$ (= $138,46\dots^\circ$), $\frac{8}{21}$ (= $137,14\dots^\circ$) und $\frac{13}{34}$ (= $137,64\dots^\circ$) kommen dem

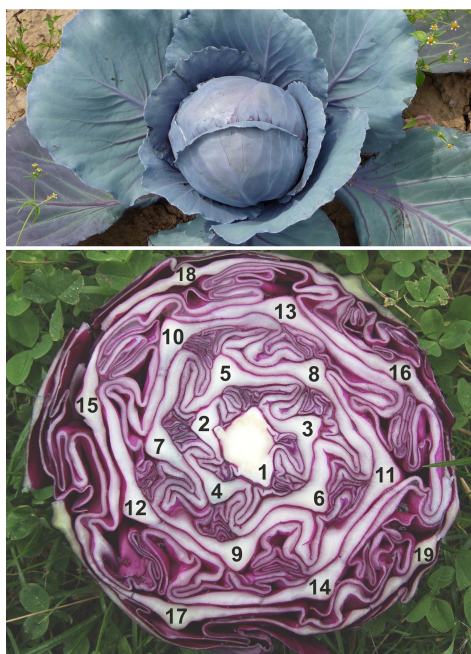


Abbildung 10: Rotkohl (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *capitata* f. *rubra*, Brassicaceae). Im Querschnitt der Blattknospe (unten) sind die Blätter (Zahlen in den Blattrippen) entgegen ihrer Anlagefolge nummeriert: Blätter 1 und 14 stehen übereinander → $\frac{5}{13}$ -Divergenz.

Grenzwert (im Unendlichen) bereits so nahe, dass in der Praxis alle weiteren den Grenzwert mehr und mehr „einkreisenden“ Divergenzen vernachlässigbar werden.

Nun weg mit dem Winkelmesser! Es genügt, wenn wir aufeinander folgende Blätter von unten nach oben, also in ihrer Entstehungsfolge, oder aber – was oft einfacher ist – in entgegengesetzter Richtung nummerieren und zwar so lange, bis ein Blatt über dem ersten (dem Ausgangsblatt) steht. Letzteres wird nicht mehr mitgezählt. Es ergibt sich (bei einer annähernden Konstanz der Winkel) eine Fibonacci-Zahl und zwar der Nenner eines Bruches; der Zähler gibt zwar die Zahl der Schrauben- bzw. Spiralwindungen an, die man umfahren hat, bis das Blatt über dem ersten gefunden ist, resultiert aber ganz einfach auch aus dem betreffenden Glied der Schimper-Braun'schen Reihe. Eine nette Spielerei ist es, wenn man einen Rotkohl-Kopf (eine riesige Blattknospe; Abb. 10a) vor dem Zerkleinern in seinem unteren Teil quer aufschneidet und die stark hervortretenden Mittelrippen der in der Knospenlage gefalteten Blätter nummeriert (Abb. 10b).

Wenn wir nun wie bei einem Teil der Individuen des Mittleren Wegerichs nach mehreren Schraubenwindungen kein Blatt über dem Ausgangsblatt finden, sind wir nahe dem Goldenen Schnittwinkel (Abb. 9d). Der Goldene Winkel bezieht sich auf einen geschlossenen Kreisbogen (Abb. 11). Dabei steht der Kreisumfang (360° ; $a+b$) zum Kreisbogen (a) über dem größeren Winkel ($\approx 222,5^\circ$) im gleichen Verhältnis wie der längere Kreisbogen (a) zum kürzeren (b ; über dem kleineren Winkel von $\approx 137,5^\circ$).

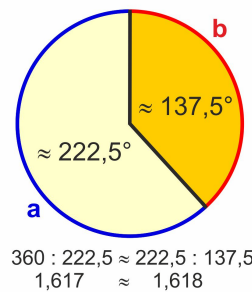


Abbildung 11: Der Goldene Winkel wird erhalten, wenn der Vollwinkel (360°) im Goldenen Schnitt geteilt wird. Der Goldene Winkel ($\approx 137,5^\circ$) ist der Kreiswinkel des kleineren Kreisbogens b , wenn er mit dem größeren Kreisbogen a einen Kreis vom Umfang $a+b$ bildet und das Verhältnis $a:b$ dem Goldenen Schnitt entspricht.



Abbildung 12: Romanesco (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *botrytis*, Brassicaceae), eine Variante des Blumenkohls.

Beispiele für eine spiraloge Phyllotaxis finden sich fast überall, auf den Spaziergängen im Wald, auf den Ruderalflächen in den Städten bis hin in die eigene Küche. Als „Spirale Plus“ könnte man eine Zuchtform des Blumenkohls bezeichnen, den Romanesco (Abb. 12). Der stark kondensierte Gesamtblütenstand setzt sich aus Blütenständen („Röschen“) 1., 2. und 3. Ordnung zusammen, allesamt spiralog angelegt. Zur Blütenbildung kommt es nicht.

Spiralige Anlagenfolgen in dichter Packung vermitteln wie beim Romanesco eine besondere Ästhetik. Eine solche „offenbart“ sich ebenso in den dichten Blütenständen der Asteraceae (oder Compositae), also in der Gänseblümchen- und Sonnenblumenverwandtschaft; mit etwa 25.000 Arten ist sie die größte Blütenpflanzenfamilie. In der dichten Verpackung von Blüten in einem kopfigen Blütenstand zeigt sich bei fast allen Vertretern der Köpfchen- oder Korbblütler wieder der Goldene Schnitt als Optimierer. Dies lässt sich an einer rasterelektronenmikroskopischen Aufnahme eines Blütenköpfchens vom Gänseblümchen (Abb. 13a) wahrnehmen. An einer anfänglich halbkugeligen Blütenstandsachse entstehen von unten nach oben dicht gepackt in Spiralfolge die einzelnen Blüten.

Ganz an der Basis befinden sich die Anlagen der später in weiße Strahlen auswachsenden weiblichen Blüten, die infolge ihres einfacheren Baus in der Entwicklung zunächst zurückbleiben. Dann folgen die später (gelben) zwittrigen Blüten. Die einzelnen Anlagen lassen zwischen sich keinen Raum, also eine ideale platzsparende (optimale) Packung – unter anderem dadurch erzielt, dass jede der Anlagen von sechs unterschiedlich alten weiteren Anlagen umgeben ist (Wabeneffekt; Leins & Erbar 2016).

Blickt man auf ein blühendes Gänseblümchen (Abb. 13b) oder eine Sonnenblume (Abb. 13d), so lassen sich aus dem Goldenen Schnitt sich ergebende Schrägzeilen (Parastichen) in der gesamten Blütenschraube besonders gut erkennen, auch noch bei alten Blüten (Abb. 13e) und an den Narben der abgefallenen Früchte (Abb. 13c). Auf die Suche nach Schrägzeilen gehen wir nochmals, wenn wir uns mit aus vielen Organen bestehenden Einzelblüten befassen.

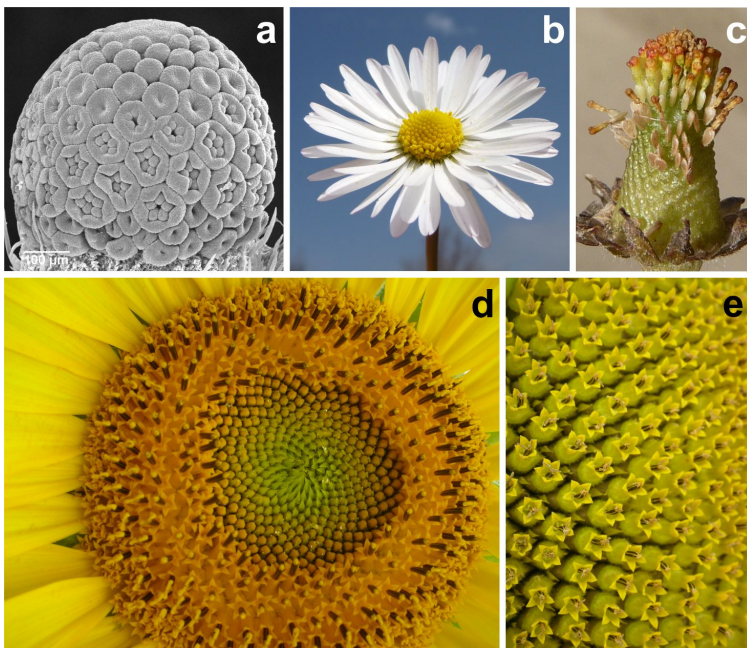


Abbildung 13: Schrägzeilen (Parastichen) in den Köpfchen der Asteraceae (siehe Text). – a, Junges Entwicklungsstadium des Ausdauernden Gänseblümchens *Bellis perennis* im rasterelektronenmikroskopischen Bild. – b–c, Mediterranes Wald-Gänseblümchen *Bellis sylvestris*. – c, Fruchtstand. Basale Nussfrüchte bereits weggeweht. – d–e, Gewöhnliche Sonnenblume *Helianthus annuus*.

Ist überhaupt der Goldene Schnitt in einzelnen Blüten der großen Verwandtschaftsgruppe der Blütenpflanzen wahrnehmbar? Auf den ersten Blick nicht, wenn wir die meisten Blumen in Betracht ziehen. Schon als Kind haben wir typischerweise Blumen mit einem (meist fünfblättrigen) grünen Kelch und einer bunten Blumenkrone und mittendrin etwas Undefinierbarem (meist gelb) gemalt. Viele Blüten sind denn auch aus Blütenwirteln aufgebaut: Kelchwirtel, Blumenkronwirtel, Staubgefäßwirtel und Stempel (vereinigter Fruchtblattwirtel).

Aber gehen wir zu den Anfängen. Nach unserer heutigen Kenntnis sind die Blütenpflanzen (= Bedecktsamige Samenpflanzen = Angiospermen) wahrscheinlich schon im oberen Jura vor etwas mehr als 140 Millionen Jahren entstanden, jedenfalls tauchen aber in der Unteren Kreidezeit schon recht unterschiedliche Blütenformen auf (Fossilfunde; Friis et al. 2011). Es haben sich während der Blütenpflanzen-Evolution bis heute nur relativ wenige ursprüngliche Blütenformen erhalten (Endress 2001). Unter diesen gibt es tatsächlich Formen mit zahlreichen (bis sehr zahlreichen) Blütenorganen; den Rekord halten wohl *Annona*-Arten (Rahmapfelgewächse, Annonaceae; als tropisches Obst ist *Annona cherimola*, die Cherimoya, bekannt). *Annona montana* hat etwa 2000 Staubgefäße und *A. muricata* etwa 500 Fruchtblätter. Etwas moderatere Zahlen weisen Blüten von Magnolien, vom Tulpenbaum oder von den Sternanisgewächsen auf.

Beim Sternanis werfen wir einen Blick ins Innere einer sehr jungen Blütenanlage nach dem Abpräparieren der Blütenhülle (Abb. 14). Sowohl die schützenden (und später der optischen Anlockung von Bestäubern dienenden) Blütenhüllblätter als auch die Staubgefäßanlagen (bzw. -primordien) sind zu mehreren und in unbestimmter Anzahl vorhanden (jeweils 15–18 Organe), während die Fruchtblätter auf die Zahl Acht fixiert sind. Aber sämtliche Organe fügen sich in eine durchgehende Goldene-Schnitt-Spirale ein: In der Knospe der Abb. 14b wird die Blütenhülle angelegt; in 14c-d sind sämtliche Organe am Blütenvegetationskegel angelegt (Erbar & Leins 1981, 1983, Leins & Erbar 2008, 2010); eine Besonderheit ist der übrig bleibende und sich vergrößernde zentrale Achsenrest; er hält später die Früchtchen, wie wir es vom Sternanis-Gewürz kennen, zusammen (in der Blüte hat er eine wichtige Funktion bei der sog. Pollenschlauchkonkurrenz; Williams et al. 1983).

Je mehr Organanlagen sich nach der Limitdivergenz am Vegetationskegel beziehungsweise an der Blütenachse befinden, umso deutlicher treten bogenförmige im Zentrum zusammenlaufende Verbindungslinien einzelner Anlagen in Erschei-

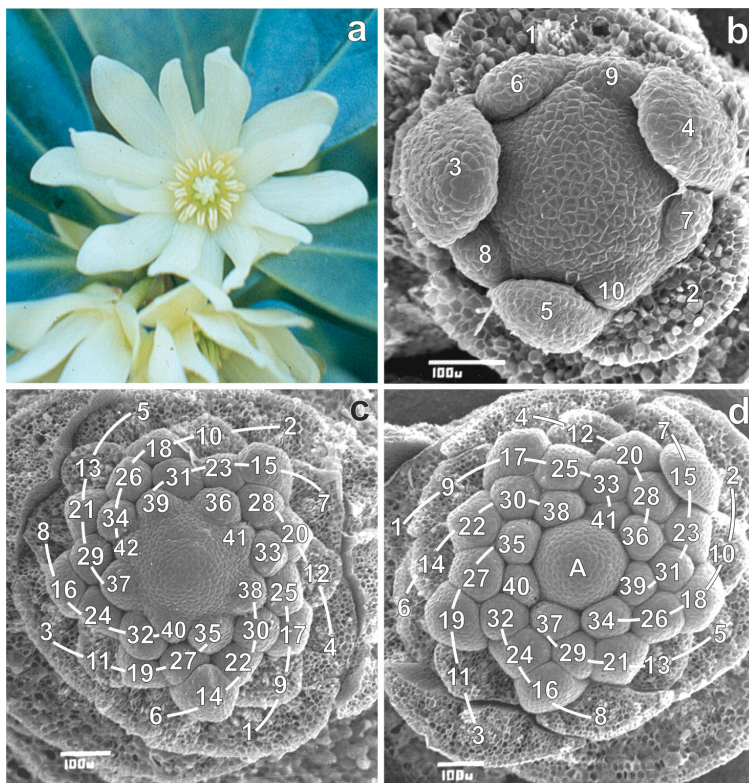


Abbildung 14: Japanischer Sternanis *Illicium anisatum* (Illiciaceae; im Gegensatz zur Gewürzpflanze *Illicium verum* giftig). Aufeinanderfolgende Entwicklungsstadien von Blütenknospen die spirale Anlagenfolge der Organe zeigend (Nummerierung in den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen nach der Sequenz, Limitdivergenz). Die Parastichen mit der Kontaktzahl 8 sind durch die Bogenlinien verdeutlicht. – b, Anlage Blütenhülle. – c–d, Durchgehende Blütenspirale bis ins Gynoeceum hinein; zum Gynoeceum gehören die letzten acht Anlagen. – d, Eine Besonderheit bei *Illicium* ist die zapfenförmige Vergrößerung des Achsenrestes (A). Verändert aus Erbar & Leins 1983.

nung. Es sind die bereits erwähnten Schrägzeilen oder Parastichen. Besonders augenfällig sind Schrägzeilen mit der Kontaktzahl 8 (Fibonacci-Zahl), d.h. acht Schrägzeilen verbinden jeweils jedes achte Organ in der spitzenwärts fortschreitenden Anlagensequenz. Weniger deutlich sind weitere Schrägzeilen. Diese werden deutlicher erkennbar in Blüten mit zahlreicheren Organen wie beim Tulpenbaum

(Abb. 15) und bei Magnolien (Abb. 16, 17; Erbar & Leins 1983, Leins & Erbar 2008, 2010).

In der Abb. 15b sind (ca. 40) Staubgefäß- und die ersten (der ca. 80) Fruchtblattanlagen entsprechend der Anlagenfolge (Limitdivergenz, ca. $137,5^\circ$) nummeriert. Zusätzlich sind durch Farben verschiedene Schrägzeilen bzw. Parastichen deutlich gemacht, die man erheblich einfacher als die sog. Grundspirale, die die Primordien in der Reihenfolge ihrer Entstehung miteinander verbindet, erkennt. Ins Auge fällt wieder eine Kontaktparastiche, nämlich die mit der Kontaktzahl 8 (rote Zahlen: 1 – 9 – 17 – 25 – 33 – 41 – 49 – 57 – 65), was so viel bedeutet, dass die Zahlendifferenz der hintereinander auf dieser Parastiche liegenden Organe jeweils 8 beträgt. Außerdem lassen sich noch die flacheren 3er- (grüne Zahlen: 1 – 4 – 7 – 10 – 13 – 16 – 19 – 22 etc.) und 5er-Parastichen (gelbe Zahlen: 1 – 6 – 11 – 16 – 21 – 26 – 31 etc.) ausmachen, sowie die steilere 13er Parastiche (orangefarbene Zahlen: 1 – 14 – 27 – 40 – 53 – 66). Natürlich gehören alle Primordien mehreren Parastichen an.

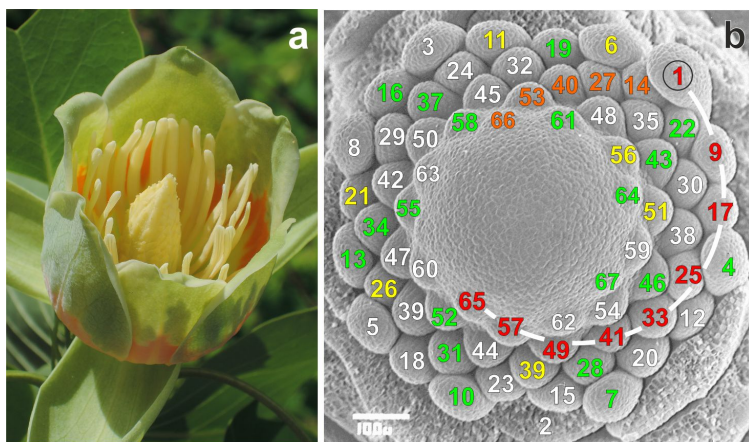


Abbildung 15: Tulpenbaum *Liriodendron tulipifera* (Magnoliaceae). Im rasterelektronenmikroskopischen Bild (b) sind die Schrägzeilen mit unterschiedlichen Kontaktzahlen entsprechend farbig dargestellt; eine der 8er-Parastichen ist zusätzlich durch eine Bogenlinie markiert (siehe Text).

In den Blüten der Stern-Magnolie (Abb. 16a) werden die zahlreichen Organe (15–17 Blütenhüllblätter, ca. 50 Staubgefäße, ca. 40 Fruchtblätter) durchgängig spiralig mit Limitdivergenz angelegt (Abb. 16b; die Fruchtblattanlagen sind entgegen ihrer Anlagenfolge nummeriert). Bei der Yulan-Magnolie (Abb. 17a) folgt

die spirale Anlage der (ca. 75) Staubgefäß- und (ca. 65) Fruchtblattprimordien auf eine Blütenhülle aus 3+3+3 Gliedern. Auch beim Blick von der Seite fallen die 8er-Kontaktparastichen auf (Abb. 17d). Es wird wiederum deutlich, dass keine Organanlage genau über einer anderen steht.

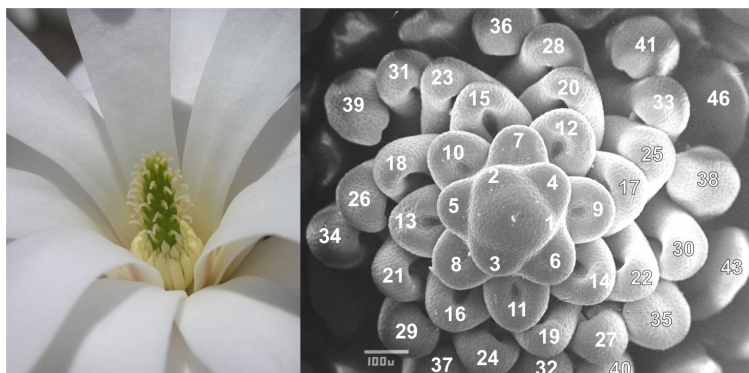


Abbildung 16: Stern-Magnolie *Magnolia stellata* (Magnoliaceae). Die Anlagen der Fruchtblätter sind im rasterelektronenmikroskopischen Bild (b) in umgekehrter Folge ihrer Entstehung nummeriert. Es ergibt sich eine Limitdivergenz.

1.3 Rhythmisierung von Spiralen

Häufiger als eine unbestimmte Zahl von Organen in spiraler Anlagenfolge findet sich in den Blüten heutiger Blütenpflanzen eine konstante Anzahl von Organen, die in Kreisen angeordnet sind. Bei vielen Einkeimblättrigen ist es die Zahl drei (Beispiel: Tulpe), bei vielen Zweikeimblättrigen die Zahl fünf (Beispiel: Storchschnabel). Nach dem bisher schon Ausgeführten fällt sofort auf, dass es sich um Zahlen aus der Fibonacci-Reihe handelt⁴. Johannes Kepler (1619) beschrieb nicht nur erstmals den Zusammenhang zwischen den Fibonacci-Zahlen und dem Goldenen Schnitt (siehe oben), sondern erwähnte auch das häufige Vorkommen der Zahl 5 in Blüten- und Blattanordnungen (in seiner Studie zu den sechsstrahligen

⁴Folgt auch die Mehrzahl der Wirtel der Fibonacci-Reihe, so gibt es auch Pflanzenfamilien, deren Symmetrie auf dem Quadrat beruht mit ihren vier Organen pro Wirtel (Onagraceae) oder zumindest in den Blütenhüll-Wirteln Kelch und Krone (Kreuzblütler, Brassicaceae).

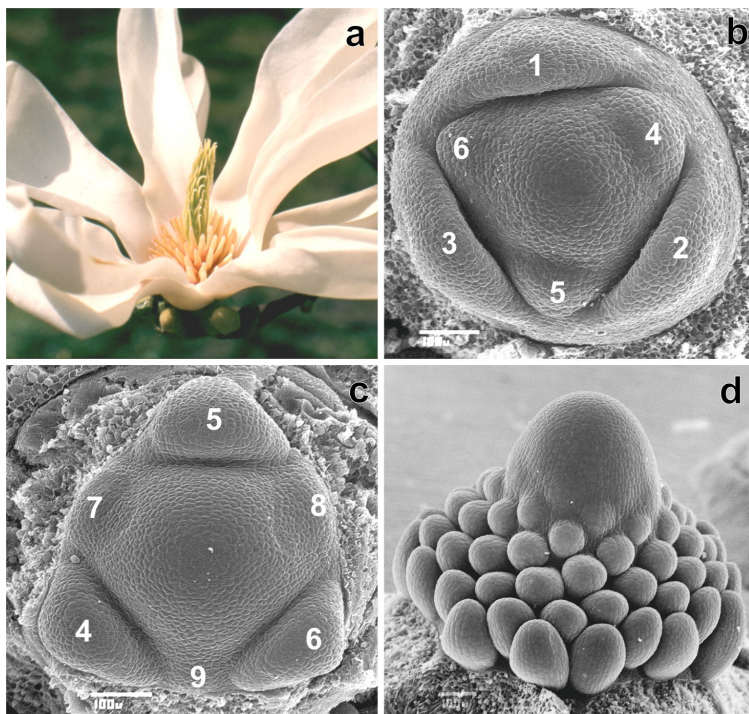


Abbildung 17: Anlage dreigliedriger Blütenhüllwirtel bei der Yulan-Magnolie *Magnolia denudata* (Magnoliaceae). – b, Auf die drei äußeren Blütenhüllprimordien (1–3) folgen nach einer längeren Pause nach innen drei weitere (4–6), die mit den äußeren alternieren. – c, Die drei äußeren Blütenblattanlagen sind abpräpariert, ein dritter Anlagenkreis (7–9) hat sich gebildet. – d, Junger Blütenvegetationskegel mit Anlagen der Staubgefäße und der ersten Fruchtblätter von der Seite gesehen: Man beachte wiederum die Schrägzeilen. b+c aus Leins & Erbar 2008 verändert.

Schneeflocken 1611 und in seiner „Weltharmonik“ 1619). Er stellt dabei einen Zusammenhang mit der Ästhetik und den harmonischen Verhältnissen her, die in den Blüten vieler Bäume und Sträucher zu finden sei. Die nächst höhere Fibonacci-Zahl 8 ist schon seltener anzutreffen, beispielsweise in Kelch und Krone der Weißen Silberwurz, einem Rosengewächs (Abb. 25a).

Wirtelbildung beschränkt sich in einigen Blüten auf die Blütenhülle, während der Staubgefäß- und der Fruchtblattbereich noch aus einer relativ großen und unbestimmten Zahl von Organen aufgebaut sind. Solche spirozyklischen Blüten mit teils wirteliger, teils spiraliger Organstellung eignen sich für blütenentwicklungs-

geschichtliche (ontogenetische) Studien, um dem Phänomen der Wirtelbildung im Verlauf der Evolution auf die Spur zu kommen.

Eine spirale Anlagefolge ist durch eine gewisse Kontinuität geprägt: Die Primordien folgen in gleichen räumlichen und zeitlichen Abständen aufeinander. Erfährt eine spirale Anlagefolge eine Rhythmisierung etwa dergestalt, dass wie bei der Yulan-Magnolie (Abb. 17) oder beim Tulpenbaum (Abb. 15, 18) nach Anlage von jeweils drei Organen eine längere Pause eintritt, so resultieren dreizählige Wirtel (= Kreise), die in diesen Fällen der Blütenhülle angehören. Anders ausgedrückt: Zwei kurze Zeitintervalle wechseln jeweils mit einem längeren Zeitintervall ab (die Zeitintervalle zwischen zwei aufeinanderfolgenden Organanlagen am Vegetationskegel nennt man Plastochrone). Es kommt zu einer ungefähren Alternanzstellung der Glieder, d.h. die Glieder aufeinanderfolgender Wirtel stehen auf Lücke. Beim Tulpenbaum herrscht im Gegensatz zur Yulan-Magnolie noch mehr Kontinuum zur Spiralfolge der sich anschließenden Staubgefäßprimordien, d.h. das Plastochron zwischen letztem Blütenhüllblatt- und ersten Staubgefäßprimordium ist beim Tulpenbaum kürzer; außerdem ist der Unterschied in der Größe der Primordien nicht so groß.

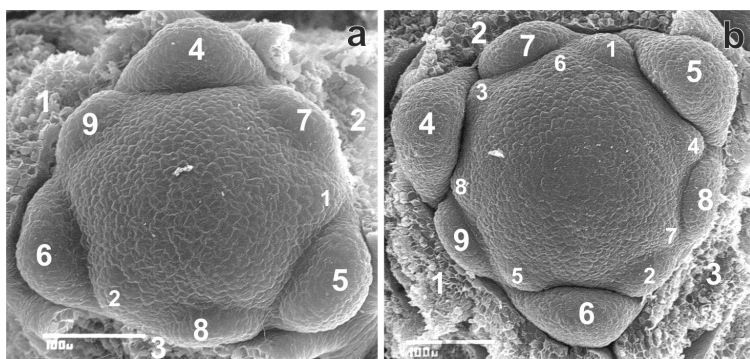


Abbildung 18: Tulpenbaum *Liriodendron tulipifera* (Magnoliaceae). Anlage der Blütenhülle (große Zahlen) und der ersten Staubgefäße (kleine Zahlen; 1–2 in a, 1–8 in b), äußerer Blütenhüllkreis (grüner Kelch in Abb. 15) abpräpariert. Auf den dritten Wirtel der Blütenhülle (7–9) mit noch deutlicher Spiraltendenz folgen die Staubgefäßanlagen in einer Spirale mit anstrebender Limitdivergenz.

Eine bis ins Blüteninnere durchgehende wirtelige Anlage der Blütenorgane ist korreliert mit einem Größenausgleich der Primordien am Blütenvegetationskegel (z. B. in den dreizähligen Blüten der Traubigen Grasblilie, Abb. 19).

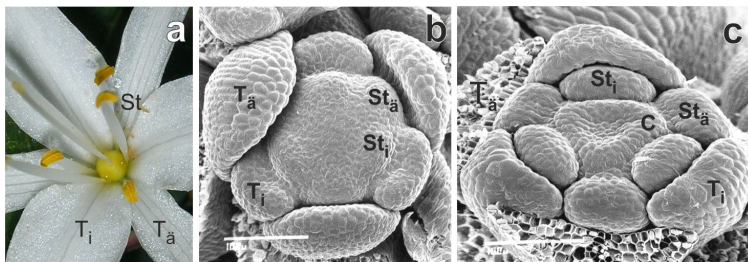


Abbildung 19: Manifestation alternierender Blütenorganwirtel. Dreizählige Wirtel am Beispiel der Monokotyle Traubige Graslinie *Anthericum liliago* (Asparagaceae-Agavoideae). – b, Zwei Blütenhüllkreise und zwei Staubgefäßkreise angelegt. – c, Alle fünf Blütenhüllkreise angelegt (äußere Blütenhüllblätter abpräpariert). C = Fruchtblatt, St = äußere und innere Staubgefäße, T = äußere und innere Blütenhüllblätter.

Vielfach lassen sich in allen oder einzelnen Wirteln noch Spiraltendenzen beobachten. Betroffen hiervon ist vor allem der Kelch. Beispielsweise lässt sich im Kelch der Rosen noch in adulten Blüten eine Spiralfolge leicht erkennen (Abb. 20a). Albertus Magnus (gest. 1280) wird bereits folgendes Merkgedicht zugeschrieben: „Fünf Brüder sind’s, zur gleichen Zeit geboren, doch zweien nur erwuchs ein voller Bart, zwei andern blieb die Wange unbehaart, dem dritten ist der Bart zur Hälfte geschoren.“ Die fünf Kelchblätter sind natürlich nicht zur gleichen Zeit „geboren“, sondern in einer klaren $\frac{2}{5}$ -Sequenz mit zunehmender Vereinfachung der Kelchblatttränder entstanden. In sehr jungen Blütenanlagen des Gänseblümchens lässt sich im Staubgefäßkreis bisweilen eine Größenabfolge der Primordien beobachten, die einer $\frac{2}{5}$ -Spirale entspricht (Abb. 20b; Leins & Erbar 1987).

1.4 Steuerung der Anlagenfolge: Die Feldtheorie

„Wenn Sie wünschen, mich von einem elenden Tode zu erretten, sagen Sie mir, warum die Winkelreihen von $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{8}$ usw. vorkommen und keine anderen Winkel. Es genügt dies, den ruhigsten Menschen verrückt zu machen.“⁵

⁵ “If you wish to save me from a miserable death, do tell me why the angles of $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{3}{8}$ & series occur, & no other angles. It is enough to drive the quietest man mad.” (Letter no. 4153, 1863).

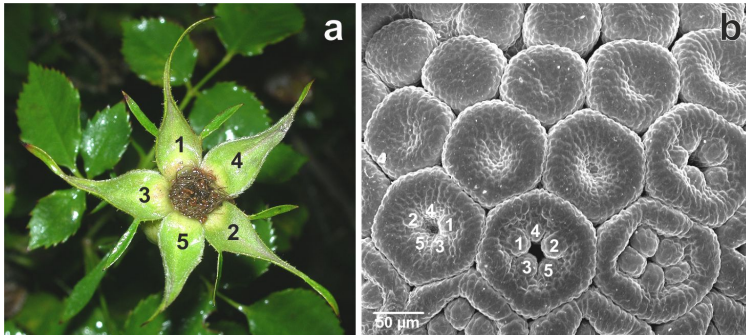


Abbildung 20: Spiralige Anlage innerhalb eines Organwirtels. – a, Bei der Hecken-Rose *Rosa canina* (Rosaceae) sind die Kelchblätter in der Reihenfolge ihrer Entstehung nummeriert; man beachte die sukzessive Vereinfachung der Kelchblattformen (siehe Text). – b, Beim Gänseblümchen *Bellis perennis* (Asteraceae) entstehen vielfach die Staubgefäße nach $\frac{2}{5}$.

So schrieb Charles Darwin 1863 an den Botaniker Asa Gray. Lässt sich Darwins Frage heute beantworten?

Die organismische Evolution ist beherrscht vom Ökonomischen – beziehungsweise Optimierungsprinzip. Die Vorgabe dieses Prinzips ist die Erreichung einer möglichst großen Effizienz bei einem möglichst kleinen Aufwand. Dabei sind beide Parameter (input und output) Variable. Zu den großen Erfolgskonzepten zählt die Anordnung von Blatt-, Blüten- und deren Organanlagen im Zusammenhang mit ihrer Funktion, wie Lichtnutzung (Blätter), Raumnutzung (Organe in den Blüten und Blüten in kopfigen Blütenständen) und Einpassung in ein hoch komplexes Korrelationsnetz, beispielsweise die Reproduktion und damit die Evolution selbst betreffend.

Goldener Schnitt und Ökonomisches Prinzip treffen sich, wenn ein bestimmtes Größenverhältnis zwischen Sprossachsenspitze (Vegetationskegel) und den auf ihr entstehenden Blattanlagen existiert. Dieser recht häufige Fall erlaubt, wie bereits erwähnt, eine optimale Platzausnutzung, ganz zu schweigen von der besten Nutzung des Lichtes bei der Photosynthese, wenn die Blätter ihrer Entstehungsfolge entsprechend an Größe abnehmen. Ein optimales Größenverhältnis zwischen Sprossachsenspitze und Blattanlagen hat sich vermutlich bereits bei der Entstehung der ersten sogenannten Kormus-Pflanzen vor etwa 400 Millionen Jahren vielfach eingespielt. Es handelt sich zunächst um Farne und später Samenpflanzen, die durch einen Kormus, einen Vegetationskörper aus den drei Grundorganen

Wurzel, Sprossachse und Blatt bestehend, charakterisiert sind. Von den Schachtelhalmen (mit wirteliger Blattstellung) abgesehen, ist die Beblätterung vielfach wechselständig, und möglicherweise wurden bereits mittlere und höhere Divergenzwerte der Schimper-Braun'schen Reihe, die dem Goldenen-Schnitt-Winkel nahekommen, eingehalten.

Es ist zwar keine Erklärung, aber für das Verständnis einer optimalen Formierung von Blattoorganen in raum-zeitlicher Hinsicht von Nutzen, wenn wir uns einer Sperrmuster- oder Hemmfeldtheorie den wachsenden Vegetationskegel betreffend bedienen. Arbeiten zur physiologischen Interpretation der Blattstellung (u.a. Schwabe 1971, Veen & Lindenmayer 1977, Richter & Schraner 1978) beziehen sich meist auf die Feldtheorie, die in ihrem Grundgedanken auf Schoute (1913) zurückgeht. Nach dieser Hemmfeldtheorie wird der Ort einer neuen Blattanlage durch das Zusammenwirken unterschiedlich starker Hemmfelder bestimmt: Zum einen ist es ein Hemmgradient, der vom Gipfel des Vegetationskegels ausgeht und dessen Hemmwirkung bei seiner Verlängerung basal immer mehr nachlässt, wobei schließlich eine Distanz von der Spitze zu den bereits vorhandenen Blattoorganen – man nennt sie Minimaldistanz – erreicht ist, die die Anlage eines neuen Blattorgans erlaubt. So ist es auch zu verstehen, dass bei der im vegetativen Bereich selten vorkommenden Wirtelstellung (mehrere Blätter an einem Knoten), wie beim Tannenwedel, die Blätter aufeinander folgender Knoten alternieren (Abb. 5). Die Minimaldistanz ist nämlich in den Lücken zwischen den jungen Blattanlagen zuerst erreicht („Hofmeister'sche Lückenregel“, 1868; Abb. 21). Bei wechselständiger Blattstellung ist zum anderen die zuletzt (also gerade) entstandene Anlage von einem eigenen Hemmfeld umgeben, das die frühzeitige Bildung einer weiteren Anlage in unmittelbarer Nachbarschaft verhindert. Diese „eigenen“ Organ-Hemmfelder werden mit zunehmendem Alter sukzessive wieder abgebaut. Ein solches Sperrmuster garantiert (in Abhängigkeit von den Größenverhältnissen zwischen Vegetationskegel und Blattprimordien) eine Anlagenfolge am Vegetationskegel von unten nach oben beziehungsweise außen nach innen bei gleichzeitig dichtester Packung.

Neuere Untersuchungen (z. B. Reinhardt et al. 2003, Reinhardt 2005a, b) zeigen, dass die Verteilung des Pflanzenhormons Auxin eine wichtige Rolle bei der Bildung der Blattanlagen spielt. Von einem gerade gebildeten Primordium wird Auxin absorbiert und somit aus der näheren Umgebung entfernt. Das neue Primordium kann nicht direkt neben der gerade erst gebildeten Blattanlage entstehen,

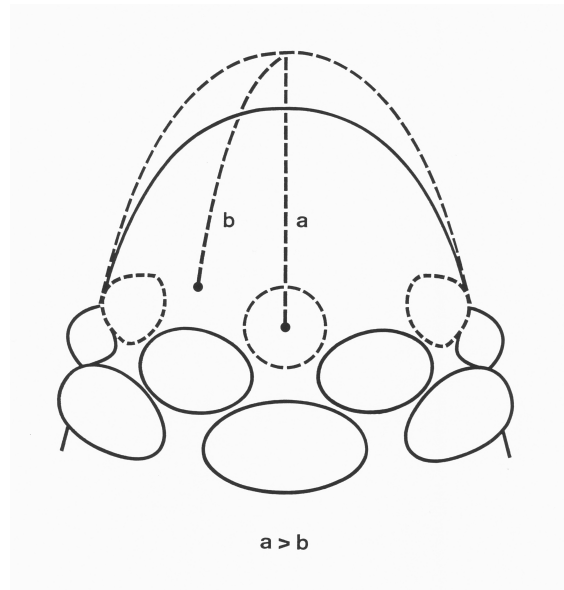


Abbildung 21: Schematische Darstellung eines vegetativen Sprossspitzens mit alternierenden Blattknoten. Bei Vergrößerung des Vegetationskegels (gestrichelt) wird die Minimaldistanz für die Anlegung neuer Organe (gestrichelt) in den Lücken zwischen bereits vorhandenen Organen eher erreicht (a) als vor diesen (b). Aus Leins & Erbar 2008.

da eine notwendige Mindest-Akkumulation von Auxin erst in einem bestimmten (minimalen) Abstand gegeben ist. Weil die jüngste Blattanlage das Auxin stärker absorbiert als die zweitjüngste, entsteht das neue Primordium näher zum zweitjüngsten als zum jüngsten Primordium. Die Hemmfelder bestehen danach also in einem Mangel an Auxin. Wo genau sich das neue Blatt ausbildet, darüber entscheidet eine lokal hohe Konzentration des Auxins, die durch eine Reihe von Transport-Proteinen bestimmt wird; der eigentliche Signalgeber aber ist noch unbekannt (Schopfer & Brennicke 2010). Möglicherweise spielen Minimaldistanzen vom Gipfel des Vegetationskegels ebenfalls eine Rolle. Außerdem ist zu beachten, dass die Funktion bei der Blattstellung nur schwer von der Rolle des Auxins als Wachstumshormon bei der Blattenwicklung zu trennen ist (Korn 2008).

Ein schönes Indiz für die Gültigkeit der Hemmfeldtheorie und zwar für die Annahme, dass Hemmwirkungen existieren, die von den jungen Organanlagen ausgehen und kontinuierlich mit zunehmendem Alter abnehmen, wird aus der

Blütenknospe der Yulan-Magnolie in Abb. 17c ersichtlich: Die Anlagen 7, 8 und 9 (des dritten Blütenhüllkreises) befinden sich bei genauerer Betrachtung nicht exakt in der Mitte der Lücken zwischen den Anlagen 4, 5 und 6 (des zweiten Blütenhüllkreises). Vielmehr steht Anlage 7 näher bei der älteren Anlage 4, wird quasi von der jüngeren Anlage 5 „abgestoßen“; entsprechend steht Anlage 8 näher bei Anlage 5 als bei Anlage 6 und Anlage 9 näher bei 4 als bei 6. Dieser Effekt ist beim Tulpenbaum noch deutlicher ausgeprägt (Abb. 18).

2 Buntheit der Blumen

„Doch davon hoffe ich Sie schon jetzt überzeugt zu haben: Dass die Blumenfarben 'um der Insekten willen' da sind, und nicht als Laune der Natur.“

Karl von Frisch, 1913

Es ist aber sicherlich vor allem die Buntheit der Blumen, die die meisten Menschen diese als schön empfinden lässt. Bunte Blumen erfreuen uns draußen in der Natur, aber auch im Garten und im Winter holen wir uns manchmal mit ihnen schon frühzeitig den Frühling ins Haus. Aber bunte Blumen gibt es schon viel, viel länger als den Menschen. Die Färbung der Blüten spielt als optisches Signal bei der Anlockung von bestäubenden Tieren eine außerordentlich wichtige Rolle. Wir schauen dabei auf etwa 140 Millionen Jahre einer erfolgreichen Partnerschaft zwischen Blüten und Insekten zurück, die im Wesentlichen geprägt ist von Coadaptation (Resultate einer Coevolution) und Mutualismen (Wechselbeziehungen zwischen artverschiedenen Organismen, aus der beide Partner einen Nutzen ziehen). Die Insekten besorgen den ortsfesten Pflanzen die Bestäubung, also den Transport der Pollenkörner vom Ort ihrer Produktion, den Staubbeuteln (Antheren) der Staubgefäße (Stamina) einer Blüte, in die Nähe der Samenanlagen, genauer auf ein Empfängnisgewebe, die Narbe, möglichst einer anderen Blüte derselben Art.

In den Samenanlagen (diese sind bei den Blütenpflanzen in einem Fruchtknoten eingeschlossen) befindet sich jeweils ein haploider weiblicher Organismus, meist aus 7 Zellen und 8 Zellkernen bestehend. Von den 7 Zellen ist eine die Eizelle. Der weibliche Organismus verlässt die Mutterpflanze nicht. Auf den Weg gebracht werden müssen hingegen die Pollenkörner, die haploiden männlichen Organismen, die neben der vegetativen Zelle zwei Spermazellen ausbilden. Nach einer

erfolgreichen Bestäubung wächst dann die vegetative Zelle des Pollenkorns zum Pollenschlauch aus und transportiert die beiden männlichen Geschlechtszellen zur Samenanlage. Die Eizelle wird zu einer Zygote befruchtet, und die andere männliche Geschlechtszelle verschmilzt mit einer zweikernigen Zelle des weiblichen haploiden Organismus zu einem sich daraus entwickelnden triploiden Nährgewebe, in das die aus der Zygote entstehende neue diploide Pflanze hineinwächst und schließlich als Embryo in eine Ruhephase eintritt. Das Samenkorn ist jetzt fertig (siehe Abb. 2 in Leins & Erbar 2008).

Bei den Vorläufern der Blütenpflanzen (Angiospermae), den Nacktsamern (Gymnospermae), waren (und sind) die Pollenkörner produzierenden Organe mehr oder weniger weit von den Samenanlagen tragenden entfernt angeordnet und der Wind besorgt(e) die Bestäubung. Käfer (so zeigen Pollenfunde im Verdauungstrakt von Fossilien) und andere Insekten fraßen Pollenkörner, besuchten allerdings nur die männlichen Organe. Es war wahrscheinlich der Selektionsdruck der Pollen fressenden Insekten, der durch einen vom Zufall bestimmten einfachen „Trick“, nämlich die Zusammenlegung von Pollen produzierenden und Samenanlagen tragenden Organen zu dem, was wir Zwitterblüte nennen, das parasitäre Verhältnis in ein mutualistisches umwandelte. Bei einem Blütenbesuch können nun Tiere die Bestäubung besorgen.⁶

Die Entstehung der angiospermen Zwitterblüte hängt also mit der „Benutzung“ von Insekten als neues Transportmittel bei der Übertragung der Pollenkörner zusammen. Die Insekten werden jetzt regelrecht zur Speise eingeladen. Wenn auch der Transport der Pollenkörner auf der Oberfläche der Insekten, natürlich völlig unbeabsichtigt, durchgeführt wird, so ist doch die Wahrscheinlichkeit, dass Pollenkörner auf der Narbe landen höher als bei Windbestäubung und der Verlust durch Fraß kann jetzt „in Kauf genommen“ werden. Neben Käfern gehören Fliegen, Grabwespen, Motten ohne Saugrüssel (Urmotten) und Thripse zu den Insektengruppen, die schon existierten, als die Blütenpflanzen mit ihren Zwitterblüten entstanden. Da sie zur Aufnahme von Pollenkörnern und/oder zuckrigen

⁶ Genetisch ist das Zusammenlegen der Pollen produzierenden und Samenanlagen tragenden Organe relativ einfach: Es muss nur ein „Ein-Aus-Schalter“ für die männliche Funktion „betätigt“ werden (Theissen 2005). Nicht so einfach ist der genetische Hintergrund für den Einschluss der Samenanlagen (Angiospermie). Hier kam es wohl nach einer Genom-Duplikation zu neuen Genfunktionen.

Narben-Sekreten in der Lage waren, kommen sie auch als frühe Bestäuber in Frage. Bienen (incl. Hummeln) und Schmetterlinge mit Saugrüssel gibt es, wie Fossilfunde zeigen, erst seit etwa 100 bzw. 70 Millionen Jahren.

Optische (und olfaktorische) Signale durch auffällige Färbung von Blütenhüllblättern und Emission von Düften wurden zu unverwechselbaren Werbemitteln der Blüten, zumal es in den verschiedenen Insektengruppen bevorzugte Farben und Düfte gibt. Auch unterscheiden sich die visuellen Fähigkeiten der blütenbesuchenden Insekten: Während nach heutigem Forschungsstand wohl bei den Insekten der Spektralbereich zum kurzwelligen hin verschoben ist (sie können also UV-Licht wahrnehmen), ist die Rot-Wahrnehmung nicht einheitlich. Käfer und Tagschmetterlinge sehen Rot, manche Fliegen nehmen den roten Farbbereich zumindest als eigene Qualität wahr, aber die bisher darauf untersuchten Bienen sind rotblind.

2.1 Blumenfarben, wie sie die Bienen sehen

Hatte der „Vater der Blütenökologie“, Christian Konrad Sprengel schon 1793 vermutet, die Blütenfarben könnten Werbemittel sein, so ist doch erst durch die Farbdressur-Versuche von Karl von Frisch (1913, 1914) das Farbsehen bei der Honigbiene nachgewiesen worden (1973 bekam er dafür den Nobelpreis). Karl Daumer (1956, 1958), ein Schüler von Karl von Frisch, konnte dann zeigen, dass Bienen definitiv anders sehen, da der Spektralbereich um rund 100 nm zum kurzwelligen hin verschoben ist. Für Menschen sichtbares Licht liegt im Wellenlängenbereich von etwa 380 nm (Violett) bis 780 nm (Rot), das der Biene von 300 nm (Ultraviolett) bis 650 nm (Bienen-Purpur). Bienen sind also rotblind, können aber die kurzwelligere Strahlung (UV) wahrnehmen. Mensch und Biene nehmen jeweils nur drei Grundfarben wahr (trichomatisches Sehen, entsprechend dreier Sehzelltypen). Die drei Grundfarben sind beim Menschen Rot, Grün und Blauviolett, bei der Biene Ultraviolett, Gelb und Blau. Alle anderen Farben sind Mischfarben (Abb. 22).

Wie können wir den Farbeindruck der Bienen erfassen? Blüten werden hintereinander durch die Farbfilter photographiert, deren Durchlässigkeit mit den drei Grundfarbenbereichen des Bienensehens übereinstimmt. Da die Bienen aber die Farben sicherlich anders wahrnehmen als wir, werden eigene Bienenfarben beschrieben (Daumer 1956, 1958; siehe auch Autrum & von Zwehl 1964, von Helversen 1972, von Frisch 1977). Da Bienen UV wahrnehmen können, „erscheinen“

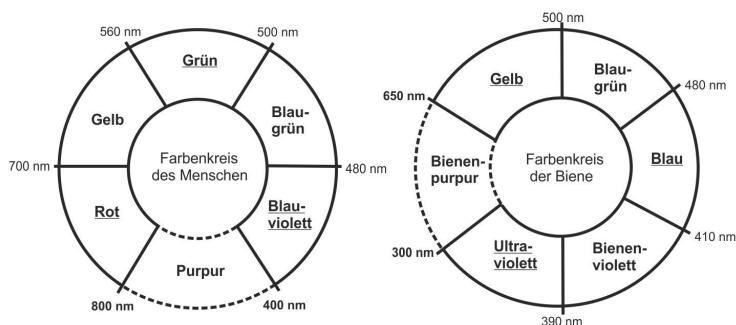


Abbildung 22: Schemata der Farbkreise von Mensch und Biene (Farbübergänge sind nicht dargestellt). Die Enden des linearen Farbspektrums (Rot und Blauviolett beim Menschen, Gelb und UV bei der Biene) sind zum Kreis geschlossen: Durch die Mischung der entsprechenden Lichtstrahlen entstehen die Purpurtöne, die im Spektrum selbst nicht enthalten sind. Die drei Grundfarben, die wahrgenommen werden können, sind unterstrichen (trichomatisches Sehen). Alle anderen Farbwahrnehmungen kommen durch Mischung zustande. Komplementärfarben, die sich zu Weiß ergänzen, stehen gegenüber. Erstellt nach Daumer 1956 und von Frisch 1977.

ihnen die Blütenfarben in einer anderen Vielfalt als uns Menschen. „Bienenblau“ entspricht in etwa der menschlichen Blauwahrnehmung, da eine Reflektion nur im Blaubereich stattfindet wie etwa bei den blauen Enzianen (Abb. 23a). Kommt zur Blaureflection eine UV-Reflektion dazu, spricht man von „Bienenviolett“ (beispielsweise bei blauen Veronica-Arten und beim Lein, Abb. 23b).

Die Blüten von Schlüsselblume, Hornklee und Berberitze (Abb. 24a) zeigen eine Reflektion im Gelbbereich, so dass ein „Bienengelb“ entsteht. Kommt wie bei gelben Hahnenfuß-Arten, der Sumpfdotterblume oder dem Sonnenröschen (Abb. 24b) eine UV-Reflektion hinzu, erhält man „Bienenpurpur“.

„Bienenblaugrüne“ Blüten umfassen im Wesentlichen dem Menschen weiß erscheinende Blüten wie die der Silberwurz (Abb. 25a) oder des Buschwindröschens. Hier findet sich eine starke Reflektion im Gelbbereich und eine weniger starke im Blaubereich, aber keine Reflektion im UV-Bereich. Dies trifft auch zu für uns helllila erscheinende Blüten des Echten Dost (Abb. 25b). Blüten, bei denen sich das Verhältnis umkehrt (also mehr Reflektion im blauen als im gelben Bereich) wie bei Schnee-Heide (Abb. 25c) und Rotem Fingerhut (Abb. 30), zeigen einen Übergang von „Bienenblaugrün“ zu „Bienenblau“. Die für uns „weißen Sterne der Gänseblümchen“ (Abb. 13b, 27b) „leuchten den Bienen“ laut von Frisch (1977) als „blaugrüne Sternchen entgegen“.



Abbildung 23: Blau durchs „Bienenauge“. – a, Clusius-Enzian *Gentiana clusii* (Gentianaceae): „Bienenblau“. – b, Ausdauernder Lein *Linum perenne* (Linaceae): „Bienenviolett“.

Reines Rot ist in unserer heimischen Flora relativ selten. Es ist besonders bei den in Europa nicht vorkommenden Vogelblumen verbreitet sowie bei den Tagfalterblumen wie der Kartäusernelke. Rote Bienenblumen, die gerne als „rot“ bezeichnet werden, wie z. B. die Blüten des Beinwells oder des Wiesen-Klees sind eher purpurrot. Die Bienen nehmen vor allem die enthaltenen Blauanteile des zurückgestrahlten Lichtgemisches wahr, während der Anteil an rein roten Strahlen auf den Gesamteindruck verdunkelnd wirkt. Dunkelrote Gartenformen der Rose sind für die rotblindenden Bienen „Bienenschwarz“; unter den Wildpflanzen konnte Daumer (1958) lediglich das für unsere Augen schwarzviolette Mönchskraut

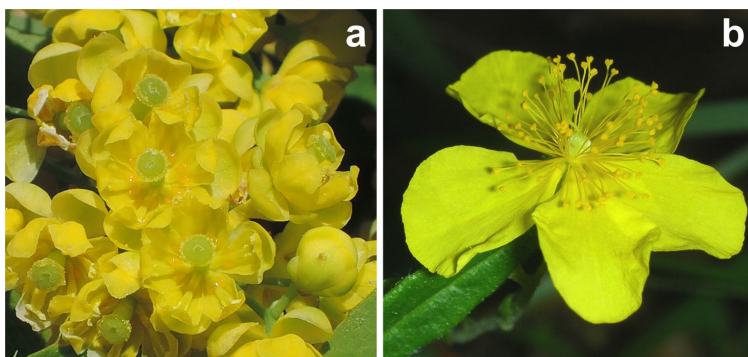


Abbildung 24: Gelb durchs „Bienenauge“. – a, Sauerdorn *Berberis vulgaris* (Berberidaceae): „Bienengelb“. – b, Gewöhnliches Sonnenröschen *Helianthemum nummularium* (Cistaceae): „Bienenpurpur“.

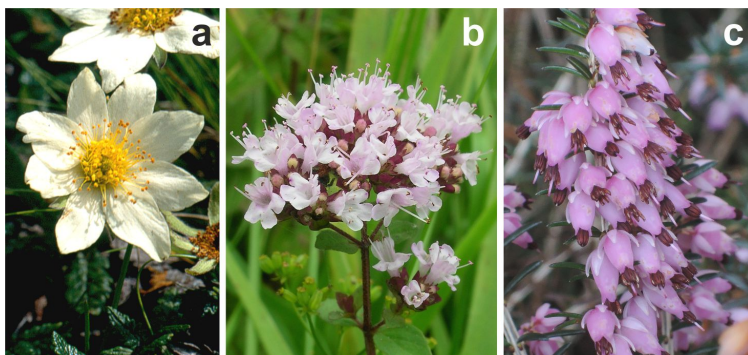


Abbildung 25: Im Bienenauge „Bienenblaugrün“. – a, Weiße Silberwurz *Dryas octopetala* (Rosaceae). – b, Echter Dost oder Oregano *Origanum vulgare* (Lamiaceae). – c, Schnee-Heide *Erica carnea* (Ericaceae): Übergang „Bienenblaugrün“ - „Bienenblau“.

Nonea pulla als rein „Bienenschwarz“ ausmachen (mit einer Reflektion in allen Bienenbereichen kleiner als 0,5%). Der für uns rote Klatsch-Mohn (Abb. 26) ist für die Bienen wegen der UV-Reflektion „Bienenultraviolett“. Im Zentrum der Blüte befindet sich aber ein UV-freies Mal.



Abbildung 26: Im Bienenauge „Bienenultraviolett“ mit UV-absorbierendem Zentrum: Klatsch-Mohn *Papaver rhoeas* (Papaveraceae).

Infolge schwacher, relativ gleichmäßiger Reflektion in allen Bienenspektralbereichen erweisen sich die grünen Blätter als „Bienengrau“ mit schwachem Farbstich ins „Bienengelb“, so dass, egal wie der Farbeindruck auch sein wird, sich für die Bienen die Blüten als bunte Farbflecken vom mehr oder minder unbuntem Hintergrund gut abheben (Daumer 1958).

2.2 „Wirtshausschilder“ für bestäubende Insekten

Die Staubgefäße (in ihrer Gesamtheit als Androeceum = Männerhaus bezeichnet) und insbesondere die Pollenkörner waren das phylogenetisch ursprüngliche Nahrungsangebot der Blüten an die bestäubenden Insekten (z. B. Käfer). Offene Blüten sind meist so gestaltet, dass sich ein UV-Licht schluckendes Zentrum gegen eine UV-Licht reflektierende Peripherie abhebt. Dies lässt sich mit Hilfe einer UV-Kamera für unser Auge sichtbar machen (Abb. 27). UV-absorbierend sind hauptsächlich die Staubbeutel und die Pollenkörner. Verantwortlich für eine UV-Absorption sind wasserlösliche gelbe oder blauviolette Flavonoide oder fettlösliche orangefarbene bis gelbe Carotinoide, bei den Pflanzen häufig vorkommende Farbstoffe. Solche Pflanzenfarbstoffe treten schon bei den windbestäubten Nacktsamern, den Gymnospermen, auf. Die Farbe hat hier nichts mit einer Anlockung zu tun, sondern mit dem Schutz des Staubbeutelinhalts vor UV-Licht (die bei der Bildung der haploiden Pollenkörner notwendige Meiose kann durch UV-Strahlen gestört werden). Die spätere Signalwirkung ist bei den Gymnospermen also schon präadaptiv vorhanden.

Oft absorbieren zusätzlich die Fruchtblätter das UV, so dass in den Blüten etwa der Hahnenfußgewächse (Ranunculaceae) ein UV-schluckender Innenbereich gegen eine UV-reflektierende Peripherie der Blütenhülle kontrastiert ist (Abb. 27b). Dieses Signalphänomen „offener“ Blüten findet sich auch in Blütenständen, besonders in kopfigen, wie wir sie von den Köpfchenblütlern (Asteraceae) kennen. Die Zungenblüten (Strahlenblüten) der Asteroideae, wie beim Gänseblümchen, sind dabei der reflektierende, die Röhrenblüten (Scheibenblüten) der absorbierende Blumenteil (Abb. 27b unten). Häufig sind zusätzlich noch die basalen Abschnitte der Zungenblüten am UV-Schlucken beteiligt. Aber auch rein zungenblütige Asteraceae (die Lactuceae innerhalb der Cichorioideae), wie der Löwenzahn, zeigen in ihren Köpfen das entsprechende Muster (Abb. 27c unten). Egal, wie die Farben von den Insekten wahrgenommen werden (siehe oben), entscheidend ist, dass sich für sie auf jeden Fall das Zentrum der Bestäubungseinheit (Blüte oder dichter

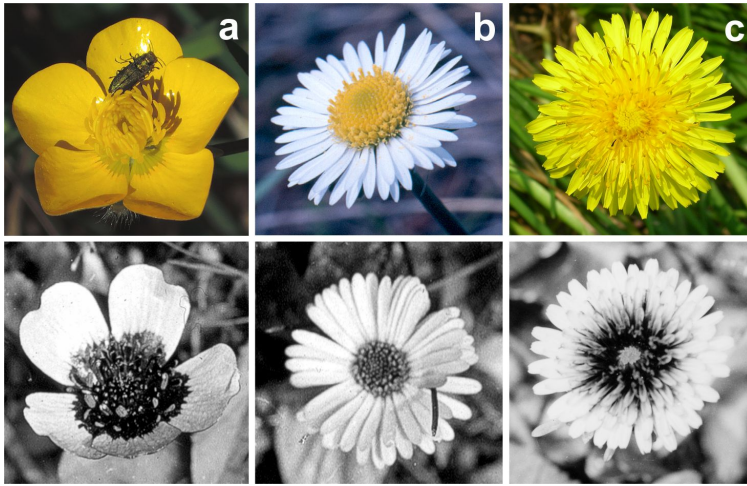


Abbildung 27: Blumen im Normalbild (oben) und in der UV-Aufnahme (unten). – a, Hahnenfuß. – b, Gänseblümchen. – c, Löwenzahn. Unabhängig von der Farbe, ist das Muster „innen UV schluckend, außen UV reflektierend“ sowohl in Einzelblüten (Hahnenfuß) als auch in dichten, köpfchenförmigen Blütenständen (Gänseblümchen, Löwenzahn) zu finden.

Blütenstand = Blume) – in der Regel der Ort der Belohnung mit Pollen und/oder Nektar – von der übrigen Blume abhebt.

Auf das Signal der ursprünglichen Lockspeise, nämlich die in oft großer Anzahl vorhandenen und gegen eine gefärbte Blütenhülle kontrastierten Staubgefäße, bleiben viele im Verlauf der Coevolution entstandene, Nektar zu sich nehmende und z.T. Pollen sammelnde Insekten fixiert. Nektarblumen, bei denen die meist zahlenmäßig reduzierten Staubgefäße zusammen mit dem Nektar, z. B. in einer Kronröhre, schützend versteckt werden, konnten somit unter dem Konkurrenzdruck der das Androeceum offen zur Schau stellenden Pollenblumen sich nur behaupten, indem sie Attrappen des Androeceums als entsprechende Signale ausbildeten. Vielfach sind es mannigfaltige Zeichnungen, die sich durch eine andere Farbe von ihrer Umgebung abheben. Bereits Christian Konrad Sprengel (1793) erkannte ihre Bedeutung als optische, zum Nektar führende Wegmarkierungen für die bestäubenden Insekten. Dementsprechend nannte er sie „Saftmale“. Da, wie sich später herausstellte, Farbmuster auf den Blüten auch allgemein eine anziehende Wirkung auf sich nähernde Blüten besuchende Insekten ausüben, bezeichnet man sie heute besser als Blütenmale.



Abbildung 28: Blütenmale I. – a, Gelbliche Schwertlilie *Iris lutescens* (Iridaceae) in der blauen Variante; Pfeil weist auf Narbenlappen. – b, Sumpf-Schwertlilie *Iris pseudacorus*.

Nach der „Signalattrappen-Theorie“ von Osche (1979, 1983) stellen, wie schon erwähnt, viele Blütenmale Kopien des Androeceums oder Teile von diesem dar. Quasi werden „Wirtshausschilder“ für die Insekten ins Schaufenster gestellt. Aus der Fülle der Beispiele seien nur einige herausgegriffen. Ein aus vielen Staubgefäßen bestehendes Androeceum täuscht an den drei Blüteneingängen mancher Schwertlilien-Arten (z. B. *Iris lutescens*⁷, Abb. 28a) eine vollplastische Attrappe

⁷ Diese weit gefasste Art umfasst auch die ehemalige *Iris chamaeiris*. *Iris lutescens* kommt im westlichen und zentralen Mittelmeergebiet vor. Auffällig ist, dass am selben Standort meist blau-violett und gelb-violett blühende Exemplare nebeneinander vorkommen. Dieser Farbd-

vor, und tatsächlich landen bestäubende Insekten auf dieser Attrappe, bevor sie sich, geleitet durch konvergierende Strichmale auf den äußeren Blütenhüllblättern und den Spitzen der verbreiterten Griffeläste, ins Innere der Blüte zum (vermeintlichen) Nektar begeben. Dabei streifen sie eventuell mitgebrachten Pollen an einem Narbenlappen (Pfeil in Abb. 28a) ab, der nur auf seiner Innenseite rezeptiv ist, d.h. nur dort befindet sich ein Narbengewebe. Der Bestäuber biegt den Narbenlappen beim Hineinkriechen in geeigneter Weise nach unten und kommt anschließend mit dem sehr langen Staubbeutel (Anthere) rückenseits in Berührung. Beim Verlassen des Blütenschlundes biegt sich das Narbenhäutchen nach oben. Es wird dadurch verhindert, dass eigener Pollen auf die rezeptive Seite gelangt. Dies bedeutet, Einschränkung von Selbstbestäubung, wenngleich eine solche nicht ganz auszuschließen ist, da das Insekt alle drei Blütenzugänge hintereinander benutzen kann (was wir allerdings im Falle der Nektar-Täuschblume *Iris lutescens* nie beobachtet haben). Bei anderen Iris-Arten genügen offensichtlich auch nur verblüffend ähnliche Zeichnungen an den betreffenden Stellen der Anlockung. Bei der Gelben Schwertlilie (Abb. 28b) stellen dünne Striche, die nach außen zu verdickt sind, Staubgefäßkopien dar. Sie täuschen Staubfäden mit jeweiligen Staubbeuteln vor. Die gesamte Zeichnung kombiniert durch das Zusammenlaufen der Striche in Richtung Blüteninneres das Anlockungs- mit dem Wegweisersignal.

Wenige, aber sehr deutliche, hervortretende vollplastische Staubgefäß-Dummies versetzen uns bei der im Mittelmeergebiet vorkommenden Goldlackblättrigen Hundszunge (Abb. 29) ins Staunen. Die echten (fertilen) Staubgefäße befinden sich in der Kronröhre versteckt (Abb. 29b).

Zeichnungen von vielen sich öffnenden Antheren (also von Teilen des Androeceums) finden sich in den schrägen Glocken des Roten Fingerhutes (Abb. 30). Sie

morphismus lässt vermuten, dass es wie bei der nah verwandten Zwerg-Iris *Iris pumila* ein Zusammenhang besteht mit einem fehlenden Nektarangebot (Vogel 1993). Für *Iris lutescens* konnten wir an einem Standort auf Sizilien (Felsgarigue beim Santuario Madonna della Scala) bei der blauen und gelben Farbmorphe (letzte mit bräunlich-purpurfarbenen Bereichen auf den äußeren Blütenhüllblättern) keine sichtbare Nektarabscheidung feststellen. Die Überprüfung jedoch mit Zucker-Teststreifen lässt eventuell auf eine geringe Nektarmenge schließen. Da die Bestäuber – in diesem Fall sind es Hummeln – lernfähig sind und bei mehrmaliger Nahrungsfrustration die Blüten mit dieser Farbe meiden, werden sie, durch die andere Blütenfarbe angelockt, letztlich doch Blüten dieser Art besuchen und somit eine Fremdbestäubung bewirken. Die Täuschblume hat damit ihr „Ziel erreicht“.

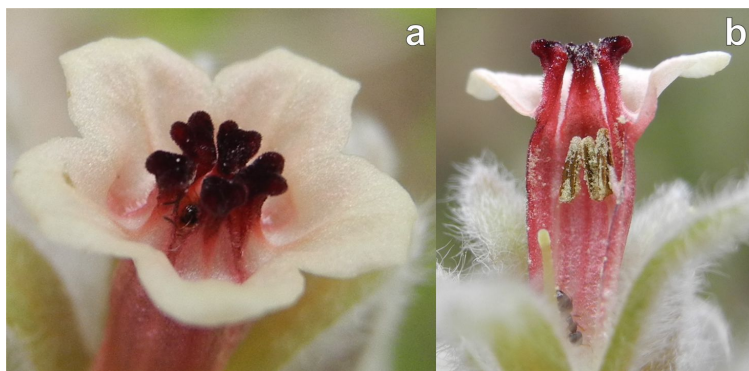


Abbildung 29: Blütenmale II. Goldlackblättrige Hundszone *Cynoglossum cheirifolium* (Boraginaceae). – a, Fünf vollplastische Staubgefäß-Dummies säumen den Blüteneingang. Die echten, Pollen produzierenden Staubgefäße befinden sich darunter, verborgen in der Kronröhre. – b, Blüte längs aufpräpariert.

leiten das Insekt (Hummeln) bis ins Innere der Blüte, wo sich dann die Kronröhre plötzlich verengt und nur noch dem Saugrüssel Zugang zum Nektar gewährt. Vier Staubgefäße, die nach oben gebogen sind, berühren mit ihren echten Staubbeuteln den Rücken des Bestäubers.

Nicht selten wirkt eine einzelne, halb-plastisch in Erscheinung tretende übernormierte Staubbeutelattrappe als Signal. Sie ist wie im Original zweiteilig, entspre-



Abbildung 30: Blütenmale III. Roter Fingerhut *Digitalis purpurea* (Plantaginaceae). Zeichnungen auf dem unteren Blütensaum kopieren geöffnete Staubbeutel und locken hauptsächlich Hummeln ins Blüteninnere. Rechts Blick in den Blütenschlund.

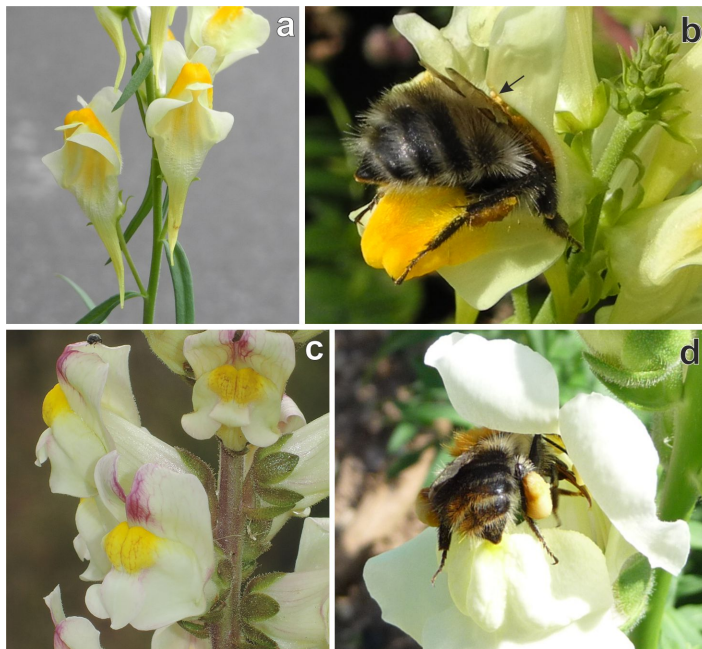


Abbildung 31: Blütenmale IV. Übernormierte, halbplastische Antherenattrappen in der Löwenmäulchen-Verwandtschaft (Plantaginaceae). – a–b, Gewöhnliches Leinkraut *Linaria vulgaris*. – c, Sizilianisches Löwenmäulchen *Antirrhinum siculum*. – d, Großes Löwenmäulchen *Antirrhinum majus*. Nur kräftigere Insekten wie Hummeln (in den Bildern Acker-Hummel *Bombus pascuorum*) vermögen ins Innere zu gelangen. Die eigentlichen Staubgefäße (Pfeil in b) befinden sich unter der Oberlippe der Blüte (Rückenbestäubung).

chend der beiden Staubbeutelteile, den sogenannten Theken (jede Theka besitzt zwei dicht hintereinander stehende Pollensäcke). Als Beispiele wählen wir das Leinkraut (Abb. 31a-b) und zwei Löwenmäulchen-Arten (Abb. 31c-d). Nur kräftigere Bienen (beispielsweise Hummeln) sind in der Lage, die den Blütenschlund verschließende Attrappe nach unten zu drücken, um sich Zugang ins Blüteninnere zu verschaffen.

Das Kapitel wollen wir mit einem bescheidenen Ausschnitt aus einem schier unüberblickbarem Kaleidoskop schöner Zeichnungen und Oberflächengestaltungen im Bereich von Blütenmalen abschließen (Abb. 32). Ihre (ästhetische) Vielfalt (bei ähnlicher Funktion) bestätigt den Zufall, der die evolutionären Faktoren beherrscht, bevor die entscheidende Selektion einsetzt.

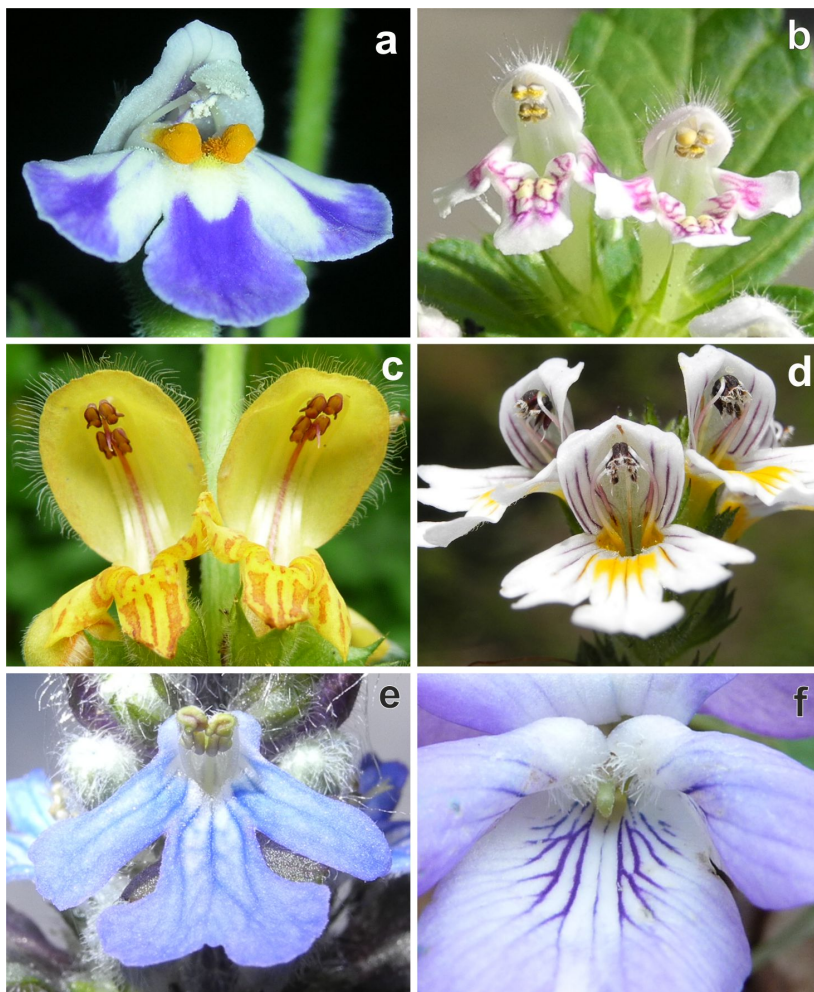


Abbildung 32: Blütenmale V. Dorsiventrale Blüten (mit nur einer Symmetrieebene) und ihre Strich- und Farbmale auf der Unterlippe (Landeplatz). – a, *Craterostigma plantagineum* (Linderniaceae), eine der südafrikanischen austrocknungstoleranten „Wiederauferstehungspflanzen“. – b, Gewöhnlicher Hohlzahn *Galeopsis tetrahit* (Lamiaceae). – c, Echte Goldnessel *Galeobdolon luteum* (Lamiaceae). – d, Gewöhnlicher Augentrost *Euphrasia rostkoviana* (syn. *E. officinalis* ssp. *rostkoviana*, Orobanchaceae). – e, Kriechender Günsel *Ajuga reptans* (Lamiaceae). – f, Hohes Veilchen *Viola elatior* (Violaceae).

2.3 Blumensyndrome

Neben den Farben spielen Düfte in den Blüten eine große Rolle bei der Anlockung der Bestäuber. Die Blütenmale sind meist auch Duftmale. So wie die bestäubenden Tiere (bei uns die Insektengruppen der Käfer, Fliegen, Bienen, Wespen, Tag- und Nachtfalter, in anderen Regionen der Welt kommen noch Vögel und Fledermäuse hinzu) unterschiedlich auf Farben reagieren, haben sie auch bestimmte „Lieblingsdüfte“ (diese sind bei manchen Fliegengruppen und den Fledermäusen für unsere Nasen nicht unbedingt angenehm). Die Vielfalt der Blumen ist auch bedingt durch ihre unterschiedliche Form. Diese wiederum steht im Zusammenhang mit der Zugänglichkeit des Nahrungsangebots. Wie schon erwähnt, ist im Laufe der Evolution die Zahl der Staubgefäße und damit die Menge an Pollenkörnern, dem primären Nahrungsangebot für Bestäuber, reduziert worden und außerdem ist wohl schon früh in der Evolution die „Belohnung Pollen“ durch den „billigeren“ Zuckersaft, den Nektar, ergänzt oder ersetzt worden (wenn er auch der Proteinquelle Pollenkorn ernährungsphysiologisch in keiner Weise nahekommt, ist Nektar kein reines Zuckerwasser, sondern es finden sich darin in geringer Menge viele weitere Substanzen wie Aminosäuren, Vitamine, Fette u.a.m.). Zum Schutz vor Austrocknung oder Verwässerung wurde der Nektar (oft zusammen mit den nun wenigen Staubgefäßen) in Röhren verborgen. Je tiefer der Nektar verborgen wurde, desto länger wurden, in gegenseitiger Anpassung (Resultat einer Coevolution), die Mundwerkzeuge der Insekten zur Erreichung des Nektars in den Röhren. So haben sich im Laufe der Evolution, gekoppelt mit den entsprechenden Bestäubergruppen, unterschiedliche Tierblumen-Syndrome entwickelt (siehe Tabelle 2 in Leins & Erbar 2008). Diese Tierblumen-Syndrome beschreiben ein Cluster von morphologischen und funktionellen Merkmalen, die für die jeweiligen Bestäubungsarten von Bedeutung sind.⁸ Zur Anlockung benutzte Signale (Farben und Düfte) können

⁸ „Gefüllte Blüten“ – aus der Sicht eines Blütenökologen zum Abgewöhnen. In „gefüllten Blüten“ sind die Elemente der Blütenhülle über die natürliche Zahl hinaus züchterisch vermehrt, meist auf Kosten der Staubgefäße. In „gefüllten Köpfchen“ der Köpfchenblütler (Asteraceae) treten an die Stelle der zwittrigen Röhrenblüten weibliche (oder sterile) Zungenblüten. Bei den „gefüllten Blumen“ handelt es sich in der Natur um eine Sackgasse, da keine Samenbildung erfolgt. Daher verschwinden diese Formen schnell wieder, es sei denn, der Mensch züchtet diese Sorten aus Gründen des „Zierwertes“ (von Ästhetik wollen wir nicht sprechen). Heutzutage sollten diese Sorten aber ganz aus den Gärten und Parks verbannt werden, da sie wenig oder gar keinen Pollen hervorbringen und damit für die Insekten keine Nahrung bieten. Damit ja kein lästiges Insekt auf

aber auch gefälscht und zum Betrug (siehe *Iris lutescens*, Fußnote 7) statt zur Belohnung eingesetzt werden (Erbar 2017).

3 Ästhetik durch Sparsamkeit und hohe Funktionalität: Verpackungen

Der Bauhausstil, der auf die Gründung einer Kunstschule von Walter Gropius in Weimar 1919 (das Staatliche Bauhaus) zurückgeht, vermittelt durch sein Ziel, Kunsthandwerk und Architektur mit Zweckhaftigkeit und minimalem Materialaufwand zu verbinden, bei vielen Menschen eine ästhetische Empfindung. Dies mag wiederum mit dem in unserem Bewusstsein (oder Unterbewusstsein) verankerten Ökonomischen Prinzip zusammenhängen. Letzteres Prinzip (auch Optimierungsprinzip genannt) beherrscht, wie mehrfach betont, im höchsten Maße die natürliche Selektion (Leins & Erbar 2008, 2010, 2018).

„Geniale“ Verpackungen empfindlicher Organe beziehungsweise Gewebe in unterschiedlichster Form haben sich bei den Landpflanzen über viele Millionen Jahre hinweg bewährt. Verpackungen ohne Verpackungsmaterial, die „billigsten“ Verpackungen also, finden sich bei vielen Wedelfarnen. Die Farnwedel wachsen an ihrer Spitze und, falls sie zerteilt (gefiedert) sind, wie dies meistens der Fall ist, auch an den Spitzen der Fiedern. Es handelt sich um ein Teilungswachstum, wobei in einem sehr zarten dünnwandigen Gewebe Zellteilungen stattfinden. Den mechanischen Schutz dieses embryonalen Teilungsgewebes (oft mit Scheitelzelle) gewährt eine Bischofsstab-artige Einrollung der Blatt- und Fiederspitzen (Abb. 33). Die Schutzfunktion übernehmen also die in Differenzierung begriffenen festeren Gewebeteile. Eine Einrollung allein reicht jedoch nicht immer aus. Bei Farnen unserer Breiten mit winterlichem Blattverlust sind zum Schutz vor Frosttrocknis vielfach schuppenförmige Emergenzen ausgebildet. Ähnliches gilt für die Holzgewächse mit herbstlichem Blattfall. Im Gegensatz zu den Sprossspitzen vieler tropischer Pflanzen, bei denen das zarte Spitzenmeristem (Vegetationskegel, aus dem die Sprossachse und die an ihr sitzenden Blätter gebildet werden) die jungen, eingeschlagenen Blattanlagen den mechanischen Schutz bieten, tragen in den gemäßigten Klimaten zusätzliche an die Frosttrocknis angepasste Strukturen zur

den Balkonen oder Terrassen erscheint, ist zudem der Nektar weggezüchtet worden (etwa bei den meisten Sorten der allseits beliebten Pelargonien).

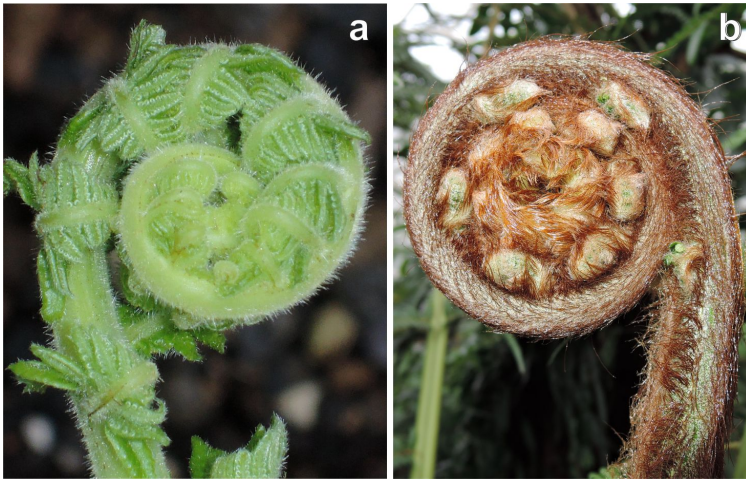


Abbildung 33: Die wohl intelligenteste Verpackung: Bischofsstab-artig eingerollte Wedelspitzen bei Farnen. – a, Juwelen-Mädchenfarn (*Thelypteris opulenta*; syn. *Amblovenatum opulentum*) ursprünglich wohl aus Ostafrika stammend ist er heute in vielen tropischen Gebieten der Alten und Neuen Welt zu finden. – b, Australischer Taschenfarn (*Dicksonia antarctica*; syn. *Balantium antarcticum*), ein Baumfarn aus SO-Australien und Tasmanien.

Bildung von Überwinterungsknospen bei. Meist sind es in ihrer Entwicklung zur Stagnation „gezwungene“ Blätter von einfacher Gestalt mit derber, hydrophober Oberfläche. Oder es sind Teile von sich später entfaltenden Laubblättern. Zum Verständnis bedienen wir uns eines Schemas (Abb. 34). Das Grundorgan Blatt entsteht exogen am Sprossvegetationskegel. Es sind dabei meist die beiden äußeren Zellschichten betroffen. Das Blatt weist in seiner Entwicklung (Ontogenie) im allgemeinen früh eine Differenzierung in Unterblatt und Oberblatt auf, die sich oft durch eine Zäsur voneinander abgrenzen. Aus dem Unterblatt geht der sogenannte Blattgrund, aus dem Oberblatt die Blattspreite hervor. Zwischen Blattgrund und Blattspreite ist vielfach ein Blattstiel ausgebildet, der oft auch dem Oberblatt zugeordnet wird. Das Unterblatt kann vielfach in besonderer Weise ausgestaltet sein: Es kann in eine mehr oder weniger lange Blattscheide (Abb. 34b-d) auswachsen, wie etwa beim Lauch, oder es kann beidseits blattartige Anhängsel, sogenannte Stipeln = Nebenblätter (Abb. 34b-e-f), ausbilden wie beim Rosenblatt (Leins & Erbar 2017).

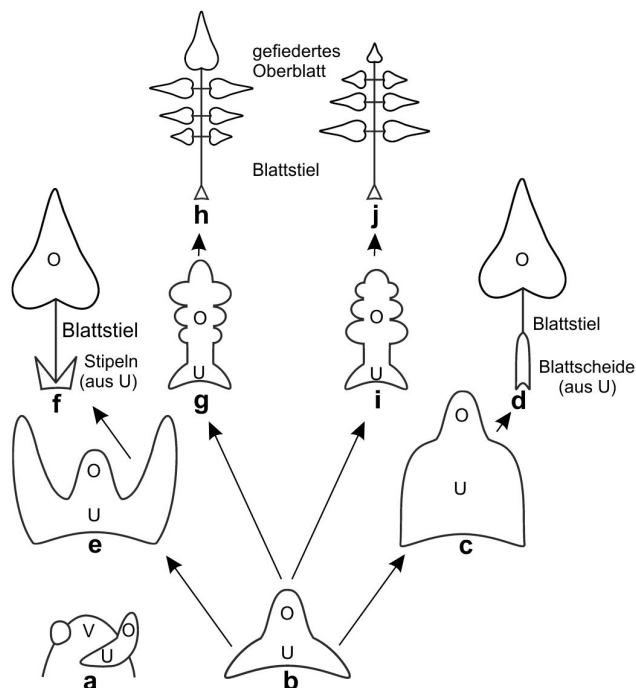


Abbildung 34: Blumentwicklung. O = Oberblatt, U = Unterblatt, V = Sprossvegetationskegel. Aus Leins & Erbar 2017.

Wird das Entwicklungsprogramm eines Blattes etwa im Stadium der Abb. 34e und c abgebrochen, so entstehen nach Streckungswachstum und Ausdifferenzierung entweder ein Knospenschuppenpaar, das den Nebenblättern entspricht, oder eine einer Blattscheide homologe einfache Knospenschuppe, beide mit einem Oberblatttrudiment, das in fertigen Überwinterungsknospen kaum hervortritt. Ein schönes Beispiel für einfache Knospenschuppen findet sich etwa beim Berg-Ahorn (Abb. 35). Bei diesem schließen mehrere grüne (lebendige) Knospenschuppen, jeweils mit schwärzlichem winzigen Oberblatttrudiment, einige Laubblattanlagen (meist schon in der endgültigen Zellzahl) ein. Die stark gefalteten Blattspreiten lassen in der Packung kaum einen leeren Raum zwischen sich frei (raumsparende Ästhetik). Beim Austreiben der Knospe im Frühjahr (Abb. 35b), bei der die Fäلتung der Blattspreiten anfangs noch deutlich zu erkennen ist, wachsen zunächst

auch noch die Knospenschuppen mit und gewährleisten damit weiterhin einen gewissen Schutz vor Frosttrocknis, der in kalten Nächten gelegentlich auftreten kann.



Abbildung 35: Berg-Ahorn *Acer pseudoplatanus* (Sapindaceae). In lebenden grünen, einfachen Knospenschuppen (a) sind dicht gepackt die Laubblätter eingeschlossen, die im Frühjahr austreiben (b). Verändert aus Leins & Erbar 2017.

Ein Beispiel für Nebenblattschuppenpaare liefert die in Mitteleuropa allgegenwärtige Rot-Buche. Ihre schräg an der Sprossachse abstehenden Überwinterungsknospen sind lang und schmal und gegen das Ende zugespitzt (Abb. 36a). Die unteren Knospenschuppenpaare tragen jeweils ein zum Teil kaum sichtbares Oberblattrudiment, nach oben zu sind es die Nebenblätter der eingehüllten Laubblattanlagen (Ziehharmonika-artig gefaltet), was wiederum beim Knospenausschlag erkenntlich wird (Abb. 36b).

Von besonderer „Ästhetik“ ist das „Innenleben“ der Überwinterungsknospen des Tulpenbaumes (Abb. 36c-d). Es handelt sich um in ihren Nebenblatthüllen ineinander geschachtelten Blattanlagen, vergleichbar mit den russischen, ineinander steckenden immer kleiner werdenden Matroschka-Püppchen.

Überwinterungsknospen können aber auch „nackt“ in einen Pelzmantel gehüllt den Winter überstehen. Eine derartige Strategie verfolgt beispielsweise der Wollige Schneeball (Abb. 37). Unzählige tote Stern- oder Büschelhaare bilden auf der Außen- bzw. Unterseite der späteren Laubblätter einen dichten Filz, in dessen Zwischenräumen Wasserdampfsättigung herrscht und der durch die Luftpolsterung eine Wärmedämmung gewährleistet. Wie im Fell etwa eines Eisbären tragen die Hohlräume in den toten Haarzellen in idealer Weise zusätzlich zur Wärmeisolation

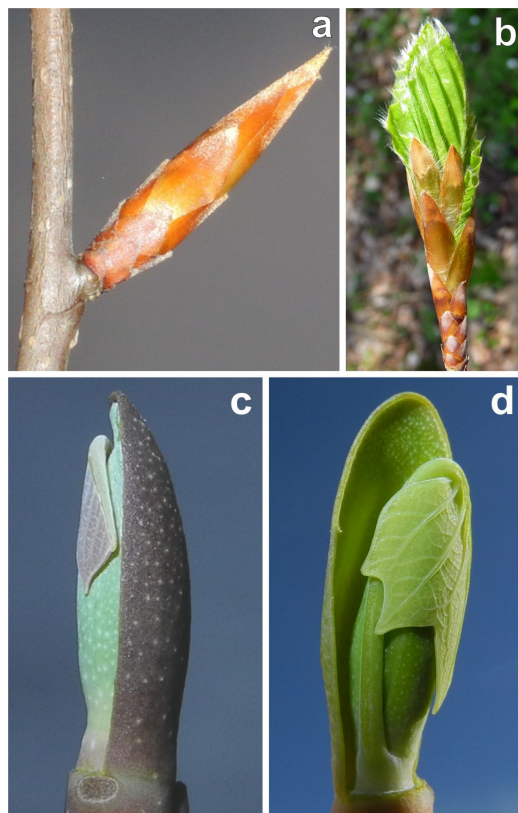


Abbildung 36: a–b, Überwinterungsknospe der Rot-Buche *Fagus sylvatica* (Fagaceae) und deren Austrieb. – c–d, Präparierte Überwinterungsknospen des Tulpenbaums *Liriodendron tulipifera* (Magnoliaceae); jeweils ein Nebenblatt entfernt.

bei (Abb. 37d-f). Wenn sich die in der Knospe nach innen eingefalteten Blattanlagen im Frühjahr entfalten und sich durch Streckungswachstum vergrößern, weichen die Sternhaare (auf der Unterseite des Blattes) auseinander und sind dann mit einer Lupe einzeln als solche zu erkennen (Abb. 37b).

4 Die Schönheit der Zwergmännchen

Wie oben schon bemerkt, sind die Pollenkörner keine Geschlechtszellen, sondern haploide männliche, im Verlauf der Evolution stark reduzierte Pflänzchen, die

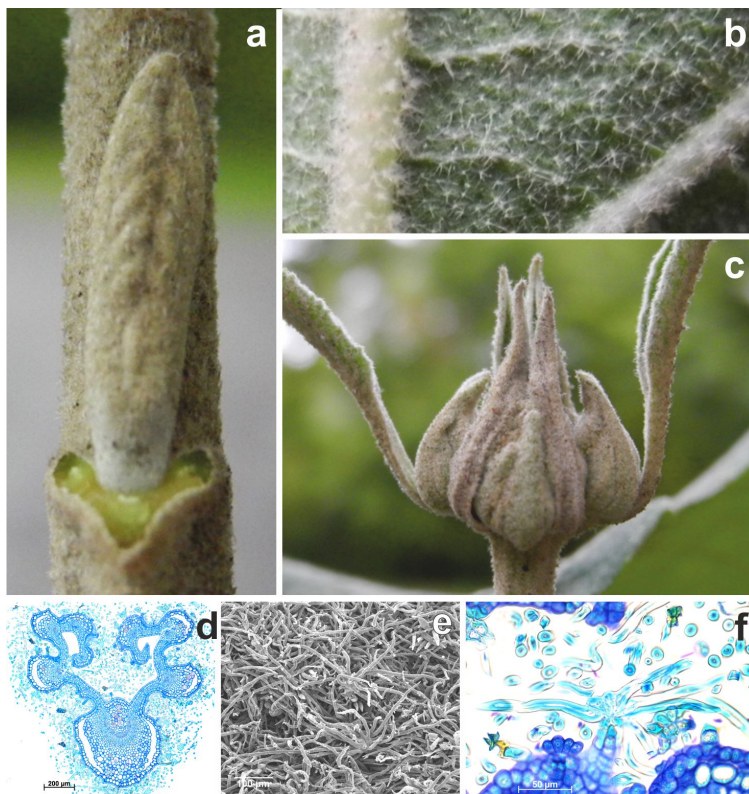


Abbildung 37: Die „Nackten im Pelzmantel“: Wolliger Schneeball *Viburnum lantana* (Viburnaceae). Sternhaare (f: Längsschnitt) bilden einen dichten Pelz auf den noch kleinen, eingefalteten späteren Laubblättern (a; d: Querschnitt, e: rasterelektronenmikroskopisches Bild) und auf der Blütenstands-knospe (c). Auf der Blattunterseite der entfalteten Blätter sind die Sternhaare locker verteilt (b). Verändert aus Leins & Erbar 2017.

möglichst auf einer Narbe einer anderen Pflanze der gleichen Art landen müssen (Fremdbestäubung). Von hier aus wächst das Männchen, ernährt von einem sogenannten Pollenschlauchleitgewebe (oft in einem Griffelgewebe untergebracht), in Form eines einzelligen Schlauchs aus, der die beiden Spermazellen zum in einer Samenanlage eingeschlossenen haploiden weiblichen Pflänzchen transferiert. Meist landet ein Vielfaches an Pollenkörnern im Vergleich zur Samenanlagen-Zahl auf einer Narbe, und es kommt auf dem Weg zu den „Bräuten“ meist zu einem

harten Konkurrenzkampf. Die Pollenschlauchkonkurrenz ist für die Selektion von großer Bedeutung, denn die schnellen „Flitzer“ (mit ihrem schnellen Stoffwechsel) tragen – wenn auch nur haploid – zur besseren Fitness der späteren diploiden Pflanzen bei (Leins & Erbar 2008, 2010, 2018).

Im Verlauf der Evolution ist eine immense Vielfalt an Pollenkörnern entstanden. Form und Größe, Zahl der Keimöffnungen (Austrittsstellen der Pollenschläuche) und Oberflächenskulpturen spielen dabei eine wesentliche Rolle. Zum großen Teil lassen sich die Pollengestalten bestimmten Verwandtschaftsgruppen und oft auch einer betreffenden Blütenpflanzenart zuordnen, was u.a. in der Kriminalistik,

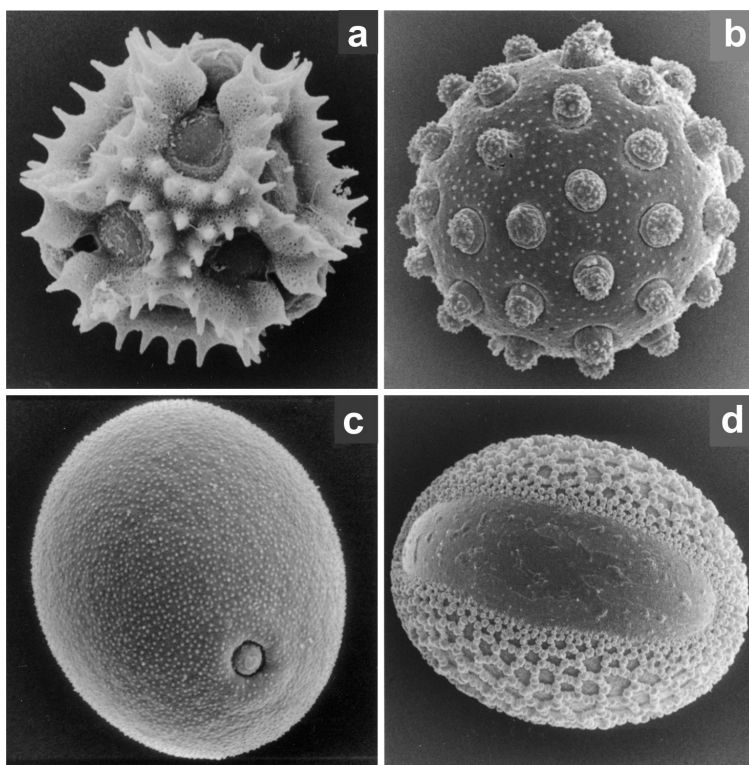


Abbildung 38: Verschiedene Pollenkornformen. – a, Wegwarte *Cichorium intybus* (Asteraceae). – b, Kornrade *Agrostemma githago* (Caryophyllaceae). – c, Kalk-Blaugras *Sesleria caerulea* (Poaceae). – d, Türkenbund-Lilie *Lilium martagon* (Liliaceae). Ca. 1200x: Originale H. Halbritter. Verändert aus Leins & Erbar 2008.

in der Honigbestimmung und in der Rekonstruktion früherer Vegetationsverhältnisse (etwa die Wiederbesiedlung durch Blütenpflanzen in Mitteleuropa nach der letzten Kaltzeit) Anwendungsbereiche findet. Die teilweise bizarren Oberflächenskulpturen verdanken die Pollenkörner ihrer äußeren Wandung aus einem äußerst widerstandsfähigen Material, einem hochpolymeren Carotinoidester, dem sog. Sporopollenin, das einer inneren Wand aus vorwiegend Cellulose aufgelagert ist. Eine kleine Auswahl an Pollenkornformen, in ästhetischer Weise von der Palynologin Heide-Marie Halbritter präpariert, sei in einer Tafel (Abb. 38) vorgestellt.

Die hoch differenzierte Schönheit der Pollenkörner steht nur wenig im Zusammenhang mit einer ökonomisch geprägten Anpassung. Lediglich die Transportmittel Wind und Insekten (oder andere Tiergruppen) nehmen einen adaptiven Einfluss auf die Pollenkornoberfläche. Sie ist bei Windausbreitung der Pollenkörner glatt (Abb. 38c) und kaum von sog. Pollenkitt umgeben (Windblumen-Syndrom, Tab. 1, Leins & Erbar 2008), während Pollenkörner mit einer mehr oder weniger stark hervortretenden Skulptierung (Abb. 38a-b, d) und reichlich Pollenkitt sich an der der Körperoberfläche von bestäubenden Tieren leicht anheften lassen (Tierblumen-Syndrom, Tab. 1, Leins & Erbar 2008). Man kann, wenn man möchte, die Schönheit der Pollenkörner vielfach auf eine „Laune der Natur“, also auf den Zufall, zurückführen (siehe die vom Zufall bzw. durch eine Kanalisierung bestimmten Faktoren der Evolution, Abb. 2 in Leins & Erbar 2018).

5 Abschließende Bemerkungen zur Schönheit von Pflanzen und Pflanzenteilen

Der Begriff „Schönheit“ gehört wie etwa die Begriffe „Liebe“ und „Seele“ zu den vieldeutigsten Benennungen von z.T. stark Mythos-abhängigen Erscheinungen. Die vorliegende Abhandlung beschränkt sich auf eine, von zwei evolutionsbiologisch orientierten Pflanzenwissenschaftlern empfundene Schönheit, die sich lediglich auf eine optimale Gestaltung und hohe Funktionalität bezieht. Der Schönheitsbegriff hat in verschiedene philosophische Richtungen Einzug gehalten. Schon Platon (um 427–um 347 v.Chr.) hat in seinem Dialog „Symposion“ (ca. 380 v.Chr.) die „Schönheit“ aufgenommen. Gemäß seiner Ideenlehre subsummiert Platon alle schönen Einzelercheinungen in der „Idee des Schönen“. Alles Schöne ist miteinander verwandt. Der Philosoph Alexander Gottlieb Baumgarten

(1714–1762), der in seiner „Aesthetica“ (1750, 1758) zwischen sinnlicher und logischer Erkenntnis unterscheidet, betrachtet die Schönheit als Vollkommenheit der ersteren. In seiner „Kritik der Urteilskraft“ (1790) definiert Immanuel Kant (1724–1804) die Schönheit als Tätigkeit der Urteilskraft (ästhetisches Urteil, Geschmacksurteil). Ästhetische Urteile beruhen nach Kant auf subjektiven Empfindungen des Wohlgefallens und Missfallens. Fällt das individuelle Interesse am Wohlgefallen oder an der Lust im Gegensatz zum Missfallen oder der Unlust weg, erhält das ästhetische Urteil durchaus Anspruch auf Allgemeingültigkeit. Schönheit ist damit nach Kant „interesseloses Wohlgefallen“. So lässt sich über Geschmack durchaus philosophisch sinnvoll und intellektuell untermauert streiten. Hier treten wir in einen wichtigen Dialog mit den Künsten ein, die sich (unter anderem) mit dem „Schönen“ im Positiven wie im Negativen befassen. Man ist bisweilen leicht geneigt, das Schöne mit dem Wahren gleichzustellen. Aber was ist das Schöne? Was ist das Wahre? Diese Fragen werden (wahrscheinlich) nie eine richtige Antwort bekommen. Wir spekulieren diesbezüglich bis zur Sprachverwirrung drauf los. Eine möglicherweise in Zukunft beantwortbare Frage wird sein: Wie wird ein Schönheitsempfinden in unserem Gehirn gesteuert? Hängt es wirklich zusammen mit einer Prägung (genetischer oder epigenetischer oder umweltbedingter Art) im Hinblick auf Ökonomie beziehungsweise Optimierung? Falls dem so ist, dürfen wir das „Schöne“ nicht mit Ethik und Moral in Verbindung bringen, die einzig und allein sich aus der kulturellen Evolution des Säugetiers *Homo sapiens* (etwa vor 160 000 Jahren entstanden) entwickelt hat. Ansonsten wäre das „Schöne“ in diesem Sinn ein Resultat des „unschönen“ Schöpfungsprinzips, vor dessen Hintergrund erbarmungslose Konkurrenz und Massensterben sich verbergen. Die 3,5 Milliarden Jahre währende organismische Evolution entzieht sich jeglicher ethisch-moralischer Bewertung.

Wie dem auch sei, freuen wir uns doch, wenn wir nach achtsamer Beobachtung schön erscheinende pflanzliche Gestalten – z. B. auf der Grundlage des „Goldenen Schnitts“ – in Form eines Bijous (Abb. 39) nachzuahmen versuchen.



Abbildung 39: Sieben Diamanten und ein Rubin sind in einem rechteckigen Rahmen aus Weißgold von außen nach innen jeweils im Goldenen-Schnitt-Winkel ($\sim 137,5^\circ$) eingefasst (Nummerierung entspricht der Sequenz). Schmuckdesign: Peter Leins, Ausführung: Goldschmiedemeister Steffen Dülk (Goldschmiede der Abtei Münsterschwarzach).

Literatur

- Autrum, H. & Zwehl, V. von 1964: Die spektrale Empfindlichkeit einzelner Sehzellen des Bienenauges. – *Z. Vgl. Physiol.* **48**: 357–384.
- Baumgarten, A.G. 1750, 1758: *Aesthetica*. – Lateinisch-deutsche Ausgabe von Dagmar Mirbach, 2007. – Hamburg: Meiner.
- Beutelspacher, A. 2016: Schön, vielseitig, irrational. Die mathematische Schönheit des Goldenen Schnitts. – In: Kugler, L. & Götze, O. (Hg.) 2016: *Göttlich Golden Genial: Weltformel Goldener Schnitt?* 50–59. – München: Hirmer.
- Beutelspacher, A. & Petri, B. 1995: *Der Goldene Schnitt*. 2. Aufl. – Mannheim: Wissenschaftsverlag.
- Braun, A. 1831: Vergleichende Untersuchung über die Ordnung der Schuppen an den Tannenzapfen als Einleitung zur Untersuchung der Blattstellung überhaupt. – *Nova Acta Acad. LC nat. Curios.* **15**: 195–402.
- Braun, A. 1835: Dr. Carl Schimper's Vorträge über die Möglichkeit eines wissenschaftlichen Verständnisses der Blattstellung, nebst Andeutung der hauptsächlichen

- Blattstellungsgesetze und insbesondere der neuentdeckten Gesetze der Aneinanderreihung von Cyclen verschiedener Maasse. – *Flora* **18**: 145–192.
- Darwin, C. 1863: Letter to Asa Gray 11 May 1863. – Darwin Correspondence Project, “Letter no. 4153- accessed on 19 January 2019. – <http://www.darwinproject.ac.uk/DCP-LETT-4153>
- Daumer, K. 1956: Reizmetrische Untersuchung des Farbensehens der Bienen. – *Z. vergl. Physiol.* **38**: 413–478.
- Daumer, K. 1958: Blumenfarben, wie sie die Bienen sehen. – *Z. vergl. Physiol.* **41**: 49–110.
- Endress, P. 2001: The flowers of extant basal angiosperms and inferences on ancestral flowers. – *Int. J. Plant Sci.* **162**: 1111–1140.
- Erbar, C. & Leins, P. 1981: Zur Spirale in Magnolien-Blüten. – *Beitr. Biol. Pflanzen* **56**: 225–241.
- Erbar, C. & Leins, P. 1983: Zur Sequenz von Blütenorganen bei einigen Magnoliiden. – *Bot. Jahrb. Syst.* **103**: 433–449.
- Erbar, C. 2017: Falsche Versprechen: Lug und Trug in der Blütenwelt. – *Ruperto Carola* **11**: 120–127.
- Euklids Elemente, funfzehn Bücher, aus dem Griechischen übersetzt von J. F. Lorenz, 1781. – Halle: Buchhandlung des Waysenhauses. – <http://mdz-nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:12-bsb10235925-9>
- Friis, E. M., Crane, P. R. & Pedersen, K. R. 2011: The Early Flowers and Angiosperm Evolution. – Cambridge: Cambridge University Press.
- Frisch, K. von 1913: Über den Farbensinn der Bienen und die Blumenfarben. – *Münch. Med. Wschr.* **1**: 15–18.
- Frisch, K. von 1914: Der Farben- und Formensinn der Bienen. – *Zool. Jahrb., Abt. allg. Zool. Physiol. Tiere* **35**: 1–179.
- Frisch, K. von 1977: *Aus Dem Leben Der Bienen*. 9. Aufl. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Helversen, O. von 1972: Zur spektralen Unterschiedsempfindlichkeit der Honigbiene. – *J. Comp. Physiol.* **80**: 439–472.
- Hofmeister, W. 1868: *Allgemeine Morphologie der Gewächse*. – Leipzig: Engelmann.
- Kant, I. 1790: *Critik der Urtheilskraft*. – Berlin & Libau: Lagarde und Friederich.
- Kepler, J. 1611: *Strena seu de Nive sexangula*. – Francofurti ad Moenum: G. Tampach. – <http://dx.doi.org/10.3931/e-rara-3509>. – Vom sechseckigen Schnee. Ins Deutsche übertragen von D. Goetz, 1987. – *Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften* **273**.

- Kepler, J. 1619: *Harmonices mundi libri V.* – Lincii Austriae. – <http://doi.org/10.3931/e-ara-8723>. – Weltharmonik, übersetzt von M. Caspar, 1939. – München & Berlin: Oldenbourg.
- Korn, R. W. 2008: Phyllotaxis: theories and evaluation. – *Int. J. Plant Dev. Biol.* **2**: 1–12.
- Kugler, L. & Götze, O. (Hg.) 2016: *Göttlich Golden Genial: Weltformel Goldener Schnitt?* – München: Hirmer.
- Leins, P. & Erbar, C. 1987: Studien zur Blütenentwicklung an Compositen. – *Bot. Jahrb. Syst.* **108**: 381–401.
- Leins, P. & Erbar, C. 2008: *Blüte und Frucht. Morphologie, Entwicklungsgeschichte, Phylogenie, Funktion und Ökologie.* 2. Aufl. – Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Leins, P. & Erbar, C. 2010: *Flower and Fruit. Morphology, Ontogeny, Phylogeny, Function and Ecology.* – Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers.
- Leins, P. & Erbar, C. 2016: Zwei versetzte Fibonacci-Reihen. Ein Erfolgskonzept in der Organentwicklung bei Pflanzen. – In: Kugler, L. & Götze, O. (Hg.) 2016: *Göttlich Golden Genial: Weltformel Goldener Schnitt?* 154–163. – München: Hirmer.
- Leins, P. & Erbar, C. 2017: *Bäume und Sträucher in Herbst und Winter erkennen. Bebilderte Steckbriefe, Wissenswertes zu Namen, Mythologie und Verwendung.* 2. Aufl. – Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Leins, P. & Erbar, C. 2018: *Bäume und Sträucher in Frühjahr und Sommer erkennen. Bebilderte Steckbriefe und allerlei Begleitgeschichten aus Biologie, Mythologie und Verwendbarkeit.* – Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Leonardus Pisanus: *Liber abaci.* – https://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/bav_pal_lat_1343/0007; 13.Jh. – Lateinische Edition: Boncompagni, B., 1857: *Il Liber Abbaci di Leonardo Pisano pubblicato secondo la lezione del codice Magliabechiano C. I.* 2616. – Roma: Tipografia delle scienze matematiche e fisiche.
- Ohm, M. 1835: *Die Reine Elementar-Mathematik.* – Berlin: Jonas Verlags-Buchhandlung.
- Osche, G. 1979: Zur Evolution optischer Signale bei Blütenpflanzen. – *Biol. Uns. Zeit* **9**: 161–170.
- Osche, G. 1983: Optische Signale in der Coevolution von Pflanzen und Tieren. – *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* **96**: 1–27.
- Platon, Symposium. – Symposium/Gastmahl, griechisch-deutsche Ausgabe von B. Zehn-pfennig, 2. Aufl., 2012. – Hamburg: Meiner.
- Reinhardt, D. 2005a: Phyllotaxis – a new chapter in an old tale about beauty and magic numbers. – *Curr. Opin. Plant Biol.* **8**: 487–493.
- Reinhardt, D. 2005b: Regulation of phyllotaxis. – *Int. J. Dev. Biol.* **49**: 539–546.

- Reinhardt, D., Pesce, E.-R., Stieger, P., Mandel, T., Baltensperger, K., Bennett, M., Trass, J., Friml, J. & Kuhlemeier, C. 2003: Regulation of phyllotaxis by polar auxin transport. – *Nature* **426**: 255–260.
- Richter, P.H. & Schraner, R. 1978: Leaf arrangement. Geometry, morphogenesis, and classification. – *Naturwissenschaften* **65**: 319–327.
- Schimper, C.F. 1830: Beschreibung des *Symphytum Zeyheri* und seiner zwei deutschen Verwandten der *S. bulbosum* Schimper und *S. tuberosum* Jacq. Teil 2. – *Mag. Pharm.* **29**: 1–71. – Separatdruck 1835, Heidelberg: Universitätsbuchhandlung: C.F. Winter.
- Schopfer, P. & Brennicke, A. 2010: Pflanzenphysiologie. 7. Aufl. – Heidelberg & Berlin: Springer Spektrum.
- Schoute, J.C. 1913: Beiträge zur Blattstellungslehre. *Recueil Trav. Bot. Néerl.* **10**: 153–324.
- Schwabe, W.W. 1971: Chemical modification of phyllotaxis and its implications. – *Symp. Soc. Exp. Biol.* **25**: 301–322.
- Sprengel, C.K. 1793: Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen. – Berlin: Vieweg.
- Theissen, G. 2005: On the origin of flowers: molecular views. – *Nova Acta Leop.* NF **92**, 342: 209–219.
- Veen, A. H. & Lindenmayer, A. 1977: Diffusion mechanism for phyllotaxis. Theoretical, physico-chemical and computer study. – *Plant Physiol.* **60**: 127–139.
- Vitruvius, M.P. De architectura libri decem ad Caesarem Augustum. – 1552: Lugdunum (Lyon): Ioan. Tornaesium. – <http://mdz-nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bvb:12-bsb10151714-6>. – Übersetzt von F. Reber, 2004. – Wiesbaden: Marix Verlag.
- Vogel, S. 1993: Betrug bei Pflanzen: Die Täuschblumen. – *Abhandl. Akad. Wiss. Lit. Mainz, math.-nat. Kl., H. 1*: 1–48.
- Williams, E.G., Sage, T.L. & Thien, L.B. 1993: Functional syncarpy by intercarpellary growth of pollen tubes in a primitive apocarpous angiosperm, *Illicium floridanum* (Illiciaceae). – *Amer. J. Bot.* **80**: 137–142.

Über die Autoren

Prof. Dr. **Claudia Erbar** wurde nach ihrem Biologie- und Chemiestudium, das sie mit dem 1. Staatsexamen in beiden Fächern abschloss, an der Universität Bonn zum Dr. rer.nat. promoviert. Für ihre Staatsexamensarbeit erhielt sie den Preis der Konrad-Adenauer-Stiftung für Studierende der Botanik. Seit 1983 ist sie Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Heidelberg. Nach der Habilitation im Fach Botanik 1993 hat sie seit 2000 eine apl. Professur und ist heute Forschungsgruppenleiterin für das Gebiet „Blütenbiologie und Evolution“ am Centre for Organismal Studies (COS) Heidelberg. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen der Blütenentwicklungsgeschichte vor dem Hintergrund morphologisch-funktioneller Fragestellungen, Blütenökologie (Blütenfunktionen bei Bestäubung und Befruchtung und der Interaktion mit Insekten) und Verwandtschaft und Evolution der Blütenpflanzen. In der Lehre vertritt sie auch die Pflanzegeographie.

Prof. Dr. **Peter Leins** studierte Biologie, Chemie und Philosophie an den Universitäten Tübingen, Freiburg und München. In München wurde er zum Dr. rer.nat. promoviert. Anschließend war er Assistent, später Oberassistent, am Institut für Systematische Botanik bei Prof. Dr. Hermann Merxmüller. Zwischendurch erlernte er die Methodik der Pollenkunde bei Prof. Dr. Gunnar Erdtman in Stockholm. Er habilitierte sich im Fach Botanik mit einer pollensystematischen Forschungsarbeit an einer Compositengruppe. Danach erhielt er einen Ruf auf eine Professur am Botanischen Institut der Universität Bonn. Drei weitere Rufe folgten: FU Berlin, Uni Heidelberg, Uni Kiel (FU Berlin und Uni Kiel nicht angenommen). An der Universität Heidelberg war er zunächst Direktor des Instituts für Systematische Botanik und Pflanzegeographie und des Botanischen Gartens (später Abteilung Biodiversität und Pflanzensystematik des neu gegründeten Heidelberger Instituts für Pflanzenwissenschaften). Seit 2002 ist er im forschenden und lehrenden "Ruhestand". Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen der Blütenmorphologie und -entwicklungsgeschichte, Blütenökologie, Blütenpflanzen-systematik, Pollenkunde, Ausbreitungsbiologie, Evolutionsbiologie und Biophilosophie.

Korrespondenz:

Prof. Dr. Claudia Erbar, Prof. Dr. Peter Leins

Universität Heidelberg

COS-Biodiversität und Pflanzensystematik

Im Neuenheimer Feld 345

69120 Heidelberg

E-Mail: erle@urz.uni-heidelberg.de

Homepage Erbar: <https://www.cos.uni-heidelberg.de/index.php/c.erbar?l=>

Homepage Leins: <https://www.cos.uni-heidelberg.de/index.php/p.leins?l=>

Schön versus hässlich. Zur Stigmatisierung des Fremden in der Klassischen Antike

CATERINA MADERNA

Institut für Klassische Archäologie, Universität Heidelberg

Zusammenfassung

Im folgenden Beitrag soll in einer Perspektive auf die Bildmedien der griechischen und römischen Antike dem Phänomen nachgegangen werden, dass dort die Angehörigen einiger ferner Ethnien dezidiert als hässliche Fremde geschildert wurden. Dabei ist einerseits die in der bildenden Kunst beider Kulturen zu diesem Zweck entwickelte Formensprache entsprechender Darstellungen interessant, andererseits stellt sich die Frage nach den Ursachen eines solchen Bedürfnisses sowie dem Nutzen dieser Praxis. Umso mehr, als gerade in der sogenannten Klassischen Antike das Cliché „Schön ist auch Gut/Hässlich ist auch Böse“ geboren wurde, welches noch bis in unsere heutige Gegenwart ausstrahlt, wie ein Ausblick beleuchten wird.

1 Prämissen

Angesichts dessen, dass sich schon in den antiken Kulturen Griechenlands und Roms bereits all diejenigen ganz unterschiedlichen Ebenen, Formen und Bewertungen von als fremd empfundenen Anderen fassen lassen, wie sie auch noch gegenwärtig zwischen Faszination, Neugier, Anziehung, Bewunderung, Respekt und bereichernden Adaptationen auf der einen, aber auch Furcht, Verachtung und

Abwehr bis hin zur unerbittlichen Bekämpfung auf der anderen Seite oszillieren, werden sich die folgenden Überlegungen zur Visualisierung von stigmatisierten Fremden in den Bildmedien der sogenannten Klassischen Antike tatsächlich nur mit einem einzigen Aspekt des an sich erheblich komplexeren und vielschichtigeren Themas „Fremdheit“ beschäftigen. Eine sehr spezifische Perspektive, welche sich allerdings gerade in einem Band, der um das weite Feld des Begriffs der „Schönheit“ kreist, fast schon aufdrängt. Definierte doch wohl keine andere antike Kultur so sehr wie die griechische ihre eigene Identität im Leitbild einer in literarischen wie bildlichen Medien meist voller Pathos gepriesenen körperlichen Schönheit, welches alle politischen und gesellschaftlichen Veränderungen konstant überdauerte. Einer allerdings nicht zwangsläufig von der Natur gegebenen, sondern von den Subjekten selbst hervorgebrachten und inszenierten Schönheit, der man über alle Jahrhunderte und alle Ideologien hinweg die größte Überzeugungskraft beimaß (Hölscher 2010). Einem gefeierten „Mehr an Kulturqualität“, auf dem nach der Definition von Max Weber (1956, p. 586) die Qualifikation einer letztendlich stets elitären Schicht beruht.

2 Schöne Physiognomie und sozialer Status

Sucht man nach den ältesten Darstellungen deutlich gekennzeichneter Fremder in den Bildmedien des griechischen Mutterlandes, so sind es bemerkenswerterweise Äthiopier oder Nubier, welche in der Vasenmalerei Attikas schon bald nach der Mitte des 6. Jahrhunderts vor unserer Zeit (abgekürzt: " Jh. v. u. Z.") auffallen. Da die frühesten Kontakte der Griechen mit Afrikanern auf ihre zahlreichen Reisen nach Ägypten zurückgehen dürften, waren ihnen dort, in dieser grundsätzlich bewunderten und wegen ihres hohen Alters, ihres Reichtums und ihrer Weisheit stets hoch geachteten Kultur, die schwarzhäutigen Bewohner des Landes nahezu ausnahmslos als Sklaven begegnet, welche, als ursprüngliche Kriegsgefangene auf zahlreichen speziell dafür eingerichteten Märkten verkauft, in der Folge zunächst unter Zwang, nach mehreren Generationen dann zum Teil aber auch ansässig gemacht, entweder mehr oder weniger freiwillig als Söldner dienen, oder die schwersten körperlichen Arbeiten verrichten mussten. Entsprechend wurden die derart nachhaltig als Unfreie wahrgenommenen schwarzen Afrikaner – welche den Griechen mithin nahezu stets als Abkömmlinge von Ethnien begegneten, denen dasjenige fehlte, was für sie selbst das höchste Gut bedeutete, nämlich das Leitbild

eines Lebens in würdevoller Freiheit – in dieser Rolle denn auch am geläufigsten als *douloi* (Abhängige) im Gegensatz zu *eleutheroi* (Freie) bezeichnet, zumal der Terminus ‚Sklave‘ im Altgriechischen keine Entsprechung hatte.

Vor dieser Folie überrascht es dann kaum, dass man sich den mythischen und als Sohn der personifizierten Morgenröte Eos sogar halbgöttlichen König der Äthiopier Memnon – welcher im legendären Krieg um Troia als Neffe des Priamos auf der Seite der Trojaner kämpfte, bis er dort von Achill getötet wurde (Abb. 1) – im Gegensatz zu seinen Untertanen denn auch meist hellhäutig vorstellte. Entsprechend wurde seine Gestalt im Bild einer schwarzfigurigen, um 540/30 v. u. Z. angefertigten Amphora (Abb. 2) von derjenigen aristokratischer griechischer Krieger in keiner Weise unterschieden, wohingegen man zwei seiner ihm untergebenen Knappen mit krausem Haar, kurzen, jedoch sichtlich breiten, prononciert vorspringenden Stupsnasen sowie akzentuiert vollen Lippen unmissverständlich als fremde Angehörige ihrer fernen Ethnie charakterisierte. Auch wenn die Gesichter



Abbildung 1: Eos, die personifizierte Göttin der Morgenröte, birgt ihren im troianischen Krieg gefallenen Sohn Memnon, König der Äthiopier. Innenbild einer attisch rotfigurigen Schale (Kylix), 490–485 v. u. Z., Paris, Louvre G 115. Quelle: P. E. Arias-M. Hirmer, Tausend Jahre Griechische Vasenkunst (München 1960) Taf. 145.



Abbildung 2: Der legendäre König der Äthiopier Memnon mit zwei seiner Knappen. Attisch schwarzfigurige Amphora, um 540/30 v. u. Z., London, British Museum, Inv. 1849,0518.10. Quelle: Courtesy of the British Museum.

der beiden Äthiopier damit zweifellos in keiner Weise dem zeitgenössischen griechischen Schönheitsideal entsprachen, mag dieser inszenierte Kontrast hier jedoch noch nicht darauf gezielt haben, primär die ihnen angeborene Physiognomie als hässlich abzuwerten, da seit dieser Zeit auch sonst eine deutlich zunehmende und sichtlich neugierige Faszination griechischer Künstler und ihrer Auftraggeber an exotischer Fremdheit festzustellen ist. In Bezug auf die inhaltliche Bewertung der Szene gewichtiger ist deshalb eher der habituelle Gegensatz der Figuren. Trat der herrscherliche Memnon doch mit der außerordentlich prächtigen und kostbaren Ausrüstung eines griechischen Hopliten auf, während man den Mitgliedern seiner Truppe lediglich simple, in griechischer Perspektive nachgerade primitive Holzkeulen als Angriffswaffen zugestand, welche im Besonderen zu der langen edlen Lanze ihres Königs ein eklatantes Gegenbild darstellten.

Manifestiert sich allein schon in diesem Detail, dass die explizite ethnische Kennzeichnung der beiden Äthiopier als Fremde demnach vor allem mit der Absicht zusammenfiel, deren sozial minderwertiger Stellung Ausdruck zu verleihen, so erwies sich diese mithin schon früh fassbare bildstrategische Praxis dann auch

für die Zukunft als wegweisend. Umso mehr, als sich im 5. Jh. v. u. Z. tatsächlich im Besonderen die demokratischen Gesellschaften des griechischen Mutterlandes selbst eine rigide Ausbeutung von Sklaven zu Eigen gemacht hatten. Ein von der älteren Forschung gern vernachlässigter, gerade in den letzten drei Jahrzehnten jedoch zum Gegenstand intensiver Untersuchungen avancierter Tatbestand, der wesentlich seinen Teil dazu beigetragen haben wird, dass im 4. Jh. v. u. Z. schließlich im Besonderen Aristoteles sein bekanntes Konzept eines ‚von der Natur vorgesehenen‘ Sklaventums entwickelte, welches auf der Vorstellung basierte, dass einige Menschen lediglich als die besten, da immerhin „beseelten Werkzeuge“ geboren worden seien, da sie keine Merkmale eines vernünftig planenden Geistes besäßen und ihre Vollendung allein im Gebrauch ihrer Körperkräfte fänden. (Nikomachische Ethik 1161b. Vgl. auch Politiká 1254b 15–25). Eine Auffassung, die in ähnlicher Form allerdings auch von zahlreichen anderen Vertretern der intellektuellen Eliten vertreten wurde und die dann noch weit in die Nachantike ausstrahlen sollte.

Selbstverständlich wird sich nur ein kleinerer Teil ausgesucht gebildeter Mitglieder der griechischen Gesellschaften mit den philosophischen Diskursen ihrer Philosophen auseinandergesetzt haben. Gleichwohl spiegeln sich entsprechende Perspektiven kaum zufällig dann auch in Bildern wider, welche in deren breiterem Bürgertum kursierten. So vor allem in den sogenannten Alltagsdarstellungen auf griechischen Vasen, bei denen es sich allerdings keineswegs um dokumentarische Stills der realen, sondern vielmehr um Konstruktionen einer weitgehend idealisierten eigenen Lebenswelt handelte. In diesem Sinn konnte man auf einer wohl noch im ersten Viertel des 5. Jhs. v. u. Z. verzierten Amphora (Abb. 3 a–b) betrachten, wie ein kleiner afrikanischer Sklave, in sichtlich ehrfürchtigem Abstand hinter seinem großen vornehmen alten Besitzer herlaufend, dessen Einkaufslasten schleppte, und auch sonst begegneten Menschen mit pointiert fremdländisch geschilderten Zügen zu allermeist als Diener oder Handlanger ihnen übergeordneter Herren und Herrinnen.

Darüber hinaus wird evident, dass die bildende Kunst in solchen Kontexten einen hohen, beziehungsweise niedrigen gesellschaftlichen Rang jetzt tatsächlich auch intentional in einen entsprechend akzentuiert inszenierten Kontrast von ‚schön versus hässlich‘ kleidete, wie es eindrucklich an der Gegenüberstellung der im Profil wiedergegebenen Köpfe einer Herrin und ihrer Sklavin abzulesen ist, welche auf einem für den Totenkult angefertigten Gefäß der Jahre von 450 bis



Abbildung 3: Ein alter Herr mit seinem Sklaven. Attisch rotfigurige Amphora, 1. Viertel 5. Jh. v. u. Z., Kopenhagen, National Museum, Inv. Chr. VIII 320. Quelle: F. M. Snowden, *The Image of the Black in Western Art* (Cambridge, Mass. 1976) S. 165 Abb. 198.

440 v. u. Z. ein Familiengrab schmückten (Abb. 4 a–b). Ist jene, dem Schönheitsideal ihrer Zeit entsprechend, doch mit großen, unter zart geschwungenen Brauen weit geöffneten Augen, einer auffallend geraden, linear in die Stirn übergehenden Nase, einem fein geschwungenen Mund mit einer etwas sinnlicher gewölbten Unterlippe, einem markant gerundeten Kinn sowie zu einem eleganten Knoten verschlungenen lang gelockten Haar geschildert worden, wohingegen diese, vielleicht ein kleine Maurin, eine prononciert vorspringende breite Stupsnase, einen mit uniform dicken Lippen deutlich grober gezeichneten Mund, erheblich dichtere und dadurch streng wirkende Brauen sowie das für Sklavinnen typische unfrisiert kurz geschnittene Haar zur Schau trägt.

Dass es in solchen Antithesen zudem keineswegs nur darum ging, auf einer eher vordergründigen und simplen Ebene griechische Schönheit gegen fremdländische Hässlichkeit auszuspielen, sondern wir hier vielmehr auf dezidiert visualisierte Proklamationen eben desjenigen ‚Mehr an Kulturqualität‘ treffen, von dem ein-



Abbildung 4: Herrin und Sklavin bei der Grabpflege. Attisch weißgrundiges Grabgefäß (Lekythos), um 450/40 v. u. Z., Berlin, SMPK, Antikensammlungen, Inv. VI.3291. Quelle: bpk/ Antikensammlung, SMB.

gangs die Rede war, wird angesichts dessen offenkundig, dass selbst eine faktische Hierarchie, die sich rasch auch innerhalb des Kreises der Sklaven herausbildete, in diesen ideologisch konstruierten Bildstrategien manifest wurde. Denn bei den Betroffenen hing die Eigenerfahrung ihres Sklavenstatus, ganz ebenso wie seit dem 3. Jh. v. u. Z. dann auch in der römischen Kultur, sehr wesentlich von der Position ab, in welcher sie sich befanden, das heißt von der Kategorie der Arbeit, welche sie zu verrichten hatten. So konnten sich diejenigen von ihnen, die in den Haushalten als unmittelbare DienerInnen und BetreuerInnen ihrer Herrschaften tätig waren, in solchen Nahverhältnissen durchaus auch deren Zuneigung erwerben und, wenngleich ohne jeglichen autonomen Rechtsstatus, ein erträgliches Leben führen.

Dies galt hingegen nicht für ihre Leidensgenossen, welche gleichsam den Bodensatz der ‚Sklavenpyramide‘ bildeten – für die Arbeiter in der Feld- und Landwirtschaft, vor allem aber für jene, die zu dem extrem harten und regelrecht berüchtigten, da immer wieder zahlreiche Todesopfer fordernden, Bergbau gezwungenen wurden. Eine Rangfolge, welcher die Bildmedien der Klassischen Antike damit begegneten, dass sie die letztgenannten einfach weitgehend, beziehungsweise völlig, ignorierten, während die privilegierten Haussklaven und -sklavinnen zumindest



Abbildung 5: Herrin und Sklavin. Attisches Grabrelief, um 370/60 v. u. Z., Athen, Archäologisches Nationalmuseum, Inv. 726. Quelle: Foto S. Soffer.

als Entourage ihrer Käuferschicht zur Darstellung kamen. In welchem Ausmaß sich eine größere oder geringere Wertschätzung ihres Besitzes hier dann allerdings tatsächlich in der Stereotype ‚Schön = Verstand/Hässlich=Unverstand‘ im eigentlichen Sinn des Wortes verkörperte, wird auf exemplarische Weise evident, wenn man die Ikonographie eines attischen Grabreliefs aus dem frühen 4. Jh. v. u. Z. (Abb. 5) mit einer in der darauffolgenden hellenistischen Epoche angefertigten und im ägyptischen Memphis gefundenen Bronzestatuette eines jungen gefesselten Sklaven (Abb. 6) vergleicht: Hier sitzt eine verstorbene vornehme Dame in sich versunken auf einem fein gedrechselten Stuhl mit Fußschemel, während eine vor ihr stehende junge Dienerin ihr aufgeklapptes Schmuckkästchen für sie bereit hält.

Wie ihre Herrin elegant in einen Chiton mit darüber liegendem Mantel gekleidet, ist diese mit jener augenscheinlich auch emotional verbundene Dienerin in keiner Weise weniger schön und nur dadurch überhaupt als Sklavin zu erkennen, dass ihr Haar kurz geschnitten ist, während die lang gewellten Strähnen der Verstorbenen in einer weich eingerollten Frisur deren Kopf umschließen. Dort begegnen wir hingegen einem jungen Afrikaner, der nicht nur mit einer breiten und extrem flachgedrückten Nase, nachgerade riesig aufgeworfenen wulstigen Lippen sowie unregelmäßig bewegtem Gesichtsinkarnat geschildert wurde, sondern auch durch die in sich verzogenen Pose seines sichtlich untrainierten Körpers – und zwar keineswegs nur in der Folge seiner im Rücken fixierten Hände – wie die hässliche Karikatur des Entwurfs einer schönen griechischen Athletenstatue anmutet.



Abbildung 6: Bronzestatuetten eines Afrikaners mit gefesselten Händen. 2–1. Jh. v. u. Z., Paris, Louvre, Inv. Br. 361. Quelle: Foto S. Soffer.

3 Hässliche Emotionen in den Bildmedien Griechenlands

Seit der zweiten Hälfte des 6. Jhs. v. u. Z. lässt sich in den griechischen Bildmedien darüber hinaus die Praxis fassen, einige Fremde nicht nur physiognomisch, das heißt in ihren rein äußerlichen Zügen, als Angehörige anderer Ethnien zu kennzeichnen, sondern auch deren Charaktereigenschaften mithilfe einer sich allmählich herausbildenden Grammatik mimischer Zeichen zu schildern. Eine Strategie, welche sich kaum zufällig wiederum besonders eindrücklich zunächst bei den Darstellungen der Äthiopier oder Nubier im Rahmen einer außerordentlich prächtigen Keramikgattung plastisch gestalteter Figurengefäße bemerkbar macht. So fallen bei einem im Ausgang dieses Jahrhunderts entstandenen Kopfgefäß (Abb. 7) neben der mit nachgerade riesigen wulstigen und leicht geöffneten Lippen sichtlich überpointiert geschilderten exotischen Physiognomie des Afrikaners eine Vielzahl strahlenförmig gebündelter Krähenfüße an dessen äußeren Augenwinkeln sowie drei von der Nasenwurzel zu beiden Seiten ausschwingende, tief in den Ton eingeritzte Falten auf. Angesichts der dazu eigentlich im Widerspruch

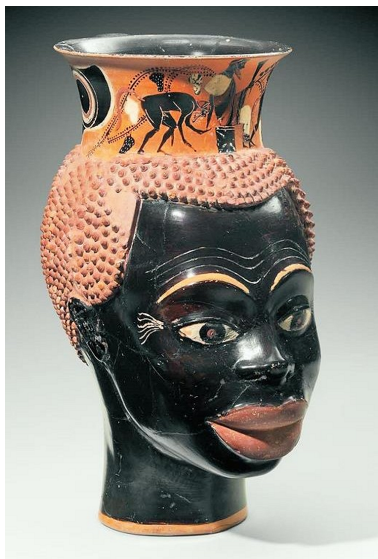


Abbildung 7: Attisches Kopfgefäß mit dem Bild eines Afrikaners. Um 510 v. u. Z., Boston, Museum of Fine Arts, Inv. 00.332. Quelle: mfa.org/mfaimages



Abbildung 8: Attisches Kopfgefäß mit dem Bild einer Afrikanerin. Um 510 v. u. Z., Wien, Kunsthistorisches Museum, Inv. IV 3714. Quelle: KHM-Museumsverband.

stehenden völligen Reglosigkeit des Gesichtes ganz und gar zeichenhaft in die schimmernde Glätte seines übrigen Inkarnates eingetragene mimische Marker, welche augenscheinlich das Ziel verfolgten, etwas über die Fragwürdigkeit seiner Persönlichkeit auszusagen. Entsprechend ist denn auch der zum eigentlichen Trinken bestimmte Kelch, der auf der Kalotte seines Kopfes aufsitzt, sicher nicht nur aufgrund der Funktion, welche derart luxuriöse Requisiten des edlen griechischen Symposions zu erfüllen hatten, mit zwei im Rausch neben Dionysos in körperlichem wie emotionalem Kontrollverlust torkelnden Silenen verziert, welche mithin zwangsläufig in eine assoziative Beziehung zu ihm gesetzt wurden.

In der grundsätzlich gleichen Intention, wenn auch mithilfe eines anderen Markers operierten die Hersteller eines Gefäßes der gleichen Zeit (Abb. 8), indem sie den Mund einer Äthiopierin derart weit geöffnet schilderten, dass man zwischen deren wulstigen Lippen ihre Zähne – in einem ursprünglich noch erheblich strahlenderem Weiß zu ihrer dunklen Haut kontrastierend – hervorblecken sah. Ein stark hervorstechendes und in den Gesellschaften Griechenlands und Roms ausschließlich negativ konnotiertes mimisches Zeichen, welches bald darauf auch in denjenigen spektakulären Keramiken zum Einsatz kam, die aus der Werkstatt eines frühklassischen attischen Meisters namens Sotades stammten (Abb. 9 a–b).



Abbildung 9: Kleiner Afrikaner in den tödlichen Fängen eines Krokodils. Attisches Figurengefäß aus der Werkstatt des Sotades, um 460 v. u. Z., Boston, Museum of Fine Arts, Inv. 98.881. Quelle: mfa.org/mfaimages.

Produzierte man dort doch unter anderem Figurenvasen, die zur Erheiterung ihrer Besitzer und deren Gäste winzig kleine Afrikaner schilderten, welche auf drastische Weise in die tödlichen Fänge eines Nil-Krokodils geraten waren. Ein Sujet, welches deshalb auch für den gegenwärtigen Betrachter einer gewissen Komik nicht entbehrt, weil sein entwerfender Meister selbst offenbar nie ein wirkliches Krokodil zu sehen bekommen hatte und das furchterregende fremde Raubtier in der Folge auf vertrackte Weise mit einigen Zügen des heimischen Delphins ausstattete.

Ungeachtet dessen ergötzte sich der antike Symposiast aber zweifellos vor allem an dem eigentlichen Drama der Handlung, da die schwarzhäutigen Exoten stets in einem aussichtslosen Kampf bereits auf ein Knie gesunken und von den Pranken des aufgerichteten Untiers fest umklammert geschildert wurden. Nicht genug damit hatte das Krokodil bereits den rechten Arm seines Opfers mit festem Biss gepackt, weswegen es in panischem Schrecken Augen und Mund weit aufriß, wobei nicht zuletzt die ursprünglich erheblich stärker als in ihrem heutigen Zustand leuchtenden Farben dieser Keramiken einen nicht unerheblichen Teil dazu

beitrugen, die Drastik des Geschehens noch zusätzlich zu steigern: Die Augäpfel der kleinen Afrikaner quollen weiß aus ihren Höhlen; ihre Zähne blitzten strahlend aus volllippigen roten Mündern hervor; Haare, Brauen und Wimpern hoben sich braun von deren schwarzer Hautfarbe ab und auf dem hier abgebildeten Exemplar haben sich zudem Reste der grünen Färbung sowie der dunklen Schuppung des ‚Delphin-Krokodils‘ erhalten, von dessen einst rot gerahmtem Maul sich seinerseits eine weiße, gefährlich zugespitzte Zahnreihe abgrenzte. Sorgte ein solcher Untergang dieser Miniatur-Exoten, welcher sich ja in denkbar eklatanter Weise vom griechischen Ideal eines ‚*thanatos kalos*‘ – also eines edlen und schönen Todes auf dem Schlachtfeld – unterschied, bei den zum gemeinschaftlichen Gelage versammelten Symposiasten für Heiterkeit, so passten dazu schließlich auch hier die malerischen Verzierungen der zugehörigen Trinkkelche, welche wiederum zu allermeist betrunkene Silene und Satyrn mit den für sie typischen, im Rausch unelegant ausfahrenden, torkelnden Bewegungen sowie oft noch lüstern erigierten Geschlechtsteilen schilderten und zu einer assoziativen Verknüpfung des unglücklichen, gleichermaßen unzivilisiert geschilderten, kleinen Kerls mit diesen wilden, halb-tierischen Trabanten des Dionysos anregten.

Konnte man die drastische Mimik der Winzlinge hier immerhin noch als situativ gesteigerte Ausdrucksformen ihrer aussichtslosen Lage und ihres schmerzhaften Untergangs verstehen, so war ein derart narrativer Kontext für die zuvor erwähnten, völlig in sich ruhenden Köpfe ihrer Volksgenossen allerdings überhaupt nicht gegeben, so dass deren Zähne scheinbar ganz unmotiviert fletschten. Eine auch später immer wieder zu beobachtende Praxis, welche sehr wesentlich dazu beitrug, dass man derartige Signale fragwürdiger Affekte als eben genuine, das heißt grundsätzlich eingeborene, Wesenszüge fremder Ethnien wahrnahm. Und dass es speziell bei den Afrikanern dabei um deren assoziative Angleichung an das wilde und in jeder Beziehung grobe Gefolge des Dionysos ging, findet auch darin eine Bestätigung, dass der genau gleiche Marker bei zeitlich parallel produzierten Kopfgefäßen ebenso für die Charakterisierungen von Silenen und Satyrn verwendet wurde. Eine zweifellos bewusst inszenierte Analogie, für deren unmissverständliche Vermittlung man bei einem um 470/60 v. u. Z. angefertigten Exemplar der sogenannten Doppelkopfgefäße (Abb. 10) – welche zwei unterschiedliche, einander janusförmig gegenübergestellte Köpfe rücklings miteinander verschmelzen ließen – das Gesicht des Äthiopiens dann sogar mit einem abstehenden weißen



Abbildung 10: Gesichter eines Silens und eines Äthiopiens. Attisches Doppelkopfgefäß, um 470/60 v. u. Z., Cleveland, Museum of Art, Inv. 1979.69. Quelle: Courtesy of the Cleveland Museum of Art.

Vollbart ausgestattet hatte, um ihn noch demonstrativer als ein komplementäres Pendant zu einem auf der Gegenseite dargestellten Silen zu präsentieren.

Zielten solche, zunächst noch weitgehend isoliert in die Gesichter eingetragenen, mimischen Marker demnach darauf ab, die ‚sklavischen‘ Afrikaner als unkultivierte Charaktere zu schildern, welche stets Gefahr liefen, die Kontrolle über ihre Gefühle zu verlieren und die Normen des Anstands zu überschreiten, so geschah dies allerdings nicht, weil man sie faktisch fürchtete oder als wirklich bedrohlich empfand. Wie die mythischen Silene und Satyrn, mit denen sie assoziativ auf eine Stufe gestellt wurden und die man sich wegen eben dieser Eigenschaften ja auch als partiell tierische Mischwesen vorstellte, dienten sie vielmehr als Projektionsflächen, um die Hässlichkeit des Unkultivierten sowie allenfalls die Gefährdung durch unzivilisierte Wildheit, nicht jedoch die Gefahr selbst zu verkörpern.

Anders gelagerte Emotionen transportierte jedenfalls ein dann schon im ausgehenden 5. Jh. v. u. Z. entstandenes figürliches Trinkgefäß in der Gestalt eines Perserkopfes, welchen man – als Vertreter einer an sich durchaus hoch geachteten Kultur – bezeichnenderweise dann auch nicht physiognomisch, sondern nur habituell mit der für sein Volk charakteristischen, unter dem Kinn geschlossenen Mütze (Kidaris), als solchen gekennzeichnet hatte (Abb. 11). Was den Ausdruck seiner von heftigen Affekten bewegten Mimik betrifft, so wird dieser bei den



Abbildung 11: Attisches Trinkgefäß in der Gestalt eines Perserkopfes. Um 410–400 v. u. Z., London, British Museum, Inv. 1849,0620.12. Quelle: Courtesy of the British Museum.

Betrachtern allerdings durchaus böseartig gewirkt, wenn auch zugleich ambivalente Reaktionen ausgelöst haben: Da er kaum zufällig große Ähnlichkeiten mit der rohen Miene eines gewalttätig kämpfenden Kentauren (Abb. 12) in den reliefierten Südmetopen des Parthenon aufwies, vermittelte seine in drastischer Signalwirkung stilisierte Stirnkontraktion sowie sein weit geöffneter, die Spitzen beider Zahnreihen bloßlegender Mund nämlich einerseits eine mit diesen latent aggressiven und bedrohlich starken mythischen Mischwesen verwandte, da von entgleistem Zorn beherrschte, Gefährlichkeit seines Charakters. Andererseits konnten seine weit aufgerissenen Augen in dem gleichsam erstarrten Gesicht aber durchaus auch als Spiegel einer panischen Furcht verstanden werden. Ein in dieser Zeit nun schon bereits erheblich reicheres Potential der Kunst, im Zusammenspiel unterschiedlicher mimischer Marker erheblich vielschichtigere Gegenbilder zu den Idealen der eigenen Kultur zu schildern. Wie ein ironischer Kommentar zu der

Miene des Persers mutet zudem die Verzierung des Kelches an, den seine Kalotte trägt. Ist dieser doch mit der Darstellung einer eleganten, sich in einem Spiegel betrachtenden griechischen Dame verziert, vor der ausgerechnet ein entsprechend reich gewandeter und ein verziertes Kästchen haltender Orientale in der Rolle eines ihr untergebenen Dieners steht.



Abbildung 12: Kopf eines gewalttätigen Kentauren. Südmetope 31 des Parthenon auf der Athener Akropolis, 40er Jahre des 5. Jhs. v. u. Z., London, British Museum, Inv. 1816,0610.15. Quelle: Courtesy of the British Museum.

Wird nach allem evident, dass es gerade die Entwicklung dieser mimischen Grammatik in ungleich stärkerem Maß, als dies bloße physiognomische Kennzeichnungen jemals vermocht hätten, ermöglichte, bei Bedarf Figuren nachhaltig als negative Charaktere zu schildern, so erfuhr deren gestalterisches Repertoire in der Folgezeit keinerlei grundsätzliche Veränderungen, sondern nahm lediglich in seiner Intensität derart zu, dass es eine immer breitere Palette ganz unterschiedlicher negativ konnotierter Affektkategorien zur Verfügung stellte. Denn tatsächlich ist es in erster Linie unseren eigenen, gegenwärtigen Sehgewohnheiten geschuldet, dass wir diejenigen Bilder, welche seit dem 3. Jh. v. u. Z. – der allgemeinen formalen Entwicklung der bildenden Kunst entsprechend – dann mit erheblich expressiveren, drastischeren und ganzheitlicher gestalteten Formen operierten, als

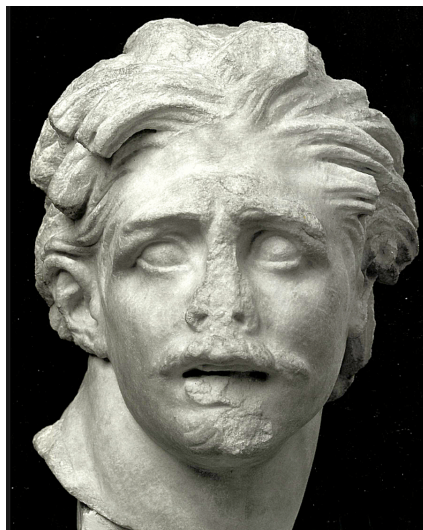


Abbildung 13: Kopf eines Kelten. Marmor, 2. Viertel des 3. Jhs. v. u. Z., aus Mittelägypten, Kairo, Ägyptisches Museum, Inv. CG 27475. Quelle: B. Andreae, *Skulptur des Hellenismus* (München 2001) Taf. 23.

ungleich stärker auffallende entsprechende Stigmatisierungen fremder Ethnien wahrnehmen.

Darüber hinaus wurde in der sogenannten hellenistischen Epoche das zweifellos mächtigste ikonographische ‚Fremd=Feind‘-Cliché geboren, welches uns die klassische Antike hinterlassen hat: Nämlich die visualisierte Vorstellung vom wilden und furchterregenden Kelten. Tatsächlich waren nämlich schon im späten 5. Jh. v. u. Z. zahlreiche keltische Stämme aus ihrem Ursprungsgebiet an Oberrhein und Oberdonau allmählich auf die britischen Inseln, nach Frankreich, entlang der Donau nach Süden bis Oberitalien, über Spanien und Portugal sowie über Südosteuropa und den Balkan dann bis nach Griechenland und Kleinasien ausgewandert und hatten sich durch den Besitz hervorragend gearbeiteter eiserner Waffen überall dort, wo sie eindrangen und sich niederließen, eine kriegerische Vormachtstellung gesichert. Im Jahr 279 v. u. Z. verwüsteten sie sogar bedeutende Teile des Apollo-Heiligtums von Delphi und ein Stammesteil ließ sich schließlich in Zentralasien nieder, wo sie unter der Bezeichnung Galater dann noch Jahrhunderte später im Neuen Testament erwähnt wurden. Angesichts ihrer ungeheuren

Kampfkraft von den Nachfolgern Alexanders des Großen immer wieder gern als Söldner angeworben, waren sie allerdings nicht nur wegen ihrer Stärke berühmt, sondern auch wegen ihrer später in Rom als „*terror gallici*“ bezeichneten Gewalttätigkeit berüchtigt, wobei dieser Begriff des „Keltenwütens“ für eine Kriegsführung stand, welche auf das Plündern, Brandschatzen und Zerstören ziviler wie sakraler Anlagen ausgerichtet war.

In der Folge manifestierten sich bereits bei einem in der ersten Hälfte des 3. Jhs. v. u. Z. gestalteten Keltenkopf diejenigen Formeln, welche die Bildmedien fortan konstant perpetuierten, um die ganz und gar wilden, unzivilisierten sowie letztendlich tatsächlich Furcht erregenden Wesenszüge dieser Stämme zu vermitteln (Abb. 13): Eine niedrige Stirn, eine knochig vorspringende Wangen- und Kinnpartie, angespannt zusammengezogene Brauen, unter hängenden Orbitalwülsten tiefliegende, jedoch weit aufgerissene Augen, struppig nach oben gesträubtes, hinten bis weit über den Nacken herab reichendes langsträhniges Haar

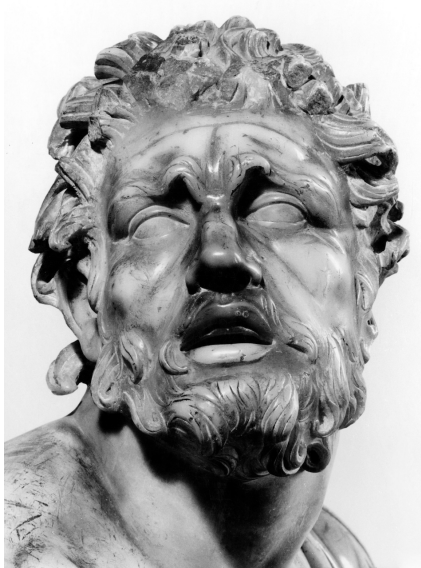


Abbildung 14: Statue eines verwundeten Kelten. Römische Kopie nach einem vielfigurigen, auf der Athener Akropolis aufgestellten, Siegesmonumentes des pergamenischen Herrschers Attalos II., um die Mitte des 2. Jhs. v. u. Z., Venedig, Museo Archeologico Nazionale, Inv. 57. Quelle: Foto S. Soffer.

und ein unter dickem Schnurrbart in wilder Unbeherrschtheit geöffneter Mund, bei dem die obere Zahnreihe sichtbar wird. Eine für den kultivierten Griechen extrem abschreckende Miene, deren emotionale Stigmatisierung in der Folgezeit noch deutlich gesteigert wurde (Abb. 14).

4 Hässliche Emotionen in den Bildmedien Roms

Vor allem diese bildlichen Clichés wirkten schließlich immens auf die in der römischen Kultur verbreiteten Darstellungen derjenigen Fremdvölker ein, welche sich als in die Ordnung des Imperiums nicht integrierbar erwiesen. Denn auch dort wurden dann sämtliche als bedrohlich empfundenen Barbaren der im engeren Wortsinn tatsächlich außerhalb stehenden „*nationes externae*“, welche die Struktur der zivilisierten „*Romanitas*“ ablehnten, bekämpften und mit ihren nie endenden Überfällen gefährdeten, mit den gleichen physiognomischen und mimischen Formeln als von niedrigem Geist oder abscheulich böse geschildert und damit zu abschreckenden Gegenbildern sämtlicher römischer Ideale, Leitbilder und Tugenden stilisiert. In diesem Sinn sollte die grobe Physiognomie eines – stellvertretend

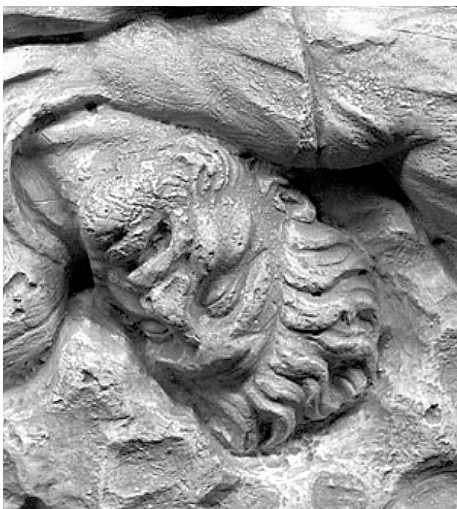


Abbildung 15: Köpfe zweier Daker. Details des Reliefs der im Jahr 113 eingeweihten Traianssäule in Rom, Platte 68, Szene 66 (a) und Platte 23, Szene 21. Nach Gipsabgüssen in Rom, Museo della Civiltà Romana. Quelle: Foto C. Maderna.

für viele herausgegriffenen – Dakers im Reliefband der Traiansssäule in Rom (Abb. 15 a) im Verbund mit seinem Zähne bleckend aufgerissenen Mund und seinen unter der wuchtig verspannten Stirn in tiefer Verschattung eingebetteten Augen zweifellos vor allem dem unmäßigen Zorn der sein Wesen beherrschte Ausdruck verleihen. Eine Furcht erregende Wildheit, welche sich dann sogar noch im Gesicht eines seiner bereits tot am Boden liegenden Gefährten widerspiegelte (Abb. 15 b), dessen deutlich weiter aufklaffende Lippen ebenso als Abglanz seiner in der Schlacht gerade jäh gestoppten und nun ein für alle Mal vernichteten Wut, wie als Ausdruck eines schrecklichen letzten Schmerzensschreis verstanden werden konnten.

Der griechische Rhetor und Historiker Dionysios von Halikarnass, welcher sich zur Zeit des Augustus längere Zeit in Rom aufhielt, erinnerte denn auch fast schon beschwörend an die intellektuelle wie technische Überlegenheit des römischen Heeres, wenn er in seinem Geschichtswerk über Rom feststellte:

„Denn welche Gefahr kann für die Männer, die sich zur Schlacht stellen, schon ausgehen von den langen Haaren, dem stechenden Glanz in ihren Augen oder dem furchterregenden Anblick ihres Gesichtsausdrucks. Und ihre unnützen Tänzeleien, ihr unsinniges Waffenschwingen, der ganze Lärm, den sie mit ihren Schilden erzeugen oder was sie sonst noch an barbarischem und sinnlosem Gehabe zur Abschreckung der Feinde veranstalten, sei es durch ihre Bewegungen, sei es durch ihre Stimmen, welchen Vorteil kann es denen verschaffen, die ohne Plan angreifen, oder welche Furcht erzeugen bei denen, die mit kluger Berechnung sich den Gefahren stellen?“ (Rōmaikē archaiologia 14, 9, 15).

Atrox (grässlich), *rebellus* (rebellisch), *improbus* (boshaft), *nefas* (frevlerisch), *horridus* (schrecklich), *impius* (gottlos), *ferox* (wild) waren entsprechende Epitheta, welche die römische Literatur derart barbarischen Charakteren stets zuordnete. Unterlagen sie doch einer für andere unberechenbaren und für sie selbst unkontrollierbaren Gewaltbereitschaft, welche Zerstörung, Vernichtung bis hin zum Wahnsinn, das heißt die Aberkennung sämtlicher Ordnungsstrukturen mit sich brachte. Eigenschaften, welche man ihren Ethnien auch hier als grundsätzlich angeboren unterstellte, wie nachgerade paradigmatisch die weit überlebensgroße Statue eines unterworfenen Dakers, welche ursprünglich zur Ausstattung des



Abbildung 16: Überlebensgroße Marmorstatue eines Dakers für das Forum des Traian in Rom. 1. Viertel 2. Jh., Rom, Vatikanische Museen, Inv. 10534. Quelle: P. C. Bol (Hrsg.), *Die Geschichte der antiken Bildhauerkunst IV* (Mainz 2010) Taf. 279 d und 279 b.

Traiansforums in Rom bestimmt war (Abb. 16 a–b) zeigt. Denn obwohl der Barbar – dessen fremdländische Tracht mit den weiten, in die geschnürten Schuhe eingesteckten Hosen und dem augenscheinlich mit Tierfell besetzten Mantel akribisch geschildert wurde – in völliger Ruhe aufrecht steht und die Geste, mit welcher seine rechte Hand das Gelenk der linken umfasst, zweifellos mit dem Zustand seiner Gefangenschaft assoziiert wurde, spiegelte sich in seinem Gesicht für den römischen Betrachter doch nach wie vor die Gefährlichkeit, die von ihm ausging: Indem ihn nämlich einerseits sein von vielen Furchen und Wölbungen durchzogenes Gesicht mit der extrem kurzen, aber kräftig-breiten und flach angedrückten

Nase, der im Verhältnis dazu sehr große Mund mit den wulstig aufgeworfenen Lippen physiognomisch sowie der struppig ungepflegte, zottige Bart und das lange, sichtlich unfrisierte Haar, welches hinten bis auf die Schultern hinab reicht, habituell in einer drastischen Signalwirkung als Angehörigen eines ganz und gar unzivilisierten fremden Volkes auswiesen. Andererseits die in äußerster Anspannung zusammengezogene niedrige Stirn, welche über der Nasenwurzel einen regelrechten Höcker aufwirft, sowie die zu schmalen Schlitzten verengten und mit tiefen Tränensäcken unterfangenen Augen, welche finster unter den weit überhängenden Brauen und Jochbögen hervorstechen, aber auch mimisch diejenige beunruhigende Bedrohlichkeit ausstrahlten, welche man in Rom mit seinem Volk konstant verband. Entsprechend bezeichneten Sextus Iulius Frontinus im späteren 1. Jh. die Germanen denn auch global als „*inmanes ferocia nationes*“ (De aquis urbis Romae 1, 1, 8), Plinius der Jüngere deren Stamm der Brukterer als eine „*ferocissima gens*“ (Briefe 2, 7, 2) und Iuvenal die Sygamber als grundsätzlich grausig (Satiren 4, 147).

5 Hässliche Emotionen im Urteil von Philosophen und Literaten

Ihre mächtige Überzeugungskraft verdankte die hier skizzierte Grammatik der bildenden Kunst einerseits der Tatsache, dass ihr mimisches Repertoire einem expressiven Code folgte, welcher nicht auf ideellen religiösen, philosophischen oder kulturellen Konstrukten, sondern auf natürlichen, dem Menschen angeborenen, Ausdrucksuniversalien beruhte (Maderna 2009). Andererseits aber auch dem Umstand, dass in der Klassischen Antike grundsätzlich sämtliche Emotionen streng differenzierenden Bewertungen unterzogen und unkontrollierte Affekte dabei auf das Schärfste verurteilt wurden. Denn selbst wenn Theorien vom Ursprung und Wesen sowie vom Körper oder der Seele als Sitze der Gefühle und Leidenschaften im Verlauf der Jahrhunderte durchaus Differenzierungen oder Veränderungen erfuhren, wurde die Vorstellung einer eminenten Gefährlichkeit heftiger Leidenschaften niemals erschüttert und blieben ideale Leitbilder guter, zivilisierter und kultivierter Gesellschaften an strikte Postulate einer stets gebotenen Affektkontrolle deren Mitglieder gebunden. Ein ebenso omnipräsenter wie tiefgreifender, sich in vielzähligen philosophischen Erörterungen ganz unterschiedlicher Schulen und Ausrichtungen ebenso wie in den Erzeugnissen der Dichtung manifestierender Gleichklang, welcher sich in entsprechenden Erörterungen über den Zorn, über

den übermäßigen Rausch, aber auch über das überbordende Lachen, die ungezügelte Lust, ja sogar selbst über den allzu heftigen Schmerz von der griechischen Frühzeit bis weit in die römische Spätantike hinein fassen lässt.

So hatte, um hier nur an einige wenige der bekannten diesbezüglichen Feststellungen zu erinnern, bereits der um 520 v. u. Z. in Ephesos geborene Vorsokratiker Heraklit gefolgert, dass der Logos des allgemeinen Weltgesetzes, die Harmonie im Gleichgewicht der Gegensätze, als ein nach Ziel und Maß gestimmter Einklang auch die Seele des Menschen bestimme (Fragment B 115, Diels 1922). Unmittelbar konform gehende Reflexionen über die symbiotischen Verflechtungen von Harmonie, Ordnung und Symmetrie bestimmten ebenso die Lehren der Pythagoreer, wobei in diesem Zusammenhang eine, allerdings späte, Anekdote besonders interessant ist, dass Pythagoras, bevor er jemanden als Schüler aufnahm, den Kandidaten auf der Grundlage eben dieser Prinzipien physiognomisch geprüft und bewertet habe (Aulus Gellius, Noctes Atticae § 2).

In ihrem grundsätzlichen Kern verwandte Anschauungen vermittelten einer erheblich breiteren Menge im 5. Jh. v. u. Z. dann auch die Tragödiendichtungen. So etwa wenn Sophokles in seiner wohl in den späten vierziger Jahren dieses Jahrhunderts auf die Bühne gebrachten „Antigone“ ein spontanes, rein emotional bestimmtes Handeln dezidiert als einen gefährlichen Drang definierte, sich nicht von den Erkenntnissen des Verstandes leiten zu lassen, oder Euripides in seiner 431 v. u. Z. uraufgeführten „Medeia“ in einer eminent eindringlichen Differenzierung das Zusammenwirken von Emotion und Vernunft im tragischen Schicksal der Fremden auslotete. In der Lehre Platons erlebte die Forderung einer vollständigen Unterordnung sämtlicher Leidenschaften unter die Herrschaft der Vernunft, bis hin zu Schmerz und Trauer, bekanntlich einen ersten Höhepunkt. Der moralisch vollkommene Mensch hatte ihm zufolge seine Gefühle so zu gestalten und erziehen, dass er gar keine pflichtwidrigen Leidenschaften mehr empfinden könne. In der Konsequenz der ontologischen Schichtung seiner Seelenlehre stellte er zudem nicht nur fest, dass sämtliche der Vernunft fern stehenden emotionalen Zustände dem einzelnen Individuum ebenso wie dem Staat abträglich seien, sondern vertrat auch die Überzeugung, dass sogar von allen nachahmend gestalteten Emotionen in Dichtung und bildender Kunst angesichts der stets gegebenen Affizierbarkeit ihrer Rezipienten eine große Gefahr für jede Gemeinschaft ausgehe (Politeia 606):

„Und ebenso steht es doch wohl auch mit der Liebeslust, dem Zorn, wie überhaupt mit allen begehrliehen, schmerzlichen und freudigen

Regungen der Seele, die ja doch bekanntlich alle unsere Handlungen begleiten. Hier wirkt die dichterische Nachahmung in gleicher Weise auf uns. Denn sie nährt und trinkt diese Triebe, die doch absterben sollen, und macht sie zu Herren in uns statt zu Untergebenen, wie es doch der Fall sein müsste, wenn wir nicht schlechter und unglückseliger, sondern besser und glückseliger werden sollen.“

Selbst Aristoteles, der sich in seinem Spätwerk von der platonischen Ethik löste und als erster eine klare Grenze zwischen der Natur mit ihrer strengen, von der Vernunft fassbaren, Kausalität und dem praktischen Leben der Gesellschaft zog, ließ Leidenschaften lediglich auf der strikten Grundlage eines rechten Maßes zu: So heißt es in seiner „Nikomachischen Ethik“ zur ‚rechten Mitte‘ des Zornes (1125 b – 1126 c):

„Wer nun zürnt, worüber er soll und wem er soll und ferner wie, wann und wie lange er soll, wird gelobt. Er soll derjenige sein, der sich nicht erregt und nicht von der Leidenschaft beherrscht wird, sondern handelt, wie es die Vernunft anordnet und demgemäß beim richtigen Anlass und die richtige Zeit hindurch zürnt (...) Böseartig nennen wir jene, die sich ärgern, worüber sie nicht sollen und mehr, als sie sollen, und längere Zeit und die sich ohne Rache und Strafe nicht beruhigen (...).“

Nur ein ausgewogenes ‚mittleres Maß‘ (*mesotes*) bestimmte ihm zufolge die Richtigkeit einer Emotion, gleichsam in der Form einer ‚Symmetrieachse‘, an welcher sich Angst, Mut, Begehren, Zorn, Lust und Unlust, aber auch alle Wissenschaften und Künste auszurichten hätten, da er nur denjenigen vom Menschen gestalteten Werken ein Gütesiegel zuerkannte, welche diesem Verdikt entsprachen.

Dass es im Kontext solcher theoretischen Überlegungen durchaus geläufig war, die so vehement beschworene Notwendigkeit eines ausgewogenen richtigen Maßes aller menschlichen Gefühle auch in eine tatsächlich bildhaft wirkende Vorstellung von Harmonie und Gleichgewichtigkeit zu kleiden, wird allerdings schon früher, bei Demokrit fassbar, dessen im 5. Jh. v. u. Z. entwickelten Gedanken dann partiell in die Ethik der Epikureer Eingang fanden. Verwendete er in einer entsprechenden Passage doch explizit den Begriff der Symmetrie: „*Den Menschen wird Euthymia zuteil durch Mäßigung der Lust und des Lebens Symmetria [...]. Die in großem*

Pendelschlag sich bewegenden Seelen sind weder wohlbeständig noch wohlgemut.“ (Fragment B 191, Diels 1922). Eine gerade in der spezifischen Perspektive auf die hier betrachteten Bildmedien signifikante Formulierung, zumal er an anderer Stelle feststellte: „*Die großen Freuden werden uns beim Anschauen schöner Werke zuteil.*“ (Fragment B 191, Diels 1922). Denn natürlich konzentrierte man sich in diesem Umfeld nicht nur auf Erörterungen des wesenhaft Negativen, sondern verfolgte vielmehr das Anliegen, die essenziellen Bestandteile des Positiven gerade in dessen Opposition umso schärfer zu definieren. Ein dezidiertes Ziel, welches Platon später auch mit seiner Feststellung verfolgte, dass der Sinn des Menschen für Schönheit mit demjenigen für Ordnung, Maß, Proportion und Harmonie identisch sowie Kennzeichen seiner Verwandtschaft mit den Göttern sei (Nomoi 653 E. Vgl. auch Timaios 87 C), wobei er das dann für die Rezeptionsgeschichte der Antike so folgenreiche ‚alles was gut ist, ist auch schön‘ festschrieb:

„Denn ein rechtes Maß (metriótes) und angemessene Proportionen (symmetría), haben doch wohl überall Schönheit und Tugend im Gefolge. . . können wir das Gute nicht in einer Gedankenform ergründen, so müssen wir sie in dreien zusammen erfassen, in der Schönheit, dem Ebenmaß und der Wahrheit.“ (Philebos 64 E).

Eine Auffassung, mit deren grundsätzlicher Perspektive der Philosoph – von den kulturellen wie gesellschaftlichen Strömungen seiner Zeit selbst mit beeinflusst – zweifellos nicht allein stand. Umso mehr, als es gerade diese Kategorien waren, welche die bildende Kunst schon längst vor seiner Geburt zu derart universell gültigen Ausdrucksformen avancieren ließ, dass sie im Wahrnehmungsgedächtnis ihrer Betrachter zweifellos auch ohne die Notwendigkeit entsprechend tiefer gehender Reflexionen mit den Sinn stiftenden Leitvorstellungen einer idealen moralischen Integrität verbunden wurden. Zumal im Besonderen deren mimisches Repertoire ja keineswegs nur in den Darstellungen barbarischer Fremder, sondern in genau gleicher Weise auch in den auf allen nur denkbaren Bildträgern omnipräsenten Schilderungen mythischer Erzählungen zum Einsatz kam. Ein Gleichklang, der eindrucklich deutlich wird, wenn man etwa den Kopf eines derjenigen, im griechischen Mythos bald nach der Schöpfung der Welt geborenen, Giganten betrachtet, die im großen Fries des Pergamonaltares mit seinen zutiefst Schreck erregenden Brüdern den Versuch unternimmt, die Familie der unsterblichen Götter und mit ihr den ganzen geordneten Kosmos zu zerstören (Abb. 17). Fällt doch auf den



Abbildung 17: Kopf eines Giganten. Großer Fries des Pergamonaltars, 1. Viertel 2. Jh. v. u. Z., Berlin, SMPK, Pergamonmuseum. Quelle: E. M. Schmidt, Der große Altar zu Pergamon (Leipzig 1971) Taf. 46.

ersten Blick die nahezu völlig identische Gestaltung seiner Miene mit derjenigen der zuletzt geschilderten gefürchteten Barbaren auf.

Wie eng der konzeptuelle Verbund gedanklich versprachlichter und tatsächlich visuell gestalteter Bilder gelegentlich sein konnte, dokumentiert diejenige Diktion nachgerade paradigmatisch, mit welcher Seneca in seiner Schrift ‚de ira‘, auf den Maximen der älteren Stoa fußend, die Emotion des Zornes als die gefährlichste Leidenschaft der menschlichen Seele beschrieb (1, 1–4):

„ (...) nicht sind bei Verstand, die der Zorn ergriffen, brauchst du nur gerade ihr Verhalten zu betrachten; denn wie bei Rasenden sichere Anzeichen sind die tollkühne und drohende Miene, die finstere Stirn, das grimmige Gesicht, der hastige Gang, die unruhigen Hände, die wechselnde Gesichtsfarbe, schnelles und heftiges Atmen, so gibt es bei Zürnenden dieselben Merkmale: es brennen, flackern die Augen, starke Röte im ganzen Gesicht (...), die Lippen beben, die Zähne fletschen,, werden zusammengepresst, es sträuben sich und richten sich auf die Haare, (...) scheußlich anzusehen und schrecklich das Antlitz der sich selbst Entstellenden und Aufblähenden. Du wirst nicht wissen, ob es eher ein verabscheuungswürdiger Charaktermangel

ist, oder ein hässlicher. (...) Zorn bringt sich selber ans Licht und zeichnet sich im Gesicht ab, und je größer er ist, desto deutlicher braust er auf.“

Eine Passage, welche mit den optisch wahrnehmbaren Mienen des Bösen dieser Zeit, den asymmetrischen Verschiebungen ihrer Gesichtsflächen, den tiefliegend unter buschig verzogenen Augenbrauen lodernden Augen, den wulstig gespannten Stirnen, stark zusammengezogenen Nasenwurzeln und geöffneten Mündern mit oftmals bleckenden Zähnen unmittelbar zur Deckung kommt. Und noch expliziter ging später Plotin, in Anlehnung an Platon, sogar vom Potential einer durch die ästhetische Anschauung des Schönen erfolgenden Rückkoppelung an die Moral des Betrachters aus, wenn er dazu aufforderte:

„Kehre ein zu dir selbst und sieh dich an; und wenn du siehst, dass du noch nicht schön bist, so tu wie der Bildhauer, der von einer Büste, welche schön werden soll, hier etwas fortmeißelt, hier etwas ebnet, dies glättet, das klärt, bis er das schöne Antlitz an der Büste vollbracht hat. So meißele auch du fort, was unnütz ist und richte, was krumm ist, das Dunkle säubere und mach es hell und lass nicht ab, an deinem Bild zu handwerken, bis dir hervorstrahlt der göttliche Glanz der Tugend (...) Bist du das geworden, (...) hast du keine fremde Beimischung mehr in deinem Inneren.“ (Enneaden 1, 6, Über das Schöne 9).

6 Das Eigene, das Andere – und der schöne Nutzen der Hässlichkeit

Gründete die Nachhaltigkeit der hier betrachteten Bildkonzepte vor allem darauf, dass sie mit konstruierten Stereotypen operierten, welche sich, da über Jahrhunderte hinweg konstant wiederholt und lediglich formal modifiziert, fest im Bildgedächtnis der antiken Gesellschaften verankerten, so gilt für die Antike ebenso wie für unsere Gegenwart, dass alle Vorstellungen, alle literarischen Beschreibungen und alle bildlichen Darstellungen von Fremden stets nicht nur eine Vermittlung und Bewertung von deren Andersheit, sondern zugleich – und dies sogar vorrangig – immer auch eine Selbstvergewisserung des Eigenen zum Ziel haben. Denn etwas Fremdes im engeren Sinn erscheint uns ja als etwas Uneigenes, stellt durch seine bloße Existenz das, was wir sind und was wir sein wollen in Frage und wird damit

in erster Linie zu einer Herausforderung der eigenen Identität einer Person oder eines sozialen Gebildes. Es besitzt Eigenschaften, die wir nicht haben oder uns jedenfalls nicht zuschreiben bereit sind; Ziele, die wir nicht verfolgen; hat einen Besitz, der uns nicht gehört. Das Fremde ist fremd dadurch, dass es den Standards unserer Selbstdefinition nicht entspricht, oder sogar widerspricht und gewinnt seine Bedeutung mithin allein durch seine Beziehung zu uns. Als Relationsbegriff hat ‚das Fremde‘ für sich allein genommen keine Substanz. Eigenheit und Fremdheit sind Wahrnehmungen und Vorstellungen, die nie unabhängig voneinander existieren können und so fordert uns das, was wir als fremd empfinden vor allem immer wieder dazu heraus, uns selbst in einer Schärfe zu definieren, wie sie nur ein Kontrast herzustellen vermag.

Ganz in diesem Sinn dienten auch in der Antike im Besonderen die Erscheinungen stigmatisierter Fremder in erster Linie einer Selbstvergewisserung. In einer im tatsächlichen Wortsinn sichtlichen Abgrenzung zur eigenen Identität vorgestellt, erfüllten die ihnen auferlegten physiognomischen wie mimischen Hässlichkeiten mithin auf mehrfachen Ebenen außerordentlich nützliche Aufgaben: In der Opposition zu ihnen entwickelten ideale ästhetische Konzepte der Schönheit eine umso stärkere Ausstrahlung; als ‚Requisiten‘ der griechischen und römischen Haushalte signalisierten sie das soziale Prestige ihrer Besitzer; im direkten Vergleich zu ihrem fragwürdigen Verhalten manifestierten sich die eigenen ethisch-moralischen Normen des Schönen und Guten in besonders eindringlicher Stärke. In der Abgrenzung zu diesen, ironisch verspotteten, verachteten oder gefürchteten Fremden wurden kulturelle Ideale bestätigt und als solche gefeiert, aber auch mit einer strikten Vehemenz eingefordert. Denn als fragwürdig, minderwertig, Schrecken erregende oder sogar bösartig präsentierte Andere beglaubigten diese Fremden den anerkannten Mitgliedern der griechischen und römischen Kulturen zwar einerseits beruhigend ihre Zugehörigkeit zu den als ungleich höher bewerteten körperlichen Vorzügen, Errungenschaften und Verhaltensweisen ihrer eigenen Gemeinschaften, boten andererseits zugleich jedoch auch all denjenigen warnende und abschreckende Gegenbilder, welche womöglich nicht gewillt waren, deren geschriebenen und ungeschriebenen gesellschaftlichen Gesetzen Folge zu leisten.

Selbst diese Überlegungen manifestierten sich bemerkenswerterweise zudem – in einer bewusst oder unbewusst plakativen und dadurch für jeden unmittelbar verständlichen Form – in den antiken Bildmedien selbst. So kombinierten nämlich etwa die Werkstätten der bereits erwähnten Doppelkopfgefäße ihre so belieb-



Abbildung 18: Attisches Doppelkopfgefäß: Gesichter einer Äthiopierin und einer Griechin. Um 510–480 v. u. Z., Boston, Museum of Fine Arts, Inv. 98.926. Quelle: mfa.org/mfaimages.

ten Afrikanermienen keineswegs nur mit den zu ihren suggestiven Verwandten gemachten wilden Trabanten des Dionysos, sondern auch mit veritablen Gegenbildern: Nämlich hellhäutigen und außerordentlich attraktiv gestalteten Gesichtern schöner Griechinnen (Abb. 18 a–c), so dass im gesuchten Kontrast zu dem aus wulstigen Lippen leuchtenden, Zähne fletschendem Grinsen der Fremden das fein

gezeichnete und mit geschlossenem Mund beschriebene anmutige Lächeln der heimatlichen Schönheiten umso eindringlicher als Ausdruck deren vollendet zivili-sierter Eleganz zur Wirkung kam. Auf dem hier abgebildeten, mit zwei weiblichen Gesichtern gestalteten, Exemplar hatte es sich der Vasenmaler darüber hinaus nicht nehmen lassen, mit unverhohlen derber Ironie nicht nur die bleckende Zähne der Äthiopierin mit zusätzlichen plastischen Erhebungen hervorzuheben, sondern die dunkelhäutige Frau dann auch noch mit der Beischrift „*Kalos ho pais*“ – also „*schön ist dieser Knabe*“ zu versehen. Ein Kollege setzte dieser Bösartigkeit die Krone auf, indem er bei einem heute in Thessaloniki aufbewahrten Gefäß die griechische Schönheit selbst in einer Inschrift „*Ich bin Eronassa, sehr schön*“, ihr dunkelhäutiges männliches Pendant hingegen „*Ich bin Timyloss, so ansehnlich wie dieses Gesicht*“ sprechen ließ (Lissarague 1995).

Prävalent wurden derart demonstrative Kontraste allerdings immer wieder dann inszeniert, wenn es galt, den spätestens seit dem 5. Jh. v. u. Z. asymmetrisch verzerrten Mienen des wirklich Furcht erregenden und daher als zutiefst unmoralisch vorgestellten Bösen die stets harmonisch – und mithin an dem auch philosophisch geforderten – ‚rechten Maß‘ ausgerichteten Gesichter des untadelig Guten gegenüberzustellen. So standen in der mythischen Schlacht um den Fortbestand der Welt kaum zufällig den bereits erwähnten Vertretern der – ideologisch dem christlichen Teufel verwandten – Giganten im Fries des Pergamonaltars (Abb. 17) die Götter in nachgerade extremer Opposition ungeachtet ihrer heftigen Aktionen im tobenden Kampf mit völlig gelassenen, in sich ruhenden Mienen gegenüber. Ein derart eindruckliches Zeichen für ihren kommenden Sieg, aber auch für die unantastbare Integrität der Macht, welche sie verkörperten, dass man sich analoge Signalwirkungen in der römischen Kaiserzeit dann auch in ganz anderen Kontexten zunutze machte.

So etwa für die Szene einer auf den ersten Blick nachgerade überbordend von Kämpfenden, Fallenden, Sterbenden und Toten überzogenen Schlacht im Frontrelief eines Sarkophages (Abb. 19 a), dessen nur auf den ersten Blick undurchschaubares Gewimmel sich rasch als eine raffinierte Komposition entpuppt, in welcher der gefeierte Feldherr – gleichsam auf dem Gipfel einer ihn empor tragenden Woge besiegtter Barbaren reitend – den Gipfelpunkt einer Pyramide bildet. Wie mühelos das Gute über das Böse den Sieg davon trägt, manifestiert sich in dessen völlig irrealer Schilderung: In triumphierender Haltung und mit einem akklamierenden Siegesgestus auf seinem mächtigen Pferd reitend, blickt

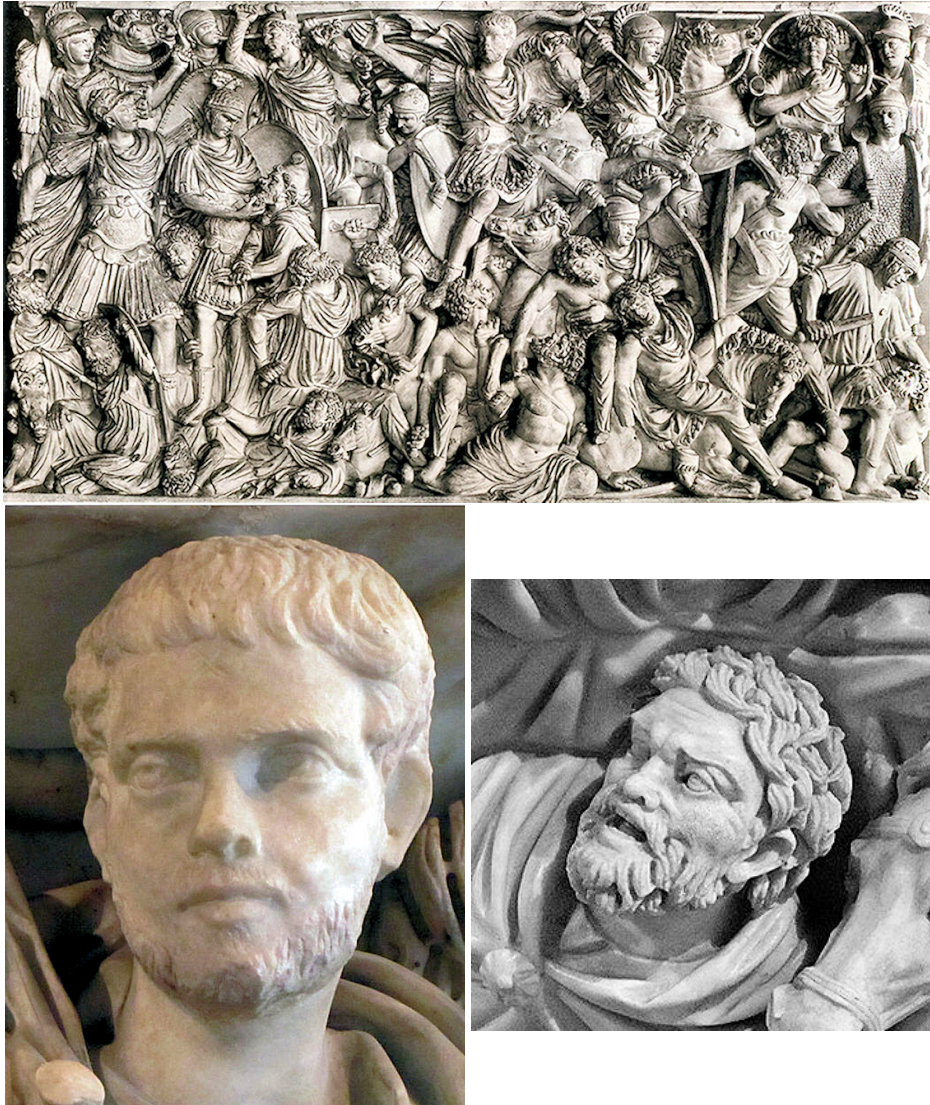


Abbildung 19: Verherrlichung des Sieges eines römischen Feldherrn über gefährliche Barbaren. Sogenannter ‚Großer Schlachtsarkophag Ludovisi‘, um 250/60, Rom, Museo Nazionale Romano, Palazzo Altemps. Quelle: Foto C. Maderna.

sein helmloser Kopf (Abb. 19 b), der offensichtlich gar keines irdischen Schutzes bedarf, über das Geschehen hinweg ins Weite. Mit völlig entspannter, gleichgültig in sich ruhender Miene scheint er in seiner zeit- und ortlosen Gestik von all den Greueln, die sich unter ihm abspielen, unberührt. Ihn umgibt allein die Aura des Sieges, der von Trompeten verkündet wird. Ein eklatant schönes Gegenbild zu den von ihm und seinen Soldaten vernichteten wilden Barbaren (Abb. 19 c), die in den elend verkrümmten Posen ihres Niedergangs mit hässlich brutalen Physiognomien, kurzen platt gedrückten Nasen, wild gesträubtem Haar sowie mit verzerrten, sichtlich aus den Fugen geratenen Gesichtern, in denen bei vielen wie bei wilden Tieren die Zähne blecken, als völlig minderwertige Menschen charakterisiert worden sind.

In unmittelbarem Anschluss an seine bereits oben zitierte Beschreibung der äußerlichen Gestalt des Zornes fuhr Seneca fort (De ira 3, 1, 3–4):

„Wie ist drinnen deiner Meinung nach die Seele beschaffen, deren äußeres Abbild so scheußlich ist? (...). Wie der Feinde oder wilden Tiere, wenn sie von Mordblut triefen oder auf Mord ausgehen, Anblick ist, wie die Dichter Unterweltungeheuer gestaltet haben, (...) so werden wir uns den Zorn vorstellen, (...)“

Und als dessen Gegenbild nannte er schließlich explizit die Vernunft, die *ratio*, die rechte Ordnung der Seele und den Zustand der Ruhe und Gelassenheit (De ira 2, 14):

„Der höhere Teil der Welt, geordneter und den Sternen nahe, wird weder zur Wolkenbildung gezwungen noch zu Sturm veranlasst, noch gerät er in Unruhe; von allem Aufruhr ist er frei; in den unteren Bereichen zucken die Blitze. Auf dieselbe Weise ist die Seele erhaben, gelassen stets und an ruhigem Ort, alles in sich niederhaltend was zu Leidenschaft sich zusammenzieht, maßvoll und verehrungswürdig und wohlgeordnet (...).“

7 Fazit und Ausblick

Gerade die negativ konnotierten Stereotypen der Kulturen Griechenlands und Roms vermitteln uns mithin vor allem besonders eindrückliche Einblicke in zentrale Aspekte deren eigenen Selbstverständnisses. Fungierte hier wie dort künstlerisch

gestaltete physiognomische Hässlichkeit als Signal für gesellschaftliche oder intellektuelle Minderwertigkeit, während aus dem Gleichgewicht geratene Emotionen eine noch verachtenswertere, da moralisch verwerfliche Hässlichkeit vermittelten, so war die Rigidität dieser Clichés so mächtig, dass zumindest die Bildmedien unter heftigen Leidenschaften tatsächlich nur diejenigen Anderen leiden ließen, zu denen niemand gehören wollte: Nämlich im Rahmen des Mythos die gegen die Götter aufbegehrenden Frevler oder ungezähmten Bewohner der Wildnis und der Randzonen der Zivilisation sowie im Umfeld des ‚wirklichen‘ Lebens die an den Rändern der bürgerlichen Gesellschaften angesiedelten Outcasts oder eben Angehörige barbarischer Fremdvölker, gegen die man sich mit aller Macht abgrenzen wollte. Letztere fungierten dabei mithin nur als Teile eines an sich viel umfassenderen ideologischen Konstruktes. Feierte die bildende Kunst die in spezifischer Opposition dazu stehende ästhetische Schönheit vorzüglich in Gesichtern, die von eben- und regelmäßigen, ausgewogen proportionierten Zügen geprägt wurden, so waren diese dabei allerdings nur selten einer tatsächlich statischen Symmetrie unterworfen, sondern in der Regel mit ganz leichten Abweichungen gestaltet, welche diejenige sogenannte dynamische Symmetrie widerspiegeln, von der Biologen und Anthropologen dann sprechen, wenn sich in einer Gesamtform zwei sehr ähnliche, jedoch nicht wirklich völlig identische Hälften gegenüberstehen. Eine Strategie, welche ihrer Belebung diene, die Harmonie ihrer Ausstrahlung allerdings in keiner Weise schmälerte. Selbst wenn man in Rechnung stellt, dass die menschliche Wahrnehmung einem offenbar eingeborenen Bedürfnis folgt, die Welt als etwas Geordnetes zu begreifen und in der Folge darauf ausgerichtet ist, im Besonderen allem Regelhaften in der Natur Aufmerksamkeit zu schenken und erst in einem nächsten Schritt Abweichungen davon erfasst (Eibl-Eibesfeldt – Sütterlin 2007) und unsere Empfindungen von Schönheit in der Folge womöglich eben nicht nur im sprichwörtlichen Auge des Betrachters liegen, war auch diese ideale Ästhetik der Antike doch alles andere als bloß ‚natürlich‘, da man sie sich zumindest im Rahmen unserer Stereotypen als Trägerin sozialer und moralischer Wertigkeiten dienstbar machte.

Ein wiederum letztendlich gedanklich abstrakter Prozess, welcher den Gestaltern der Bilder ebenso wie deren Auftraggebern ungeheuer weite – und aus heutiger Perspektive seinerseits alles andere als moralische – Spielräume bot, wie die Gegenüberstellung des allem Anschein nach aus Alexandria stammenden Porträts eines in griechisch-römischer Perspektive zweifellos auf allen Ebenen



Abbildung 20: Porträt eines jungen Mannes mit partiell afrikanischen Zügen. Grüner Basanit, 1. Hälfte 1. Jh. v. u. Z., London, British Museum, Inv. EA55253. Quelle: Courtesy of the British Museum.

als ausgesprochen schön wahrgenommenen jungen Mannes aus der ersten Hälfte des 1. Jhs. v. u. Z. (Abb. 20), bei dem nur sein kurz geschorenes krauses Haar auf seine afrikanische Herkunft verweist, mit einer derjenigen später ausgesprochen beliebten ironischen Verzerrungen afrikanischer Physiognomien zeigt, welche in den Massenproduktionen der billigen Haushaltswaren, vorzüglich als Öllämpchen, verbreitet waren (Abb. 21).

Drängt sich angesichts all dessen aus heutiger Perspektive zwangsläufig der Gedanke auf, welchem Druck sich der Mensch der Antike ausgesetzt sah, wenn er in seinem Lebensalltag überall auf diese ja als explizit vorbildlich inszenierte Bilderwelt stieß – denn die Realität seiner Wirklichkeit dürfte deren derart rigide perpetuierten Anforderungen ebenso wenig wie dies gegenwärtig der Fall ist in ästhetischer wie moralischer Hinsicht entsprochen haben – so sind derart kritische Überlegungen von der spätestens in der Renaissance einsetzenden Verklärung



Abbildung 21: Bronzenes Öllämpchen in der Form eines verzerrten Afrikanerkopfes. Römische Kaiserzeit, Privatbesitz. Quelle: Foto S. Soffer.

der antiken Kunst jedoch nahezu völlig überlagert worden. Ein Prozess, welcher zudem seinerseits auf vielfach ideologischen Konstrukten beruhte.

Sei es durch die Humanisten, welche die Idee der antiken Klassik zu einem bedeutenden, normativen Qualitätsbegriff erhoben und mit der Forderung nach einer gleichsam überzeitlich-vorbildlichen Gültigkeit verknüpften; sei es durch das sogenannte Zeitalter der Aufklärung des 18. Jhs., in dem unter vielen anderen Johann Joachim Winckelmann als die wohl mächtigste Instanz für eine Bewertung der Kunst seiner Zeit gerade in den von ihm als klassisch beurteilten, da besonders ausgeprägt an symmetrischen Konzepten ausgerichteten, Werken der Antike das höchste und in allen gestalterischen Bereichen anzustrebende Ideal – nicht zuletzt auch einer geordneten Vernunft – sah; sei es durch die im Historismus des späteren 19. Jhs. wiederbelebten Klassizismen, die man in besonderem Maß als dafür geeignet befand, patriotischen Nationalstolz zu verkörpern.

Erfuhren die Sehgewohnheiten und die mit jeder Wahrnehmung verbundenen Sinnstiftungen zumindest in unseren europäischen Kulturen in der Folge eine ungeheuer mächtige Überformung, so überrascht es kaum, dass die in der Klassischen Antike entwickelten Stereotypen des ‚schönen Guten‘ in Opposition zum ‚hässlichen Bösen‘ über alle Jahrhunderte hinweg bis in die unmittelbare Gegenwart hinein weiterleben. Ein Phänomen, für dessen Wahrnehmung allein schon ein aufmerksamer Blick in jede beliebige bebilderte Kunstgeschichte genügt und das sich nach wie vor kaum zufällig immer dann in einer besonders ausgeprägten Form fassen lässt, wenn die kulturellen Leitwerte und Normen des Eigenen einer Selbstvergewisserung bedurften. Dass dabei selbst die Semantik der Formensprache der antiken Clichés keine grundsätzlichen Veränderungen erfuhr, manifestiert sich wohl nirgendwo so klar, wie in denjenigen graphisch gestalteten Werken, welche, vorzüglich in den Gattungen der Karikatur oder des politischen Plakates, mit einerseits überpointierten, andererseits aber auch auf das Wesentlichste reduzieren Zeichen arbeiteten, um entsprechende Botschaften in unmissverständlicher Schlagkraft zu vermitteln.

Wie eine polemische Reprise mutet in diesem Sinn jedenfalls ein 1812 in England entworfenes Plakat mit dem Titel „General Frost Shaving Little Boney“ an (Abb. 22), welches die antiken Chiffren in einer ebenso einfallsreich-markanten wie bitter ironischen Überspitzung nutzt: Der eisige Winter Russlands attackiert – mit fremdländisch lang zur Seite wehendem weißem Schnurrbart und einem Eisberg als Mütze – in der Gestalt eines riesigen Dämons Napoleon, welcher ihm, vor Kälte schlotternd, nur bis zur zottigen Brust reicht, mit seinen Klauen und einem Beil aus glitzerhartem russischem Stahl. Gleichzeitig kommen unter den mächtigen Pranken des Monsters je ein Haufen winzig kleiner französischer Soldaten kläglichst zu Tode. Hier künden die Mienen sämtlicher Akteure im Bild von deren bösem Charakter. Die weit aufgerissenen Glotzaugen und das mit spitzen Hauern wie brüllend aufgerissene Maul des Dämons, aus dessen geblähten Nasenflügeln Schneestürme hervor toben, ebenso wie der zähnebleckend vom grausamen Frost umklammerte, hybride Feldherr, aus dessen kaum minder großen, ängstlich zu seinem Peiniger empor gerichteten Augen dicke, peinliche Tränen hervor kullern. Selbst mit den toten oder sich sterbend in verrenkten Posen im Schnee windenden Truppen soll man nicht wirkliches Mitleid empfinden. Einer von ihnen bäumt sich am rechten unteren Bildrand mit klaffend nach unten



Abbildung 22: „General Frost Shaving Little Boney“. Als Plakat gedruckte britische Karikatur, 1812. Privatbesitz. Quelle: Foto C. Maderna.

verzogenem Mund noch ein letztes Mal auf, während, wie zum Hohn, noch ein Fähnchen über ihm flattert.

Gerade in diesem Jahrhundert, dessen Persönlichkeitsvorstellung fest in den Forderungen nach einer strikten Einheit von innerer Regung und äußerer Erscheinung sowie einer strengen Selbstkontrolle des Gefühlslebens geprägt war und in dem sogar Spontaneität mit Abnormalität verknüpft wurde, dürfte der Subtext einer derartigen Karikatur darüber hinaus keineswegs nur auf einer harmlos-humoristischen

Ebene gewirkt haben. Stellt man schließlich mit Blick auf zwei stellvertretend für viele stehende Plakate, welche während des Zweiten Weltkrieges kursierten, noch in Rechnung, dass politisch nicht nur oppositionelle, sondern einander auch ganz und gar feindlich gegenüberstehende Parteien in entsprechend völlig unterschiedlichen ideologischen Kontexten – hier etwa im Dienst antisemitischer (Abb. 23 a), dort anti-japanischer Propaganda (Abb. 23 b) – mit den gleichen Chiffren operierten, um einer Verachtung, beziehungsweise einer Furcht vor dem Fremden ein demagogisches Gesicht zu verleihen, so wird vollends deutlich, in welchem Ausmaß sich gerade die Stereotypisierung bildlicher Clichés letztendlich als Spielbälle für Jedermann eignen. Eine Feststellung, der man sich gerade auch in der Perspektive auf unsere unmittelbare Gegenwart stets bewusst sein sollte.



Abbildung 23: a. Antisemitisches Propaganda-Plakat. Kroatien 1941, Privatbesitz. b. Anti-japanisches Propaganda-Plakat. USA, Zweiter Weltkrieg, Privatbesitz. Quelle: Foto C. Maderna.

Ausgewählte Bibliografie zum Thema

- Cohen, Beth (Hrsg.): Not the classical ideal. Athens and the construction of the other in Greek art (Leiden 2000)
- Diels, Hermann: Die Fragmente der Vorsokratiker (Berlin 1922)
- Dihle, Albrecht: Die Griechen und die Fremden (München 1994)
- Eibl-Eibesfeld, Irenäus/ Sütterlin, Christa: Weltsprache Kunst. Zur Natur- und Kunstgeschichte bildlicher Kommunikation (Wien 2007)
- Eming, Knut: Tumult und Erfahrung. Platon über die Natur unserer Emotionen (Heidelberg 2006)
- Ferris, Ian M.: Enemies of Rome. Barbarians through Roman eyes (Stroud 2000)
- Gruen, Erich S.: Rethinking the Other in Antiquity (Princeton 2011)
- Guggisberg, Martin A.: Attische Figurengefäße im „barbarischen Kontext“, in: Bonomi, Simonetta/ Guggisberg, Martin A. (Hrsg.), Griechische Keramik nördlich von Etrurien. Griechische Keramik nördlich von Etrurien. Mediterrane Importe und archäologischer Kontext. Internationale Tagung. Basel 14. – 15. Oktober 2011. (Wiesbaden 2015) p. 35–40
- Hall, Edith: Inventing the barbarian. Greek self-definition through tragedy (Oxford 1989)
- Harbsmeier, Martin/ Möckel, Sebastian (Hrsg.), Pathos, Affekt, Emotion. Transformation der Antike (Frankfurt a.M. 2009)
- Harrison, Thomas (Hrsg.): Greeks and Barbarians (Edinburgh 2002)
- Heitz, Christian: Nördliche ‚Barbaren‘ in der römischen Bildkunst. Die Guten, die Bösen und die Hässlichen (Hamburg 2009)
- Hölscher, Tonio: Menschenbilder in der altgriechischen Kunst, in: Hilgert, Markus/ Wink, Michael (Hrsg.), Menschen-Bilder, Heidelberger Jahrbücher 54, 2010 (2012) p. 27–47
- Hutter, Sonja: Vestis virum reddit. Zur Beurteilung des äußeren Erscheinungsbildes von Fremdvölkern in der Ethnographie der späten Republik und frühen Kaiserzeit (2002)
- Jensen, Erik: Barbarians in the Greek and Roman world (Indianapolis 2018)
- Kim, Hyun J.: The invention of the “Barbarian” in late sixth-century B.C. Ionia, in: Almagor, Eran/ Skinner, Joseph (Hrsg.), Ancient ethnography. New approaches (London 2013) p. 25–48
- Kistler, Erich: Funktionalisierte Keltenbilder. Die Indienstnahme der Kelten zur Vermittlung von Normen und Werten in der hellenistischen Welt (Berlin 2009)

- Konstan, David: *The Emotions of the Ancient Greeks. Studies in Aristotle and Classical Literature* (Toronto u.a. 2006)
- Lissarague, François, Identity and otherness, in: *Source* 15,1, 1995, p. 4–9
- Maderna, Caterina: Von der Ordnung der Mimik. Bedrohliche Leidenschaften in der antiken Bildkunst, in: *Städel Jahrbuch, Neue Folge* 20, 2009, p. 7–54
- Peigney, Jocelyne: *Amis et ennemis en Grèce ancienne* (Bordeaux 2011)
- Pülz, Andreas/ Trinkl, Elisabeth (Hrsg.): *Das Eigene und das Fremde. Akten der 4. Tagung des Zentrums Archäologie und Altertumswissenschaften an der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 26. – 27. März 2012* (Wien 2015)
- Schmal, Stephan: *Feindbilder bei den frühen Griechen. Untersuchungen zur Entwicklung von Fremdenbildern und Identitäten in der griechischen Literatur von Homer bis Aristophanes* (Frankfurt a.M. 1995)
- Vlassopoulos, Kostas: *Greeks and Barbarians* (Cambridge 2013)
- Walter, Uwe: „Schlechte Zeugen sind für die Menschen Augen und Ohren derjenigen, die Barbarensen haben“. Heraklit und Herodot, zusammengedacht, in: Fantino, Enrica/ Muss, Ulrike/ Schubert, Charlotte u.a. (Hrsg.), *Heraklit im Kontext* (Berlin 2017) p. 151–170
- Weber, Max: *Wirtschaft und Gesellschaft*. 4. Auflage Tübingen 1956
- Zenzen, Nicolas/ Hölscher, Tonio/ Trampedach, Kai (Hrsg.): *Aneignung und Abgrenzung. Wechselnde Perspektiven auf die Antithese von „Ost“ und „West“ in der griechischen Antike* (Heidelberg 2013)

Über die Autorin

apl. Prof. Dr. Caterina Maderna studierte Klassische Archäologie, Alte Geschichte, Latinistik, Christliche Archäologie und Kunstgeschichte an den Universitäten Heidelberg und Göttingen. Nach ihrer Promotion war sie vor allem an der Universität sowie am Liebieghaus (Skulpturensammlung) Frankfurt am Main, nach ihrer Habilitation in Mainz am dortigen Institut für Klassische Archäologie sowie an der TU Darmstadt tätig. Seit 2015 ist sie außerplanmäßige Professorin am Institut für Klassische Archäologie der Universität Heidelberg. Ihre Forschungsschwerpunkte sind antike Skulptur, Politik, Soziologie und Religion im Spiegel der Bildmedien Griechenlands und Roms, Antikenrezeptionen vom 18. Jahrhundert bis in die Gegenwart sowie Museologie. Projekte und Publikationen: s.u. https://www.uni-heidelberg.de/fakultaeten/philosophie/zaw/klarch/mitarbeiter/maderna_cv.html

Korrespondenz:

apl. Prof. Dr. Caterina Maderna
Institut für Klassische Archäologie
Universität Heidelberg
Marstallhof 4
69117 Heidelberg
E-Mail: caterina.maderna@mail.zaw.uni-heidelberg.de

Gebräunte Haut als Schönheitsideal: Bundesweit repräsentative Ergebnisse zur Wichtigkeit attraktivitätsbezogener Motive für das Bräunungsverhalten

TATIANA GÖRIG, SVEN SCHNEIDER & KATHARINA DIEHL

Mannheimer Institut für Public Health, Sozial- und Präventivmedizin,
Medizinische Fakultät Mannheim, Universität Heidelberg

Zusammenfassung

In den westlichen Industrienationen gilt gebräunte Haut allgemein als schön und erstrebenswert. Psychologische Studien zeigen, dass Jugendliche und Erwachsene sich häufig natürlicher und künstlicher ultravioletter (UV-) Strahlung (etwa Sonnenbaden oder Solariennutzung) aussetzen, um ihre Attraktivität zu steigern. Ein solches Schönheitsideal birgt jedoch zahlreiche dermatologische und onkologische Risiken (z. B. vorzeitige Hautalterung, Hautkrebs). Im Rahmen des bundesweit repräsentativen Nationalen Krebshilfe-Monitorings (NCAM) wurden im Jahr 2017 3.000 Personen zu den sogenannten attraktivitätsbezogenen Motiven des Bräunungsverhaltens (ABM) befragt. Es zeigte sich, dass ABM eher für Befragte zwischen 18 und 35 Jahren, Befragte mit Migrationshintergrund, Befragte mit mittlerem Bildungsniveau und für Befragte ohne festen Partner relevant waren. Zudem zeigte sich, dass Personen, die sich mit dem Ziel der Attraktivitätssteigerung bräunen, eine geringere Risikowahrnehmung für natürliche und künstliche UV-Strahlung besitzen, aber gleichzeitig ein risikoreicheres Bräunungsverhalten zeigen: Sie bräunen sich häufiger im Solarium und in der Sonne und berichten dabei häufiger

von einem Sonnenbrand. Damit haben diese Personen ein erhöhtes Risiko, Hautkrebs zu entwickeln. Diese Ergebnisse sind von Bedeutung für zukünftige Präventionsmaßnahmen. So sollten Präventionskampagnen auch einen Schwerpunkt auf die Reduzierung der positiven Bewertung einer gebräunten Haut und damit auf die Veränderung westlicher Schönheitsideale legen.

1 Einleitung

Ultraviolette (UV-) Strahlung stellt einen wesentlichen Risikofaktor für Hautschäden dar. Neben kurzfristigen Entzündungsreaktionen wie Sonnenbrand kann die UV-Exposition auch zu langfristigen Schäden führen, z. B. vorzeitiger Hautalterung und Hautkrebs (Battie et al., 2014; El Ghissassi et al., 2009). Trotz dieser Risiken setzen sich viele Menschen bewusst der natürlichen und/oder künstlichen UV-Strahlung – etwa durch ein Sonnenbad oder die Nutzung von Solarien – aus. Dies geschieht nicht zuletzt, weil zahlreiche positive Eigenschaften mit gebräunter Haut assoziiert werden: Attraktivität, Gesundheit und Sexappeal (Cafri et al., 2006; Jackson et al., 2000). Psychologische Untersuchungen belegen, dass eine positive Bewertung des gebräunten Aussehens signifikant mit der Absicht zusammenhängt, sich zu bräunen (Jackson et al., 2000).

Um die Einstellung bezüglich gebräunter Haut zu messen, verwendeten vorherige Studien umfangreiche Item-Batterien (Benvenuto-Andrade et al., 2005; Cafri et al., 2006; Ingledew et al., 2010). Diese Studien wurden jedoch in hochselektiven Populationen durchgeführt, darunter Studierende oder Teilnehmer¹ an Hautkrebs-Früherkennungsuntersuchungen. Es bleibt daher unklar, inwieweit die in diesen Studien gemessenen Konstrukte auch für die allgemeine Bevölkerung relevant sind.

Studien, welche die Zusammenhänge zwischen den individuellen Einstellungen zu gebräunter Haut einerseits und der natürlichen und künstlichen UV-Exposition andererseits in repräsentativen Stichproben untersucht haben, verwendeten lediglich einzelne Items, um die Einstellungen zu erfassen (Börner et al., 2009; Boyle et al., 2010; Bränström et al., 2004; Schneider et al., 2013). Damit können jedoch

¹ Für eine bessere Lesbarkeit des Textes wird auf die Verwendung beider Geschlechtsformen verzichtet. Damit ist keine Bevorzugung eines Geschlechts verbunden.

nur einzelne Aspekte eines solch komplexen psychologischen Konstrukts erfasst werden.

Während eine positive Einstellung zu gebräunter Haut die Motivation einer Person zum Bräunen erhöhen kann, kann das Bewusstsein für potenzielle kurz- oder langfristige Risiken Personen davon abhalten, sich der UV-Strahlung auszusetzen. Es ist jedoch unklar, ob und inwieweit solche Einstellungen mit der Risikowahrnehmung der UV-Strahlung verbunden sind. Zum einen ist es denkbar, dass Menschen, die sehr auf ihr eigenes Erscheinungsbild achten, bewusst potenzielle Risiken eingehen und eher ein risikoreiches Bräunungsverhalten zeigen, um einen – subjektiv wahrgenommenen – „idealen“ Hautton zu erhalten. Zum anderen wäre auch ein gegensätzlicher Zusammenhang möglich: Aufgrund des hohen Stellenwerts des eigenen Aussehens können sich diese Personen der negativen Auswirkungen der UV-Strahlung (z. B. vorzeitige Hautalterung, Hautkrebs) eher bewusst sein und Sonnenbaden oder Solarien eher meiden. Das Erkennen des Zusammenhangs zwischen individueller Einstellung zu gebräunter Haut und der Risikowahrnehmung der UV-Strahlung kann dazu beitragen, wirksame Maßnahmen zur Prävention von UV-bedingten Hautschäden zu entwickeln.

Cafri und Kollegen haben gezeigt, dass der Wunsch nach einer Steigerung der eigenen Attraktivität der beste Prädiktor für die Bräunungsabsicht der Probanden war (Cafri et al., 2006). Deshalb fokussieren wir in unserer Untersuchung auf sogenannte attraktivitätsbezogenen Motive des Bräunungsverhaltens (ABM). Folgende Fragen sollen in unserer Studie beantwortet werden:

1. Wie wichtig sind die ABM für Jugendliche und Erwachsene in Deutschland?
2. Wie hängen ABM mit der Risikowahrnehmung der UV-Strahlung zusammen?
3. Wie hängen ABM mit dem individuellen UV-Expositionsverhalten zusammen?

2 Methoden

2.1 Design und Setting

Das Nationale Krebshilfe-Monitoring (NCAM) ist eine bundesweit repräsentative Befragung bestehend aus bisher vier Wellen zu jährlich wechselnden Themen

rund um die Prävention von Hautkrebs. In der dritten Erhebungswelle (im Jahr 2017) wurden 3.000 Personen im Alter zwischen 14 und 45 Jahren ($M = 30,40$, $SD = 8,82$) nach dem Zufallsprinzip ausgewählt und im Rahmen computergestützter Telefoninterviews befragt (Response: 29,9%). Alle Teilnehmer gaben ihre mündliche Einwilligung zur Studienteilnahme. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg genehmigt (2007-269E-MA). Das Studiendesign wurde an anderer Stelle näher beschrieben (Schneider et al., 2017).

2.2 Instrumente

Um ABM zu messen, wurde die Subskala zur Allgemeinen Attraktivität der „Physical Appearance Reasons for Tanning Scale“ (PARTS; Cafri et al., 2006) verwendet. Diese Subskala umfasst fünf Items, die verschiedene Aspekte der Attraktivität widerspiegeln und von den Befragten auf einer 5-Punkte-Likert-Skala von (1) „trifft überhaupt nicht zu“ bis (5) „trifft voll und ganz zu“ bewertet werden. Für das NCAM wurden die Originalitems vom Englischen ins Deutsche übersetzt, in einem kognitiven Pretest ($n = 15$) überprüft und anschließend in der Formulierung angepasst. In unserer Stichprobe zeigte die Subskala eine gute Reliabilität ($\alpha = 0,92$). Um alle Aspekte der Attraktivität in bivariaten Analysen zu berücksichtigen, wurde eine neue Variable auf der Grundlage des Summen-Scores der Subskala gebildet (Terzil-Split; 0–10 Punkte [niedrige Zustimmung; 38,3%]; 11–16 Punkte [moderate Zustimmung; 38,3%], 17–25 Punkte [starke Zustimmung; 23,4%]).

Soziodemografische Variablen: Geschlecht (weiblich/männlich), Alter (14–17 Jahre, 18–25 Jahre, 26–35 Jahre, 36–45 Jahre), Migrationshintergrund (ja/nein), Bildungsniveau (gering/mittel/hoch), Erwerbstätigkeit (keine/ Teilzeit/ Vollzeit) und Partnerschaftsstatus (ja/nein) wurden berücksichtigt.

Selbstangaben zu *Hauttyp* wurden entsprechend der Einteilung von Fitzpatrick (1975) in Typ I und II vs. Typ III bis VI klassifiziert.

Individuelle UV-Exposition: Erfragt wurde die Nutzung von Solarien in den letzten 12 Monaten (ja/nein), das Sonnenbaden und die Häufigkeit von Sonnenbrand im vergangenen Sommer (beides: sehr oft, oft, manchmal, selten, nie).

UV-Risikowahrnehmung wurde anhand der Zustimmung zu folgenden vier Items erfasst: „Jeder Sonnenbrand hinterlässt in der Haut einen bleibenden Schaden“; „Hautkrebs kann stark auf das individuelle Bräunungsverhalten zurückge-

führt werden“; „Regelmäßige Solariennutzung lässt die Haut vorzeitig altern“ und „Regelmäßige Solariennutzung verursacht Hautkrebs“ (trifft eher zu vs. trifft eher nicht zu).

2.3 Statistische Analysen

Die Zusammenhänge zwischen ABM einerseits und den soziodemografischen Merkmalen, der UV-Risikowahrnehmung und dem UV-Expositionsverhalten andererseits wurden anhand der Chi2-Teststatistik ermittelt. Alle Analysen wurden mit IBM SPSS Statistics 24 (IBM Corp., Armonk, USA) mit einem vordefinierten Signifikanzniveau von $p < 0,05$ durchgeführt. Die Daten wurden nach Geschlecht, Alter, Bildungsniveau und Bundesland gewichtet, um die Repräsentativität auf nationaler Ebene zu gewährleisten.

3 Ergebnisse

Die Mehrheit der Studienteilnehmer stimmte dem Item „Ich bräune mich, weil ich dadurch besser aussehe“ zu (55,4%, $n = 1.659$). Die geringste Zustimmung zeigte sich für die Items „Gebräunt zu sein, erhöht meinen Sex-Appeal“ (44,7%, $n = 1.340$) und „Ich bräune mich, weil es mich selbstbewusster im Hinblick auf mein Äußeres macht“ (38,5%, $n = 1.155$).

Insgesamt stimmten mehr Teilnehmer zwischen 18 und 35 Jahren allen Items der Subskala zur Allgemeinen Attraktivität zu als jüngere oder ältere Befragte (Abbildung 1). Das Ergebnis war statistisch signifikant. Schaut man sich die Gruppe der 18- bis 35-Jährigen genauer an, sieht man, dass für Personen im Alter von 26 bis 35 Jahren ein aufgrund der Bräunung subjektiv verbessertes Aussehen (58,4% vs. 55,7% bei den 14- bis 17-Jährigen) und eine höhere Attraktivität (57,3% vs. 48,6% bei den 14- bis 17-Jährigen) eine sehr wichtige Rolle spielen. In der Gruppe der 18- bis 25-Jährigen war der Aspekt des Selbstvertrauens relevanter als für die jüngeren Befragten (42,6% vs. 38,4% bei den 14–17-Jährigen).

Im nächsten Schritt untersuchten wir den Zusammenhang zwischen ABM und weiteren zentralen soziodemografischen Merkmalen. Es ergab sich, dass ABM insbesondere für Studienteilnehmer mit Migrationshintergrund (31,6% vs. 21,5%, $p < 0,001$), Personen mit mittlerem oder niedrigem Bildungsniveau (27,7%, 22,7% vs. 19,8% für Personen mit hohem Bildungsniveau, $p < 0,001$) und Personen, die derzeit keinen festen Partner haben (26,1% vs. 21,9%, $p = 0,009$; Tabelle 1),

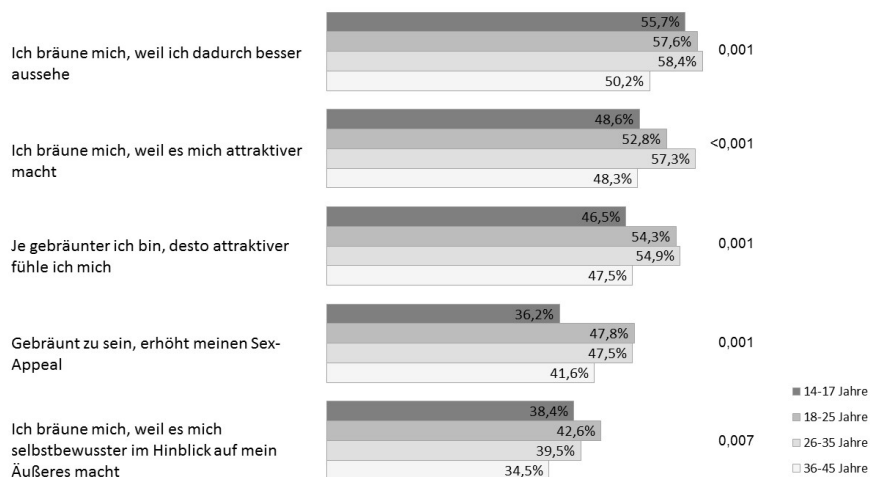


Abbildung 1: Items der Subskala zur Allgemeinen Attraktivität nach Alter. N = 3.000 Personen (14–45 Jahre), die an dem Nationalen Krebshilfe-Monitoring im Jahr 2017 teilgenommen haben; Attraktivitätsbezogene Motive des Bräunungsverhaltens wurden mit der „General Attractiveness“-Subskala der *Physical Appearance Reasons for Tanning Scale* (PARTS; Cafri et al., 2006) erfasst; Abhängige Variable: die Aussage „trifft voll und ganz zu“, „trifft eher zu“ oder „trifft teilweise zu“. Daten wurden nach Geschlecht, Alter, Bildung und Bundesland gewichtet.

eine wichtige Rolle spielen. Für das Geschlecht ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Teilnehmer mit hoher Zustimmung zu ABM waren sich der Risiken von UV-Strahlung weniger bewusst. Sie zeigten eine deutlich geringere Zustimmung zu allen Items, die die UV-Risikowahrnehmung betrafen (z. B. 71,6% vs. 82,4% Zustimmung zu dem Item „Hautkrebs kann stark auf das individuelle Bräunungsverhalten zurückgeführt werden“; Abbildung 2).

Befragte, für die ABM eine hohe Bedeutung hatten, bräunten sich im Sommer signifikant häufiger in der Sonne (28,5% vs. 5,0% bei Teilnehmern mit geringer Zustimmung; Abbildung 3a) und berichteten auch häufiger von einem Sonnenbrand (3,9% vs. 0,1% bei Teilnehmern mit geringer Zustimmung; Abbildung 3b). Hohe Zustimmung zu ABM hing ebenfalls signifikant mit der Nutzung von Solarien zusammen (18,1% vs. 5,1%; Abbildung 3c).

Tabelle 1: Zustimmung zu attraktivitätsbezogenen Motiven des Bräunungsverhaltens nach soziodemografischen Merkmalen

	Niedrig	Moderat	Hoch	p-Wert (Chi ²)
Gesamt	38,3%	38,3%	23,4%	
Geschlecht				0,555
Männlich	39,1%	38,2%	22,7%	
Weiblich	37,4%	38,4%	24,1%	
Altersgruppe				<0,001
14–17	41,8%	39,1%	19,1%	
18–25	35,0%	37,0%	27,9%	
26–35	35,2%	40,1%	24,7%	
36–45	43,2%	37,2%	19,6%	
Migrationshintergrund				<0,001
Nein	39,2%	39,3%	21,5%	
Ja	34,5%	33,9%	31,6%	
Bildungsniveau				<0,001
Niedrig	38,4%	38,9%	22,7%	
Mittel	38,1%	34,2%	27,7%	
Hoch	38,9%	41,3%	19,8%	
Fester Partner vorhanden				0,009
Nein	35,1%	38,8%	26,1%	
Ja	39,9%	38,1%	21,9%	

N = 3.000 Personen (14–45 Jahre), die an dem Nationalen Krebshilfe-Monitoring im Jahr 2017 teilgenommen haben; Attraktivitätsbezogene Motive des Bräunungsverhaltens wurden mit der „General Attractiveness“-Subskala der *Physical Appearance Reasons for Tanning Scale* (PARTS; Cafri et al., 2006) erfasst und basierend auf dem Summenscore der Originalitems kategorisiert. Daten wurden nach Geschlecht, Alter, Bildung und Bundesland gewichtet.

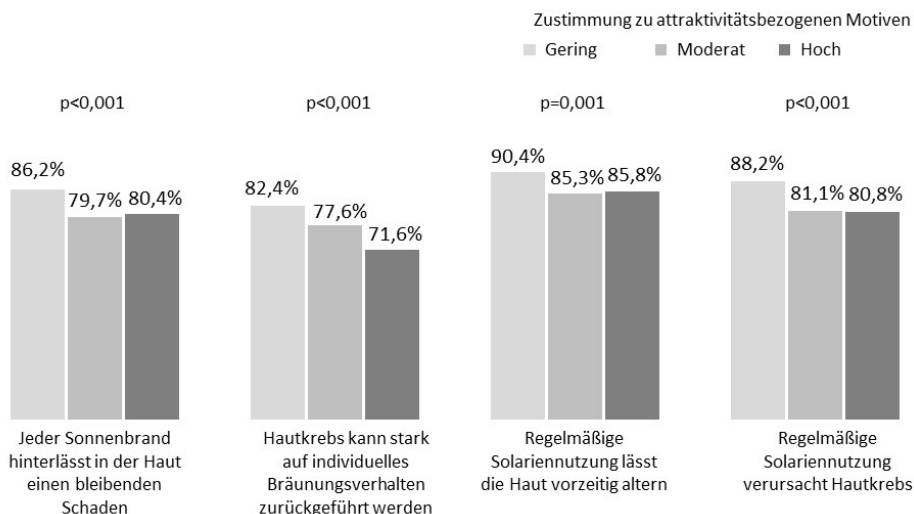


Abbildung 2: Risikowahrnehmung der UV-Strahlung nach Zustimmung zu attraktivitätsbezogenen Motiven. N = 3.000 Personen (14–45 Jahre), die an dem Nationalen Krebshilfe-Monitoring im Jahr 2017 teilgenommen haben; Attraktivitätsbezogene Motive des Bräunungsverhaltens wurden mit der „General Attractiveness“-Subskala der *Physical Appearance Reasons for Tanning Scale* (PARTS; Cafri et al., 2006) erfasst und basierend auf dem Summenscore der Originalitems kategorisiert. Daten wurden nach Geschlecht, Alter, Bildung und Bundesland gewichtet.

4 Diskussion

4.1 Interpretation der Ergebnisse

In unserer Studie haben wir untersucht, inwiefern die Attraktivität, die bislang nur in soziodemografisch homogenen und selektiven Stichproben als Motiv für Bräunungsverhalten untersucht wurde, auch in der Allgemeinbevölkerung ein Grund für das Bräunen in Solarien und der natürlichen Sonne ist. Dabei konnten wir eine Vielzahl an soziodemografischen Merkmalen berücksichtigen.

So zeigte sich in unserer Studie, dass alle untersuchten Aspekte der Attraktivität eher für Personen im Alter von 18 bis 35 Jahren von Bedeutung sind als für jüngere und ältere Studienteilnehmer. Dies scheint plausibel: Die meisten Menschen in diesem Alter treten in den Heiratsmarkt ein und achten auf der Suche nach einem potenziellen Partner besonders auf ihr eigenes Aussehen. Da gebräunte Haut in

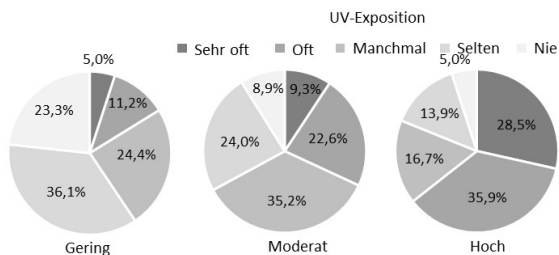
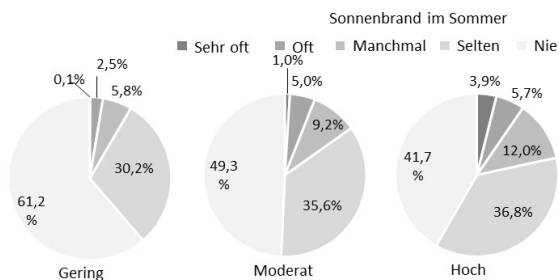
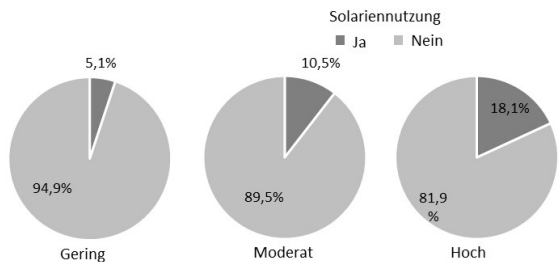
a) Häufigkeit der natürlichen UV-Exposition ($p < 0,001$)**b) Sonnenbrandhäufigkeit im Sommer ($p < 0,001$)****c) Solariennutzung in den vergangenen 12 Monaten ($p < 0,001$)**

Abbildung 3: UV-Exposition nach Zustimmung zu attraktivitätsbezogenen Motiven. N = 3.000 Personen (14–45 Jahre), die an dem Nationalen Krebshilfe-Monitoring im Jahr 2017 teilgenommen haben; Attraktivitätsbezogene Motive des Bräunungsverhaltens wurden mit der „General Attractiveness“-Subskala der *Physical Appearance Reasons for Tanning Scale* (PARTS; Cafri et al., 2006) erfasst und basierend auf dem Summenscore der Originalitems kategorisiert. Daten wurden nach Geschlecht, Alter, Bildung und Bundesland gewichtet.

der westlichen Industrienationen (Kalweit et al., 2015) oft als attraktiv und gesund angesehen wird, wird ein gebräuntes Aussehen von der Altersgruppe der 18–35-Jährigen stärker wertgeschätzt als in den anderen Altersgruppen. In unserer Studie zeigten Personen, die angaben, dass sie keinen festen Partner hatten, eine stärkere Zustimmung zu ABM, was diese These unterstützt.

Des Weiteren zeigte sich, dass sich Personen mit Migrationshintergrund eher mit dem Ziel der Attraktivitätssteigerung bräunen. Eine mögliche Erklärung hierfür kann die unterschiedliche Wahrnehmung eines „idealen“ Hauttons in diesen Bevölkerungsgruppen im Vergleich zur einheimischen Bevölkerung sein. In Deutschland kommt die größte Gruppe der Einwanderer aus den Mittelmeerländern (d. h. Personen, die oft einen dunkleren Hauttyp haben). Möglicherweise wird gebräunte Haut in diesen Bevölkerungsgruppen als attraktiver und deshalb als erstrebenswert angesehen. Ob diese Annahme begründet ist, sollte jedoch in weiteren Studien untersucht werden. Während frühere Untersuchungen aus Asien und Afrika zeigen, dass hier eher hellere Haut als erstrebenswert angesehen wird (Jang et al., 2013; Vera Cruz, 2018), ist über die Präferenzen des Hauttons bei Populationen aus Mittelmeerländern bislang wenig bekannt.

In unserer Studie zeigte sich unter den Studienteilnehmern mit mittlerem und niedrigem Bildungsniveau eine höhere Zustimmung zu ABM. Dieser Zusammenhang kann durch vorangegangene Studien erklärt werden, die ergaben, dass Personen mit niedrigerer Bildung empfänglicher für das Schönheitsideal der gebräunten Haut sind, das in den Medien vorrangig vermittelt wird (Dixon et al., 2011).

Während in anderen Studien ein positiver Zusammenhang zwischen ABM und dem weiblichen Geschlecht berichtet wurde (Benvenuto-Andrade et al., 2005; Boyle et al., 2010), fanden wir keinen signifikanten Unterschied nach Geschlecht der Befragten. Jedoch ist ein direkter Vergleich unserer Ergebnisse mit denen anderer Studien aus zwei Gründen eingeschränkt: (1) In vorangegangenen Studien wurden im Vergleich zu unserer großen, bundesweiten Stichprobe häufig nur sehr spezifische Studienpopulationen befragt, z. B. Studierende (Benvenuto-Andrade et al., 2005; Cafri et al., 2006); (2) andere größere, repräsentative Studien fokussierten sich hauptsächlich auf Einzelitem-Messungen (Boyle et al., 2010; Haluza et al., 2016), während wir eine umfassende Item-Batterie verwendeten, um eine bessere Messung des Gesamtkonstrukts zu erreichen.

Unsere Daten sind die ersten, die belegen, dass Personen mit einer hohen Zustimmung zu ABM weniger risikobewusst sind, was die möglichen Folgen von UV-Strahlung angeht, und eher von Sonnenbrand im Sommer berichten. Dies belegt vorerst die in der Einleitung dargelegte Annahme, dass Personen, die mehr auf ihre Attraktivität achten, eher riskantes Bräunungsverhalten zeigen – wahrscheinlich aufgrund mangelnden Wissens über die negativen Folgen von UVR für die Haut. In unserer repräsentativen Stichprobe fanden wir zudem positive Zusammenhänge zwischen ABM einerseits und Solariennutzung sowie Sonnenbaden im Sommer andererseits. Dies stützt bisherige Erkenntnisse (Kalweit et al., 2015).

Diese Ergebnisse stellen eine wichtige Basis für die Entwicklung von (Gesundheits-)Maßnahmen zur Prävention von Hautkrebs dar. So sind möglicherweise Interventionen, die sich ausschließlich auf die potenziellen Risiken von UVR konzentrieren (z. B. Hautkrebs, lichtbedingte Hautalterung), nicht ausreichend. Vielversprechender könnten Maßnahmen sein, die auf die Reduzierung der positiven Wahrnehmung gebräunter Haut fokussieren, z. B. dissonanzbasierte Interventionen oder massenmediale Kampagnen ähnlich der australischen Kampagne „Dark Side of Tanning“ (Perez et al., 2015). Solche Maßnahmen sollten vor allem in langfristigen (Public Health-) Kampagnen unter Einsatz verschiedener Medien (z. B. Fernsehen, soziale Medien, Werbebanner usw.) umgesetzt werden, um verschiedene Bevölkerungsgruppen zu erreichen, insbesondere solche mit niedrigem Bildungsniveau und Migrationshintergrund, die sich in unserer Studie als vulnerabel ergaben.

4.2 Limitationen

Bei der Interpretation der Ergebnisse sollen Limitationen dieser Studie nicht unberücksichtigt bleiben. Zum einen handelt es sich um eine Querschnittsstudie, was zur Folge hat, dass keinerlei Aussagen über die Kausalität der festgestellten Effekte getroffen werden können. Zum anderen basieren die Daten auf Selbstangaben der Studienteilnehmer, sodass Selektions- und Erinnerungsverzerrungen sowie ein Effekt der sozialen Erwünschtheit nicht ausgeschlossen werden können.

Darüber hinaus soll bei der Interpretation der Ergebnisse die eher geringe Responserate unserer Befragung (29,9%) berücksichtigt werden. Allerdings ist diese Responserate vergleichbar mit den Raten aus den früheren NCAM-Befragungswellen (32,1% im Jahr 2015 und 27,9% im Jahr 2016). Damit man dennoch Aussagen auf Bevölkerungsebene treffen kann, haben wir die Daten der 3.000 Teilnehmer

für Alter, Geschlecht, Bildungsstand und Bundesland gewichtet (basierend auf der Verteilung dieser soziodemographischen Merkmale im Mikrozensus).

4.3 Fazit

Angesichts der steigenden Inzidenz von Hautkrebs (Erdmann et al., 2013; Lomas et al., 2012), ist es wichtig, die Gründe für die individuelle UV-Exposition – den wichtigsten exogenen Risikofaktor für Hautkrebs (El Ghissassi et al., 2009) – zu verstehen. Unsere bundesweit repräsentative Studie liefert einen wichtigen Beitrag zu diesem Thema und zeigt, dass das Schönheitsideal der gebräunten Haut sowohl für individuelles UV-Expositionsverhalten als auch für die UV-Risikowahrnehmung eine zentrale Rolle spielt. Damit haben Personen, die sich mit dem Ziel der Attraktivitätssteigerung bräunen, ein erhöhtes Risiko, Hautkrebs zu entwickeln. Deshalb sollten zukünftige Präventionskampagnen nicht nur auf potenzielle Risiken der UV-Strahlung fokussieren, sondern auch einen Schwerpunkt auf die Reduzierung der positiven Bewertung gebräunter Haut und damit auf die Veränderung westlicher Schönheitsideale legen.

Literatur

- Battie C, Jitsukawa S, Bernerd F, Del Bino S, Marionnet C, Verschoore M. (2014). New insights in photoaging, UVA induced damage and skin types. *Exp Dermatol* 23 Suppl 1:7–12.
- Benvenuto-Andrade C, Zen B, Fonseca G, De Villa D, Cestari T. (2005). Sun exposure and sun protection habits among high-school adolescents in Porto Alegre, Brazil. *Photochem Photobiol* 81:630–635.
- Börner FU, Schütz H, Wiedemann P. (2009). A population-based survey on tanning bed use in Germany. *BMC Dermatol* 9:6.
- Boyle R, O'Hagan AH, Donnelly D, Donnelly C, Gordon S, McElwee G, Gavin A. (2010). Trends in reported sun bed use, sunburn, and sun care knowledge and attitudes in a U.K. region: results of a survey of the Northern Ireland population. *Br J Dermatol* 163:1269–1275.
- Bränström R, Ullen H, Brandberg Y. (2004). Attitudes, subjective norms and perception of behavioural control as predictors of sun-related behaviour in Swedish adults. *Prev Med* 39:992–999.
- Cafri G, Thompson JK, Roehrig M, van den Berg P, Jacobson PB, Stark S. (2006). An investigation of appearance motives for tanning: The development and evaluation

- of the Physical Appearance Reasons For Tanning Scale (PARTS) and its relation to sunbathing and indoor tanning intentions. *Elsevier Ltd.* **3**:199–209.
- Dixon HG, Warne CD, Scully ML, Wakefield MA, Dobbinson SJ. (2011). Does the portrayal of tanning in Australian women's magazines relate to real women's tanning beliefs and behavior? *Health Educ Behav* **38**:132–142.
- El Ghissassi F, Baan R, Straif K, Grosse Y, Secretan B, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, Guha N, Freeman C, Galichet L, Coglianò V. (2009). A review of human carcinogens–part D: radiation. *Lancet Oncol* **10**:751–752.
- Erdmann F, Lortet-Tieulent J, Schuz J, Zeeb H, Greinert R, Breitbart EW, Bray F. (2013). International trends in the incidence of malignant melanoma 1953–2008–are recent generations at higher or lower risk? *Int J Cancer* **132**:385–400.
- Fitzpatrick T. (1975). Soleil et peau. *J Med Esthet* **2**:33–34.
- Haluzá D, Simić S, Höltge J, Cervinka R, Moshhammer H. (2016). Gender aspects of recreational sun-protective behavior: results of a representative, population-based survey among Austrian residents. *Photodermatol Photoimmunol Photomed* **32**:11–21.
- Ingledeu DK, Ferguson E, Markland D. (2010). Motives and sun-related behaviour. *J Health Psychol* **15**:8–20.
- Jackson KM, Aiken LS. (2000). A psychosocial model of sun protection and sunbathing in young women: the impact of health beliefs, attitudes, norms, and self-efficacy for sun protection. *Health Psychol* **19**:469–478.
- Jang H, Koo FK, Ke L, Clemson L, Cant R, Fraser DR, Seibel MJ, Tseng M, Mpofu E, Mason RS, Brock K. (2013). Culture and sun exposure in immigrant East Asian women living in Australia. *Women Health* **53**:504–518.
- Kalweit C, Bengel J. (2015). Körperleben, Körperbild und UV-Exposition – Übersichtsarbeit über den Forschungsstand und Implikationen für Präventionsmaßnahmen. *Z Gesundheitspsychol* **23**:1–19.
- Lomas A, Leonardi-Bee J, Bath-Hextall F. (2012). A systematic review of worldwide incidence of nonmelanoma skin cancer. *Br J Dermatol* **166**:1069–1080.
- Perez D, Kite J, Dunlop SM, Cust AE, Goumas C, Cotter T, Walsberger SC, Dessaix A, Bauman A. (2015). Exposure to the 'Dark Side of Tanning' skin cancer prevention mass media campaign and its association with tanning attitudes in New South Wales, Australia. *Health Educ Res* **30**:336–346.
- Schneider S, Diehl K, Bock C, Schluter M, Breitbart EW, Volkmer B, Greinert R. (2013). Sunbed use, user characteristics, and motivations for tanning: results from the German population-based SUN-Study 2012. *JAMA Dermatol* **149**:43–49.

Schneider S, Görig T, Schilling L, Breitbart EW, Greinert R, Diehl K. (2017). German "National Cancer Aid Monitoring" 2015–2019 - study protocol and initial results. *J Dtsch Dermatol Ges* **15**:895-903.

Vera Cruz G. (2018). The impact of face skin tone on perceived facial attractiveness: A study realized with an innovative methodology. *J Soc Psychol* **158**:580–590.

Über die Autoren

Dr. Tatiana Görig studierte Linguistik und Soziologie an den Universitäten Bischkek (Kirgisistan) und Heidelberg. Im Jahr 2015 wurde sie an der Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Universität Heidelberg promoviert. Seit 2011 forscht sie am Mannheimer Institut für Public Health, Sozial und Präventivmedizin. Ihre Forschungsschwerpunkte umfassen UV-bezogenes Risikoverhalten, Teilhabeorientierung in der Versorgung von chronisch kranken Kindern und Prävention im hausärztlichen Setting.

PD Dr. Katharina Diehl studierte Sozialwissenschaften und Betriebswirtschaftslehre an den Universitäten Mannheim und Jyväskylä (Finnland). Sie wurde im Fachbereich Soziologie an der Universität Trier promoviert (2013) und habilitierte sich im Fach Public Health an der Universität Heidelberg (2018). Seit 2009 arbeitet sie am Mannheimer Institut für Public Health, Sozial- und Präventivmedizin der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg. Dort leitet sie den Querschnittsbereich „Jugend und Gesundheit“. Ihre Forschungsschwerpunkte liegen auf dem gesundheitsrelevanten Risikoverhalten von Kindern und Jugendlichen, dem Übergang von der Schule auf die Hochschule, gesundheitlicher Ungleichheit sowie UV-bezogenem Risikoverhalten.

Prof. Dr. Sven Schneider studierte Soziologie, Psychologie und Erziehungswissenschaften an der Universität Heidelberg, wo er im Jahr 2001 auch promovierte. Seine interdisziplinäre Herangehensweise an Themen im Spannungsfeld zwischen Soziologie und Gesundheit spiegelt sich auch in seiner anschließenden Habilitation an der Medizinischen Fakultät Heidelberg im Jahr 2007 wider. Nach Führungspositionen in der Forschung an der Universitätsklinik Heidelberg und dem Deutschen Krebsforschungszentrum arbeitet er seitdem am Mannheimer Institut für Public Health, Sozial- und Präventivmedizin der Universität Heidelberg, wo er die Abteilung für Kindergesundheit leitet. Sein Interesse gilt den sozialen und psychischen Bedingungen gesundheitsrelevanten Verhaltens. Zudem ist er Vorstandmitglied der 'Deutschen Gesellschaft für Sozialmedizin und Prävention (DGSMP)'.

Korrespondenz:

Dr. Tatiana Görig

Mannheimer Institut für Public Health, Sozial- und Präventivmedizin

Medizinische Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg

Ludolf-Krehl-Straße 7–11

68167 Mannheim

E-Mail: tatiana.goerig@medma.uni-heidelberg.de

Wie schön darf Gorgo sein? Die widersprüchliche Ästhetik der griechischen Kunst und Lebenskultur

TONIO HÖLSCHER

Institut für Klassische Archäologie, Universität Heidelberg

Zusammenfassung

Der Beitrag¹ geht dem Paradox nach, dass Hässlichkeit, Schrecken und Grauen in den Bildenden Künsten, bis in die modernen Medien hinein, in Formen dargestellt werden, die künstlerisch ‚vollendet‘ sind und insofern als ‚schön‘ empfunden und genossen werden (können). In der griechischen Kultur und Kunst ist körperliche Schönheit das höchste Leitbild des sozialen Lebens – dem gegenüber verkörpert die grässliche Fratze der mythischen Gorgo die extremen Schrecken des Todes. Wenn in ihrem Bild Grauen, Gewalt und Tod in perfekten Formen zu visueller Wirkung gebracht werden, so muss scharf zwischen ästhetischer Vollendung und thematischem Horror unterschieden werden. Den Horror zum ästhetischen Genuss zu machen, beruht auf einer modernen Verabsolutierung der künstlerischen Form, für die es in vormodernen Kulturen keine Legitimation gibt.

¹ Der Beitrag ist die überarbeitete Fassung eines Vortrags zum 10-jährigen Bestehen des Freundeskreises des Instituts für Klassische Archäologie FORUM ANTIKE im Juni 2017.

1 Widersprüche zwischen Lebenswelt und Bildpraxis?

In den frühen 1970er Jahren wies ein befreundeter junger Kunsthistoriker mich auf einen neuen Film hin: Es sei der schönste Film, den er kenne. Ich sah ihn – und konnte danach zwei Nächte lang nicht schlafen. „Clockwork Orange“ von Stanley Kubrick handelte von einer Gang von Jugendlichen, die sich in lustvollen Gewalt-Orgien ergehen, ihre Opfer in brutalster Weise zu Krüppeln treten, deren Anführer in aller Ruhe eine Frau mit der Schere entkleidet und vergewaltigt – und schlägt dann um, indem die früheren Opfer des Protagonisten sich mit psychisch unterstützter Gewalt an ihm rächen und ihn bis zum Versuch des Selbstmords treiben. Dies alles unterlegt mit rauschender Musik, von *Singin' in the Rain* bis zu Beethovens 9. Symphonie, und in Bildern von einer unerhört gestochenen eindringenden Klarheit. Als ich dem Freund berichtete, wie der Film auf mich gewirkt hatte, war er im höchsten Maß überrascht: Dies seien doch Bilder von einzigartiger, hinreißender Schönheit!

Dem konnte man gar nicht widersprechen, aber ich selbst war außerstande, diese Ästhetisierung der Gewalt nachzuvollziehen. Nicht nur beim Ansehen, sondern noch in der Erinnerung bereiteten die Bilder mir eine Art von physischem Phantomschmerz. Darin liegt eine tiefe Frage: Wie sollen wir mit dem Schrecken umgehen, wenn er sich in ästhetisch überwältigender Form präsentiert? Und die Frage betrifft nicht nur die Kunst, sondern ebenso die Wirklichkeit des Lebens: Der Ausbruch eines Vulkans, der Tausende von Menschen das Leben kostet, kann ein großartiges Naturschauspiel sein. Dabei ist hier der Widerspruch zwischen der Ästhetik des Anblicks und dem Grauen der Wirklichkeit noch irgendwie hinzunehmen, weil die Kräfte der Natur unschuldig sind und ihre Schönheit nicht gegen ihre katastrophalen Wirkungen zu verantworten haben. Wie aber, wenn Menschen die von ihnen selbst geschaffene grauenvolle Wirklichkeit ästhetisch überhöhen und damit das Grauen verleugnen? Max Frisch hat in seinen Tagebüchern mit Schrecken darüber nachgedacht, wie er vom Flugzeug aus die Landschaft unter ihm, mit ihren Wiesen und Städtchen, Fabriken, Bahnhöfchen und Dampferchen, als spielzeugartige ästhetische Welt wahrnimmt – und wie es ihn juckt, darüber Bomben abzuwerfen und weiße Explosionswölkchen aufplatzen zu sehen, ohne etwas von der Wirklichkeit der Zerstörung, vom Blut und Röcheln lebender Menschen wahrzunehmen. Es ist der Schrecken darüber, dass eine Wirklichkeit der Zerstörung eine Ästhetik wie ein Film entwickelt. Aber ist der Film tatsächlich nur ein Film? Wenn der wirkliche Bombenteppich in keinem Fall durch seine

ästhetische Wirkung zu einem Genuss werden darf – kann dann im Film die brillante Inszenierung die dargestellte Wirklichkeit zu einem Erlebnis von Schönheit machen?

Letzten Endes geht es um die Dichotomie zwischen visueller Wahrnehmung und physischer Empathie, in der Lebenswelt wie in den Werken der Bildkunst. Um diese Fragen möglichst klar zu stellen und eigene Antworten und Positionen möglichst transparent zu begründen, ist es sinnvoll, sie zunächst nicht im Rahmen der eigenen Kultur anzusteuern, der immer schon ein Feld eigener kultureller Vorgaben markiert, sondern ein fremdes kulturelles Umfeld zu wählen, das den Rahmen des Denkbaren erweitert. Die Kultur und Bildkunst des antiken Griechenland ist dafür ein besonders ergiebiges Feld, weil hier die Vorstellungen von Schönheit und die Gegenkonzepte des Hässlichen in sehr grundsätzlicher Weise durchgespielt und weit über die Bildkunst hinaus zu Kategorien umfassender kultureller Konzepte ausgebildet worden sind:

2 Die Gorgo als Inbegriff des Hässlichen

Im Mythos der Griechen waren die Gorgonen die Verkörperungen des äußersten Grauens (Abb. 1). Sie waren drei Schwestern, zwei von ihnen unsterblich, die dritte, Medusa genannt, sterblich. Nach Hesiod lebten sie „jenseits des Okeanos, am Rand der Nacht“, also am Ende der Welt, nahe dem Reich des Todes, wo man sich grässliche Monster von bedrohlicher Wildheit vorstellte. Ihr Name bedeutet „furchtbar blickend“ und darum zugleich „furchtbar anzublicken“: Für die antiken Griechen hatte das Auge eine aktive Kraft. Der schreckliche Blick und Anblick der Gorgonen ließ die davon Getroffenen versteinern. Der Held Perseus, der ausgesandt wurde, die sterbliche Medusa zu töten, musste ihr das Haupt mit abgewendetem Blick abschneiden und es in einer Tasche verstauen, weil seine schreckliche Wirksamkeit nicht aufhörte. Schließlich übergab er es seiner Schutzgöttin Athena, die seither das Gesicht der Gorgo Medusa als drohendes „Gorgoneion“ auf ihrem geschuppten Brustschutz, der Aegís, trug.

Die Bilder der Gorgo sind das Äußerste an erschreckender Hässlichkeit, das die griechische Kunst hervorgebracht hat. Ihr riesenhaftes Haupt ist frontal auf den Betrachter gerichtet und starrt ihn mit weit aufgerissenen Augen an (Abb. 2–4). Die Nase ist knollig verbreitert, der Mund weit geöffnet und extrem nach außen gezogen, so dass die Wangen sich stark aufwölben. Zwei lange Reihen von ge-

bleckten Zähnen werden bedrohlich sichtbar, mit je zwei spitzen Hauern, nach oben und unten gerichtet, in den Mundwinkeln. Dazwischen die widerlich herausgestreckte Zunge. Alle Züge sind zu einer grimassenhaften Maske verzerrt und erstarrt, als wäre es die monströse Erstarrung des Monsters, die die Versteinerung des Gegenüber bewirkt. Im Gegensatz dazu wird das ganze Haupt oft von einem Kranz bedrohlich züngelnder Schlangen umgeben. So hat Friedrich Schiller in der Ballade „Die Kraniche des Ibykus“ die Erinyen beschrieben:

Und wo die Haare lieblich flattern,
Um Menschenstirnen freundlich wehn,
Da sieht man Schlangen hier und Nattern
Die giftgeschwollenen Bäuche blähn.



Abbildung 1: Perseus tötet die Gorgo, Athena. Elfenbeinrelief aus Samos. Athen, National-Museum, Inv. E1. 650–600 v. Chr. Nach: K. Lapatin, *Luxus, The Sumptuous Art of Greece and Rome* (2015) fig. 148.



Abbildung 2: Gorgoneion auf Wassergefäß (Hydria). London, British Museum, Inv. E 180. Um 500 v. Chr. Nach: C. Bérard u.a., *Die Bilderwelt der Griechen* (1984) Abb. 219.

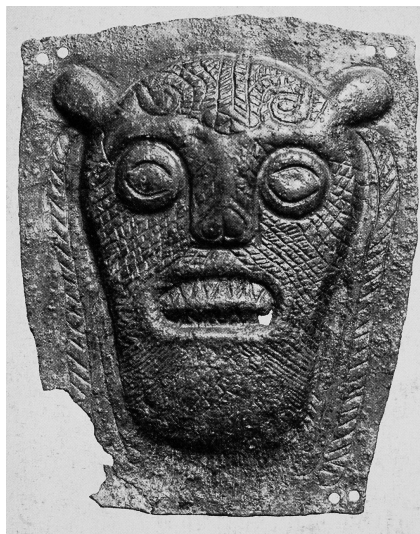


Abbildung 3: Gorgoneion. Bronze-Platte aus Boiotien. Paris, Musée du Louvre, Inv. Br 96. Anfang 7. Jh. v. Chr. Nach: *Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae* IV,2 (1988) Taf. 163.

Der Schrecken erregende Charakter solcher Bilder wird besonders deutlich in dem Gegensatz zu den Standbildern der schönen Mädchen, die zu dieser Zeit in die großen Heiligtümer geweiht wurden (Abb. 13): dort das zarte Lächeln zurückhaltender Anmut, hier die Schamlosigkeit der gebleckten Zähne und der heausgestreckten Zunge; dort die liebebreizend strahlenden Blicke, hier die aggressiv starrenden Augen, dort die lebendig schwellenden Gesichtszüge, hier die verzerrte Maske. Die Gorgo, so hat der große französische Kulturhistoriker Jean-Pierre Vernant gezeigt, ist in jeder Weise das Gegenbild zum griechischen Konzept des Menschen, der Menschlichkeit und des menschlichen Lebens. Sie strahlt den Tod aus den Augen: Versteinering ist die extreme Auslöschung des Lebens.



Abbildung 4: Gorgoneion. Terrakotta-Ständer. New York, Metropolitan Museum of Art, Inv. 31.11.4. Um 575–550 v. Chr. Nach: D. von Bothmer, *The Amasis Painter and his world* (1985) fig. 93.

In diesem Sinn wird das Gorgonenhaupt dann zum Symbol aller Abschreckung, nicht nur auf der Aegis der kriegerischen Göttin Athena. Tempel und andere Gebäude, wie auch alle möglichen Gegenstände der höheren Lebenskultur werden durch die ganze griechische und römische Antike mit dem Gorgoneion gegen Schändung durch Frevler und Zerstörung durch Feinde geschützt. Ein frühes Gorgoneion aus Bronze aus einem Heiligtum in Boiotien (Mittelgriechenland)

muss wohl an einem religiösen Bau angebracht gewesen sein (Abb. 3). Die frühen großen Tempel in Sizilien waren im Giebel mit großen Gorgonen aus farbiger Terrakotta geschmückt. Und noch späte Sarkophage der römischen Kaiserzeit aus Kleinasien werden von Köpfen der Gorgo geschützt.

Was allerdings für heutige Augen irritierend sein kann: Die meisten Bilder der Gorgo sind künstlerisch von außerordentlicher Schönheit. Nur das frühe Gorgonenhaupt aus Bronze ist von abstoßender Hässlichkeit. Doch das Gorgoneion auf einem rituellen Wassergefäß ist von einer prachtvollen Bordüre von Schlangen eingefasst (Abb. 2). Bei dem Gorgoneion auf einem Terrakotta-Ständer sind die Formen von Zähnen und Zunge, Nase, Augen und Brauen, Ohren und Locken zu einem perfekten Ornament stilisiert; sie trägt Ohrschmuck, die Stirn ist mit aufgemalten Spiralen verziert (Abb. 4).

Eine dahineilende Gorgo trägt nicht nur ein bildschönes Diadem aus Schlangen und besitzt nicht nur prächtige Perlhaare wie die archaischen Mädchen-Statuen, sondern auch ein schön gemustertes und gefälteltes Gewand und vor allem hinreißend schöne Flügel, die ihren Kopf perfekt rahmen (Abb. 5). Darin gleicht sie grundsätzlich Bildern der Siegesgöttin Nike, die den strahlenden Glanz des Sieges im Krieg, in den athletischen und musischen Wettkämpfen verkörperte.

Diese Ambivalenz zwischen erschreckender Hässlichkeit und künstlerischer Schönheit ist nicht auf die Gorgonen beschränkt. Sie findet sich ähnlich bei vielen monströsen Wesen der griechischen Vorstellungswelt. Prachtvolle Bronzekessel derselben Zeit wurden vielfach mit Köpfen von Greifen geschmückt, die sich mit weit aufgerissenen scharfen Schnäbeln von der Schulter des Gefäßes ringsum nach außen wendeten (Abb. 6). Die Kessel wurden als lebendige Körper angesehen, die wie die Gorgonen mit aggressiven Schutzwesen versehen wurden. Aber auch die Greifen sind zum Teil von einzigartig perfekter Schönheit: Das Zusammenspiel der kantigen Kurven von Schnabel, Zunge und Orbitalen, bekrönt von dem senkrechten Stirnknauf und den parallelen Ohren, ist von einer kompositionellen Spannung ohnegleichen. Wieder also ein hoch bedrohliches Wesen, dem man nicht vor den spitzen Schnabel kommen sollte, und das man gleichwohl gar nicht lange genug mit Bewunderung aus der Nähe betrachten möchte.

Dasselbe gilt aber auch für szenische Darstellungen von Gewalt. Auf einem Salbgefäß gliedert sich ein vielfiguriges Schlachtbild zu einem fast ornamentalen Geflecht von Einzelkämpfen (Abb. 7). Dabei geht es im Einzelnen durchaus recht gewaltsam zu; doch die vielfältigen Akte des Verwundens und Tötens werden



Abbildung 5: Gorgo, vor Perseus davoneilend. Amphora München, Staatliche Antikensammlungen, Inv. 2312. Um 490 v. Chr. Nach: V. Brinkmann, *Die Launen des Olymp* (Petersberg 2008) 33 Abb. 15.

nahezu neutralisiert vom schönen Gewebe der gesamten Komposition. Ähnliche Widersprüche kann man in Einzelbildern von Kämpfen sehen. Im Bildfeld einer Amphora greifen zwei schwer bewaffnete Krieger einander höchst bedrohlich mit ihren Lanzen an (Abb. 8); doch in ihrer Haltung und Bewegung, mit reich geschmückten Rüstungen und Gewändern, präsentieren sie sich in einer perfekten Symmetrie, die noch unterstrichen wird von den schönen Frauen, die in symbolischer Teilnahme das soziale Umfeld der aristokratischen Kämpfer repräsentieren.

Wie sollten die Betrachter auf solche Bilder reagieren? Wieder steht man vor der Frage von „Clockwork Orange“: Sollte der Schrecken der Bildthemen durch die Schönheit der Darstellung gemildert werden? Aber welchen Sinn hätte dann das Bild der Gorgo noch als Wesen des Schutzes und der Abschreckung? Eher scheint es, dass die Wirkung des Schreckens von der Schönheit der Darstellung unberührt bleibt. Aber wie ist das zu verstehen?

Die bisherigen Überlegungen weisen zunächst auf ein fundamentales Phänomen der griechischen Kultur: die hohe Bedeutung des Sehens und der visuellen Erschei-



Abbildung 6: Greif von Bronze-Kessel. Vathy (Samos), Museum, Inv. B 1156. Um 600 v. Chr. Nach: A. Delivorrias (Hg.), *Greece and the Sea* (1987) S. 173.

nung der Welt. Leben und Tod wird im Sehen (und bei Perseus: im Nicht-Sehen) von Schönheit und Hässlichkeit verhandelt. Die visuelle Gestalt der Wesen und Dinge hat eine existentielle Bedeutung. Und dabei ergibt sich immer wieder ein potentieller Widerspruch zwischen der Ästhetik der dargestellten *Themen* und der darstellerischen *Formen*.

Wenn man sich auf diesen Widerspruch einlassen will, so wird man zunächst die beiden Aspekte der Bildkunst für sich getrennt betrachten. In diesem Sinn geht es im Folgenden zunächst um die Bedeutung von Schönheit (und Hässlichkeit) in den *Gestalten und Vorgängen* der Lebenswelt, einschließlich der vorgestellten Über-Welt der Götter und mythischen Wesen. Dabei erweist Schönheit sich als eine grundlegende *soziale* Qualität und Tugend. Danach geht es um die Ästhetik der künstlerischen *Formen*: Hier ist Schönheit ein *kommunikativer* Wert in der



Abbildung 7: Schlacht von Hopliten-Kriegern. Athenisches Salbgefäß. Paris, Musée du Louvre, Inv. CA 616. Um 575–550 v. Chr. Nach: E. Simon / M. Hirmer, *Die griechischen Vasen* (1976) Taf. 58.



Abbildung 8: Einzelkampf von Hopliten-Kriegern. Athenische Amphora. München, Staatliche Antikensammlungen, Inv. 1419. Um 550–525 v. Chr. Nach: S. Muth, *Gewalt im Bild* (2008) Abb. 98.

Wechselwirkung zwischen dem Bild und dem Betrachter. Auf dieser Grundlage kann erst die Frage gestellt werden, in welchem Verhältnis die Ästhetik der Lebenswelt zu der Ästhetik der Kunst bei den Griechen steht – um schließlich noch einmal in die Gegenwart zurückzukehren, von der wir ausgegangen sind.

3 Schönheit als soziale Qualität

Wenn die Gorgo in ihrer Hässlichkeit bei den Griechen zum Inbegriff des Todes werden konnte, so ist dies die Gegenseite des Phänomens, dass für die Griechen das Leben essentiell in Formen von Schönheit begründet ist. Schönheit war im antiken Griechenland weit mehr als ein Phänomen der Kunst. Johann Joachim Winckelmann hatte die Schönheit der griechischen Standbilder mit der sozialen Realität verbunden: mit der Praxis der Athletik, in der die Körper der Griechen zu Kraft und Schönheit ausgebildet wurden. In diesem Körperideal hatte er eine Grundlage der sozialen und politischen Freiheit der Griechen gesehen. Ein Jahrhundert später hat dagegen der Schweizer Kulturhistoriker Jacob Burckhardt die Schönheit der griechischen Bildwerke als ein ideales Reservat der Kunst gefeiert: Die Künstler hätten sich in diesen idealen Bereich der Schönheit zurückgezogen und seien dadurch den konfliktvollen Verhältnissen der politischen und sozialen Wirklichkeit entgangen, die von Krieg und Streit, Konkurrenz und Neid geprägt waren. Erstaunlicherweise also hatte der Idealist Winckelmann die Kunst weit stärker im geschichtlichen Leben verwurzelt gesehen. Wenngleich man ihm heute in vielen seiner Grundauffassungen nicht mehr folgen wird, so sollte man ihn doch als Herausforderung annehmen. Heute können wir Schönheit in noch weit umfassenderer Weise als eine zentrale kulturelle Kategorie der Griechen verstehen: Schönheit war eine soziale Qualität und ein Prinzip der sozialen und politischen Ordnung. Man kann sich dabei fragen, wie weit das tatsächlich gelungen ist, und wie weit es zum allgemeinen Glück beigetragen hat – doch das steht auf einem anderen Blatt.

In der sozialen Praxis der Griechen war Schönheit ein hoher Wert. Eine schöne Gestalt war ein Ausweis von hohen ethischen und ästhetischen Qualitäten. *Kalos kai agathos*, schön und leistungsstark, gingen nach allgemeinem Urteil weitgehend zusammen.

Das ist heute vielfach, jedenfalls als allgemeines gesellschaftliches Ideal, schwer nachvollziehbar. In aufgeklärten Gesellschaften gilt körperliche Schönheit zumeist

als irrelevant gegenüber sozialen, ethischen und intellektuellen Qualitäten. Der „Beau“ ist schon lange eine Negativ-Figur, Schönheits-Wettbewerbe stoßen heute zunehmend auf Kritik als ein von Modefirmen und Beauty-Industrie gesteuertes Diktat. ‚Gute‘ körperliche Erscheinung und schickes Outfit, als Voraussetzung für beruflichen Erfolg, werden zwar in konservativen Bereichen der Gesellschaft, im Marketing und Management, noch hoch geschätzt, doch von Arbeitern bis zu Intellektuellen erregen sie eher den Verdacht traditioneller bürgerlicher Vorurteile. In der ‚fortschrittlichsten‘ Gesellschaft der Welt, in Californien, ist Vernachlässigung der äußeren Erscheinung geradezu ein Zwang.

Dass dies im antiken Griechenland vielfach anders war, kann man in allen Bereichen des Lebens feststellen. Man kann das positiv oder auch negativ beurteilen, man kann auch darauf verweisen, dass der Vorrang von Schönheit nicht allgemein anerkannt, sondern vor allem in den sozialen Eliten in Geltung war – man kann aber darüber hinaus auch fragen, warum das so war.

Um die hohe Bedeutung einer ‚schönen‘ Erscheinung bei den Griechen zu verstehen, muss man von einigen Grundvoraussetzungen der griechischen Lebensordnung ausgehen, in der der menschliche Körper ein zentraler Faktor war. Seit der Wiederbegründung der griechischen Hochkultur im frühen 1. Jahrtausend v. Chr. bestand die griechische Welt aus einer Vielzahl von unabhängigen Stadtstaaten, meist mit wenigen Tausend Bürgern, die von wechselnden Amtsträgern geleitet wurden. Es gab soziale Schichtungen von Reichtum und Ansehen, aber keine starken Strukturen der Macht, weder dauerhafte politische Herrschaften noch mächtige Priesterschaften. Alle wichtigen Angelegenheiten wurden von den Mitgliedern der Gemeinschaft im ‚direkten Miteinander‘ ausgehandelt. Die Entscheidungen der Politik wurden nicht in gewählten Parlamenten, sondern in der Volksversammlung von den anwesenden Mitgliedern der Gemeinschaft entschieden. Die Kulte für die Götter wurden in gemeinschaftlicher Präsenz der Bürger vollzogen. Die sozialen Verbindungen wurden beim Symposion im Zusammensein der Trinkgenossen geknüpft. Der Krieg wurde im Wesentlichen als mutiger körperlicher Einsatz individueller Krieger aufgefasst; schon der Schuss aus der Ferne mit Pfeil und Bogen galt als minderwertig. Die Konkurrenz der Athleten wurde nicht mit gemessenen Rekorden, sondern im unmittelbaren Kampf gegeneinander ausgetragen. Bei der Jagd gab Platon den Vorzug nicht dem Einfangen der Beute mit Netzen und Fallen, sondern dem unmittelbaren Kampf gegen den tierischen Gegner mit Lanze und Speer den Vorzug. Areté, männliche Trefflichkeit, bestand

im unmittelbaren Einsatz des Körpers. Man kann die griechische Lebenskultur eine Kultur der unmittelbaren Präsenz und des unmittelbaren Handelns nennen

Unter diesen Voraussetzungen gewann die unmittelbare Wirkung der Person in den sozialen Situationen der Volksversammlung, der religiösen Feste, der athletischen Wettkämpfe, der privaten Symposien eine ungemein starke Bedeutung: zum einen die Kraft der überzeugenden Rede, zum anderen die Wirkung des Auftretens, der äußeren Erscheinung. Schönheit war eine soziale Qualität.

Im griechischen Mythos beginnt das mit Achill. Seine überwältigende Erscheinung wird zuerst von Priamos wahrgenommen, der ihn vor dem Kampf mit Hektor heranbrausen sieht (Ilias 22, 26–32):

Wie er, hell wie ein Stern, daher durch die Ebene stürmte,
Welcher zur Herbstzeit kommt: Die weithin sichtbaren Strahlen
Leuchten unter den vielen Sternen im nächtlichen Dunkel, . . .
Also strahlte das Erz um die Brust ihm, wie er dahinlief.

Und dann (22, 134–135):

. . . Ringsum strahlte das Erz von dem Glanze
Sei es des lodernden Feuers oder der Sonne beim Aufgang.

(Übersetzung Roland Hampe)

Die strahlende Schönheit Achills wird hier in Metaphern des Lichts zum Ausdruck gebracht, und sie hat zwei bezeichnende Eigenschaften: Sie ist von stechendem Glanz und furchterregend aggressiv. Achills Schönheit ist eine aktive Kraft, die seinen Feinden den Tod bringt.

Die Kraft der Schönheit hat viele Aspekte. Die Dichterin Sappho schildert die Wirkung eines schönen jungen Mannes auf ein Mädchen:

Seh ich Dich nur kurz an, will kein Laut
Mir mehr heraus,
Die Zunge ist festgefroren, feines Feuer
Lief gleich mir unter der Haut dahin. (. . .)
Schweiß fließt an mir herab, ein Zittern
Erfasst mich ganz, fahler als Gras
Bin ich. Fast wie gestorben – so komme ich mir vor.

(Übersetzung Wolfgang Schadewaldt, mit Änderungen)

Entsprechend wird die betörende Wirkung schöner Knaben auf ihre Liebhaber von Platon und anderen beschrieben.

Dies alles hatte weite soziale und politische Auswirkungen. Über den athensischen Staatsmann Alkibiades, einen Neffen des Perikles, sagt noch Plutarch: „Von seiner körperlichen Schönheit brauche ich wohl nicht mehr zu sagen, als dass ihr Reiz ihn auf jeder Altersstufe mit seiner Blüte begleitete und als Knaben, Jüngling und Mann gleich liebenswert und wohlgefällig machte“. Und die schöne Erscheinung wird auf „edle Veranlagung und Vollkommenheit des Körpers“ zurückgeführt (Übersetzung Konrat Ziegler). Mit eben dieser glanzvollen Erscheinung, zusammen mit seiner bezwingenden Rhetorik, hat Alkibiades im



Abbildung 9: Alexander der Große. Abguss Institut für Klassische Archäologie der Universität Heidelberg nach Marmorkopf München, Staatliche Antikensammlungen (Leihgabe Schwarzenberg). Photo H. Vögele.

Peloponnesischen Krieg die Athener zu den waghalsigsten, verhängnisvollen militärischen Unternehmungen verführt.

Andere haben ihr visuelles Auftreten noch spektakulärer eingesetzt. Nach Herodot sind die Perser darüber erstaunt, dass die Spartaner sich sorgfältig ihr langes Haar kämmen, bevor sie in den Kampf gehen (Herodot 7, 208 f.). Als im 4. Jahrhundert v. Chr. der Thebanische Feldherr Epaminondas daran war, Sparta zu erobern, stürmte im letzten Augenblick ein gewisser Isidas aus seinem Haus, völlig nackt, den Körper wie ein Athlet eingeeölt, und streckte die Gegner reihenweise nieder: Er sei, so sagte man, den Gegnern wie ein höheres und mächtigeres Wesen erschienen (Plutarch, Agesilaos 34).

Größte historische Wirkung entfaltete dann Alexander der Große mit seiner äußeren Erscheinung (Abb. 9): Im Gegensatz zu dem traditionellen Menschenbild, vor allem zu allen früheren Staatsmännern Griechenlands, trat er nicht mit dem kurz geschnittenen Haar und Bart des reifen Mannes auf, sondern in jugendlicher Bartlosigkeit, mit hoch über der Stirn aufspringenden und lang in den Nacken fallenden Locken, so wie man sich die Helden des Mythos und die jungen Götter vorstellte. Mit dieser Erscheinung eines überwältigenden Charisma hat er es vermocht, sein Heer von 40.000 Soldaten zehn Jahre lang für seinen völlig einzigartigen Feldzug zu motivieren, der sie bis in die afrikanische Wüste und an den Fuß des Himalaya führte.

Gewiss gab es in Griechenland Gegenstimmen, die das Ideal der Schönheit in Zweifel zogen. Bei Homer ist Hässlichkeit noch ein eindeutiges Manko: Der missgestaltete Thersites, der Meuterer und Lästere im griechischen Heer, ist ein negatives Gegenbild zu den großen und schönen Helden. Und unter den Göttern ist bekanntlich der verkrüppelte Hephaistos, als Gott des Handwerks, der sozial am wenigsten Geachtete: aus dem Olymp verstoßen und an den Rand der griechischen Welt, auf die Insel Lemnos verbannt. Doch schon bald darauf meldet der Dichter Archilochos seine Zweifel an:

Mir gefällt kein langer Feldherr, der den Schritt ins Weite streckt,
Der sich gar mit Locken brüstet, eitel sich das Kinn rasiert –
Mir gefällt vielmehr ein Kleiner, selbst wenn ihm die Beine krumm,
Aber stämmig auf den Füßen soll er stehen, voller Herz!

(Übersetzung Z. Franyó)

Seither gab es in Griechenland immer wieder Stimmen, die das Ideal des *kalos kai agathos*, der körperlichen Schönheit, die zugleich Eleganz und Leistungsfähigkeit wie auch ethische Vollkommenheit einschließt, in Frage stellten. Themistokles, der siegreiche Feldherr in den Kriegen gegen die Perser, hat sich stolz von der edlen Musikkultur der Aristokraten abgesetzt und sich in seinem Porträt mit bulligem Gesicht darstellen lassen. Am prominentesten in dieser Hinsicht war Sokrates, dessen Silen-haftes Äußeres von seinen Anhängern sicher in einem pointierten Gegensatz zu der Schönheit seiner Seele gesehen wurde.

Doch als allgemeines Ideal blieb weiterhin die aristokratisch geprägte Schönheit der körperlichen Erscheinung in Geltung. Das wird vor allem auch in der



Abbildung 10: Statuengruppe der Tyrannenmörder von Athen. Rekonstruktion (Gips) des Originals von 476 v. Chr. Rom, Museo die Gessi. Photo Deutsches Archäologisches Institut Rom.

Bildkunst deutlich, noch lange über das Ende der archaischen Blütezeit der griechischen Aristokratie hinaus. Ein eklatantes Zeugnis ist das berühmte Denkmal für die athenischen Tyrannenmörder (Abb. 10). Die beiden vornehmen Freunde, der ältere Aristogeiton und der jüngere Harmodios, waren in homoerotischer Liebe miteinander verbunden, doch Harmodios erregte auch das Begehren des mächtigen Hipparchos, der zusammen mit seinem Bruder Hippias in Athen eine Herrschaft ausübte, die man Tyrannis nannte. Als Harmodios diesen zurückwies, rächte der Machthaber sich, woraufhin die beiden ein Attentat auf ihn verübten. Sie töteten Hipparch, aber Hippias überlebte, die Attentäter wurden getötet. Als aber bald darauf der Tyrann vertrieben und eine protodemokratische Staatsordnung eingerichtet wurde, wurden die beiden Freunde als Vorkämpfer der Freiheit gefeiert und mit einem Denkmal auf der Agora geehrt. Beide sind mit nacktem, trainiertem Körper dargestellt, Aristogeiton kräftiger, Harmodios etwas weicher, wie sie gemeinsam mit gezogenem Schwert gegen ihren imaginären Gegner vorstürmen.

Der individuelle schöne Körper war immer zugleich ein sozialer und ein politischer Körper. Dabei blieb aber umgekehrt auch der soziale und politische Körper immer zugleich ein erotischer Körper: Harmodios war ein jugendschöner Ephebe, um dessen Liebe die Protagonisten der athenischen Gesellschaft sich bekämpften, und auch sein erfolgreicher Liebhaber Aristogeiton kann sich sehen lassen. Noch im 4. Jahrhundert v. Chr. hat der große Feldherr Epameinondas von Theben in seinem Heer die homoerotischen Freundespaare nebeneinander kämpfen lassen, weil die gegenseitige Liebe sie zu besonderem Kampfesmut anheizte.

Das Ideal der politischen Schönheit hat einen einzigartigen Ausdruck auf dem Fries des Parthenon gefunden (Abb. 11). Dort wird die athenische Bürgerschaft bei der Festprozession für die Stadtgöttin Athena in einer idealen Form vor Augen geführt. Im vorderen Teil des Zuges treten die vornehmen Kulddienerinnen in edler Haltung und Kleidung auf, und den Höhepunkt stellen die jugendlichen Reiter dar, die die junge Generation der Stadt in dem vornehmsten Glanz verkörpern: auf feurigen Pferden, mit wohlgestalteten Körpern, eleganten Gewändern und edlen Gesichtszügen, die bei dem schönsten unter ihnen von reichen Locken umflattert werden. Im Kreis des bedeutendsten Künstlers des klassischen Athen, Phidias, wurde hier ein Bild einer städtischen Gemeinschaft geschaffen, in der die athenische Bürgerschaft sich in ihrer idealen Schönheit sehen konnte.

Wenige Jahre später hat der führende Staatsmann Perikles selbst in einer berühmten Rede auf die Gefallenen des ersten Jahres des Peloponnesischen Krieges



Abbildung 11: Jugendliche Reiter. Fries des Parthenon, Nordseite. London, British Museum, Inv. Sculpture 326. Um 440 v. Chr. Nach: F. Brommer, *Der Parthenonfries* (1977) Taf. 19.

diese Lebenskultur preisend zusammengefasst: „Wir lieben das Schöne, aber nicht um des Prunkes willen“. Das klingt sehr edel – freilich sollten wir dabei nicht vergessen, dass dieselben Athener in demselben Krieg sich in der schonungslosesten Weise auf das Recht des Stärkeren berufen und ihre Gegner in der brutalsten Weise vernichtet haben. Daran ist nichts zu beschönigen. Doch andererseits sollten wir nicht nur über historische Menschen und Gesellschaften urteilen, sondern auch über das Potential ihrer Idealvorstellungen nachdenken, unabhängig davon, ob die Wirklichkeit mit den Idealen übereingestimmt hat. Christian Meier hat das in einem glänzenden Essay über „Politik und Anmut“ bei den Griechen getan, in dem er gezeigt hat, wie stark die Griechen auf die verführerische Wirkung von Schönheit gesetzt haben, nicht nur in ihrer Kunst, sondern vor allem auch in ihren Lebensformen, nicht zuletzt in der Politik. Dass das noch heute nicht ganz obsolet ist, hat Bert Brecht in seiner alternativen Nationalhymne für Kinder zum Ausdruck gebracht:

„Anmut sparet nicht noch Mühe,
Leidenschaft nicht noch Verstand,
Dass ein gutes Deutschland blühe,
Wie ein andres gutes Land!

Anmut und Mühe: Damit liegt Brecht nicht so weit weg vom griechischen *kalos kai agathos*.

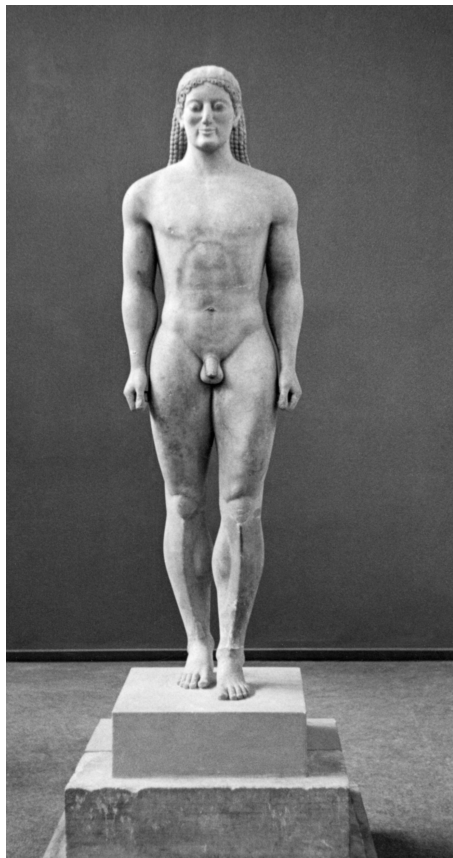


Abbildung 12: Grabstatue eines jungen Mannes (Kouros) von Anavyssos (Attika). Athen, National-Museum, Inv. 3851. Um 530 v. Chr. Nach: Photo Institut für Klassische Archäologie der Universität Saarbrücken.

Nur im Rekurs auf das gesellschaftliche Leben sind die Werke der Kunst zu verstehen. Die Standbilder von Menschen, die den Göttern in die Heiligtümer geweiht und den Toten auf den Gräbern aufgestellt wurden, zeigen vor allem junge Männer und Mädchen im vollen Glanz ihrer Erscheinung: die ‚Kouroi‘ mit brillant trainierten kräftigen und beweglichen nackten Körpern (Abb. 12), die ‚Korai‘ mit



Abbildung 13: Votivstatue eines Mädchens (Kore). Athen, Akropolis-Museum, Inv. 475. Nach: I. Kader, Penelope rekonstruiert (2006) S. 96.

reizvoller Verhüllung durch reiche, kunstvoll gefältelte Gewänder (Abb. 13); beide mit prächtig perlenden Haaren und dem strahlenden Lächeln der Charis. Es sind Vertreter derselben glanzvollen städtischen Jugend, die zu dieser Zeit auf den Vasen mit Inschriften gepriesen wurden: „Wie schön ist Leagros!“ Die Athener, und mit ihnen die Käufer ihrer Vasen in aller Welt, müssen verrückt gewesen sein nach den schönsten Epheben ihrer Zeit.

Ebenso verrückt waren die Götter nach ihnen. In den Mythen – die von den Griechen als ihre wirkliche Vorzeit betrachtet wurden – rauben Zeus und Poseidon

schöne junge Mädchen wie Aigina, Europa und Amymone und vereinigen sich mit ihnen; Zeus entführt den schönen Knaben Ganymedes und macht ihn zu seinem Liebling und Mundschenken. Eos, die Göttin der Morgenröte, begehrt den schönen Hirten Kephalos als Geliebten. Solche Bilder häufen sich in der Zeit der Perserkriege, als die Griechen sich selbst ganz besonders von der Gunst der Götter getragen fühlten. In den mythischen Lieblingen der Götter feierten sie ihre Vorbilder: So wie diese damals von den Göttern geliebt worden waren, so erfuhren sie selbst deren Liebe in der Gegenwart. Und wie die Liebe der Götter damals eine erotische Leidenschaft gewesen war, so musste es auch heute sein!

Um die Schönheit von Menschen und Göttern haben die griechischen Bildhauer und Maler sich mit höchster Anstrengung bemüht. Sie haben einerseits Wirkungen



Abbildung 14: Siegesgöttin Nike, die Sandale lösend. Balustrade vom Tempel der Athena Nike in Athen. Athen, Akropolis-Museum, Inv. 973. Um 420 v. Chr. Nach: R. Lullies / M. Hirmer, Griechische Plastik (1956) Taf. 191

von höchster Sinnlichkeit erreicht: Ein berühmtes Relief zeigt die Siegesgöttin Nike, deren Körper unter den zarten Falten des durchscheinenden Gewandes durchscheint, wie sie sich mit unvergleichlicher Anmut die Sandale zu einer rituellen Tätigkeit löst (Abb. 14). Sie ist Teil eines ganzen Schwarms von Niken, die den Rausch der Siege Athens in eine überbordende allegorische Siegesfeier umsetzen.

In ganz anderer Weise hat der berühmte Bildhauer Polyklet Schönheit zum Grundprinzip seines Menschenbildes gemacht. Er hat Menschen vermessen und auf dieser Grundlage ein ideales System von Proportionen des menschlichen Körpers festgelegt. Dies System, das er „Kanon“ nannte, hat er exemplarisch in

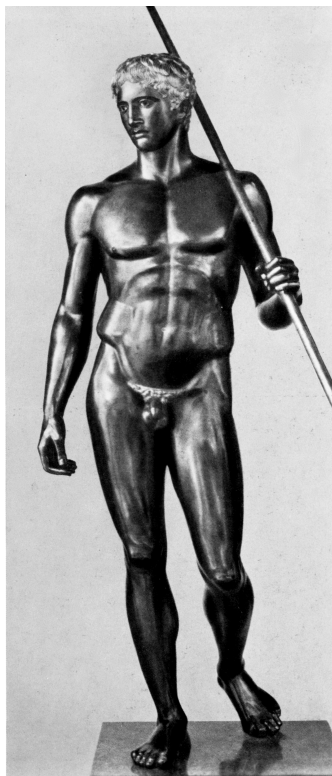


Abbildung 15: Speerträger (Doryphoros) des Polyklet. Bronze-Rekonstruktion. München Universität. Um 440 v. Chr. Photo R. M. Schneider.

einer Musterfigur umgesetzt, dem so genannten Speerträger, Doryphoros (Abb. 15). In dieser Figur sind die Teile des Körpers in eine höchst durchdachte Balance von gegensätzlichen Kräften gebracht worden sind: Tragen und Lasten, Anspannung und Entspannung, in äußerster durchkonstruierter Perfektion. Polyklets Kanon zeugt von einem euphorischen Optimismus, ein perfektes Menschenbild rational konstruieren zu können. Und diese rationale Schönheit des Körpers ist nicht nur eine liebebreizende Erscheinung, sondern zugleich hohe Leistungsfähigkeit und ethische Vollkommenheit. Hier kommt der Künstler, der mit der theoretisch begründeten Schönheit zugleich ein Muster von ethischer „Bestheit“ zu schaffen unternimmt, dem Philosophen nahe.

4 Erziehung zur Schönheit

Die körperlichen Vorzüge, die bei den Griechen so hoch im Kurs standen, waren nicht einfach eine Vorgabe der Natur ohne persönliches Verdienst, sondern wurden zumindest in den sozialen Ober- und Mittelschichten in vielfältiger Weise ausgebildet. Dafür gab es soziale Institutionen, in denen die Jugendlichen in die Leitvorstellungen und Lebensformen der Polisbürger eingeführt wurden. In diesem Rahmen spielte die Erziehung des Körpers eine zentrale Rolle.

In der Frühzeit wurden die jungen Männer in der Phase der Adoleszenz aus der Stadt in die freie Natur geschickt, wo sie ihre männlichen Körperkräfte ausbilden sollten, als Voraussetzung für die Aufnahme in die Bürgerschaft. Sie gingen auf die Jagd, lernten sich von den Produkten der Natur zu ernähren und härteten sich gegen die Lebensbedingungen außerhalb der städtischen Kultur ab. Auf Kreta geschah das in homoerotischer Begleitung eines älteren Mannes, der den jungen Partner auch in die Lebensformen der Gesellschaft einführte.

Aus diesen Wurzeln entstand die immer weiter ausgebildete Kultur der Athletik, des körperlichen Trainings in den vorstädtischen Sportstätten, den Gymnasien, die sich immer mehr auch zu einer Ausbildung in allgemeiner Lebenskultur entwickelte. Nicht zuletzt waren diese Stätten auch die Orte, an denen die homoerotischen Beziehungen zwischen den Jugendlichen und den erwachsenen Männern angeknüpft wurden, die für die Formierung der bürgerlichen Gesellschaft eine fundamentale Bedeutung hatten. Zu den Gründungsakten dieser athletischen Kultur gehörte, dass angeblich im 8. Jahrhundert v. Chr. berühmte Athleten sich ihrer Kleidung entledigten und mit nacktem Körper in die Wettkämpfe einstiegen. Wie

dabei athletische Kraft, Beweglichkeit und Leistungsfähigkeit mit körperlicher Schönheit in eins gingen, ist aus zahllosen Bildwerken bekannt (Abb. 16): In allen denkbaren Bewegungen und Stellungen zeigen die Athleten ihr physisches Können ebenso wie ihre erotische Ausstrahlung.

Zugleich aber war dies eine ethische Ausbildung. Die erfolgreichen Athleten erhielten zunächst nur einen Siegeskranz, und in ihren Standbildern zeigen sie sich in bescheidener Weise, wie sie sich bekränzen. Der Unterschied zu den Formen des ekstatischen Siegesgeheuls heutiger Sportler ist eklatant.

Gleichwohl aber wurden die Sieger schon an den großen Stätten der Wettkämpfe, wie in Olympia und Delphi, und dann vor allem in ihren Heimatstädten mit lautem Jubel gefeiert, mit hohen Ehren ausgezeichnet und oft auf Dauer wie Heroen verehrt. Einen Eindruck davon gibt ein Vasenbild, das einen siegreichen Athleten über und über mit Siegesbinden behängt zeigt (Abb. 17).

Ähnliche Institutionen gab es für die jungen Mädchen. In Athen konnten die Töchter vornehmer Familien zur Vorbereitung auf die Pubertät für mehrere Jahre



Abbildung 16: Trainierende Athleten. Athenisches Wein-Mischgefäß (Krater). Berlin, Staatliche Museen, Antikensammlung, Inv. F 2180. Um 500 v. Chr. Nach: P. D. Balabanes, *Games and Sanctuaries in Ancient Greece* (2004) fig. 336.

in außerstädtische Heiligtümer der Göttin Artemis geschickt werden, vor allem nach Brauron an der Ostküste Attikas. Dort lernten sie weibliche Fähigkeiten wie die Kunst des Webens, wurden aber auch in die Verhaltensnormen junger Bräute und Ehefrauen eingewiesen. Eine andere Form der Erziehung war auf der Insel Lesbos der Kreis der Dichterin Sappho, die dort junge Mädchen in die Formen des anmutigen Auftretens einführte. In einem Fragment ihrer Gedichte ist abfällig von einem Bauernmädchen die Rede, die nicht wisse, wie man elegant das Gewand an den Beinen lüpfte, um das Schleifen am Boden zu verhindern: Diese Kunst wurde allgemein den jungen Mädchen beigebracht, sie wurde darum in allen Standbildern der schönen Koren hervorgehoben (Abb. 13). Daneben aber wurden die jungen Mädchen auch in körperlichem Training ausgebildet. Vasenbilder aus dem Heiligtum von Brauron zeigen sie mit nacktem Körper oder in kurzer Bekleidung in schnellem Lauf. In Olympia wie an anderen Orten gab es auch Wettkämpfe für Mädchen, weit weniger berühmt als die der jungen Männer, aber immerhin so bekannt, dass Statuetten solcher Läuferinnen auch



Abbildung 17: Athlet (Läufer) mit Siegerbinden. Athenische Trinkschale. Berlin, Staatliche Museen, Antikensammlung, Inv. F 4221. Nach: Photo des Museums.

als Weihgeschenke in die Heiligtümer gestiftet werden konnten (Abb. 18). Die Schönheit junger Bräute war kein Ideal sanfter Zartheit, sondern schloss physische Kraft mit ein.

Weniger beachtet als solche kulturellen Institutionen, aber fast ebenso wichtig, war die soziale Sitte, dass die Jugendlichen sich außerhalb der Stadt, in der freien Natur, trafen und sich in vielfältigen Formen körperlich auslebten. Ein Erbe der Frühzeit war die Jagd auf Rehe und Kleinwild, die nun aber auf den Bildern immer mehr elegante und spielerische Formen annahm. Bezeichnend ist, dass die wichtigsten Objekt der Jagd Hasen sind, die unter den homoerotischen Männerpaaren das häufigste Liebesgeschenk sind. Die Jagd wurde eine erotische Praxis (Abb. 19).

Jenseits der städtischen Räume gab es auch Treffpunkte der Jugendlichen mit ihren homoerotischen Liebhabern. Auf der Insel Kea, außerhalb der Stadt Karthaia, sind an einem Felsen Dutzende von Inschriften zum Preis schöner Knaben und Jünglinge eingeritzt: Offensichtlich versammelte sich hier die *Jeunesse dorée* der Stadt, wahrscheinlich zur Freude erwachsener Liebhaber, die in den Inschriften



Abbildung 18: Laufendes Mädchen. Bronze-Statuette. mAthen National-Museum, Inv. Karapanos 24. Um 550 v. Chr. Nach: M. Herfort-Koch, Archaische Bronzeplastik Lakoniens (1968) Abb. 1.

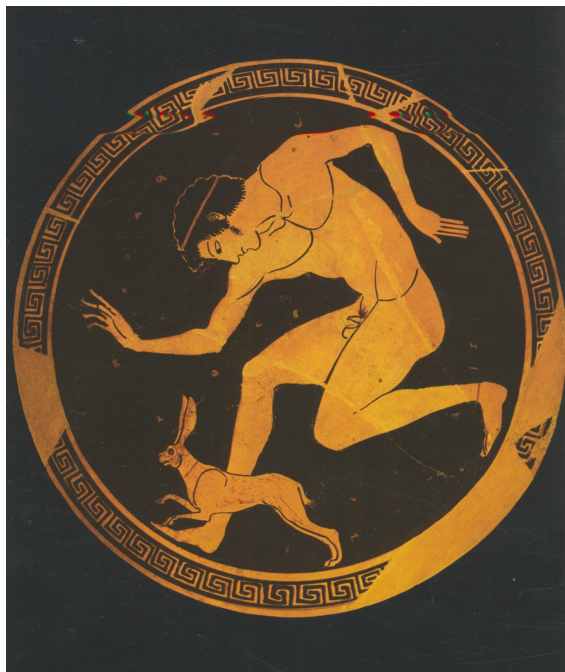


Abbildung 19: Jüngling fängt Hasen. Athenische Trinkschale. London, British Museum, Inv. E 46. Um 500 v. Chr. Nach: Cl. Bérard u.a. (Hgg.), *Die Bilderwelt der Griechen* (1984) Abb. 121.

Zeugnisse ihrer Bewunderung hinterließen. Ein weibliches Äquivalent dazu sind die Szenen der vornehmen Mädchen an den außerstädtischen Brunnenhäusern, die auf vielen Vasenbildern geschildert werden (Abb. 20). Für die Töchter der Bürgerfamilien war das Holen von Wasser am Brunnen eine attraktive Gelegenheit, sich außerhalb des Hauses und außerhalb des sozial kontrollierten städtischen Raumes zu treffen und zu zeigen. Viele Vasenbilder schildern diese Situation: Die Mädchen in reichen Kleidern, wie die Marmorstatuen der Koren, tragen die Gefäße heran, füllen sie in anmutiger Stellung unter dem Wasserstrahl, und tragen sie dann wieder in stolzer Haltung weg.

Beliebte Treffpunkte der Jugendlichen lagen weit entfernt am Meer. So auf der Insel Thasos, wo sich an einer einsamen Küste Felsen mit Preisinschriften für schöne Jünglinge gefunden haben. Offenbar sprangen dort die jungen Männer ins Wasser, um ihre erotischen Reize spielen zu lassen. Solche Situationen werden

in eindrucksvollen Malereien geschildert. In der bekannten Tomba del Tuffatore, dem Grab des Tauchers, in Paestum ist ein schöner Knabe dargestellt, der von einem Turm mit elegantem Kopfsprung ins Meer taucht (Abb. 21). Sicher ist das nicht, wie immer wieder spekuliert wird, eine Metapher für die Seele des Verstorbenen, die in die Unendlichkeit des Jenseits eingeht, sondern er ist einer jener Jugendlichen, die ihren Körper am Meer trainieren und zeigen. In einem Grab in Tarquinia wird eine solche Szene mit vielen Jugendlichen gezeigt, die hier keinen Turm brauchen, sondern einen steilen Felsen zum Kopfsprung nutzen. Etwa zur gleichen Zeit zeigt ein Tongefäß aus Athen eine ganze Schar von Mädchen, die sich in einer Grotte am Meer entkleidet haben, die Kleider in die umstehenden Bäume gehängt haben, von einem Postament ins Wasser springen und im Meer schwimmen (Abb. 22).

Es gab also vielfache Institutionen und Situationen, in denen die Kultur des Körpers ‚gelernt‘ und vollzogen werden konnte. Dabei ging es nicht um die rein vorgegebene Physis, sondern um die erlernte und ausgebildete Körperkultur, die in den bürgerlichen Gesellschaften gepflegt wurde. In einer Reihe von Städten gab



Abbildung 20: Mädchen am Brunnenhaus. Athenisches Wassergefäß (Hydria). Napoli, Museo Nazionale Archeologico, Inv. Stg. 12. Um 520 v. Chr. Nach: S. Cassani (Hg.), *Vasi antichi del Museo Nazionale Archeologico di Napoli* (2009) fig. 43.



Abbildung 21: Ephebe ins Meer springend. Tomba del Tuffatore, Paestum. Um 480 v. Chr. Nach: R. R. Holloway, *American Journal of Archaeology* 110 (2006) fig. 9.



Abbildung 22: Mädchen beim Baden in einer Grotte. Athenische Amphora. Roma, Museo Nazionale Etrusco di Villa Giulia, Inv. 106463. Um 520 v. Chr. Nach: R. Martin / J. Charbonneaux / F. Villard, *Das archaische Griechenland* (1971) Abb. 349

es Feste der Initiation, mit Ritualen des Ausziehens (*ekdysia*) und des (wieder) Anziehens (*endymatia*), bei denen die Körper nackt zur Schau gestellt wurden. Offenbar war man bestrebt, die jungen Männer auf ihre Bürger-Tauglichkeit zu prüfen. Vielfach bezeugt sind Wettbewerbe in körperlicher Schönheit, sowohl für jüngere und ältere Männer als auch für Frauen, die von den Städten ausgerichtet wurden. Dabei sah man in den Körpern nicht nur Träger von physischen Leistungen, sondern beurteilte sie vor allem als Ausdruck von Mut und Haltung. Der Körper war ein politisches Gut, über das die Städte durch Prüfungen und Wettbewerbe die Kontrolle ausübten.

Denn im sozialen und öffentlichen Leben waren die Körper sensible Träger von Bedeutungen, in denen man die ethische Haltung und den Charakter eines Menschen zu erkennen glaubte. Bei den privaten Symposien zeigte man sich vom Wein animiert, aber zugleich beherrscht und kontrolliert, bei den religiösen Festen erschien man in dem Glanz, der der Gottheit Freude machte. Überall wurde beobachtet. In den öffentlichen Räumen, auf der Agora, sollten die Bürger in zurückhaltender Form auftreten, und in dieser musterhaften Weise werden sie auf den Stelen ihrer Gräber in Erinnerung gehalten. Besonders die politischen Protagonisten mussten ihre Auftritte sehr genau kontrollieren. Der Redner Aischines soll einmal bei einer öffentlichen Rede die Haltung einer bekannten Statue des Solon angenommen und sich damit in die Rolle des großen Gesetzgebers begeben haben; seine öffentliche Porträtstatue entsprach ganz diesem Ideal der zurückhaltenden Besonnenheit. Sein Gegner Demosthenes aber konterte, er stelle nur die Haltung Solons zur Schau, besäße aber sonst nicht dessen vorbildliche Selbstbeherrschung. Es gab eine Sprache des Körpers in Haltungen und Bewegungen, Gestik und Mimik, die über Erfolg und Misserfolg des öffentlichen Auftretens und der politischen Kommunikation entschied.

Die höchste Bewunderung aber galt der Schönheit der Jugend. Die antiken Griechen sahen in ihren glanzvollen Jugendlichen die größte Hoffnung für die Zukunft, sowohl der Familien wie der politischen Gemeinschaft. Sie waren sich aber auch sehr bewusst, wie vergänglich diese Schönheit war. Der strahlende Glanz der griechischen Lebensformen entfaltete sich auf dem Hintergrund eines verbreiteten pessimistischen Bewusstseins ihrer Endlichkeit. Die Standbilder der jugendlichen Kouroi und Korai wurden einerseits als Weihgeschenke in den Heiligtümern aufgestellt, als schönste Gabe für die Götter, die die Hoffnung für die Zukunft der Gemeinschaft bedeuteten. Andererseits errichtete man diese

Bilder auf den Gräbern für jugendliche Tote, die besonders heftig betrauert wurden, weil sie allzu früh verstorben waren, die jungen Männer vor Erreichung des vollen Alters der Erwachsenen, die Mädchen vor der Hochzeit. Das führt auf ein zentrales, aber wenig beachtetes Phänomen der kollektiven Psychologie der Griechen: Der überschwängliche Sinn für die Schönheit und Freuden des Lebens stand immer auf unsicherem Boden: Immer wieder ist das Bewusstsein von der Endlichkeit dieses Lebens zu hören. Bezeichnend ist die Grabinschrift eines Kouros, die den vorbeikommenden Wanderer anspricht: „Schau an das Grabbild des Kleoitas und klage, wie schön er war – und doch sterben musste!“

Dies ist die körperliche Seite der griechischen Schönheit, die andererseits ein hohes umfassendes Prinzip der griechischen Lebensordnung ist. Die Ordnung des Staates wie auch der Natur wird „Kosmos“ genannt, was auch „Schmuck“ bedeutet. Und die Philosophen haben die Wahrheit zugleich als Schönheit gedacht. Immer aber blieb dabei eine erotische Grundbedeutung erhalten: Auch philosophische Erkenntnis ist eine Begierde nach dem Wahren und Schönen. Es gibt keine Schönheit ohne Erotik.

Humanisten sind seit Jahrhunderten der Verführung durch die griechische Schönheit verfallen. Heute dagegen hat sie für viele ihre Attraktivität weitgehend verloren: Wir können ihre Gegenseiten schwer übersehen. Gewiss waren griechische Männer und Frauen nicht alle so brillante Erscheinungen wie die Standbilder ihrer jungen Männer und Mädchen. Dabei kann es kaum fraglich sein, dass die antiken Betrachter sich selbst mit diesen Idealbildern verglichen, und man fragt sich, wie sie mit diesen Idealen lebten? Wer mit dem eigenen Körper diesen Leitbildern nicht entsprach, konnte sie wohl leicht als Zwang verstehen. Und sicher hatten nur wenige den Mut des Archilochos, des Themistokles oder des Sokrates, sich davon explizit zu lösen.

Vielfach wurden diese Leitbilder der körperlichen Vollkommenheit auch als griechische Phänotypen von der Erscheinung anderer Völker abgesetzt, die damit als ‚Rassen‘ von den griechischen Idealen ausgeschlossen wurden. klischeehafte Bilder von Orientalen und Afrikanern zeigen deutlich, wie stark hier die Grenzen gezogen wurden.

Doch auch innerhalb der griechischen Körperkultur gab es krasse Unterschiede. Denn nur ein Teil der Bürgerschaften hatte die Möglichkeit, in den Gymnasien den Körper und das öffentliche Auftreten regelmäßig zu dem Ideal der Schönheit auszubilden, das die Aufmerksamkeit und Bewunderung der Mitbürger auf sich



Abbildung 23: Heruntergekommene Hetäre, so genannte Trunkene Alte. 3. Jahrhundert v. Chr. München, Glyptothek. Photo des Museums.

zog. Das war weniger eine Frage des berechtigten Zugangs als der verfügbaren Freizeit. Es waren relativ offene Gesellschaften, aber viele konnten sich die Offenheit nicht leisten. Die griechische Kultur der körperlichen Schönheit blieb ein elitäres Ideal.

Dem entspricht das Gegenbild von Angehörigen der sozialen Unterschichten, die in äußerster Hässlichkeit und physischer Verkommenheit dargestellt werden. Auf den Vasen der Vornehmen werden Sklaven und schwer arbeitende Handwerker zum Teil in unschönen Haltungen und ordinären Stellungen gezeigt. Später wurden großformatige Standbilder von armseligen Bauern und Fischern und heruntergekommenen Hetären (Abb. 23) in Heiligtümern als Gegenbilder zu den idealen Bildern der mächtigen Herrscher und der städtischen Honoratioren

Wir kennen die Suggestionskraft einer „schönen“ Erscheinung aus der eigenen Gegenwart: Selbst wenn wir der festen Überzeugung sind, dass „gutes“ Aussehen nichts über die eigentlich wichtigen Qualitäten eines Menschen aussagt, stellen wir fest, dass eben darin vielfach der Erfolg besteht. Jeder, der einmal längere Zeit in Italien gelebt hat, kann feststellen, dass Rom und Mailand voller Menschen sind, die durch eine blendende Erscheinung auffallen, wie man sie in den Dörfern und Kleinstädten der Provinz sehr viel seltener findet – und nicht etwa weil in den Metropolen von Natur aus solche Menschen geboren werden, sondern weil diejenigen, die sich durch ihre Erscheinung Erfolg versprechen, diesen in den Metropolen suchen. Ob wir wollen oder nicht: Es gibt einen Darwinismus des guten Aussehens.

Was man den Griechen der ‚klassischen‘ Zeit attestieren kann ist, dass die demokratischen Stadtstaaten ein Ideal des schönen Lebens entwickelt und in den Bildwerken vor Augen gestellt haben, an dem möglichst viele Mitglieder der Bürgerschaft mehr oder minder stark teilhaben konnten oder sollten. Das ist immerhin ein bemerkenswertes Konzept. Wie weit es realisiert wurde, steht auf einem anderen Blatt.

Damit wird es aber auch verständlich, warum und in welchem Sinn die Gorgo, als die Verkörperung von Grauen und Tod, als Wesen von äußerster Hässlichkeit vorgestellt wird.

5 Schönheit der Kunst

Doch der Widerspruch bleibt: Die Gestalt der Gorgo, wie auch andere Schreckens-Monster, und ebenso die Szenen brutaler Gewalt im Krieg, werden in ‚schönen‘ künstlerischen Formen dargestellt. An griechischen Grabdenkmälern wird die Gorgo, deren Schreckensfratze das Grab vor Beraubung und Zerstörung schützen soll, in ebenso perfekter künstlerischer Form vor Augen geführt wie die Bilder der vornehmen Verstorbenen. Häufiger werden Gräber und Grabreliefs von einer Sphinx bewacht, einem Zwitter aus einem Hundekörper und einem Mädchenkopf (Abb. 24). Auch Sphingen waren Verderben bringende Ungeheuer, die berühmteste Sphinx hat die Stadt Theben mit dem Tod bedroht, bis sie von Oidipous bezwungen wurde. Auf den Gräbern wird sie im Bild eingesetzt, um Räuber und Zerstörer abzuschrecken. Ihr Kopf aber unterscheidet sich nicht von den Köpfen der schönen Koren dieser Zeit (Abb. 13): Doch damit wird die Sphinx nicht zu

einem charmanten Wesen: Eine Inschrift eines Grabes spricht die darauf postierte Statue an: „Sphinx, du Hund des Hades, wie hockst Du zur Wache über der Ruhestätte des verstorbenen X(einokrates?)!“ Hier wird die Sphinx mit Kerberos, dem schrecklichen dreiköpfigen Hund des Totenreiches verglichen. So schön ihr Kopf im Bild ist, ihre Gestalt bleibt ein Scheusal.

Offenbar sollen wir zwischen der Ästhetik der dargestellten Themen und der Ästhetik der Formen in den Bildwerken unterscheiden. Aber können wir das?

Seit der Frühzeit haben die griechischen Bildhauer, Wand- und Vasenmaler, Bronzegießer, Elfenbein- und Holzschnitzer ein Höchstmaß an künstlerischer Perfektion angestrebt. Dabei gingen immer künstlerischer Rang und handwerkliche Präzision Hand in Hand. (Die Idee der genial hingeworfenen Skizze kam in Grie-



Abbildung 24: Sphinx. Bekrönung einer Grabstele. New York, Metropolitan Museum of Art, Inv. P 1050. Um 530 v. Chr. Nach: U. Knigge, *Der Kerameikos von Athen* (1988) Abb. 51.

chenland erst spät auf.) Dies Streben nach Perfektion in der griechischen Kunst war fundamental von ihren Funktionen bestimmt. Alle Bildwerke von größerem Format waren zur Weihung in den Heiligtümern oder zur Aufstellung und Beigabe für die Gräber bestimmt. Sie waren Ehrengeschenke für die Götter und die Toten. Als Geschenke waren sie ein *ágalma*: ein Prunk- und Wertstück, das Glanz verbreitet und dem Beschenkten Freude macht. Der Wert des *ágalma* aber gipfelt in seiner perfekten Schönheit: *perikallès ágalma*, „überschönes Prunkstück“ ist ein gängiger Ausdruck in den Weihinschriften.

Künstlerisch diente alle Perfektion dem Ziel, den Gestalten Leben zu verleihen. Von den Anfängen der griechischen Bildkunst bis in die Spätzeit war dies die höchste Qualität aller großen Kunst. Von dem Begründer und Archegeten der Bildkunst, Daidalos, sagte man, er habe seine Bildwerke so lebendig geschaffen, dass man sie fesseln müsse, um sie zu hindern davonzulaufen. Und noch der römische Dichter Vergil sagt mit dem Ausdruck der höchsten Bewunderung von den Griechen, dass sie sanfter atmende, also lebensvollere Bildwerke aus Erz geschaffen hätten als die Römer. Die Maler hießen *zōgraphos*, „Lebendig-Zeichner“.

Perfektion des Geschenks für Götter und Tote, ebenso wie Lebendigkeit der dargestellten Figuren und Vorgänge sind aber unabhängig von Schönheit oder Hässlichkeit, von positiver oder negativer Bewertung der Bildthemen. Sie prägen allein den kulturellen und künstlerischen Rang des Bildwerks.

Aus all dem können wir sicher nichts für die Kunst unserer Zeit „lernen“: Die Funktionen der Kunst und die Erwartungen an Kunstwerke haben sich seit der Antike radikal geändert. Aber vielleicht können wir daraus doch etwas für unser Nachdenken über Kunst gewinnen?

Zunächst: Die Antike fordert uns unmissverständlich auf, die Bilder ernst zu nehmen: als Repräsentationen der dargestellten Gestalten und Vorgänge. Ein nicht-thematisches Sehen, mit reinem Blick auf die visuellen Formen, ist nirgends vorgesehen. Die Bilder der Götter, der Menschen, der Gorgo und der Sphinx sind Götter, Menschen, Gorgo und Sphinx. Gorgo bewachte Tempel und Gräber – sie heute nur als perfektes Bild zu betrachten und zu genießen, ist nicht frei von Arroganz gegenüber den antiken Menschen, die sich von ihr den Schutz ihrer heiligsten Orte versprochen. In der Tat ist die Präsenz der Person im Bild bis heute durchaus geläufig: Auf Wahlplakaten werden den Porträts unliebsamer Politiker die Augen ausgekratzt, und es fällt und schwer, ein Photo eines geliebten

Menschen wegzuerwerfen. Das gilt, ob wir wollen oder nicht, auch für Gewalt und Mord im Film: So kunstvoll die Inszenierung sein mag, sie macht Gewalt und Mord präsent. Wer das nicht wahrnimmt, leistet kulturelle Beihilfe.

Umgekehrt, doch in derselben Richtung, hat Theodor W. Adorno bald nach dem zweiten Weltkrieg den oft zitierten Satz geschrieben: „Nach Auschwitz ein Gedicht zu schreiben, ist barbarisch“. Ähnliches hätte er sicher auch über Bildende Kunst sagen können, ob über Bildwerke, Filme oder andere Formen. In späteren Erläuterungen fügt Adorno hinzu: Die künstlerische Umsetzung (auch der Grauen des Holocaust) berge die Gefahr einer ästhetischen Stilisierung hin zu einem ‚Genuss‘ und einem ‚Sinn‘. „Es wird verklärt, etwas von dem Grauen weggenommen; damit allein schon widerfährt den Opfern Unrecht, während doch vor der Gerechtigkeit keine Kunst standhielte“.

Die Kritik in Deutschland über „Clockwork Orange“ hat zum Teil auf dieser Linie geurteilt: In der „Verwendung von Stilmitteln des klassischen Balletts ebenso wie des Ausdruckstanzes, unterfüttert vom Einsatz der Musik“ (u. a. Beethovens) sah man „eine rigorose Stilisierung der Gewalt“, die man als Distanzierung von dieser Gewalt interpretieren *könne*. Dagegen meinten andere Kritiker, „Kubricks Kunstgriffe“ dürften eher dazu dienen, „dass der Zuschauer ohne schlechtes Gewissen seiner ganz privaten Lust am Sadismus frönen“ könne.

Beide Urteile beruhen auf einer Verabsolutierung der künstlerischen Form, die zunächst als sinnlicher Genuss unabhängig von dem Inhalt wahrgenommen wird. Der Vorwurf gegen den Film läuft darauf hinaus, dass der visuell und akustisch erzeugte Genuss auf die Handlung übertragen werden und auch Mord und brutale Gewalt zum Genuss machen könnte.

An diesem Punkt scheint die griechische Kunst eine Grenze zu ziehen. Die Bildhauer haben nicht gemeint, die Sphinx als ein charmantes und verführerisches Wesen hinzustellen, niemand sollte die Gorgo als ein hinreißend wildes Geschöpf bewundern. Es gab die klare Unterscheidung zwischen der Schönheit bzw. Hässlichkeit der *Bildthemen*, die von deren Bedeutung im sozialen und kulturellen Leben geprägt war, und der künstlerischen Perfektion der *Bildformen*, die von ihrer Funktion als Geschenke bestimmt war. Die Perfektion der Form war keine Aussage über das inhaltliche Thema: Sie bestimmte den kulturellen Wert als Geschenk an Götter und Tote, und sie verstärkte den Eindruck der Lebendigkeit, sowohl bei den „schönen“ wie bei den „hässlichen“ Wesen und Themen. Die Gorgo wird entsetzlicher, wenn sie in perfekten Formen dargestellt wird. In diesem Sinn wären

bei „Clockwork Orange“ die Inszenierung und Kameraführung, Musik und Farbe als atmosphärische Verstärkung der bedrängenden Wirkung zu empfinden.

Allerdings sind die Trennlinien nicht verlässlich. Der Gott Poseidon verliebte sich in Gorgo, sie gebär ihm den Helden Chrysaor und das Wunderpferd Pegasos. Immer wieder sind wir in Versuchung, das Grauen im Bild verführerisch zu finden. Wir müssen achtsam sein.

Weiterführende Literatur

Ideale Schönheit:

J. J. Winckelmann, Gedanken über die Nachahmung der Griechischen Werke in der Mahlerey und Bildhauer-Kunst. Maßgebliche Ausgabe: Schriften und Nachlass Band 9 (Mainz 2016); Ders., Geschichte der Kunst des Alterthums (Dresden 1764). Maßgebliche Ausgabe: Schriften und Nachlass Band 4,2 (Mainz 2006) und 4,3 (2007). Jacob Burckhardt, Griechische Kulturgeschichte (München 2002).

Gorgo:

J.-P. Vernant, Die religiöse Erfahrung der Andersheit: Das Gorgogesicht. In: R. Schlesier (Hg.), Faszination des Mythos (Basel und Frankfurt am Main 1985) 399–420. Lexicon Iconographicum Mythologiae Classicae IV (1988) 285-330 (I. Krauskopf).

Jugend, Schönheit, Körperlichkeit:

A. Schnapp, Das Bild der Jugend in der griechischen Polis, in: G. Levy / J.G. Schmitt (Hgg.), Geschichte der Jugend I: Von der Antike bis zum Absolutismus (Frankfurt 1996) 21–69.

Schönheitswettbewerbe:

F. Gherchanoc, Concours de beauté et beautés du corps en Grèce ancienne (Pessac 2016).

Alexander der Große:

T. Hölscher, Herrschaft und Lebensalter. Alexander der Große: Politisches Image und anthropologisches Modell (Basel 2009).

Statuen der Tyrannenmörder:

B. Fehr, Die Tyrannentöter - oder: Kann man der Demokratie ein Denkmal setzen? (Frankfurt am Main 1984); F. Hölscher, Die Tyrannenmörder: Ein Denkmal der Demokratie, in: E. Stein- Hölkeskamp / K.-J. Hölkeskamp (Hgg.), Die griechische Welt. Erinnerungsorte der Antike (München 2010) 244–258.

Öffentlicher Habitus in Griechenland:

L. Giuliani, Bildnis und Botschaft (Frankfurt am Main 1986) 101–162; P. Zanker, Die Maske des Sokrates (München 1995).

Hässlichkeit sozialer Gegenbilder:

L. Giuliani, Die seligen Krüppel. Zur Deutung von Missgestalten in der hellenistischen Kleinkunst. Archäologischer Anzeiger 1987, 701–721; P. Zanker, Die Trunkene Alte (Frankfurt am Main 1989).

Über den Autor

Prof. Dr. Tonio Hölscher studierte Klassische Archäologie, Alte Geschichte und Klassische Philologie an den Universitäten Heidelberg, Rom und Freiburg i. Br. Nach der Promotion 1965 in Heidelberg und dem Reisestipendium des Deutschen Archäologischen Instituts war er Wiss. Assistent an der Universität Würzburg, wo er sich 1972 habilitierte. Von 1975 bis 2009 war er Professor für Klassische Archäologie an der Universität Heidelberg. Er hatte Gastprofessuren an den Universitäten Neapel, Ann Arbor, Berkeley, Princeton und München inne, war Fellow des Wissenschaftskollegs zu Berlin, Forschungsprofessor am Deutschen Archäologischen Institut in Rom und Inhaber der Chaire du Louvre Paris. Schwerpunkte seiner Forschung im Bereich der griechischen und römischen Antike sind Bildkunst in sozialen Kontexten, politische Denkmäler, Urbanistik, Kunst- und Kulturtheorie.

Korrespondenz:

Prof. em. Dr. Tonio Hölscher
Institut für Klassische Archäologie
Ruprecht-Karls-Universität
Marstallhof 4
D-69117 Heidelberg
Germany
E-Mail: tonio.hoelscher@zaw.uni-heidelberg.de

Die verborgene Schönheit der Natur: die Sicht des Physikers

HANS J. PIRNER

Institut für Theoretische Physik, Universität Heidelberg

Zusammenfassung

The article “The hidden beauty of nature” starts with a differentiation of beauty in art and science. The view of a physicist defines scientific aesthetics as a beautiful combination of intuition visualized in tables, graphs and pictures with simple explanations of the underlying laws of nature. Examples come from different subjects: Time, space, time-space and space-time, matter and forces. Physics makes time become visible by uniform oscillations. Decay curves of elements allow us to go back into the prehistory of the earth. Euclidean and curved spaces define our earth. Satellites built according to modern science present us with a magnificent picture of our earth from outside. Light propagating with finite speed confines the past and future of any event. The beautiful pattern of cosmic (microwave) radiation from space lets us go back to the big bang. Atomic structure shows up in macroscopic crystals, and modern tunnelling microscopes depict even single atoms, whereas the smaller elementary particles need modern detectors to map out their tracks and underlying symmetries.

1 Einleitung

Die liebliche Aussicht auf das Flusstal, der freie Blick über die Hügelkette, der leere Meeresstrand am frühen Morgen; die Natur ist schön anzuschauen. Aber kann auch Wissenschaft über die Natur „schön“ sein? Sollte sie nicht vielmehr

richtig sein, Experimente machen, Theorien testen und sich der Wahrheit verpflichten? Die Physiker selbst haben darüber unterschiedliche Meinungen. Es gibt die Meinung¹, das Universum sei hässlich und unsere Suche nach Schönheit führe die Physik in eine Sackgasse. Andere² wiederum bezeugen dem Universum Eleganz, welche sich in Superstrings, verborgenen Dimensionen und der daraus resultierenden Weltformel zeige.

Naiv könnte man sagen: Schön ist was gefällt. Doch der Philosoph³ drückt sich gewählter aus: „Schönheit ist eine Form der Zweckmäßigkeit eines Gegenstandes sofern sie ohne Vorstellung eines Zweckes in ihm wahrgenommen wird.“ Die Theorie der Ästhetik will die Qualität des Objekts vorstellen, um Schönheit verständlich zu machen. Aber gerade hier haben es die Physiker schwer mit den modernen Entwicklungen. Im 18. Jahrhundert konnte Johann Georg Sulzer⁴ die Natur als Garten der Physik mit allen ihren Schönheiten vorzeigen. „Für den Liebhaber, nämlich nicht für den kuriosen Liebhaber, oder den Dilettanten, der ein Spiel und einen Zeitvertreib aus den schönen Künsten macht, sondern für den, der den wahren Genuss von den Werken des Geschmacks haben soll, habe ich dadurch gesorgt, dass ich ihm viel Vorurteile über die Natur und die Anwendung der schönen Künste benehme; dass ich ihm zeige, was für großen Nutzen er aus denselben ziehen könne; dass ich ihm sein Urteil und seinen Geschmack über das wahrhaftig Schöne und Große schärfe.“ Wenn sich bei Kälte Wassertröpfchen zu Schneeflocken⁵ an winzigen Staubkörnchen formen, haben sie alle eine wunderbare sechsfache Symmetrie, und jedes einzelne hat eine andere Gestalt. Die Objekte der modernen Physik sind immer abstrakter geworden. In der Symmetrie der Schneeflocken spiegelt sich die Struktur der Wassermoleküle, deren H-O-H Atome in einem Winkel von ungefähr 104° angeordnet sind. Man sieht: In die wissenschaftliche Ästhetik schmuggelt sich eine Erklärung ein.

Ästhetik heißt wörtlich im altgriechischen die Lehre von der Wahrnehmung. Der Gegenstand spielt dabei die aktive Rolle, das Wahrnehmungsorgan die passive

¹ Sabine Hossenfelder und Gabriele Gockel, Das hässliche Universum, Frankfurt a/M, 2018

² Brian Green, Das elegante Universum: Superstrings, verborgene Dimensionen und die Suche nach der Weltformel, München 2006

³ Immanuel Kant, Kritik der ästhetischen Urteilskraft, S. 93 Leipzig 1921.

⁴ Johann Georg Sulzer, Allgemeine Theorie der Schönen Künste. Bd. 1. Leipzig, 1771, S. 7

⁵ <http://www.bbc.com/earth/story/20170221-the-stunning-beauty-of-snowflakes>

Rolle. Das Objekt zeigt sich. In der Naturschönheit erscheint die Natur in reiner Form, nicht als Stoff von Arbeit und Notwendigkeit, auch nicht als Stoff der Wissenschaft. Sie lässt sich nicht abbilden, sie ist schon Bild der wunderbaren Gesetzmäßigkeiten der Natur. Jede Art der versuchten Reproduktion kann sie nur verunzieren, man denke an mittelmäßige Bergbilder. Wenn ein aufmerksamer Wanderer vor dem Berg steht, dann stellt sich eine Beziehung zu ihm her, die Natur offenbart sich und wirkt direkt auf ihn. Die Naturschönheit ist nicht vom Menschen gemacht. Im Gegensatz zur Technik mit ihren Apparaten, die in der modernen Physik eine wichtige Rolle spielen, erscheint sie uns unvermittelt. Die Dichter⁶ schreiben Hymnen auf sie: „Schöne Sonne! Menschen hatten mich es nicht gelehrt, mich trieb unsterblich liebend mein heilig Herz Unsterblichen entgegen, entgegen dir!“ Sie erkennen ihre Vollkommenheit als Chiffre von etwas Höherem.

Kunstschönheit unterscheidet sich von der reinen Nachahmung der Natur. Die Kunst kann aus vielen Vorbildern wählen, deshalb können gemalte Personen wirkliche Menschen an Anmut übertreffen. Der Künstler ist frei seine Vorstellungen ins Werk zu übersetzen. Er kann auch andere Themen wie die antike Mythologie oder die Wolkenkratzer von Manhattan darstellen. Seine handwerklichen Fertigkeiten sind die Instrumente seines gewitzten Geistes, der eine Idee verfolgt. Die Kunst der Moderne hat sich teilweise vom Gegenstand abgewendet und konstruiert eine Gegenwelt, die dem realen Erscheinungsbild widerspricht. Sie zieht die Grenzen zwischen dem Ich und der Welt jeweils neu, so dass ungeklärt bleibt, ob man die Schönheit objektiv oder subjektiv bewerten kann. Ohne Zweifel erfordert die moderne Kunst einen aufmerksamen und kritischen Interpreten. Schönheit lässt uns über den Grund der Dinge nachdenken, sie kann also auch ein Gegenstand des Verstandes sein.

Die Schönheit der Physik ist ohne Hilfe des Verstandes schwer zu erkennen. Sie liegt im Zusammenspiel zwischen der experimentellen Beobachtung und den zugehörigen theoretischen Konzepten. Wenn die erste Tätigkeit sich in komplexen Apparaturen und langen Datensätzen niederschlägt, ist das Ergebnis sicher eindrucksvoll, aber für den Laien weniger erhebend. Geschickte Darstellung der Resultate oder – modern ausgedrückt – ihre Visualisierung können die Intuition anleiten, verborgene Regelmäßigkeiten zu entdecken. Tabellen und Schemata sind

⁶ Christoph Friedrich Hölderlin, Empedokles - Kapitel 2, <http://gutenberg.spiegel.de/buch/empedokles-261/2>

andere Mittel, Ordnung und Übersichtlichkeit zu erzeugen. Am Ende ist es die symbolische Sprache der Mathematik, welche die tiefsten Naturgesetze in ihrer großen Schönheit darstellt. Naturgesetze beweisen universelle Gültigkeit, von der subatomaren Welt bis zum astrophysikalischen Kosmos.

Als Physiker hegen wir die Hoffnung dem Nichtfachmann die physikalischen Muster und Strukturen ohne komplizierte Mathematik zu zeigen, so dass er Gefallen daran findet. „Die ganze Philosophie, sagte ich ihr, beruht nur auf zwei Tatsachen, dass wir einen neugierigen Geist haben und schlechte Augen. Hätten wir bessere Augen als wir sie haben, würden wir wohl sehen, ob die Sterne Sonnen sind, die andere Welten beleuchten, oder ob sie es nicht sind.“ Dies sagt Bernard Le Bouyer de Fontenelles⁷, wenn er einer Marquise in ihrem Schlossgarten die Schönheiten des Sonnensystems erklärt. Fontenelles Text ist äußerst vergnüglich zu lesen, weil er die Materie leicht verständlich darlegt. Er soll unterhalten, den Kenner durch Details erfreuen und der Laien die Schönheit der Landschaft eröffnen, welche die Physik vor uns ausbreitet.⁸

In den folgenden vier Kapiteln habe ich schöne Eindrücke aus der Physik gesammelt. Wie kann man die Zeit sehen? Was macht sie harmonisch? Die regelmäßigen Pendelschläge füllen den Zeitraum zwischen den Sekunden. Wir haben keine Kontrolle über die Zeit, aber im Raum können wir uns frei bewegen. Die Physik hat ungeheure Fortschritte erzielt, einen immer größer werdenden Raum sichtbar zu machen. Sie erlaubt es uns, die Erde von außen zu sehen. Die Satelliten-Astronomie präsentiert uns die Schönheit unseres Planetensystems und die Geheimnisse weit entfernter Galaxien. Indem wir Zeit und Raum in der Raum-Zeit zusammenfassen, erscheinen Ereignisse in einem neuen Licht. Lichtstrahlen begrenzen den zeit-räumlichen Bereich, in dem vergangene Ursachen und zukünftige Wirkungen liegen. Das Licht vom Big Bang lässt uns tief in die Entstehung unseres Universums hineinblicken, als Materie und Kräfte in einem kontinuierlichen Prozess entstanden, der von mathematischen Symmetrien bestimmt ist. Die physikalischen Symmetrien sind allerdings meistens gebrochen, was die begrenzte Macht der Mathematik in der realen Welt zeigt, aber die Schönheit vermehrt. Bei vielen gotischen Kirchen sind die beiden Türme nicht gleich, so z. B. bei der Kathedrale Notre Dame de Chartres. Dies hat historische Gründe; Feuersbrünste

⁷ Bernard Le Bouyer de Fontenelle, *Entretiens sur la pluralite des mondes*, 1686. Paris.

⁸ Hans J. Pirner, *Virtuelle und Mögliche Welten in Physik und Philosophie*, Heidelberg, 2018.

zerstörten das Bauwerk, und die Baumeister meinten, sie könnten ihren Stil bei der Konstruktion des neuen Turms verbessern.

2 Wie kann man Zeit sehen?

Die Zeit ist unsichtbar. Eine Umwelt, in der sich nichts bewegt, erscheint zeitlos. „Time happens when nothing happens“, ist ein Ausspruch des Physikers Richard Feynman. Er will damit sagen, dass wir nicht so recht verstehen, was die Zeit macht. Ohne Veränderungen können wir nicht von einer zeitlichen Entwicklung sprechen. Änderungen allein würden jedoch nicht genügen, um einem Prozess als Funktion der Zeit zu beschreiben. Es braucht die regelmäßige Wiederkehr spezifischer Ereignisse, damit man im Vergleich mit diesen sagen kann, der Prozess dauert so viele Elementarereignisse. Die Schönheit der Natur entfaltet sich in der Wiederholung der Jahreszeiten, welche abhängig vom Stand der Erde zur Sonne in den gemäßigten Zonen der nördlichen Halbkugel auftreten

Physikalisch drückt sich die periodische Bewegung in einfachen Systemen aus, die deswegen eine besondere Stellung einnehmen. Beim ebenen Pendel hängt eine schwere Masse im Abstand von ungefähr einem Meter vom Drehpunkt. Wenn man es in einem endlichen Winkel aus seiner Ruhelage ausgelenkt hat, schwingt es zu einem ebenso großen Winkel auf der anderen Seite. Die Schwingungszeit dauert eine Sekunde, bestimmt durch die Erdbeschleunigung und die Länge des Pendels. Die Bewegungsgleichung des Pendels kann elementar für kleine Winkel gelöst werden und ergibt die trigonometrische Cosinus-Funktion mit der oben beschriebenen Frequenz, siehe Abb. 1.

Nach zwei Sekunden befindet sich das Pendel wieder in der gleichen Lage wie am Anfang. Man bezeichnet diese Schwingung als harmonische Schwingung, die durch eine Cosinus-Funktion darstellbar ist. In Wirklichkeit wird das Pendel nach einiger Zeit durch die Reibung mit der Luft weniger weit schwingen. Für Uhren stößt ein Zahnrad das Pendel über einen Anker an, damit es regelmäßig weiterschwingt. Die mathematische Lösung für endliche Winkel ist eine etwas kompliziertere elliptische Funktion, die eine leicht veränderte Periode ergibt. Die mathematisch schönste und einfachste Lösung entspricht oft nicht der Wirklichkeit. In der Musik würde der Cosinus-Funktion ein Konzert mit nur einem Ton entsprechen. Die Kunstschönheit eines Musikstücks dieser Art kann man bei John Cage nachhören, der angewiesen hat das Orgel-Stück „As SLOW as Possible“ so

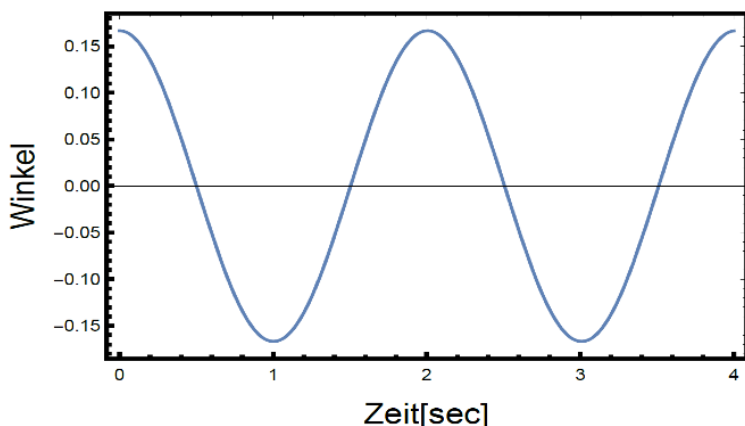


Abbildung 1: Die dargestellte Cosinus-Funktion zeigt den Auslenkwinkel in Radian (rad) als Funktion der Zeit in Sekunden. 0.15 rad entsprechen 8.6° .

langsam wie möglich zu spielen, so dass bei der Aufführung in der Burchardikirche in Halberstadt der Ton⁹ nur jedes Jahr wechselt. Ich habe eine kurze Version des Stücks gehört, die 29 Minuten dauert. Die Eintönigkeit lässt ahnen, wie lang die Ewigkeit dauert.

Moderne Uhren sind Quarzuhren. Hier wird ein Schwingkreis aus einer Induktivität und einer Kapazität aufgebaut, der durch seine Spannung einen Quarzkristall zu schwingen anregt. Die typischen Frequenzen sind hier 300 000 Schwingungen pro Sekunde. Die Gitterschwingungen des Quarzes kontrollieren die Frequenz sehr genau. Bei Atomuhren wird der Übergang zwischen zwei atomaren Zuständen als Frequenzmaß genommen. Die typischen Frequenzen dafür sind 9 000 000 000 Schwingungen pro Sekunde, welche die Präzision auf 10^{-12} Sekunden begrenzen. Die besten Frequenzmessungen erlauben diese Genauigkeit noch um drei Größenordnungen zu verbessern.

Indem man zwei solcher harmonischen Schwingungen von Licht überlagert und die resultierende Schwebung untersucht, erreicht man noch eine höhere Genauigkeit. Die Schwebung hat eine 20-fach längere Periode und ist deswegen gut

⁹ Um exakt zu berichten: Am 5. September 2020 wird der Wechsel zum Akkord gis, e' stattfinden.
<https://de.wikipedia.org/wiki/ORGAN%C2%B2/ASLSP>

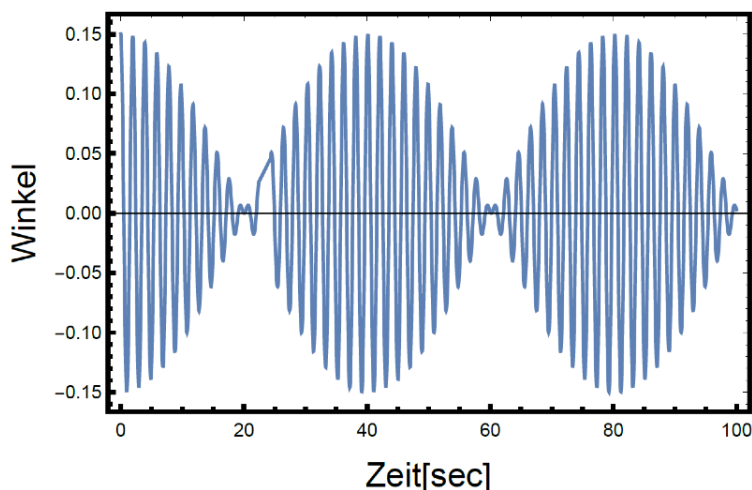


Abbildung 2: Überlagerung der Grundschiwingung des Pendels mit einer zweiten Schwingung, die eine um 5% höhere Frequenz hat. Der Winkel ist in Radian (rad) dargestellt.

zu messen. Abb. 2 zeigt das Resultat der Überlagerung der Grundschiwingung des Pendels mit einer zweiten, die eine um 5% höhere Frequenz hat. Die Vergleichsfrequenz haben Theodor Hänsch und Mitarbeiter aus einem äquidistanten Frequenzkamm genommen, dessen Herstellung eine technische und wissenschaftliche Leistung war, für die er 2005 den Nobelpreis bekam. Mit Hilfe dieser Methode konnte er zeigen, dass die relative zeitliche Änderung der elektrischen Ladung nur $(-0.9 + / - 2.9) 10^{(-15)}/\text{Jahr}$ beträgt¹⁰. Sie ist bis auf Messfehler konstant. Die elektromagnetische Wechselwirkung ist also über weite Zeiten des Universums unveränderlich.

Um ganz lange Zeiten zu überbrücken muss man den Zerfall eines Atomkerns studieren, der eine sehr lange Lebensdauer hat, wie z. B. U^{238} . Abb. 3 zeigt, wie viele Atomkerne beim Zerfall $U^{238} \rightarrow Pb^{206}$ als Funktion der Zeit nach Millionen

¹⁰ Siehe: M. Fischer, N. Kolachevsky, M. Zimmermann, R. Holzwarth, Th. Udem, T. W. Hänsch, M. Abgrall, J. Grünert, I. Maksimovic, S. Bize, H. Marion, F. Pereira Dos Santos, P. Lemonde, G. Santarelli, P. Laurent, A. Clairon, C. Salomon, M. Haas, U. D. Jentschura, and C. H. Keitel: *New Limits on the Drift of Fundamental Constants from Laboratory Measurements*, in: *Physical Review Letters* 92 (2004), 230802.

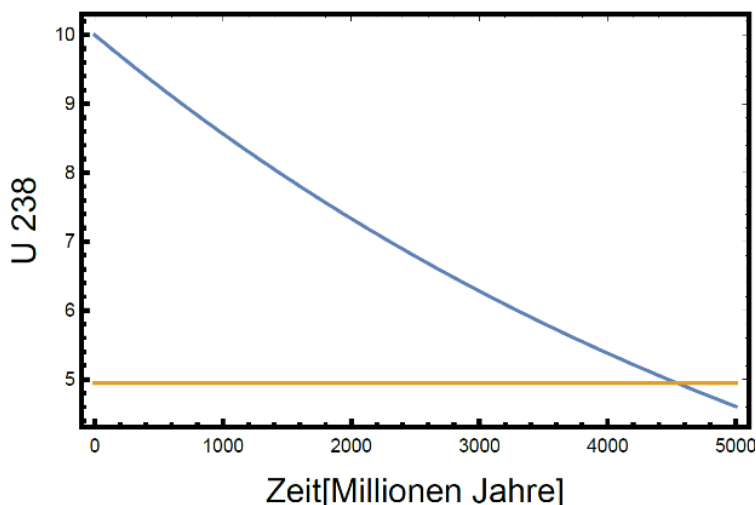


Abbildung 3: Anzahl von U^{238} Atomkernen, die von 10 U-Kernen nach langer Zeit (in Millionen Jahren) übrigbleiben. Ungefähr die Hälfte der Atomkerne ist seit der Entstehung der Erde zerfallen (roter Strich).

Jahren übrigbleiben. Die horizontale Linie entspricht der Anzahl der Kerne, die von anfänglich 10 U-Kernen nach der Entstehung der Erde vor 4540 ± 50 Millionen Jahren übrigbleiben (der Anfangswert ist willkürlich auf 10 Kerne gesetzt). Mit diesem Zerfall wurde das Alter der Erde bestimmt. Neben den trigonometrischen Funktionen ist die exponentielle Zerfallskurve die andere Standardschönheit der Physik. Sie ist allgegenwärtig. Die frühe Vorgeschichte zeigt, dass die Natur sich allein entwickelt und nicht den Menschen als Beobachter braucht. Die Erde ist ohne uns entstanden und hat objektive Realität. Schönheit der Natur ist für den Physiker kein Produkt unserer Vernunft, die wir der Natur hinzufügen, sondern sie liegt in ihr selbst, und wir entdecken sie.

3 Den Raum erschließen

„Es hatte eine Ewigkeit gedauert bis seine Helfer den störrischen Stamm durchgesägt hatten und er Eugens Leuchtsignal mit dem Theodoliten anpeilen konnte. ... Morgen würden sie sich treffen, und er musste sich darum kümmern, wie man von dort in höchstens zwei Geraden zum nächsten Knotenpunkt kam.“

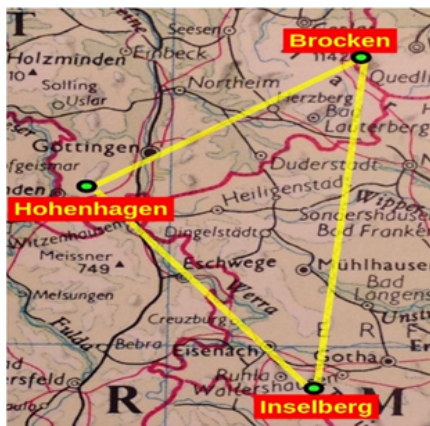


Abbildung 4: Die Triangulierung von Carl Friedrich Gauss zwischen Brocken, Hohenhagen und Inselberg im Herzogtum Hannover. <https://thatsmaths.files.wordpress.com/2014/07/dreieck-03.jpg>

So beschreibt Daniel Kehlmann¹¹ die Vermessungsarbeit von Carl Friedrich Gauss. Zwischen 1821 und 1825 machte Gauss extensive Feldarbeit im Herzogtum Hannover (Abb. 4). Er leistete bodenständige Arbeit. Seine Ergebnisse über die Winkelsumme im sphärischen Dreieck waren ungenau, sie waren mit 180° verträglich. Die physikalische Korrektur, die er bei unendlicher Genauigkeit hätte messen können, ist unmessbar klein¹². Sie berechnet sich aus der Krümmung der Lichtstrahlen im Schwerfeld der Erde und der Größe der vermessenen Fläche zu 10^{-13} .

In seinen mathematischen Schriften hatte Gauss den Grundstein für die nicht-euklidische Geometrie gelegt, die später von János Bolyai, Nikolai Ivanovich Lobachevsky und Bernhard Riemann weiter entwickelt wurde. Auf der Kugel der Erde ist einfach bei großen Abständen zu sehen, dass die Winkelsumme größer als 180° ist (siehe Abb. 5). Gauss aber hat seine Messungen mit geradlinigen Lichtstrahlen gemacht.

¹¹ Daniel Kehlmann, *Die Vermessung der Welt*, 2005, Hamburg, S. 184

¹² <https://thatsmaths.com/2014/07/10/gauss-s-great-triangle-and-the-shape-of-space/>

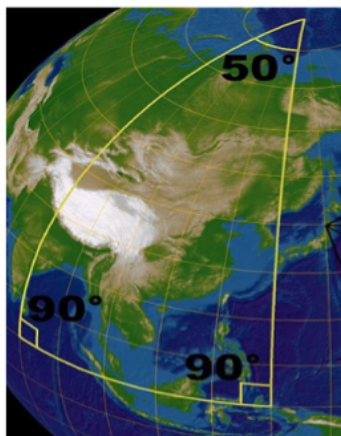


Abbildung 5: Die Winkelsumme eines Dreiecks auf der Erdkugel. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Triangles_\(spherical_geometry\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Triangles_(spherical_geometry).jpg)

Die Physik des zwanzigsten Jahrhunderts erlaubt es, die Erde in ihrer vollen Gestalt zu fotografieren, und produziert damit ein Bild von außergewöhnlicher Schönheit, das bei allen Astronauten Anlass zu großer Freude war. Abb. 6 zeigt ein Bild Nordamerikas, das vom Wettersatelliten Suomi NPP aus 826 km Höhe aufgenommen wurde. Die Erde erscheint als blauer Planet, weil die Oberfläche zu 2/3 aus Ozeanen besteht. Dieses Bild sieht der Astronaut, wenn er die Erde verlassen hat und sich im Weltall befindet. In der Physik geht es um die schöne Außenansicht. Die Metapher des räumlich Äußeren stellt ein Gegenbild zur modernen Verinnerlichung dar, die sich in der schönen Literatur in inneren Monologen und endlosen Bewusstseins-Strömen manifestiert. Der Philosoph Michel Foucault hat diese Erfahrung des schönen Außen so charakterisiert¹³: „Das Denken hält sich außerhalb jeder Subjektivität, um ihre Grenzen wie von außen hervortreten zu lassen, um ihr Ende zu verkünden, ihre Zerstreuung aufsprühen zu lassen, und ihre endgültige Abwesenheit festzustellen.“

¹³ Michel Foucault, Das Denken des Außen in „Von der Subversion des Wissens“, Frankfurt/Berlin, 1978, S. 57



Abbildung 6: Nordamerika aus 826 km Höhe vom Wettersatelliten Suomi NPP aufgenommen. https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:North_America_from_low_orbiting_satellite_Suomi_NPP.jpg

Der Blick von außen auf die Erde schließt uns nicht aus. Zusammen mit den anderen 7.6 Milliarden Bewohnern gehören wir zu dieser Erde und sind verantwortlich für ihre Zukunft.

Ebenso herrliche Bilder existieren von den anderen Planeten unseres Sonnensystems. Unser Sonnensystem befindet sich in der Milchstraße. Es ist aber schwierig, ein direktes Bild unserer Milchstraßen Galaxie zu bekommen. Man muss sich das so vorstellen, wenn man mitten im Wald steht, ist es schwer sich ein Bild vom Wald zu machen, weil die vielen Bäume uns den Blick verstellen. Teleskope haben jedoch Profile der Milchstraßenscheibe für verschiedene Wellenlängen¹⁴ aufgezeichnet, die in Abb. 7 zu sehen sind. Die Farben im Radio- und Infrarot-Spektrum sind sogenannte Falschfarben, die dazu dienen die verschiedenen Wellenlängen in diesen Teilen des Spektrums zu unterscheiden.

¹⁴ Lee, Hyunju & E. Schneider, Stephen, (2015). Using Astronomical Photographs to Investigate Misconceptions about Galaxies and Spectra: Question Development for Clicker Use, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. 11, 020101.

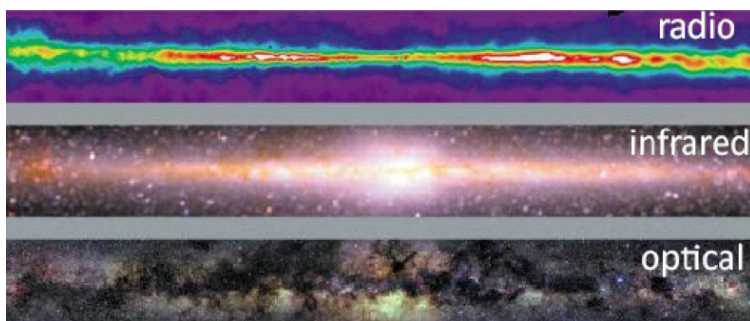


Abbildung 7: Profile der Milchstraßenscheibe, wie sie Teleskope bei verschiedenen Wellenlängen sehen. Der Radiobereich (radio) umfasst Wellenlängen zwischen Kilometern und Metern, der infrarote Bereich (infrared) um die 0.3 Millimeter und der sichtbare Bereich (optical) zwischen 0.7 und 0.4 Mikrometer. Abbildung aus Ref. 14.

Die Radioteleskope messen die elektromagnetische Strahlung von beschleunigten Elektronen, die teilweise vom intergalaktischen Magnetfeld oder von Protonen mitgerissen werden. Die infraroten Teleskope können tiefer in die Ebene der Galaxie hineinschauen als die optischen Teleskope. Das infrarote Spektrum stammt von Sternen (helle Flecken) oder vom interstellaren Staub. Das optische Licht stammt von nicht so weit entfernten Sternen in bis zu 1000 Lichtjahren Entfernung, weil es sonst stark absorbiert würde. Wenn wir an die Milchstraße denken, sehen wir das Bild einer Spiralgalaxie vor uns. Diese Bilder gibt es von anderen Galaxien wie dem Andromeda-Nebel. Für die Milchstraße aber ist die Spiralgestalt nur rekonstruierbar. Der Satellit Gaia zeichnet eine dreidimensionale Karte unserer Galaxie auf, die die Zusammensetzung, Bildung und Evolution der Galaxie entschlüsseln hilft. Er misst die Positionen von ungefähr 1 Milliarde galaktischer Sterne.

4 Zeit-Raum versus Raum-Zeit

Gewisse Philosophen kritisieren, dass die Naturwissenschaft den Zeitraum ignoriere. Nur das Bewusstsein könne die Dauer wahrnehmen. Der Physiker registriere nur die extremen Ausschläge des Pendels, die für die Definition der Sekunde wichtig sind. Aber dazwischen, in dem Zeitraum zwischen den maximalen Winkeln existieren beliebig viele andere Pendelpositionen, die den Raum zwischen den Sekunden ausfüllen. In jedem Intervall dieses Zeit-Raums ereignet sich ein

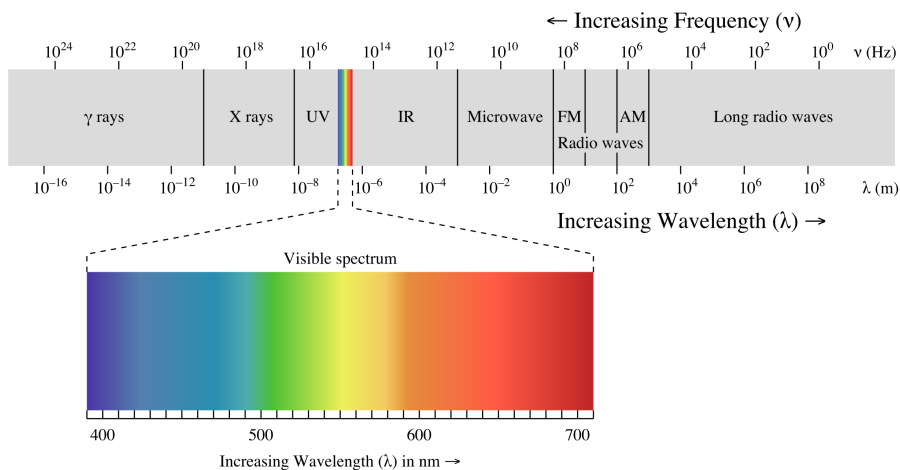


Abbildung 8: Spektrum des sichtbaren Lichts zwischen 400 Nanometer (= 0.4 Mikrometer) für blaues Licht und 700 Nanometer (= 0.7 Mikrometer) für rotes Licht. https://en.wikipedia.org/wiki/Visible_light_communication#/media/File:EM_spectrum.svg

spezieller Winkel. Die Physik vereinigt Zeit und Raum im Begriff der Raum-Zeit. Das Ereignis als wohldefinierter Punkt in der Raum-Zeit ist Ausgangspunkt eines Systems schöner physikalischer Begriffe. Wie ist es dazu gekommen und wie sollen wir die Raum-Zeit verstehen? Am Anfang steht die Beobachtung der elektromagnetischen Wellen, die sich im Sichtbaren als Spektrum mit verschiedenen Farben zeigen (siehe Abb. 8).

Vom extrem kurzwelligen Blau bis zum langwelligen Rot sieht unser Auge gerade den Teil des Spektrums, der am intensivsten im Licht der Sonne ist. Johann Wolfgang von Goethe¹⁵ hat diese Eigenschaft so kommentiert:

*Wär nicht das Auge sonnenhaft,
die Sonne könnte es nie erblicken.*

¹⁵ Die Naturphilosophie Goethes weicht von der Idee der Wahrnehmung ab, die ich in der Einleitung skizziere und sich an Gernot Böhme „Eine ästhetische Theorie der Natur“, Frankfurt a/M 1992, S. 125 ff., orientiert.

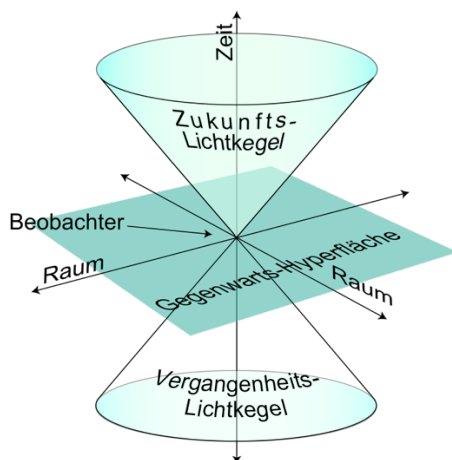


Abbildung 9: Darstellung der Raum-Zeit für einen Beobachter, der sich im Ursprung der Gegenwarts-Fläche befindet. Zukunft und Vergangenheit liegen innerhalb des Zukunfts-Lichtkegels und Vergangenheits-Lichtkegels. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=34298557>

Wenn man zur Abb. 1 zurückgeht, kann man die elektromagnetische Welle als eine Oszillation im Ort verstehen, die sich in der Zeit mit der Lichtgeschwindigkeit von 299 792 458 Metern pro Sekunde fortbewegt. In Abb. 9 ist eine aufblitzende Lichtquelle im Ursprung dargestellt, welche den ihr zugehörigen Lichtkegel erhält. Da die Lichtgeschwindigkeit die höchste Grenzgeschwindigkeit ist, können nur Ereignisse innerhalb des Vergangenheits-Lichtkegels oder auf seinem Mantel den Beobachter im Ursprung beeinflussen haben. Ebenso kann der Beobachter im Ursprung der Abb. 9 nur Ereignisse innerhalb des Zukunfts-Lichtkegels beeinflussen. Die Vereinigung von Raum und Zeit zu der Raum-Zeit geht von der Unveränderlichkeit der Lichtgeschwindigkeit in allen Bezugssystemen aus, die sich mit gleichmäßiger Geschwindigkeit gegeneinander bewegen.

Die Konstruktion der speziellen Relativität ist abstrakt, da wir kein Gefühl für Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit haben. Ihre Wichtigkeit zeigt sich z. B. in der Höhenstrahlung, die einen Schauer von vielen schnellen Teilchen enthält, die sich mit Geschwindigkeiten nahe der Lichtgeschwindigkeit bewegen. Instabile Teilchen wie z. B. die Myonen haben eine sehr kurze Lebensdauer $d\tau \approx 2 \cdot 10^{(-6)} \text{ sec}$ in ihrem Ruhesystem. In dieser Zeit würden sie nur 600 Meter weit fliegen. Wenn sie aber mit großer Geschwindigkeit in dem Luftschauer zur



Abbildung 10: Polarlicht produziert von geladenen Elektronen und Protonen durch Anregung der Atome in der Atmosphäre. https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Polarlicht_2.jpg.

Erde kommen, haben sie eine verlängerte Lebensdauer dt , die es ihnen erlaubt, die Erde zu erreichen. In Funkenkammern kann man sie gut nachweisen. Spektakulärer für das bloße Auge sind die Polarlichter, die von langsameren Elektronen oder Protonen der kosmischen Strahlung produziert werden, welche auf die oberen Schichten der Erdatmosphäre in den Polarregionen treffen. Durch das Magnetfeld der Erde werden die langsamen Teilchen zu den magnetischen Polen hingelenkt. Sie produzieren schöne leuchtende Polarlichter, indem sie die Luftmoleküle zum Leuchten anregen (siehe Abb. 10).

Wegen der endlichen Lichtgeschwindigkeit kommen die Nachrichten aus dem Kosmos zu uns aus längst vergangenen Zeiten. In der kosmischen Mikrowellenstrahlung ist ein wichtiges Ereignis der Kosmologie kodiert, welches 300 000 Jahre nach dem Big Bang stattfand, als sich die Elektronen und Protonen des heißen Plasmas zu Wasserstoff vereinigten. Satelliten haben diese Hintergrundstrahlung im Gebiet der cm-Wellen immer genauer gemessen. Ihr Spektrum folgt sehr genau dem Planckschen Strahlungsspektrum eines Körpers, der mit 270°C unter dem

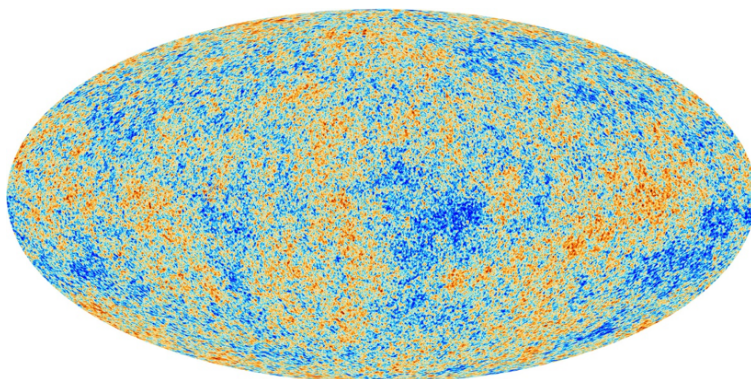


Abbildung 11: Das Bild zeigt die Anisotropie der kosmischen Mikrowellenstrahlung im Weltall (CMB=cosmic background radiation), wie sie der Planck-Satellit beobachtet hat. Die winzigen Temperaturunterschiede definieren Gebiete mit leicht unterschiedlichen Dichten, welche die Keime der Sterne und Galaxien von heute bilden. Diese Momentaufnahme stellt unser Universums 380 000 Jahre nach dem Big Bang dar. <https://phys.org/news/2013-03-planck-reveals-universe.html>.

Nullpunkt der Celsius Skala sehr kalt ist. Die beobachtete Temperatur ist tausendmal kleiner als die Temperatur $T = 0.3 \text{ eV} \approx 3500 \text{ K}$ ¹⁶, bei der sich nach dem Big Bang aus Elektronen und Protonen Wasserstoff bildete. Durch die Expansion des Weltalls hat sich die Wellenlänge des ursprünglichen Lichts zu 1000 Mal längeren Wellenlängen vergrößert. Das heiße Plasma war vollkommen undurchsichtig, erst nach der Rekombination der geladenen Elektronen und Protonen ist das Universum für Photonen transparent geworden.

Die kosmische Mikrowellenstrahlung zeigt als Funktion der Richtung nur sehr kleine Temperaturschwankungen von 0.001%, die in verschiedenen Farben auf Abb. 11 dargestellt sind. Auf diesem Bild sind die Strahlung von der Milchstraße (siehe Abb. 7) und der Dipol-Anteil der Strahlung entfernt, der davon herrührt, dass unsere Galaxie sich mit 300 km/sec in Bezug auf den Strahlungshintergrund bewegt. Temperaturschwankungen durchziehen wie akustische Wellen das frühe Universum. Gravitationsfelder komprimieren die baryonische Materie und erhitzen

¹⁶ Null auf der Celsius-Skala (0°C) entspricht 273,15 K, mit einer Temperaturdifferenz von 1°C äquivalent zu einer Differenz von 1 K. Die Energieskala (eV) und die absolute Temperaturskala ($^\circ \text{K}$) sind miteinander verknüpft, 1 K entspricht $8.6 \cdot 10^{-5} \text{ eV}$.

sie, so dass sie sich wegen der erhöhten Temperatur ausdehnt. Dadurch wird sie wieder kühler, was dazu führt, dass die anziehende Gravitation wieder an Stärke gewinnt und die Dichte erhöht. So wechseln sich Verdünnung und Kompression ab, was wellenartige Anregungen auslöst.

Auf Grund der Analyse dieses Bildes ist das Standardmodell der Kosmologie mit 4.8% baryonischer Materie, 69% dunkler Energie und 26.2% dunkler Materie entstanden. Davon verstehen wir nur den sichtbaren Anteil von 4.8%, der dunkle Rest ist notwendig, um die Gleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie zu erfüllen. Damit der Mikrowellenhintergrund so homogen ist, muss das sehr frühe Universum sich extrem schnell ausgedehnt haben. Dieser inflationäre Vorgang nach dem Big Bang sollte auch einen großen Ausbruch von Gravitationswellen ausgelöst haben. Die kürzlich erstmals beobachteten Gravitationswellen bei der Vereinigung zweier schwarzer Löcher lassen hoffen, dass wir bald auch Gravitationswellen beobachten können, welche die inflationäre Phase des Universums bezeugen.

5 Materie und Kräfte

Wenn man einen Faden in eine Salzlösung hält, dann bilden sich daran innerhalb von Wochen dreidimensionale Kristalle. Die kubische Struktur des Kristallgitters aus Natrium- und Chloratomen ist gut an der makroskopischen Gestalt des Kristalls (Abb. 12) zu erkennen. Im Gitter wechseln sich in jeder Raumrichtung Natriumatome mit Chloratomen ab.



Abbildung 12: Dreidimensionale Kochsalz-Kristalle. Die kubische Struktur spiegelt das Kristallgitter aus Na- und Cl-Ionen wieder. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rock_salt_crystal.jpg

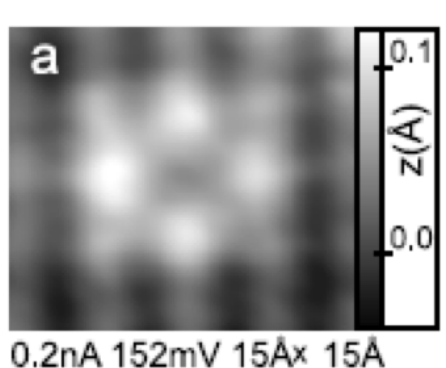


Abbildung 13: Experimentelles Ergebnis für das Bild, welches das Raster-Tunnelmikroskop von einer Cl-Leerstelle umgeben von Natriumatomen auf einem Kupfergitter erzeugt. Die Abbildung stammt von der Ref.17. Das Mikroskop benutzt den quantenmechanischen Tunneleffekt, um mittels einer Spannung zwischen einer feinen Spitze und einer Oberfläche einen Tunnelstrom zu erzeugen.

Mit dem Rastertunnelmikroskop¹⁷ kann man eine Schicht von NaCl-Atomen auf einer Kupferschicht sehen. Man kann erkennen, dass ein Cl-Atom inmitten der umgebenden Na-Atome fehlt. Das Mikroskop bildet die Dichte der Elektronen in den Hüllen der Atome ab. Man kann mit dem Tunnelmikroskop einzelne Atome quasi sehen (siehe Abb. 13).

Im Jahr 2019 feiern wir den 150. Geburtstag des Periodensystems. Im Prinzip ist das periodische System der Elemente ganz einfach, weil es die Zentralsymmetrie¹⁸ der elektrischen Wechselwirkung zwischen dem Atomkern und den Elektronen widerspiegelt. Die Wechselwirkung hängt nur vom Abstand und nicht von der Richtung der Elektronen vom Kern ab. Sie führt dazu, dass sich die Elektronen in der Atomhülle in Schalen anordnen, die in Perioden und Gruppen angeordnet sind (siehe Abb. 14). Das Alkalimetall Na befindet sich in der dritten Periode und 1. Hauptgruppe, d.h. es besitzt ein Elektron mit dem Drehimpuls Null in der

¹⁷ Jascha Repp, Gerhard Meyer, Sami Paavilainen, Fredrik E. Olsson and Mats Persson, PRL95,225503 (2005)

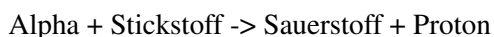
¹⁸ Außer der Zentralsymmetrie bestimmt das Pauli-Prinzip für die Elektronen die Besetzung der Orbitale. Jeder Quantenzustand kann nur einfach von einem Elektron besetzt werden. Orbitale zu einem Drehimpuls l können wegen des halbzahligen Spin des Elektrons deswegen $2 \cdot (2l+1)$ mal besetzt werden, z.B. im p- ($l=1$) Orbital im Cl können sich maximal 6 Elektronen aufhalten.

	6,9	9,0	10,8	12,0	14,0	16,0	19,0		20,2
3	Na 23,0	Mg 24,3	Al 27,0	Si 28,1	P 31,0	S 32,1	Cl 35,5		Ar 39,9
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe Co Ni	

Abbildung 14: Ein Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente. Die Elektron-Wellenfunktionen der Elemente in der dritten Periode haben Aufenthaltswahrscheinlichkeiten mit drei (s-Orbitale) und zwei (p-Orbitale) Knoten. Na in der ersten Hauptgruppe hat ein Elektron in der 3s-Schale, während Cl zwei Elektronen in der s-Schale und fünf Elektronen in der p-Schale besitzt. Die obige Abbildung ist ein Teil der Abbildung http://www.imn.htwk-leipzig.de/~stich/Bilder_VH/II.IV.pdf.

äußersten 3s Schale. Sein Partner Cl gehört zur Gruppe der Halogene (7. Hauptgruppe) und hat die Konfiguration der äußersten Schale $3s^2 3p^5$. Ihm fehlt ein Elektron in der p-Schale mit Drehimpuls Eins. Dies erklärt die Affinität zwischen dem Natrium und dem Chlor. Das Natriumatom gibt ein Elektron dem Chloratom. Dadurch baut sich eine elektrische Bindung zwischen dem positiv geladenen Ion Na^+ und dem negativ geladenen Cl^- auf.

Die entsprechende Liste der Atomkerne wird als Funktion der Anzahl der Protonen und Neutronen in den Kernen dargestellt. Auch in Atomkernen gibt es ein Schalenmodell, welches aber keine räumliche Anordnung auszeichnet. Für die tausendmal kleineren Kerne ist man auf Streuexperimente angewiesen, um ihren Aufbau zu studieren. Die älteste Aufnahme eines solchen Experiments stammt von Rutherford aus dem Jahr 1919, der eine mit Stickstoff gefüllte Nebelkammer mit Alphateilchen (He-Kerne) beschoss und die Reaktion



nachwies, wobei das Proton eine lange dünne Spur und der Sauerstoffkern eine kurze dicke Spur hinterlässt. Die Kammer enthielt keinen Wasserstoff (Proton + Elektron), also musste das Proton in der Reaktion erzeugt werden. Blaskameraufnahmen haben in der frühen Elementarteilchenphysik eine wichtige Rolle gespielt.

In Abb. 15 ist eine Blaskammer Aufnahme von der Wechselwirkung eines Gammaquants mit dem virtuellen Photon des Coulombfelds eines Atomkerns dargestellt. Die beiden Photonen produzieren ein negativ geladenes Elektron und ein positiv geladenes Positron, das Antiteilchen des Elektrons. Diese entgegengesetzt

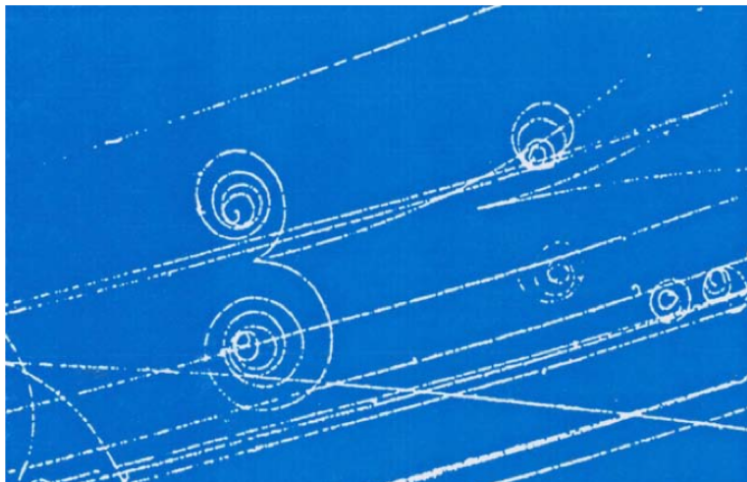


Abbildung 15: Blasenkammer-Aufnahme der Produktion eines Positron-Elektron-Paares im Coulombfeld eines Atomkerns <https://arxiv.org/vc/physics/papers/0604/0604152v1.pdf>.

geladenen Teilchen werden im Magnetfeld der Blasenkammer in entgegengesetzte Richtungen abgelenkt und beschreiben spiralenartige Bahnen.

Die Beobachtung einer Blasenkammeraufnahme ist schöner als die Beobachtung eines Kondensstreifens am Himmel, den wir auf ein Düsenflugzeug zurückführen, weil sie uns einen Blick auf Objekte eröffnet, die so winzig sind, dass wir sie nicht mehr mit unseren Händen begreifen können. Die Reaktionsprodukte, die wir in unseren Detektoren sehen können, verbergen eine tiefere Schicht darunter. Die hadronischen Protonen, Neutronen oder Kaonen sind zusammengesetzte Strukturen aus Quarks, die die verrückte Eigenschaft haben, sich immer nur als Quark-Antiquark-Paare oder als Baryonen mit 3 Quarks zu zeigen. Murray Gell-Mann hat für sie den Namen Quarks aus James Joyces ‚Finnegans Wake‘ adoptiert.

In Abb. 16 ist der ganze Teilchenzoo der Materieteilchen als Kugeln dargestellt. Die Materieteilchen genügen Erhaltungsgesetzen, d.h. Teilchen und Antiteilchen werden immer nur zusammen erzeugt. Die Kraftteilchen (Gluonen, Photonen, W, Z – Bosonen) vermitteln die Wechselwirkung und sind auf den Stufen angegeben. Das Higgs-Teilchen (nicht im Bild) thront sozusagen über allen Teilchen und gibt ihnen ihre Masse. Die Kraftteilchen sind zusammen mit ihren hauptsächlichen

Akteuren zu sehen, d.h. die Quarks mit den Gluonen, die Leptonen e , μ , π mit der elektromagnetischen Wechselwirkung und die Neutrinos mit den W- und Z-Bosonen. Wobei anzumerken ist, dass natürlich auch die Quarks die schwache Wechselwirkung der W- und Z-Bosonen spüren, genauso wie sie als geladene Teilchen an die Photonen koppeln.

Die Antiteilchen muss man sich hinzudenken. Die theoretische Grundlage des Bildes ist die Symmetrie $SU_3 \times SU_2 \times U_1$, welche die starke Wechselwirkung der Quarks und Gluonen in der SU_3 beinhaltet und die schwache Wechselwirkung der W- und Z-Bosonen mit der elektrischen Wechselwirkung der Photonen in der Gruppe $SU_2 \times U_1$ vereinigt. Die $SU_2 \times U_1$ ist auf komplizierte Weise durch den Erwartungswert des Higgsfelds gebrochen. Auch die Rechts-Links-Symmetrie und die Teilchen-Antiteilchen-Symmetrie sind durch die schwache Wechselwirkung gebrochen. Die Schönheiten der mathematischen Symmetrien dominieren das Geschehen, aber sie sind gebrochen, als wollte die Natur eine Korrektur anbringen.

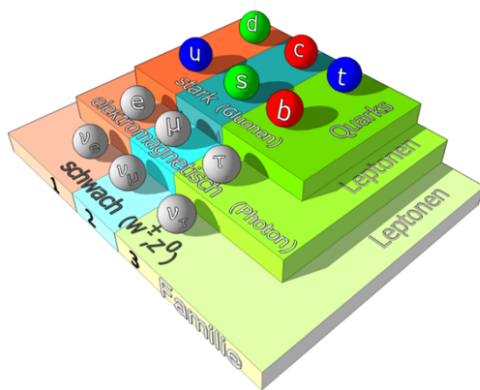


Abbildung 16: Schematisches Bild des Standardmodells der Elementarteilchen. Die einzelnen Stufen unterscheiden die verschiedenen Wechselwirkungen. Die Quarks mit den Geschmacksrichtungen (up,down), (strange,charm) und (bottom,top) unterliegen der starken Wechselwirkung, die Leptonen Elektron, Myon und Tau-Lepton der elektromagnetischen Wechselwirkung. Die restlichen Leptonen sind ungeladene Neutrinos, die nur schwach wechselwirken. Die Abbildung stammt von <https://psi.physik.kit.edu/97.php>

Die ästhetische Diskussion des Standardmodells bezieht sich auf verschiedene Aspekte. Das Modell besticht durch seine große Symmetrie und die Wiederholung in drei Familien (siehe Abb. 16). Es enthält jedoch viele Parameter, die nicht

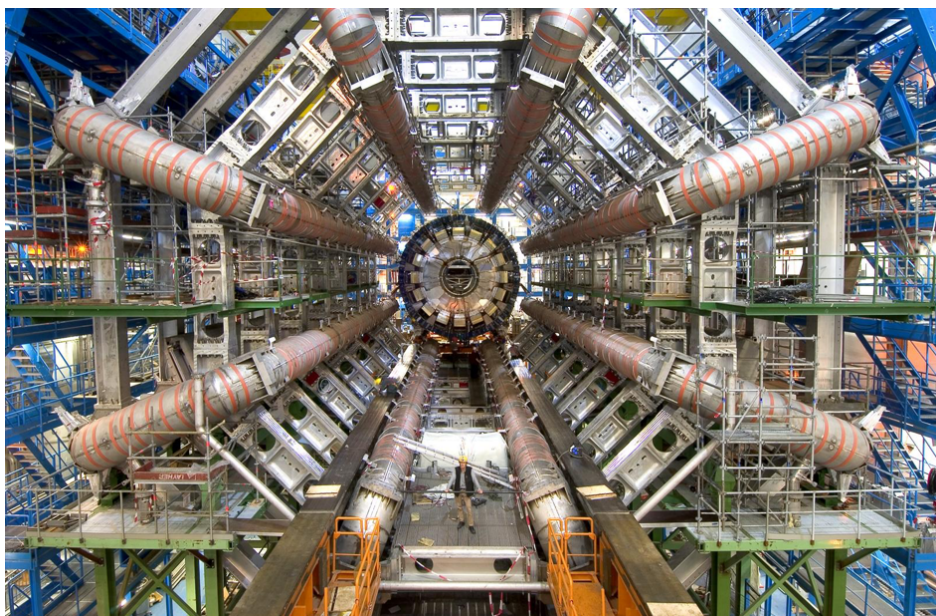


Abbildung 17: Das Foto zeigt den ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus) Detektor am Large Hadron Collider im CERN. https://www.weltmaschine.de/cern_und_lhc/experimente_am_lhc/atlas

verstanden sind. Die Massen der Teilchen ohne Neutrinos variieren über 6 Größenordnungen, die Massen der Neutrinos (noch nicht genau bekannt) sind noch viel kleiner. Die Wiederholung der Spezies in drei Familien ist geheimnisvoll. Die Quantenkorrekturen zur Higgs-Masse sind überraschend klein sein, wofür es keine Erklärung gibt. Teilchenphysiker gehen von der Annahme aus, dass die Materie auf kleinerer Skala immer einfacher wird. Diese Annahme ist zum Teil bestätigt, aber eben nicht vollständig. Wie aus den Gesprächen mit Theoretikern¹⁹ hervorgeht, sehen viele Teilchenphysiker das Attribut schön als identisch mit natürlich, ökonomisch, effizient oder einfach an. Dann kann man verstehen, dass sie das Standardmodell als „hässlich“ bezeichnen.

Die Schönheiten der Physik kommen mit einem hohen Preis an persönlichem und materiellem Einsatz. Besonders in der Elementarteilchen- und Astrophysik

¹⁹ Sabine Hossenfelder und Gabriele Gockel, Das hässliche Universum, Frankfurt a/M, 2018

werden die Instrumente für die Beobachtung und Experimente immer aufwendiger. Der in Abb. 17 gezeigte ATLAS-Detektor ist so groß wie ein fünfstöckiges Haus. Im Innern des Detektors werden die Impulse aller in der Kollision entstandenen geladenen Teilchen vermessen. Ein Magnetfeld lenkt die in der Kollision entstandenen Myonen im äußeren Bereich des Detektors ab.

ATLAS liest die Daten von über 100 Millionen elektronischen Kanälen 40 Millionen Mal pro Sekunde aus. Mehr als 3200 Wissenschaftler von 177 Instituten aus 38 Ländern arbeiten an diesem Experiment. Die Physik in Heidelberg ist sowohl am ATLAS-Experiment als auch an den ALICE- und LHCb-Experimenten am CERN beteiligt. Die Ästhetik dieser modernen Experimente ist offensichtlich. Die elektronische Datenverarbeitung und die industrielle Technik schaffen Strukturen, deren Organisation, Symmetrie und Vielfältigkeit auch das Auge des Laien beeindruckt.

Die Entdeckung der verborgenen Schönheiten der Natur in der Physik ist ein Geschenk der Technik. Sie ist es, die uns in den Kosmos der kleinsten und der größten Welt hineinblicken lässt. „Die ästhetische Theorie der Natur ist diejenige Theorie der Natur, die ihren Grundzug des Hervortretens bzw. des Ausschiheraustretens der Naturdinge herausarbeitet und zum Leitprinzip der Naturentdeckung macht.“ Dieses Zitat von Gernot Böhme²⁰ fragt nach der Schönheit der vermittelnden Technik. Ist die Technik nicht ein Hindernis, direkt mit der Natur in Kontakt zu kommen? Ist die verborgene Schönheit der Natur ein Kunstprodukt menschlicher Konstruktion? Ich habe in diesem Aufsatz versucht zu zeigen, dass die Schönheit der Physik in ihren mathematischen Symmetrien und Strukturen liegt, aber erst durch die technischen Hilfsmittel sichtbar wird, die wir als Physiker benutzen. Sie ist nicht ein Korrelat unseres a-priori Verständnisses von Raum und Zeit und Materie. Die Frühgeschichte unseres Universums hat sich ohne uns ereignet, die kleinsten Teilchen gibt es ohne uns, und was wir über sie erfahren, ist nicht von uns erfunden. Die Natur überrascht uns mit ihrer verborgenen Schönheit, solange wir sie intensiv befragen.

²⁰ Gernot Böhme, Eine ästhetische Theorie der Natur in „Natürlich Natur“, Frankfurt a/M, 1992, S. 132

Über den Autor

Hans J. Pirner ist theoretischer Physiker. Er hat in USA an der State University of New York at Stony Brook promoviert. Nach Aufgehalten am Niels Bohr Institut in Kopenhagen, im CEA Saclay in Paris and am CERN in Genf wurde er 1988 Professor für Physik in Heidelberg mit den Fachgebieten Teilchen- und Kernphysik. Im Marsilius-Kolleg, dem Zentrum für interdisziplinäre Forschung, befasste er sich mit Problemen der Unsicherheit, Unbestimmtheit und Vagheit. Er ist Autor/Coautor von über 200 wissenschaftliche Veröffentlichungen in theoretischer Physik und hat zwei Bücher publiziert. Sein gegenwärtiges Projekt ist die Untersuchung physikalischer Welten im Vergleich zu möglichen Welten.

Korrespondenz:

Prof. Dr. Hans J. Pirner

Institut für Theoretische Physik

Universität Heidelberg

Philosophenweg 19

69120 Heidelberg

E-Mail: H.J.Pirner@tphys.uni-heidelberg.de

Homepage: <http://www.tphys.uni-heidelberg.de/~pir/>

Schönheit aus psychologischer Sicht

JOACHIM FUNKE

Psychologisches Institut, Universität Heidelberg

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird ein kleiner Ausschnitt der psychologischen Forschung zum Thema „Schönheit“ thematisiert. Es werden Bezüge zu psychischer Krankheit, Ehrfurcht, der Attraktivität von Gesichtern, Schulnoten und Partnerwahl hergestellt und durch empirische Befunde belegt.

1 Einführung

Schönheit: Das ist ein Konzept mit langer Tradition, zu dem viele Disziplinen etwas beigetragen haben. Ich möchte in diesem Kapitel die psychologische Perspektive auf das Thema richten und Erkenntnisse aus „meinem“ Fachgebiet beitragen, wohl wissend, dass vermutlich keine einzelne Disziplin dieses unscharfe („fuzzy“) Konzept umfassend erläutern kann (und ebenfalls wissend, dass ich nur kleine Ausschnitte aus dieser psychologischen Perspektive werde präsentieren können). Eine aktuelle (kurze) Übersicht zum Thema findet sich bei Brielmann und Pelli (2018); auch das schöne (umfangreiche) Buch von Umberto Eco (2004) zeigt viele verschiedene Blickwinkel auf das Thema „Schönheit“, die der Psychologie nahe stehen.

In der größten Literaturodatenbank unseres Faches „PsychINFO“ sind für den Zeitraum von 2000 bis 2019 insgesamt 4076 Beiträge zum Schlüsselwort „beauty“ ausgewiesen, davon allein 898, die es im Titel der Arbeit tragen. Und natürlich liegen viele psychologische Studien *vor* diesem Zeitraum vor, denn Schönheit und

ästhetisches Empfinden sind Themen, die seit Beginn der modernen neuzeitlichen Psychologie im 19. Jahrhundert bereits Aufmerksamkeit fanden (z. B. Fechner, 1876). Hier ist der Grundstein für eine „empirische Ästhetik“ mit naturwissenschaftlicher Prägung zu finden.

In diesem Beitrag soll verschiedenen Leitfragen nachgegangen werden: Was hat Schönheit mit (psychischer) Krankheit zu tun? In welchem Zusammenhang steht die Wahrnehmung von Schönheit mit dem, was man „Ehrfurcht“ nennen kann: dem Erschauern vor etwas Großem, das einem Respekt abnötigt? Was zeichnet schöne Gesichter aus? Bekommen schöne Personen bessere Schulnoten? Wird in der Partnerwahl Schönheit der Frauen mit höherem sozialen Status der Männer erkaufte? Ist Schönheit einfach nur „nice to have“ oder hat sie – wie von Charles Darwin vermutet – einen evolutionären Nutzen?

2 Erklärungsmodelle

Ein historisch bedeutsamer Erklärungsansatz stammt aus dem ausgehenden 19. Jahrhundert und trägt den Titel „Ganzheits- und Gestalttheorie“ (siehe z. B. Herrmann, 1957; Klix, 2001). Die leitende Annahme dieser Richtung bestand darin, dass sich Elemente der Wahrnehmung zu „guten“ Gestalten formen würden. „Defekte“ Gestalten, die aus einzelnen Elementen bestehen, sollten durch automatische Prozesse der Selbstorganisation in eine „gute“ Gestalten überführt werden. Ein Beispiel dafür liefert Abbildung 1.

Wie man unschwer erkennt, handelt es sich bei Abbildung 1 im Gesamteindruck um einen Würfel mit weißen Kanten (die „gute“ Gestalt). Eine genauere Betrachtung zeigt allerdings, dass die Kanten zwischen den schwarz bekugelten Ecken nicht vorhanden sind (defekte Elemente) und von der wahrnehmenden Person ergänzt werden. Der Würfel demonstriert das gestaltpsychologische Prinzip¹ der Geschlossenheit (neben den Prinzipien der Ähnlichkeit, der Nähe, des gemeinsamen Schicksals, der gemeinsamen Region, der Gleichzeitigkeit). Das dahinterstehende Prinzip der „guten Gestalt“ beruht auf Einfachheit und Prägnanz. Alle Versuche, das Prinzip der guten Gestalt zu formalisieren (z. B. informations-

¹ In der Literatur wird häufig von *Gestaltgesetzen* gesprochen – ich bevorzuge den etwas schwächeren Begriff des Prinzips, da Gesetze in der Psychologie typischerweise formalisiert sind (wie z. B. Stevens' Potenzgesetz).

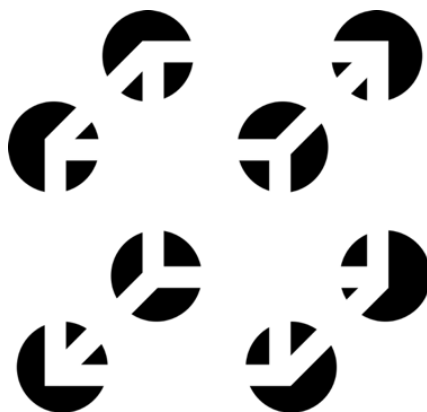


Abbildung 1: Ein imaginärer Würfel illustriert das Prinzip der Geschlossenheit (Quelle: Bernard Ladenthin, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5581345>).

theoretisch die Einfachheit einer Grafik über die Zahl der *bits* zu bestimmen, die man für deren Beschreibung braucht), sind bisher misslungen.

Ganz im Sinn der Gestaltprinzipien sind Befunde, wonach kurvige Figuren gegenüber eckigen bevorzugt werden. Dies zeigt sich bis in die Ebene sprachlicher Benennungen, wie Abbildung 2 zeigt, die auf ein Experiment des Gestaltpsychologen Wolfgang Köhler aus dem Jahr 1929 zurückgeht.

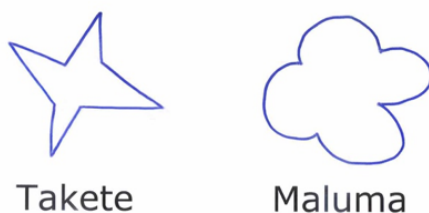


Abbildung 2: Zuordnung der Begriffe „Takete“ und „Maluma“ zu zwei willkürlich erzeugten Figuren (Quelle: Manuel Krueger-Kusche, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Maluma_und_Takete.jpg).

Köhler (1947, S. 224–225) legte seinen Testpersonen zwei geometrische Objekte vor – das eine gezackt, das andere rundlich – und bat sie, die Bezeichnungen „Takete“ bzw. „Maluma“ diesen Objekten zuzuordnen (angeregt durch Vorarbeiten

von Dimitri Usnadze, 1924). Das Ergebnis war eindeutig: In den meisten Fällen wurde das eckige Objekt als „Takete“ bezeichnet, was mit den „Anmutungsqualitäten“ sowohl der Zeichnungen als auch denen der Bezeichnungen („Takete“ klingt scharf, „Maluma“ weich) erklärt wird.

3 Schönheit und (psychische) Krankheit

Eine interessante Seite hat Schönheit, an die man nicht sofort denkt: Sie kann pathologische Verhaltensweisen hervorbringen, nämlich da, wo Menschen versuchen, ihre Schönheit zu beeinflussen (zur Rolle der Kosmetik siehe Jung & Funke, 2015). Als ein Beispiel für diese Neigung ist die *Tanorexie* (=Pathologischer Lichtmissbrauch, Bräunungssucht) anzusehen. Brauner Teint, ewige Jugendlichkeit und glatte Haut als Charakteristika des gängigen Schönheitsideals führen zu verstärkter Nutzung von Solarien, zu übermäßiger Lichtexposition oder zu Behandlungen in Praxen für Schönheitschirurgie. Während in Asien die weiße Haut als Schönheitsideal gilt, ist dies im mitteleuropäischen Raum die gebräunte Haut, die Freizeit und natürliche Schönheit symbolisieren soll. Wie Harth (2017) schreibt, zeigen neuere Untersuchungen im Zusammenhang mit Bräunungssucht auf sehr heterogene Prädiktoren der Tanorexie hin, zu denen auch Alkoholabhängigkeit, Sportsucht oder saisonal abhängige Depression gehören.

Ein anderer Aspekt im Verhältnis von Krankheit und Schönheit hat mit dem Konzept von „healing spaces“ zu tun (Schweitzer, Gilpin, & Frampton, 2004). Wie Ulrich (1984) bereits vor vielen Jahren anhand eines kleinen Experiments in einem amerikanischen Krankenhaus zu zeigen versuchte, hat die Schönheit der Krankenhausumgebung offenbar einen direkten positiven Einfluss auf den Heilungsprozess. Ulrich brachte zwei – nach verschiedenen Kriterien parallelisierte – Patientengruppen mit vergleichbaren Gallenblasen-Operationen entweder in Zimmern mit Blick auf eine schöne Parkumgebung oder mit Blick auf eine hässliche Ziegelsteinmauer unter. Sowohl in Bezug auf die Länge des Krankenhausaufenthalts, auf die Zahl erlebter Komplikationen, auf die Menge an benötigten Schmerzmitteln als auch auf das Auftreten von Depressionen waren die Patienten in der „schönen“ Umgebung denen in der „hässlichen“ klar überlegen.

4 Schönheit und Ehrfurcht

Man kennt sicherlich das merkwürdige Gefühl von Ergriffenheit, wenn man vor einem eindrucksvollen Bild steht, ein Stück wunderbare Natur sieht oder ein anrührendes Stück Musik hört: Ehrfurcht vor der jeweiligen Schöpfung. Keltner und Haidt (2003) stellen in ihrem informativen Überblicksartikel zum Thema „Ehrfurcht“ (engl. *awe*) folgenden Bezug zur Schönheit her: „Beautiful people and scenes can produce awe-related experiences that are flavoured with aesthetic pleasure. We cannot give here an account of what makes something beautiful, although we think it likely that there will be at least two sources of intuitions about beauty, one stemming from ‘biophilia’ (Wilson, 1984), and the other from the evolution of sexual desire and attraction (Buss, 1994).“

5 Schönheit von Gesichtern

Die Schönheit von Gesichtern ist von besonderer Bedeutung, weil Gesichter (anders als etwa Füße) eine besondere Stellung in der zwischenmenschlichen Kommunikation haben: Gesichter drücken Emotionen aus und haben dadurch automatisch eine hohe Valenz. Folgt man Znoj und Abegglen (2012), werden asymmetrische Gesichter als eher unattraktiv wahrgenommen, umgekehrt werden *ganz* symmetrische Gesichter nicht automatisch als attraktiv eingestuft.

Ein wichtiges Attraktivitätsmerkmal ist die *Durchschnittlichkeit* (Ausgewogenheit) eines Gesichts (siehe die oft zitierte Arbeit von Langlois & Roggman, 1990). Durchschnittsgesichter werden attraktiver beurteilt als die zugrundeliegenden Individualgesichter. Die Technik des „Morphens“ (des Übereinanderlegens und Verschmelzens) von Gesichtern erlaubt es, aus vielen individuellen Gesichtern ein „Durchschnittsgesicht“ herzustellen. Auf der Webseite <http://faceresearch.org> der Universität Glasgow kann man dieses Verfahren selbst ausprobieren.

Aber Vorsicht: durchschnittliche Gesichter werden nicht in jedem Fall als attraktiv bewertet; wenn sehr gut proportionierte, symmetrische Gesichter vorhanden sind, werden diese sogar als noch schöner als das Durchschnittsgesicht empfunden.

Variationen von erwachsenen Frauengesichtern, deren Proportionen dem Kindchenschema angenähert wurden, wurden von mehr als 90% der Befragten als attraktiver eingeschätzt als Durchschnittsgesichter. Eine empfehlenswerte Webseite mit Bildern zum Thema ist hier zu finden: <http://www.beautycheck.de/cmsms/index.php/durchschnittsgesichter>.

Für beide Geschlechter gibt es zudem hohe Korrelationen zwischen dem Attraktivitätsurteil (basierend auf dem Gesicht) und zugeschriebenen Persönlichkeitseigenschaften wie „erfolgreich“, „zufrieden“, „sympathisch“, „intelligent“, „gesellig“, „aufregend“, „kreativ“ und „fleißig“. Vermutlich kommt hier ein „Halo“-Effekt zum Tragen, wonach von einer markanten Eigenschaft einer Person auf eine andere relevante Eigenschaft geschlossen wird, obwohl überhaupt kein Zusammenhang besteht. Die Einschätzung attraktiver Personen erfolgt als eher sozial kompetent, weniger introvertiert, machtvoll, sexuell aktiv, intelligent und gesund.

Die Wahrnehmung einer Person als attraktiv folgt – so die Autoren – universalen und damit biologisch angelegten Mechanismen (siehe dazu auch Voland & Grammer, 2003). Den größten Einfluss auf die Wahrnehmung und Einschätzung anderer Personen haben dynamische Elemente; nicht die „statische“ Schönheit hat die stärkste Wirkung, sondern deren Dynamik, die sich ergibt aus einem wechselnden und der Situation angepassten emotionalen Ausdruck, der Stimme und der Stimmlage sowie körperlichen Bewegungen und Gesten.

6 Schönheit und Schulnoten

In einer interessanten Studie gehen Dunkake, Kiechle, Klein und Rosar (2012) der Frage nach, ob die physische Attraktivität von Schülern die Notenvergabe durch Lehrer beeinflusst. Fünf verschiedene Datenquellen, erhoben an 77 Schülerinnen und Schülern eines Gymnasiums aus den Klassenstufen 5 und 9, standen zur Verfügung: (1) prozessproduzierte Daten (Noten verteilt über verschiedene Fächer und verschiedene Zeitpunkte), (2) Kennwerte eines Intelligenztests, (3) Daten einer schriftlichen Befragung im Klassenverbund, (4) Einschätzungen der Klassenlehrer zur Beurteilung der einzelnen Schüler, und (5) Urteile über die physische Attraktivität der Schülerinnen und Schülern durch unbeteiligte Lehrerinnen und Lehrer.

Im Ergebnis der hierarchischen Mehrebenenanalyse zeigt sich auf Basis von gut 1700 vergebenen Noten ein substantieller Effekt der Attraktivität: Das Aussehen der Schülerinnen und Schüler macht bis zu 0.8 Notenpunkte Unterschied auf der üblichen Schulnotenskala von 1–6. „Schönere“ Schüler erhalten „schönere“ Noten, das äußere Erscheinungsbild beeinflusst die Bewertung. Dieser Effekt ist bei Jungen stärker als bei Mädchen. Die Autoren der Studie weisen allerdings auf die Beschränkungen ihres Samples hin – bevor weitreichende Maßnahmen zur

Entschärfung des vermuteten Effekts eingeleitet werden, sollten die Befunde erst einmal an anderen Stichproben repliziert werden.

7 Schönheit und sozialer Status bei der Partnerwahl

Schunck (2017) untersucht die Frage, ob sich bei Partnerschaften in Deutschland Belege für einen Austausch von sozio-ökonomischem Status gegen physische Attraktivität finden lassen. In seiner auf repräsentativen Umfragedaten basierenden Umfrage (N = 6732 Personen der deutschen Bevölkerung aus den ALLBUS-Daten 2008, 2010 und 2012) wird die von den Interviewern geschätzte physische Attraktivität der befragten Personen (auf einer elfstufigen Skala) als abhängige Variable verwendet.

Im Ergebnis zeigen sich deutliche Homogamie-Tendenzen („gleich zu gleich gesellt sich gern“) bei den untersuchten Partnerschaften. Bildung spielt dabei eine zentrale Rolle. Aber: Je größer die Differenz zwischen der Bildung des Partners und der Bildung der befragten Person, desto attraktiver ist die befragte Person. Schunck schlussfolgert aus seinen Daten: In Partnerschaften wird sozio-ökonomischer Status gegen physische Attraktivität getauscht, und zwar sowohl von Männern als auch von Frauen. Männlicher sozio-ökonomischer Status (operationalisiert über Bildung) wird dabei in größerem Maße gegen weibliche Attraktivität getauscht als umgekehrt.

8 Abschluss

Hönn und Goz (2007) machen in ihrem Beitrag deutlich, dass die 1878 von Margaret Hungerford aufgestellte These „Schönheit liegt im Auge des Betrachters“ inzwischen von zahlreichen Autoren widerlegt werde. Die Beurteilung der Attraktivität folge allgemeinen, kulturell beeinflussten Normen und hänge nicht allein vom Betrachter ab. Die Veränderung von Schönheitsidealen über die Jahrhunderte hinweg wie auch der Vergleich verschiedener Kulturen belege das eindrucksvoll.

Dass das Konzept „Schönheit“ viele Facetten besitzt, macht die Anekdote des antiken griechischen Malers *Zeuxis von Herakleia* (er hat im letzten Drittel des 5. und den ersten Jahren des 4. Jahrhunderts vor unserer Zeit gelebt) über die weibliche Schönheit deutlich: Die Bewohner von Kroton beauftragten Zeuxis, ein Bild mit dem Ideal der weiblichen Schönheit zu malen – es sollte Helena gewidmet



Abbildung 3: Bild des französischen Malers François-André Vincent (1746–1816) von 1789 „Zeuxis, wie er seine Modelle für das Bildnis der Helena unter den Mädchen von Kroton auswählt“ (Quelle: <http://vellocinodeoro.hypotheses.org/891>).

werden, der angeblich schönsten Frau der damaligen Zeit (sie war ein Grund für den Kampf um Troja). Zeuxis bat die Bewohner, ihm alle Mädchen des Ortes zu zeigen. Er wählte fünf Mädchen aus – nicht eine davon war vollkommen, sondern jede hatte Vorzüge und Nachteile. Der Maler führte daraufhin die schönsten Teile der beteiligten Frauen zusammen – eben *seine* Idee der Schönheit. Abbildung 3 illustriert diese Geschichte.

Die psychologischen Beiträge zum Thema Schönheit sind nicht ganz so einfach in ein Bild zu überführen, wie es Zeuxis damals getan hat. Es bleibt ein unscharfes Konzept, über das nachzudenken sich lohnt. Dabei sollten wir uns die Warnung des Königsberger Philosophen Immanuel Kant (1724–1804) vor Augen halten: „Es kann keine objektive Geschmacksregel, welche durch Begriffe bestimmte, was schön sei, geben. Denn alles Urteil aus dieser Quelle ist ästhetisch; d.i. das Gefühl des Subjekts, und kein Begriff eines Objekts, ist sein Bestimmungsgrund. Ein

Prinzip des Geschmacks, welches das allgemeine Kriterium des Schönen durch bestimmte Begriffe angäbe, zu suchen, ist eine fruchtlose Bemühung, weil, was gesucht wird, unmöglich und an sich selbst widersprechend ist.“ (Kant, 1790, S. 113).

Danksagung

In Vorbereitung dieses Beitrags hat mir Elena Graf bei der Literatursammlung geholfen und hilfreiche Kommentare zu einer Vorfassung gegeben. Dafür danke ich herzlich! Für Kommentare und Anmerkungen danke ich Dr. Marlene Endepohls ebenfalls herzlich.

Literatur

- Brielmann, A. A., & Pelli, D. G. (2018). Aesthetics. *Current Biology*, 28(16), R859–R863. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.06.004>
- Buss, D. M. (1994). *The evolution of desire*. New York: Basic Books.
- Dunkake, I., Kiechle, T., Klein, M., & Rosar, U. (2012). Schöne Schüler, schöne Noten? Eine empirische Untersuchung zum Einfluss der physischen Attraktivität von Schülern auf die Notenvergabe durch das Lehrpersonal. *Zeitschrift für Soziologie*, 41(2), 142–161. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/23773554>
- Eco, U. (2004). *On beauty. A history of a western idea*. London: Secker & Warburg.
- Fechner, G. T. (1876). *Vorschule der Aesthetik*. Leipzig: Breitkopf & Härtel.
- Harth, W. (2017). Überbraune Ästhetik: Die Oberfläche von Tanorexie und Bräunungs-sucht. *Der Hautarzt*, 68(12), 968–972. <https://doi.org/10.1007/s00105-017-4052-y>
- Herrmann, T. (1957). *Problem und Begriff der Ganzheit in der Psychologie*. Wien: Rohrer.
- Hönn, M., & Göz, G. (2007). The ideal of facial beauty: A review. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 68(1), 6–16. <https://doi.org/10.1007/s00056-007-0604-6>
- Jung, E. G., & Funke, J. (2015). Kosmetik im Wandel der Jahrtausende. *Aktuelle Dermatologie*, 41(5), 80–92. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1391962>
- Kant, I. (1790). *Kritik der Urteilkraft*. Leipzig: Philipp Reclam jun.
- Keltner, D., & Haidt, J. (2003). Approaching awe, a moral, spiritual, and aesthetic emotion. *Cognition and Emotion*, 17(2), 297–314. <https://doi.org/10.1080/02699930302297>
- Klix, F. (2001). Über Gestaltpsychologie. *Zeitschrift für Psychologie*, 209(1), 1–16. <https://doi.org/10.1026/0044-3409.209.1.1>
- Köhler, W. (1947). *Gestalt psychology: An introduction to new concepts in modern psychology*. New York: Liveright.

- Langlois, J. H., & Roggman, L. A. (1990). Attractive faces are only average. *Psychological Science*, 1(2), 115–121. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1990.tb00079.x>
- Schunck, R. (2017). Status und Schönheit: Wird sozio-ökonomischer Status in Partnerschaften gegen physische Attraktivität getauscht? *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 69(2), 283–305. <https://doi.org/10.1007/s11577-017-0447-0>
- Schweitzer, M., Gilpin, L., & Frampton, S. (2004). Healing spaces: Elements of environmental design that make an impact on health. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 10(Supplement 1), S71–S83.
- Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224(4647), 420–421.
- Usnadze, D. (1924). Ein experimenteller Beitrag zum Problem der psychologischen Grundlagen der Namengebung. *Psychologische Forschung*, 5(1), 24–43. <https://doi.org/10.1007/BF00402395>
- Voland, E., & Grammer, K. (Eds.). (2003). *Evolutionary aesthetics*. Heidelberg: Springer.
- Wilson, E. O. (1984). *Biophilia: The human bond with other species*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Znoj, H. J., & Abegglen, S. (2012). Face off? Emotionsausdruck und (soziale) Identität aus psychologischer Perspektive. *Journal für Ästhetische Chirurgie*, 5(4), 143–149. <https://doi.org/10.1007/s12631-012-0193-0>

Über den Autor

Joachim Funke ist seit 1997 Professor für Allgemeine und Theoretische Psychologie am Psychologischen Institut der Universität Heidelberg. Promoviert wurde er 1984 an der Universität Trier. Im Jahr 1990 habilitierte er sich an der Universität Bonn. Er war Gastprofessor an verschiedenen Universitäten, darunter Fribourg (Schweiz), Melbourne (Australien), Nanjing (China) und Szeged (Ungarn). Seine primären Forschungsinteressen liegen im Bereich von Denken, Kreativität und Problemlösen. Seine Forschungsideen wurden unter anderem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, von Bundesministerien und von der Europäischen Union finanziell unterstützt. Er hat zahlreiche Artikel in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht, Kapitel zu Fachbüchern beigetragen und eigene Bücher herausgegeben und veröffentlicht.

Von 2010 bis 2014 war er Vorsitzender der Internationalen Expertenkommission für Problemlösen im Rahmen der weltweiten PISA-Studien der OECD. Auf ihn geht ein Wechsel im Verständnis von Problemlösen zurück, der die Perspektive von statischem zu dynamischen Problemlöseaktivitäten verschiebt. Von der ungarischen Universität Szeged wurde ihm 2015 für seine Verdienste um die computerbasierte Erfassung von Problemlöseprozessen der Titel eines Ehrendoktors verliehen. Von Oktober 2011 bis März 2019 war er Sprecher des Akademischen Senats der Universität Heidelberg. Im April 2019 hat sein Ruhestand begonnen.

Korrespondenz:

Prof. Dr. Dr. h.c. Joachim Funke (ORCID ID: 0000-0001-9129-2659)

Universität Heidelberg

Psychologisches Institut

Hauptstr. 47-51

69117 Heidelberg

E-Mail: Joachim.funke@psychologie.uni-heidelberg.de

Homepage: <https://funke.uni-hd.de>

Die Schönheit der Statistik

CHRISTEL WEISS

Medizinische Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird den Gründen nachgegangen, weshalb Kenntnisse in Statistik in vielerlei Hinsicht von Nutzen sind und sogar zu begeistern vermögen. Anhand eines Beispiels (Mammographie-Screening) wird dargelegt, wie ein angemessener Umgang mit Wahrscheinlichkeiten hilft, Informationen sinnvoll einzuordnen und Risiken adäquat zu interpretieren. Außerdem wird erörtert, wie mit statistischen Kenngrößen komplexe Sachverhalte in genial einfacher Weise numerisch beschrieben werden, welche Aussagen in Schätzwerten verborgen sind und wie in empirischen Studien statistische Verfahren zu neuen Erkenntnissen führen können. Schließlich wird anhand der Beispiele einiger bekannter Persönlichkeiten aufgezeigt, wie diese die Schönheit und Eleganz statistischer Verfahren empfunden haben.

1 Einleitung

Statistik und Schönheit – viele Menschen sehen darin einen Widerspruch. Den Begriff „Schönheit“ verbindet man eher mit einem Kunstwerk, mit einem Musikstück oder einem menschlichen Antlitz als mit einer spröden Wissenschaft, die sich mit der Analyse von Zahlen befasst.

Statistik polarisiert, ähnlich wie Mathematik. Während jedoch die meisten Menschen in ihrem Alltag weitgehend ohne Mathematik auskommen, kann sich der Statistik kaum jemand entziehen. Beginnend bei der Zeitungslektüre am frühen Morgen bis zur Nachrichtensendung am späten Abend wird man quasi rund um

die Uhr über diverse Kommunikationsmedien mit Wahrscheinlichkeiten, Durchschnittswerten, Zahlenwerken und Diagrammen konfrontiert. Die Reaktionen der Empfänger sind unterschiedlich: Manche nehmen diese Botschaften mit aufmerksamem Interesse wahr, weil sie glauben, auf diese Weise schnell, umfassend und objektiv über aktuelle Geschehnisse informiert zu werden. Andere fühlen sich unbehaglich angesichts der Fülle der auf sie einströmenden Informationen, weil sie befürchten, manipuliert zu werden. Aphorismen wie „Glaube keiner Statistik, die du nicht selbst gefälscht hast“ (Winston Churchill zugeschrieben) legen darüber ein beredtes Zeugnis ab.

In vielen empirischen Wissenschaften wie etwa in Bio- und Sozialwissenschaften, in der Psychologie, in Wirtschaftswissenschaften und im Versicherungswesen stellen statistische Analysemethoden eine unentbehrliche Hilfe dar. Die meisten Wissenschaftler, die statistische Analysen in ihrem Fachgebiet anwenden, sind zwar beeindruckt von den Möglichkeiten einer effizienten Datenanalyse, angefangen beim Strukturieren der Daten über das Aufdecken von Zusammenhängen bis hin zum Gewinnen neuer Erkenntnisse. Nicht alle Anwender dürften indessen Statistik mit den Begriffen „Schönheit“ oder „Ästhetik“ assoziieren – auch wenn sie diese Techniken nutzen und davon profitieren.

Derlei negative Empfindungen sind unter anderem darauf zurückzuführen, dass die meisten Menschen niemals systematisch gelernt haben, aus statistischen Darstellungen relevante Informationen zu extrahieren oder deren Ergebnisse adäquat zu interpretieren. Viele erinnern sich mit Grauen an ihren Mathematikunterricht in der Schule oder an die Statistikvorlesung, die sie gezwungenermaßen während ihres Studiums besuchen mussten.

Dieser Beitrag soll vermitteln, dass Statistik zu begeistern vermag – nicht nur Mathematiker (die statistische Methoden entwickeln), sondern auch Wissenschaftler anderer Fachrichtungen (die diese Methoden anwenden) und Menschen im ganz normalen Alltag (die mit den Ergebnissen statistischer Analysen konfrontiert werden). Besondere Beachtung finden hierbei statistische Anwendungen in der Medizin.

2 Historische Betrachtungen

Um der Frage nachzugehen, wie Statistik mit Schönheit assoziiert ist, lohnt es sich, deren historische Entwicklung zu betrachten. Die einfachste, seit Urzeiten an-

gewandte statistische Methode ist das Zählen – was Menschen seit jeher fasziniert. Bereits im Alten Testament wird im 4. Buch Mose (das den Namen „Numeri“ trägt) eine Volkszählung erwähnt, bei der alle Männer der zwölf Stämme Israels gezählt werden. Bis ins 18. Jahrhundert hinein war Statistik nahezu gleichbedeutend mit „Staatsbeschreibung“. So war es möglich, geografische, wirtschaftliche und politische Besonderheiten eines Landes quantitativ zu erfassen und darauf basierend objektive Vergleiche anzustellen. Daran hat sich bis heute prinzipiell nichts geändert.

Ein anderes Anwendungsgebiet der Statistik ergab sich, als man begann, alle Geburten und Todesfälle systematisch in Kirchenbüchern aufzuzeichnen. Der preußische Feldprediger **Johann Peter Süßmilch** (1707–1767) wertete derlei Eintragungen aus und entdeckte dabei zu seinem Erstaunen in der Gesamtheit aller unvorhersehbaren Einzelereignisse Regelmäßigkeiten, die er als Zeichen eines göttlichen Plans verstand. Daraufhin verfasste er das bahnbrechende Werk der deutschen Bevölkerungsstatistik, dem er den Titel „Die göttliche Ordnung in den Veränderungen des menschlichen Geschlechts“ gab [14]. Daneben bildete sich im 17. Jahrhundert eine Anwendergruppe mit gänzlich anderen Interessen: Ihnen ging es um die Berechnung von Gewinnchancen bei Glücksspielen. Als namhafte Vertreter dieser Richtung seien **Galileo Galilei** (1564–1642) und **Blaise Pascal** (1623–1662) genannt. Enthusiastisch grübelten sie über ihren Denksportaufgaben, woraus theoretische Abhandlungen resultierten, mit denen sie die Wahrscheinlichkeitsrechnung wesentlich bereichert haben. An dieser Stelle verdient auch der bekannte Mathematiker **Carl Friedrich Gauß** (1777–1855) Erwähnung. Gauß hat zahlreiche Beiträge zu diversen Wissenschaftsgebieten geleistet, unter anderem zur Statistik. Zweifelsohne konnte er sich an der Schönheit der Glockenkurve und der Eleganz der von ihm entwickelten Methoden erfreuen. Tatsächlich ist Schönheit für Mathematiker eine wichtige Kategorie.

Nach Auffassung des Schweizer Mathematikers **Daniel Bernoulli** (1700–1782) spiegeln Wahrscheinlichkeiten die Unvollkommenheit menschlichen Wissens wider. Nichtsdestotrotz gelang es ihm, Wahrscheinlichkeiten praktisch zu nutzen: Als in der Mitte des 18. Jahrhunderts die Pocken in Europa wüteten, stand eine Impfung zur Verfügung, die in der Türkei längst praktiziert wurde. Es bestand allerdings das Risiko 1:200, dass ein Geimpfter innerhalb eines Monats an den Folgen der Impfung verstarb. Trotzdem konnte Bernoulli rechnerisch nachweisen, dass durch die Impfung im Durchschnitt ein Zuwachs an Lebenserwartung zu erwarten

war. Er sah dies als eine Gelegenheit, die Öffentlichkeit objektiv vom Vorteil dieser Maßnahme zu überzeugen [5]. Auch der französische Mathematiker **Pierre Simon Marquis de Laplace** (1749–1827) stellte zu Beginn des 19. Jahrhunderts eine Verbindung zwischen Wahrscheinlichkeitsrechnung und Medizin her, indem er die Meinung vertrat, dass sich aus einer Vielzahl von Beobachtungen therapeutischer Erfolge oder Misserfolge Verallgemeinerungen ziehen ließen. Einige Jahre später erkannte der belgische Mathematiker **Adolphe Quetelet** (1796–1874) als einer der ersten Wissenschaftler die grundsätzliche Bedeutung der Statistik für die Beschreibung und Analyse von physischen Erscheinungen und sozialen Phänomen [12]. Freilich war dieser Ansatz zu seiner Zeit nicht unumstritten. Heute gilt Quetelet als Begründer der Sozialstatistik.

Einige frühe Anwendungen der numerischen Methode im Bereich der Medizin stellten eindrucksvoll deren Nutzen unter Beweis: Der Landarzt **Edward Jenner** (1749–1823) verifizierte statistisch die prophylaktische Wirkung der Kuhpockenimpfung. Der Sozialreformer **Edwin Chadwick** (1800–1890) gab der Hygienebewegung wichtige Impulse. Seine Daten gründeten sich auf statistische Analysen von **William Farr** (1807–1883), der Berichte über Todesursachen in England publiziert hatte. Als der Begründer der klinischen Statistik gilt **Pierre Charles Alexandre Louis** (1787–1872), der eine naturwissenschaftlich orientierte Medizin vertrat [2]. Er überprüfte die Wirkung des Aderlasses und wies – nachdem diese Methode jahrhundertlang angewandt worden war – mittels statistischer Analysen nach, dass dieses Mittel nutzlos oder gar schädlich war [1]. **John Snow** (1813–1858) entdeckte, dass das Cholerarisiko in London mit der Qualität des Trinkwassers zusammenhing. Der Gynäkologe **Ignaz Philipp Semmelweis** (1818–1865) wies in einer Wiener Geburtsklinik nach, dass Kindbettfieber durch mangelnde Hygiene verursacht wurde. Die Mortalität unter den Wöchnerinnen sank drastisch, nachdem er hygienische Maßnahmen angeordnet hatte. Der Augustinermönch **Gregor Johann Mendel** (1822–1884) verifizierte die von ihm aufgestellten Vererbungsgesetze mit statistischen Methoden [14].

Trotz dieser beeindruckenden Erfolge reagierten viele der den Traditionen verhafteten Ärzte ablehnend oder verständnislos auf die Anwendung der numerischen Methode in der Medizin. Ihre Argumente waren nicht von der Hand zu weisen: Jeder Mensch ist ein Individuum; jeder Krankheitsverlauf ist einzigartig; der Vergleich eines Messwerts mit einem Mittelwert sei daher sinnlos; von einem Arzt erwarte man Sicherheit und keine Wahrscheinlichkeiten. Der Pariser Kliniker **Ar-**

mand Trousseau (1801–1867) argumentierte gar: „Diese Methode ist die Geißel der Intelligenz ... Sie degradiert den Arzt zum Buchhalter.“ [13] Außerdem hielt man es vielfach für unmöglich, dass sich aufgrund von Wahrscheinlichkeiten oder Mittelwerten generalisierende Aussagen herleiten ließen. Schließlich besann man sich auf eine Methode zur Erkenntnisgewinnung, die bereits Jahrhunderte zuvor der englische Philosoph **Francis Bacon** (1561–1626) propagiert hatte: Sie beinhaltete die Beobachtung zahlreicher Einzelfälle, die Aufzeichnung der erhobenen Daten und deren rechnerische Auswertung. Dieses Vorgehen ist ein empirischer Ansatz, der objektive Erkenntnisse vermittelt, die jedoch vom Zufall beeinflusst sind. So begann allmählich die Statistik Einzug in die Medizin zu halten.

Tatsächlich sollte es noch bis weit ins 20. Jahrhundert dauern, ehe statistische Techniken ersonnen wurden, die es ermöglichen, aufgrund einer überschaubaren Stichprobe Aussagen bezüglich einer weitaus größeren Grundgesamtheit herzuleiten. Bekannte Wissenschaftler, die zu diesem Anwendungsgebiet beigetragen haben, sind **Karl Pearson** (1857–1936), der die Korrelations- und Regressionsanalyse vorantrieb, oder **Sir Ronald Aylmer Fisher** (1890–1962). Nicht zuletzt hat das Aufkommen leistungsfähiger Rechner und benutzerfreundlicher Software dazu beigetragen, dass komplexe statistische Methoden in den unterschiedlichsten Disziplinen breite Anwendung finden: Mediziner evaluieren damit die Wirkung und Sicherheit neu entwickelter Therapien, Versicherungsfachleute erarbeiten Risikoprofile, Meteorologen erstellen Prognosen. Die Anwendung der Statistik in ganz unterschiedlichen Disziplinen unterstreicht die Bedeutung dieses Fachs.

3 Der Umgang mit Wahrscheinlichkeiten und Risiken

„Statistisches Denken wird eines Tages für mündige Staatsbürger ebenso wichtig sein wie die Fähigkeit, zu lesen und zu schreiben.“ Diese Aussage des englischen Science-Fiction-Autors **Herbert George Wells** (1866–1946) drückt aus, dass das Vermitteln und das Anwenden statistischer Denkweisen nach wie vor auf große Schwierigkeiten stößt. Einerseits sind Daten und Informationen für jedermann quasi rund um die Uhr zugänglich. Andererseits wird das Bild einer modernen Gesellschaft immer mehr von Unsicherheiten und Risiken geprägt. Offensichtlich fällt es vielen Zeitgenossen schwer, sich angesichts der Masse der verfügbaren Informationen und der öffentlich geäußerten, teilweise widersprüchlichen Expertenmeinungen zurechtzufinden.

Der Zufall ist unser ständiger Begleiter. Dennoch ist selbst für Experten der Umgang mit Wahrscheinlichkeiten mitunter schwierig [4]. Dies soll am Beispiel des Mammographie-Screenings dargelegt werden. Diese Maßnahme hat zum Ziel, ein Karzinom möglichst früh zu erkennen, um durch rechtzeitige Therapie die Progression der Krankheit zu verhindern. Dies klingt so überzeugend, dass sich eine kritische Reflexion scheinbar erübrigt. Kritiker wenden dagegen ein, dass der Nutzen des Mammographie-Screenings wesentlich geringer sei als vielfach angenommen. Falsch positive Befunde, die keineswegs ausgeschlossen sind, gehen mit physischen und psychischen Belastungen für die betreffenden Frauen einher und führen zu weiteren diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen, die unnötig sind, Risiken in sich bergen und das Gesundheitssystem belasten. Wie soll sich nun ein Laie in dieser kontroversen Diskussion eine eigene Meinung bilden? Ganz einfach: Lasst Zahlen sprechen!

In der Gruppe der Frauen, die sich einem Screening unterziehen, ist die Prävalenz gering: Nur vier von tausend haben ein Karzinom. Unter der Annahme einer Sensitivität von 90% und einer Spezifität von 95% erwartet man theoretisch die in Tabelle 1 (links) dargelegten Häufigkeiten. Demnach sind nur 36 von 534 positiven Befunden mit einer Erkrankung assoziiert; das entspricht einem recht geringen positiven Vorhersagewert von 6,7%. Der überwiegende Anteil der positiven Befunde ist also nicht korrekt. Bei Vorliegen eines negativen Befundes kann man sich dagegen mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit von 99,96% (9462/9466) darauf verlassen, dass tatsächlich ein Karzinom ausgeschlossen werden kann.

Tabelle 1: Zu erwartende Häufigkeiten bei der Mammographie bei einer Prävalenz von 0,4% (links) und einer Prävalenz von 10%.

	Prävalenz 0,4%			Prävalenz 10%		
	mit Karzinom	ohne Karzinom	Summe	mit Karzinom	ohne Karzinom	Summe
Befund positiv	36	498	534	900	450	1.350
Befund negativ	4	9.462	9.466	100	8.550	8.650
Summe	40	9.960	10.000	1.000	9.000	10.000

Anders stellt sich die Situation dar, wenn die Mammographie als diagnostische Methode in einer Hochrisikogruppe mit einer Prävalenz von 10% angewandt wird. Mit analogen Rechnungen ergibt sich hier ein positiver Vorhersagewert von 66,7% und ein negativer Vorhersagewert von 98,8% (Tabelle 1, rechts). Aus diesen Überlegungen geht hervor: Die Vorhersagewerte sind offensichtlich von der Prävalenz abhängig. Bei geringer Prävalenz ist der positive Vorhersagewert mitunter extrem niedrig. Ein positiver Befund ist daher keinesfalls als sichere Diagnose anzusehen. Dessen sollte man sich bewusst sein, ehe man sich für oder gegen ein Screening entscheidet.

Viele Menschen zeigen sich verwundert, wenn sie mit diesen Ergebnissen konfrontiert werden. Ähnliche Überlegungen lassen sich anstellen bei HIV-Tests, bei forensischen Methoden (die in der Rechtsprechung eingesetzt werden) oder bei Feuermeldern: Wenn die Prävalenz gering ist, sind die meisten Alarme falsch. Theoretisch liegt diesen Berechnungen der **Satz von Bayes** zugrunde. **Thomas Bayes** (1701–1761) war ein englischer Geistlicher, der den nach ihm benannten Satz entwickelte, mit dem bedingte Wahrscheinlichkeiten berechnet werden. Diese Formel muss man jedoch nicht explizit anwenden. Es genügt, wenn man – wie oben gezeigt – eine Vierfeldertafel erstellt und Grundrechenarten anwendet.

Die wichtigste Frage lautet indessen: „Wie häufig wird die Progression oder der Tod durch Brustkrebs tatsächlich verhindert, wenn eine Frau regelmäßig an einem Mammographie-Screening teilnimmt?“ In einer randomisierten epidemiologischen Studie, an der 500.000 Frauen teilnahmen, konnte nachgewiesen werden: Bei Frauen, die sich regelmäßig einem Screening unterziehen, beträgt die brustkrebsbedingte Mortalität bezogen auf einen Zeitraum von zehn Jahren 2,9 Promille. In der Kontrollgruppe liegt dieser Anteil bei 3,6 Promille [6]. Diese Zahlen zeigen zwar, dass bei Frauen, die regelmäßig gescreent werden, die Mortalität geringer ist. Andererseits decken sie auf, dass Screening den brustkrebsbedingten Tod nicht zuverlässig verhindern kann.

Bei vielen Studien der klinischen oder der epidemiologischen Forschung stehen Risiken wie die Inzidenz, die Mortalität oder die Nebenwirkungsrate im Fokus des Interesses. Risiken lassen sich auf unterschiedliche Weise darstellen. Im genannten Beispiel lässt sich das Ergebnis auch wie folgt beschreiben: Das Risiko, in einem Zeitraum von zehn Jahren an Brustkrebs zu sterben ist für Frauen, die *nicht gescreent* werden, um 24% höher als für Frauen, die *gescreent* werden (3,6/2,9). Oder: Eine Frau, die sich *nicht screenen* lässt, könnte ihr krankheitsbedingtes

Risiko um 19% senken (0,7/3,6). Diese Zahlen hören sich wesentlich dramatischer an als die Promilleanteile. Schließlich lässt sich noch die *Number Needed to Treat* (oder die *Number Needed to Screen*) angeben. Sie ergibt sich aus dem Kehrwert der absoluten Risikodifferenz $1/0,0007 \approx 1429$. Diese Zahl besagt: Wenn sich 1429 Frauen regelmäßig über die Dauer von zehn Jahren alle zwei Jahre *screenen* lassen, profitiert nur eine davon (dergestalt, dass sie aufgrund des Screenings vom Tod durch Brustkrebs bewahrt wird). Andererseits lässt sich nachrechnen: Eine Frau ohne Mammakarzinom muss (bei einer Spezifität von 95%) mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 23% ($1 - 0,95^5$) damit rechnen, dass sie bei fünf Untersuchungen mindestens einmal mit einem falsch positiven Befund belastet wird [10]. All diese Wahrscheinlichkeiten sprechen per se nicht für oder gegen das Mammographie-Screening. Sie zeigen jedoch, dass ein Testbefund keine sichere Diagnose darstellt, dass Screening-Untersuchungen auch mit Unannehmlichkeiten verbunden sein können, und dass bei Weitem nicht alle Frauen profitieren.

Eine weitere Unsitte im Umgang mit Risiken besteht in sinnlosen Vergleichen. Dazu ein Beispiel: Zu Kaiser Wilhelms Zeiten starben in Deutschland etwa 5% der Menschen an Krebs, heute ist dies die Todesursache bei jedem vierten Einwohner. Das liegt jedoch weder am Monarchen noch an der vermeintlich geringeren Umweltverschmutzung zu Beginn des 20. Jahrhunderts (wie einem manche Leute weismachen wollen), sondern an den erfreulichen Tatsachen, dass typische Infektionskrankheiten der damaligen Zeit (z. B. Tuberkulose) verschwunden sind und dass die durchschnittliche Lebenserwartung massiv gestiegen ist [7].

Wieso sind dennoch viele Menschen bereit, Empfehlungen von Fachleuten blind zu vertrauen oder absurde Thesen kritiklos hinzunehmen? Wieso meinen sie, dass eine ärztliche Diagnose oder ein richterliches Urteil in jedem Fall korrekt ist, oder dass Vorsorgemaßnahmen das Entstehen einer schweren Erkrankung zuverlässig verhindern? Man glaubt an die Unfehlbarkeit der Apparatemedizin und gibt sich allzu gerne der Illusion einer trügerischen Gewissheit hin. Die erwähnten Beispiele zeigen jedoch: Ein unangemessener Umgang mit Wahrscheinlichkeiten kann fatale Konsequenzen nach sich ziehen. Adäquate Therapien und gerechte Urteile setzen voraus, dass Ärzte, Richter und andere Betroffene lernen, mit Wahrscheinlichkeiten umgehen. Besondere Vorsicht ist geboten bei relativen Risiken, die oft dramatischer scheinen als sie in Wirklichkeit sind. Kritisches Denken ist Pflicht! Es lohnt sich mitunter, altüberlieferte Dogmen in Frage zu stellen (Stichwort: Aderlass). Einfache statistische Überlegungen können helfen, gegen

mangelndes Zahlenverständnis anzugehen und manche polemische Diskussion oder apokalyptische Prognose zu versachlichen.

4 Reduktion auf das Wesentliche: Statistische Kenngrößen

Kaum ein Bereich der klinischen oder wissenschaftlichen Medizin ist ohne quantitative Messungen denkbar. Pathologische und physiologische Erscheinungen werden gemessen, Summenscores oder andere Parameter werden daraus abgeleitet, um Krankheitszustände zu erfassen, die Wirksamkeit einer Therapie zu überprüfen oder um eine Prognose zu stellen. Quantitative Messungen waren erst möglich geworden durch die Übernahme naturwissenschaftlicher Methoden in die Medizin seit Beginn der Renaissance. Vorher waren Ärzte bei der Behandlung ihrer Patienten auf ihre Sinnesorgane angewiesen, mit denen sie nur qualitative Befunde erheben konnten. Ihre Eindrücke waren naturgemäß subjektiv; die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen häufig spekulativ.

Die Einführung quantitativer Messmethoden erforderte ein Umdenken in der Ärzteschaft. Man unterschied fortan nicht mehr nur zwischen zwei Kategorien wie beispielsweise „krank“ und „gesund“, sondern erkannte, dass der Übergang von Gesundheit zu Krankheit kontinuierlich ist. Mediziner suchten nach präzisen Messverfahren, um physiologische Parameter, Laborwerte etc. zu erfassen (beispielsweise Fieberthermometer oder Blutdruckmessgeräte). Allerdings ergab sich nun ein Problem besonderer Art: Ein einzelner Messwert lässt sich wesentlich schwieriger beurteilen als ein qualitativer Befund. Um abzuwägen, ob und in welchem Grad ein Messwert „normal“ oder „abnormal“ ist, bedarf es Kenngrößen wie Durchschnittswerte, Minima und Maxima, mit denen Einzelwerte verglichen werden. Man benötigt eine „Theorie des Messfehlers“.

Der Vergleich eines einzelnen Messwertes mit einem *Mittelwert* ist ungemein nützlich im Alltag, bei wissenschaftlichen Untersuchungen oder auch im Rahmen eines diagnostischen oder therapeutischen Prozesses. Er erlaubt eine grobe Abschätzung, ob ein Mess- oder Zählwert unterhalb oder oberhalb des Durchschnitts liegt. Dies hat bereits der oben erwähnte **Quetelet** erkannt, der die Meinung vertrat, dass für alle messbaren menschlichen Eigenschaften ein Durchschnittswert existiert, den er als Idealwert ansah. Diesem Herrn haben wir übrigens auch den Body Mass Index zu verdanken. Auch dies kann als Hinweis aufgefasst werden,

dass Quetelet von der Nützlichkeit quantitativer Messungen zutiefst überzeugt war, und dass seine Ideen sich letztlich durchgesetzt haben.

Obgleich diese Messtechniken spätestens seit Beginn des 20. Jahrhunderts im klinischen Alltag und auch in der experimentellen Forschung routinemäßig eingesetzt werden, gestaltete sich die Festlegung und Akzeptanz von Durchschnittswerten als schwierig [8]. Dieses Konzept setzte sich nur langsam durch. Allmählich wurden Durchschnitts- oder Mittelwerte als „Normwerte“ oder „Standardwerte“ angesehen und in umfangreichen Tabellenwerken dargelegt.

Eine Datenreihe wird jedoch nicht allein durch ihre zentrale Lage, sondern auch durch ihre Variabilität charakterisiert. Dies ist spätestens seit den Zeiten des englischen Statistikers **Sir Ronald Aylmer Fisher** bekannt. Eine dafür geeignete Maßzahl ist die *Standardabweichung* s . Dieses Streuungsmaß gestattet zusammen mit dem Mittelwert m eine präzisere Beurteilung eines Einzelwertes. Dazu muss man lediglich wissen: Bei normalverteilten Daten liegen etwa $2/3$ aller Werte innerhalb des Intervalls $m \pm s$, etwa 95% liegen im Intervall $m \pm 2s$. Wenn nichts über die Verteilungsform bekannt ist, kann man zugrunde legen, dass 75% bzw. $8/9$ aller Werte innerhalb der Intervalle $m \pm 2s$ bzw. $m \pm 3s$ liegen. Man braucht also nur zwei statistische Kenngrößen, um bei einem einzelnen Messwert einschätzen zu können, ob er innerhalb eines Normbereichs liegt oder ob es sich um einen extremen Wert handelt, der nicht zur Datenreihe zu passen scheint und den man genauer in Augenschein nehmen sollte.

Allerdings stößt der Mittelwert und dessen Interpretation häufig auf Irritationen. Dies hat mehrere Gründe. Der Mittelwert stimmt nicht immer mit einem realen Wert überein. So besagt etwa die Fertilitätsrate 1,4 (bezogen auf das Jahr 2015 in Deutschland), dass eine „Durchschnittsfrau“ im Laufe ihres Lebens 1,4 Kinder zu Welt bringt – obwohl dieser Wert für keine einzige Frau zutrifft. Ein anderes Manko: Bei ordinal skalierten Merkmalen könnte der Mittelwert zu unsinnigen Schlussfolgerungen verleiten. Wenn beispielsweise der Therapieerfolg im Rahmen einer klinischen Studie mit Werten zwischen 1 (vollständige Heilung) und 5 (Patient verstorben) beurteilt wird, widerstrebt es dem gesunden Menschenverstand, den „mittleren Therapieerfolg“ zu berechnen. Außerdem kann der Mittelwert insbesondere bei einem geringen Stichprobenumfang stark von Ausreißern beeinflusst werden; in diesen Fällen würde er ein verzerrtes Bild der tatsächlichen Verhältnisse wiedergeben.

Sinnvoller wäre in diesen Fällen die Angabe des *Medians*. Dieser ist zwar weniger bekannt als der Mittelwert, wenngleich nicht weniger informativ und einfach zu verstehen. Der Median teilt eine Stichprobe in zwei gleich große Subgruppen: Die Hälfte aller Daten ist maximal so groß wie der Median, die andere Hälfte mindestens so groß. Dieses Lagemaß ist unempfindlich gegen Ausreißer. Außerdem stimmt der Median (bei einem ungeraden Stichprobenumfang) mit einem tatsächlichen Wert überein. Bei einem geraden Stichprobenumfang wird der Median als der Durchschnitt der beiden mittleren Werte der Datenreihe berechnet. Ein Vergleich zwischen Mittelwert und Median gibt Auskunft über die Form der zugrunde liegenden Verteilung: Bei symmetrischen Verteilungen stimmen die beiden Lagemaße theoretisch überein. Wenn der Mittelwert wesentlich größer (oder kleiner) ist als der Median, ist dies ein Hinweis auf eine schiefe Verteilung. Ist es nicht genial, dass sich eine umfangreiche Datenreihe durch ein paar wenige, aussagekräftige Kenngrößen charakterisieren lässt?

Im Rahmen einer Studie werden jedoch nicht nur einzelne Merkmale beschrieben, sondern auch Zusammenhänge untersucht. Typische Fragen lauten beispielsweise: Ist die Wirkung eines blutdrucksenkenden Medikaments abhängig vom Alter der Patienten oder vom Basiswert, der vor Therapiebeginn gemessen wurde? Um die Stärke des Zusammenhangs zwischen zwei quantitativen Merkmalen zu quantifizieren, eignet sich der *Korrelationskoeffizient* nach Karl Pearson. Dieser hätte sich zu Beginn des 20. Jahrhunderts bestimmt nicht träumen lassen, dass der nach ihm benannte Koeffizient einmal so populär werden würde! Dies ist verständlich, wenn man sich dessen Eigenschaften vor Augen hält. Der Koeffizient ist skaleninvariant, eine dimensionslose Zahl zwischen -1 und +1 und einfach zu interpretieren: Ein positiver Koeffizient steht für einen gleichsinnigen, ein negativer für einen gegensinnigen Zusammenhang. Koeffizienten mit einem Zahlenwert nahe bei 0 zeigen, dass der Zusammenhang schwach ist. Je näher der Wert bei +1 oder -1, desto stärker ist der Zusammenhang.

Schließlich sei noch ein weiteres Beispiel für den Gebrauch eines statistischen Koeffizienten erwähnt: Wenn im klinischen Alltag ein neues Messverfahren eingeführt wird, muss vorab dessen Tauglichkeit evaluiert werden. Die wichtigsten Gütekriterien hierfür sind die Reliabilität und die Validität. Die Reliabilität bezeichnet die Verlässlichkeit des Messinstruments: Dieses gilt als reliabel, wenn mehrere Messungen an demselben Objekt, die unter unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt werden, zum gleichen Ergebnis führen. So sollten etwa zwei

Ärzte, die unabhängig voneinander dieselben Patienten befunden, zu gleichen Resultaten gelangen. Die Validität steht für die Richtigkeit einer Messmethode. Sie wird ermittelt durch den Vergleich eines Messinstruments mit einem Goldstandard. Zur Bestimmung dieser Kriterien eignen sich *Intraklassenkorrelationskoeffizienten* und *Kappa-Koeffizienten*, die den Grad der Übereinstimmung bei quantitativen bzw. qualitativen Messverfahren quantifizieren. Ein Kappa-Koeffizient bzw. ein Intraklassenkorrelationskoeffizient mit dem Wert 1 steht für perfekte Übereinstimmung, der Wert 0 für eine unbrauchbare Messmethode.

Statistische Koeffizienten mit einem Wertebereich zwischen 0 und 1 sind außerordentlich beliebt, weil sie sich einfach und ohne Zusatzinformationen interpretieren lassen. Dazu bedarf es keinerlei statistischer oder sonstiger Spezialkenntnisse, was manche Anwender durchaus zu schätzen wissen (die mitunter komplizierten mathematischen Algorithmen, die sich dahinter verbergen, brauchen sie nicht unbedingt zu interessieren). Auch dieses Phänomen lässt sich mit Schönheit und Eleganz in Verbindung bringen: Dank findiger Mathematiker lässt sich ein hoch komplexer Sachverhalt wie beispielsweise die Reliabilität eines Messverfahrens in genial einfacher Weise durch eine Zahl zwischen 0 und 1 beschreiben.

5 Das Geheimnis von Schätzwerten

Schätzungen bergen etwas Geheimnisvolles in sich. Die Kommunikationswissenschaftlerin und Wahlforscherin **Elisabeth Noelle-Neumann** (1916–2010) formulierte dies einst mit folgenden Worten: „Es ist mir noch heute rätselhaft, dass man herausbringt, was sechzig Millionen Menschen denken, wenn man zweitausend Menschen befragt. Erklären kann ich das nicht. Es ist eben so.“

Zwar werden Politiker vor Wahlen nicht müde zu betonen, dass Wahlumfragen auf Schätzungen basieren und keineswegs das endgültige Wahlergebnis widerspiegeln. Das liegt jedoch nicht unbedingt an den Schätzverfahren, sondern daran, dass sich in den Tagen vor einer Wahl eventuell unvorhergesehene Geschehnisse ereignen, die das Wahlergebnis beeinflussen könnten. Am Wahlabend wundert sich kaum jemand, wenn bereits wenige Minuten nach Schließung der Wahllokale erste Prognosen über den Bildschirm flattern, die erstaunlich präzise das endgültige Wahlergebnis vorhersagen. Diese Schätzungen beruhen in der Regel auf repräsentativen Stichprobenerhebungen am Tag der Wahl und sind deshalb meist zuverlässig.

In vielen Situationen haben Schätzungen entscheidende Vorteile. Um beispielsweise den Alkoholgehalt im Blut eines Verkehrsteilnehmers zu bestimmen, reicht eine minimale „Stichprobe“ (im wahrsten Sinne des Wortes) aus. Um einen Eindruck von der wirtschaftlichen Situation einer Population zu gewinnen, reicht ein Mikrozensus, bei dem nur ein minimaler Anteil befragt wird. Um die Effektivität einer Therapie zu evaluieren, genügt eine Studie mit einer begrenzten Anzahl von Patienten (es ist keineswegs notwendig und ohnedies nicht durchführbar, *alle* Patienten, die von der Therapie profitieren könnten, zu untersuchen). Schätzungen sind allerdings nur sinnvoll, wenn die Stichprobe repräsentativ ist (das heißt: Jedes Element der Grundgesamt sollte die gleiche Chance haben, in die Stichprobe zu gelangen) und wenn die Fallzahl hinreichend hoch ist. Schätzungen aus nicht-repräsentativen Stichproben können komplett in die Irre führen. Ein Beispiel stellt die Wahl des US-amerikanischen Präsidenten im Jahr 1936 dar. Weil bei der Wahlumfrage hauptsächlich Bürger mit Telefonanschluss berücksichtigt wurden, wich das prognostizierte Wahlergebnis eklatant vom tatsächlichen Ergebnis ab.

Anwender aus empirischen Wissenschaften, die in der Regel auf Stichproben überschaubarer Größe zurückgreifen, ermitteln eine Kenngröße (z. B. einen Mittelwert) in der Hoffnung, einen zuverlässigen Schätzwert zu erhalten, der sich in der näheren Umgebung des „wahren“ Parameters befindet. Generell gilt: Je höher die zugrundeliegende Fallzahl, desto verlässlicher ist die Schätzung. Dies sagt einem der gesunde Menschenverstand; eine genauere Begründung liefert das *Gesetz der Großen Zahlen*. Indessen sieht man einem Mittelwert nicht an, ob er aus 3, 20 oder 100 Einzelwerten berechnet wurde. Deshalb sind Punktschätzungen in gewisser Weise unbefriedigend.

Ein Ausweg findet sich in der Konstruktion eines *Konfidenzintervalls*. Dieses wird nach einem mathematischen Algorithmus gebildet, der mit einer Wahrscheinlichkeit von üblicherweise 95% gewährleistet, dass das Intervall den wahren (aber unbekannten) Parameter einschließt. Etwas vereinfacht formuliert lässt sich sagen: Alle Werte innerhalb des Konfidenzintervalls erscheinen für den zu schätzenden Parameter plausibel zu sein. Dabei wird eine hohe Fallzahl belohnt: Damit ergibt sich ein schmaleres Intervall (was eine präzisere Schätzung bedeutet) als bei einer geringen Fallzahl.

Mit einer leistungsfähigen Statistiksoftware lassen sich Konfidenzintervalle für nahezu alle gängigen Kenngrößen wie Mittelwerte, Wahrscheinlichkeiten, Korrelationskoeffizienten, Odds Ratios etc. konstruieren. Für den Anwender ist es

nicht notwendig, die teilweise sehr komplexen mathematischen Grundlagen zu kennen, auf denen diese Berechnungen basieren. Er sollte allerdings in der Lage sein, ein Konfidenzintervall sinnvoll zu interpretieren. Das Intervall zeigt auf einen Blick, ob die Schätzung präzise oder unbrauchbar ist. Für den Anwender ist es in jedem Fall hilfreich, dies zu wissen.

6 Effizienz statistischer Verfahren

Der Fortschritt in einer empirischen Wissenschaft beruht im Wesentlichen auf Beobachtungen und Erfahrungen. Ein Kliniker ersinnt möglicherweise aufgrund der Kenntnis der Krankheitsmechanismen eine neue Therapie, von der er annimmt, dass sie der bislang verwendeten Standardtherapie überlegen ist, oder er glaubt nach der Beobachtung zahlreicher Patienten, eine Assoziation zwischen einer Krankheit und einem Risikofaktor entdeckt zu haben.

Anders als in der reinen Mathematik lassen sich derlei Vermutungen nicht exakt beweisen. Ein Wissenschaftler mag zwar von der Richtigkeit seiner Hypothesen überzeugt sein und Argumente dafür anführen – das allein kann jedoch kein objektives Kriterium darstellen. Außerdem ist es wegen der interindividuellen Variabilität von Patienten schier unmöglich, allgemein gültige Aussagen zu treffen, die in jedem Einzelfall zutreffen. Eine Therapie mag bei einem Patienten Wunder vollbringen, während sie bei einem anderen keine Wirkung zeigt. Auch wenn eine Assoziation etwa zwischen Rauchen und einer Erkrankung besteht, gibt es Raucher, die von der Krankheit verschont bleiben, und Nichtraucher, die erkranken.

Eine der größten Errungenschaften der induktiven Statistik besteht darin, dass sich Hypothesen, die in einer empirischen Wissenschaft aufgestellt werden, objektiv überprüfen und absichern lassen. Mit einem *Hypothesentest* lassen sich Unterschiede zwischen zwei oder mehreren Therapieformen nachweisen oder Zusammenhänge zwischen Merkmalen absichern – zwar nicht für jeden Einzelfall, aber für eine Population. Ein Anwendungsbeispiel mag dies verdeutlichen: Es werden zwei medikamentöse Therapien zur Senkung des systolischen Blutdrucks verglichen. Bei manchen Patienten ist eine starke Wirkung zu verzeichnen, bei anderen ist die Wirkung kaum nachweisbar; es gibt auch Patienten, bei denen der Blutdruck steigt. Wie ist diese Variabilität zu erklären? Liegt es an der Therapieform? Spielt eventuell das Alter der Patienten eine Rolle? Oder deren Geschlecht? Oder gibt es andere patientenspezifische Merkmale, die die Wirkung der Therapie

beeinflussen – etwa der Body Mass Index, bestimmte Verhaltensweisen (zum Beispiel Rauchen), Komorbiditäten oder genetische Dispositionen?

Um diesen Fragen auf den Grund zu gehen, benötigt man relevante Daten und statistische Tests. Der anzuwendende Test ist abhängig von der Fragestellung und der Art der Daten: Zum Vergleich der Mittelwerte zweier Gruppen wird häufig ein t-Test verwendet, zum Vergleich von relativen Häufigkeiten wird ein χ^2 -Test oder Fishers exakter Test herangezogen. Aus jedem Test resultiert der sogenannte p-Wert, der als Irrtumswahrscheinlichkeit interpretiert werden kann. Dieser quantifiziert die Wahrscheinlichkeit dafür, dass der gefundene Effekt (Unterschied oder Zusammenhang) nur zufällig zustande kommt. Nach alter Konvention gilt ein Testergebnis als „statistisch signifikant“, falls der p-Wert unter dem Signifikanzniveau von 0,05 liegt. Auf diese Weise wird der Zufall zwar nicht eliminiert, aber unter Kontrolle gebracht.

Kleine p-Werte bereiten vielen Anwendern großes Vergnügen: Mit einem signifikanten Testergebnis können sie sich rühmen, einen Effekt abgesichert zu haben und dürfen hoffen, dass dieses Ergebnis den Wert ihrer wissenschaftlichen Arbeit erhöht oder eine Publikation nach sich zieht.

Allerdings sollte bei aller Freude bedacht werden: Ein p-Wert (wie klein er auch sein mag) darf nicht als Beweis für die Richtigkeit einer Hypothese verstanden werden. Er beinhaltet nämlich keinerlei Information, wie ein Effekt zustande gekommen ist und welche Konsequenzen aus diesem Ergebnis zu ziehen sind. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass der p-Wert sehr stark von der Fallzahl beeinflusst wird: Eine große Fallzahl führt leicht zu einem signifikanten Ergebnis, während mit einer geringen Fallzahl schwerlich ein Unterschied nachweisbar ist. Deshalb muss im Einzelfall immer beurteilt werden (am besten mit Hilfe eines Konfidenzintervalls), ob und inwieweit die Größenordnung des gefundenen Effekts relevant ist. Umgekehrt gilt auch: Ein p-Wert über 0,05 bedeutet nicht zwangsläufig, dass es generell keinen Unterschied (oder keinen Zusammenhang) gibt. Er besagt lediglich, dass anhand des vorhandenen Datenmaterials kein Effekt nachweisbar ist.

Da sich ein signifikantes Ergebnis leichter publizieren lässt als ein nicht signifikantes, tendieren manche Anwender dazu, einen kleinen p-Wert quasi gewaltsam herbeizuführen (für diese unlautere Vorgehensweise hat sich der englische Begriff „p-Hacking“ etabliert). Dazu einige Vorschläge (die ausdrücklich *nicht* zur Nachahmung empfohlen werden): Unliebsame Daten werden ohne vernünftigen

Grund von der Analyse ausgeschlossen oder nachträglich in unzulässiger Weise korrigiert; man wendet für dieselbe Fragestellung mehrere Tests an und wählt dann denjenigen aus, der das „passendste“ Ergebnis liefert; es wird eine Vielzahl von Zielgrößen untersucht (dann steigt die Wahrscheinlichkeit, wenigstens ein signifikantes Ergebnis zu finden); in einer longitudinalen Studie mit mehreren Messzeitpunkten werden die Kenngrößen aller Zeitpunkte paarweise miteinander verglichen (dto.). Auch wenn mit derlei Tricks ein signifikantes Ergebnis oder gar eine Publikation zustande kommen mag: Die wissenschaftliche Arbeit wäre wertlos (auch wenn das nicht sofort für jedermann ersichtlich wird). Der Leser einer Publikation, der sich mit statistischen Analysemethoden ein wenig auskennt, hat zumindest den Vorteil, dass er kritische Fragen stellen kann und weiß, worauf er bei der Lektüre zu achten hat.

Nun ist eine Zielgröße (etwa die Wirkung einer Therapie) nicht nur von einer, sondern von diversen Einflussgrößen abhängig. Es bietet sich an, für jede potenzielle Einflussvariable einen Test durchzuführen und anhand der p-Werte zu beurteilen, welche Variable einen starken, einen schwachen oder keinen Einfluss auf die Zielgröße haben. Sinnvoll ist es darüber hinaus, mittels multipler Analysen mehrere Einflussgrößen simultan zu analysieren. Dank leistungsfähiger Rechner und benutzerfreundlicher Software sind diese komplexen Methoden sehr flexibel einsetzbar. Mit *Varianzanalysen* wird der Einfluss von einem oder mehreren qualitativen Faktoren auf eine quantitative Zielgröße geprüft; außerdem lassen sich Interaktionen (Wechselwirkungen zwischen zwei Faktoren) untersuchen. *Lineare Regressionsanalysen* setzen ebenfalls eine quantitative Zielgröße voraus, wobei diverse Einflussgrößen (quantitative und qualitative) berücksichtigt werden können. Bei binären Zielgrößen wird eine *logistische Regression* bevorzugt, bei Zähldaten bietet sich eine *Poisson-Regression* und bei Überlebenszeiten (die auch „zensiert“ sein dürfen, d.h. Zeiten sind nicht vollständig bekannt) eine *Cox-Regression* an. Bei der *logistischen Regression* wird eine Wahrscheinlichkeit modelliert (z. B. für das Auftreten einer Nebenwirkung), bei der Cox-Regression eine Hazard Ratio.

Aus einer Regressionsanalyse resultiert eine mathematische Gleichung, die die Zielgröße in mathematischer Formelsprache beschreibt. Sie beinhaltet in der Regel Einflussgrößen, die (in Kombination mit anderen Faktoren) mit der Zielgröße signifikant assoziiert sind. Damit kann man ausrechnen: Wie wird die Zielgröße beeinflusst, wenn sich der Wert einer oder mehrerer Einflussgrößen ändert? Was würde passieren, wenn derselbe Patient einer anderen Gruppe angehörte?

Multiple Modelle bieten sich in der klinischen und der epidemiologischen Forschung an, da ein Untersuchungsgegenstand im Allgemeinen nicht monokausal erklärt werden kann, sondern von diversen Faktoren beeinflusst ist (die sich wiederum gegenseitig beeinflussen oder zusammenwirken). Die Vorteile leuchten ein: Durch die Berücksichtigung mehrerer Variablen kann eine Diagnose oder eine Prognose präziser gestellt werden; individuelle Charakteristika der Studienteilnehmer lassen sich angemessen berücksichtigen. Außerdem kann nach möglichen *Confoundern* adjustiert werden (was insbesondere bei nicht randomisierten Studien immens wichtig ist).

Es soll nicht verschwiegen werden, dass die Konstruktion eines statistischen Modells den Anwender mitunter vor große Herausforderungen stellt. Zunächst muss er prüfen, ob die Voraussetzungen zumindest annähernd erfüllt sind (ansonsten wäre die Modellierung wenig sinnvoll). Dann gilt es, geeignete Einflussgrößen für das finale Modell auszuwählen. Diese Wahl sollte unter inhaltlichen und statistischen Aspekten getroffen werden.

Freilich kann eine leistungsstarke Statistiksoftware bei der Wahl der Einflussvariablen für das finale Modell behilflich sein. Zum Vergleich mehrerer Modelle eignen sich *Gütemaße*. Bei linearen Regressionsanalysen bietet sich das Bestimmtheitsmaß R^2 an, das Werte zwischen 0 und 1 annimmt. R^2 quantifiziert, welcher Anteil der Variabilität der Zielgröße durch das statistische Modell erklärt wird. Bei logistischen Regressionen eignet sich die AUC („area under curve“); je näher dieser Wert bei 1 liegt, desto besser ist das Modell. Außerdem existieren spezielle Informationskriterien (etwa das Akaike-Informations-Kriterium AIC), die eine objektive Bewertung bezüglich der Güte eines Modells unter Berücksichtigung von dessen Komplexität gewährleisten. Durch diese Gütemaße wird einem Anwender auf sehr subtile Weise der Wert seiner Bemühungen vor Augen geführt!

Multiple Analysentechniken eröffnen ungeahnte Möglichkeiten. Allerdings muss der Anwender bereit sein, sich mit dieser komplexen und mathematisch anspruchsvollen Materie intensiv auseinanderzusetzen.

7 Schlussfolgerungen

Worin liegt nun die Schönheit der Statistik? Für **Theoretiker** wie Carl Friedrich Gauß, Karl Pearson oder Abraham Wald (1902–1950), stellt(e) sich diese Frage nicht. Für diese Wissenschaftler ist Statistik als Teilgebiet der Mathematik eine

Kunst. Es bereitet ihnen Freude, über mathematischen Problemen zu tüfteln. Dazu benutzen sie hauptsächlich ihren Verstand; aufwendige technische Hilfsmittel sind in der Regel gar nicht notwendig. Gauß hat die Normalverteilung beschrieben und deren Bedeutung für die angewandte Statistik erkannt; außerdem hat er basierend auf der Methode der kleinsten Quadrate die Formeln für die Berechnung einer Regressionsgeraden hergeleitet. Pearson haben wir den nach ihm benannten Koeffizienten zu verdanken; dank Wald lassen sich Konfidenzintervalle für diverse Kenngrößen konstruieren. Diese Auswahl namhafter Statistiker ist freilich bei weitem nicht vollständig; man könnte noch viele Namen hinzufügen.

Zu allen Zeiten gab und gibt es Mathematiker, die sich aktueller Problemstellungen annehmen und Lösungen suchen. Diese Menschen bekommen leuchtende Augen, wenn sie den Beweis eines Theorems nachvollziehen können oder wenn sie eine neue Analysemethode ersonnen haben. Für sie stehen die Eleganz und Effizienz der Verfahren im Vordergrund – wenngleich sich die Probleme, mit denen sie sich befassen, aus der Praxis ergeben.

So hat beispielsweise der britische Chemiker und Hobbystatistiker **Sealy Gosset** (1876–1937) die t-Verteilung entwickelt, weil er vor das Problem gestellt war, anhand kleiner Stichproben Konfidenzintervalle für Mittelwerte zu bilden. Ein Beispiel aus der neueren Zeit: In der Therapieforschung gelten randomisierte Studien als Goldstandard zum Vergleich mehrerer Therapieformen, da allein dieses Studiendesign die gleichmäßige Verteilung aller bekannten und unbekannten Einflussfaktoren auf die zu vergleichenden Gruppen gewährleistet. Allerdings ist dieses Design in der klinischen Forschung häufig nicht praktikabel. Ein weiterer Nachteil liegt in der meist unzureichenden externen Validität: Wirkungsnachweise aus randomisierten Studien lassen sich nicht ohne Weiteres auf die klinische Praxis oder auf die Praxis niedergelassener Ärzte übertragen. Eine nicht-randomisierte Beobachtungsstudie („Pragmatic Trial“) würde zwar die Gegebenheiten im klinischen Alltag realistischer abbilden; sie könnte jedoch wegen fehlender Strukturgleichheit zu verzerrten Ergebnissen führen und zu unzulässigen Schlussfolgerungen verleiten. Diese Problematik inspirierte die Mathematiker **Paul Rosenbaum** und **Donald Rubin**, eine statistische Methode zu entwickeln (bekannt unter der Bezeichnung „Propensity Score Method“), die einen validen Therapievergleich auch bei nicht-randomisierten Studien ermöglicht [11] und seither breite Anwendung findet [3, 9].

Anders stellt sich die Situation für die Gruppe der **Anwender** dar. Diese interessieren sich in der Regel weniger für die Eleganz statistischer Methoden, sondern fragen stattdessen: Welchem Zweck dienen diese Verfahren? Schönheit ist subjektiv. Ein Anwender wird beispielsweise den Zusammenhang zwischen zwei quantitativen Variablen emotionslos durch einen Korrelationskoeffizienten und eine Regressionsgerade beschreiben – ohne die genialen Ideen von Pearson und Gauß zu würdigen, denen diese Techniken zu verdanken sind. Er wird sich freuen, wenn er mit einem t-Test zum Vergleich zweier Mittelwerte einen p-Wert unter 0,05 erhält – ohne auf die Genialität der von Sealy Gosset erdachten Prüfgröße zu achten. Das ist bedauerlich.

Daten und Techniken – die Grundlagen jeder Datenanalyse – vermögen den Reiz der Statistik jedenfalls nicht zu erklären. Das eigentliche statistische Denken besteht eben nicht nur im routinemäßigen Berechnen von Kenngrößen oder im bloßen Anwenden von einfachen statistischen Tests (in der Hoffnung, ein signifikantes Ergebnis zu erhalten), sondern vielmehr im Bemühen, Licht ins Dunkel der Daten zu bringen und der Wahrheit ein Stück näher auf die Spur zu kommen. Wenn es einem Anwender gelingt, anhand von vorhandenem Datenmaterial ein adäquates statistisches Modell zu entwickeln und eine mathematische Gleichung zu generieren, die die Zusammenhänge zwischen diversen Merkmalen statistisch und inhaltlich in optimaler Weise darstellt, hat er das Gefühl, etwas Eigenes kreiert zu haben. Auch wenn die verwendeten Algorithmen in aller Regel etabliert sind, werden Anwender aufgrund ihrer persönlichen Erfahrung verschiedene Fragestellungen formulieren, diese individuell bearbeiten und am Ende zu unterschiedlichen Resultaten gelangen. So gesehen bietet die Statistik dem Anwender intellektuelle Freiräume („researcher degrees of freedom“), die er nach eigenem Empfinden nutzen kann. Die Schönheit ergibt sich aus der Erkenntnis, dass sich das ursprüngliche Datenchaos in ein harmonisches Ganzes fügt, dass aus scheinbar zusammenhanglosen Einzelfällen Regelmäßigkeiten ableitbar sind, aus denen sich überraschende Erkenntnisse ergeben, und dass der Analytiker das triumphierende Gefühl auskosten darf, den Zufall gezähmt zu haben – auch wenn die ästhetischen Kriterien eher abstrakter als visueller Natur sind. Für diesen Personenkreis ist Statistik gleichsam Kunst und Wissenschaft.

Nichtsdestotrotz hegen Anwender aus einer empirischen Wissenschaft (etwa Kliniker) zuweilen eine gewisse Skepsis gegenüber statistischen Methoden. Eine mögliche Erklärung mag darin liegen, dass die damit gewonnenen Erkenntnisse

ausschließlich auf Daten basieren – naturwissenschaftliche oder medizinische Fachkenntnisse scheinen für diese Analysen nicht erforderlich zu sein. Dies könnte das unangenehme Gefühl erzeugen, dass individuelle Erfahrungen des Kliniklers nur eine untergeordnete Rolle spielen, während die Ergebnisse der Studie und die sich daraus ergebenden Konsequenzen in erster Linie von mathematischen Algorithmen bestimmt werden. Dem ist entgegenzuhalten: Zahlreiche Beispiele aus dem Bereich der medizinischen Forschung (insbesondere die Untersuchungen von Semmelweis) belegen, dass sich klinische Erfahrung und Datenanalyse erstaunlich gut ergänzen. Mit statistischen Methoden lassen sich Erkenntnisse absichern – auch dann, wenn sich die Wirkmechanismen (noch) nicht auf molekularer oder zellulärer Ebene erklären lassen.

Der Einsatz statistischer Verfahren in einer empirischen Wissenschaft ist allerdings nur dann nützlich, wenn der Anwender in der Lage ist, aus der Fülle der ihm zur Verfügung stehenden Analysetechniken die geeigneten auszuwählen. Dies kann jedoch nicht ohne Weiteres angenommen werden. In der Regel haben diese Fachvertreter zwar Grundlagen der Statistik und einfache Tests in einer Vorlesung kennengelernt. Vielfach fehlen ihnen jedoch die Zeit oder das mathematische Fachwissen, die erforderlich wären, um sich Kenntnisse bezüglich komplexer statistischer Techniken anzueignen und diese effizient einzusetzen. So geben sie sich häufig mit einem signifikanten Testergebnis zufrieden, wenn sie glauben, dass ihre Hypothese dadurch bestätigt wird – zwar erleichtert, aber ohne große Begeisterung und ohne so recht vom Sinn ihres Tuns überzeugt zu sein (und ohne darüber nachzudenken, welche faszinierenden Methoden hinter ihren Ergebnissen schlummern).

Es erscheint daher sinnvoll, dass ein Statistiker und ein Vertreter der jeweiligen Fachdisziplin im Sinne einer umfassenden und effizienten Datenanalyse interdisziplinär zusammenarbeiten – beginnend von der Studienplanung und Fallzahl-schätzung über die Datenanalyse bis hin zum Darstellen und Interpretieren der Ergebnisse und dem Aufzeigen von Konsequenzen. Eine solche Kooperation setzt freilich voraus, dass alle Beteiligten ihre eigenen Fertigkeiten einbringen, der anderen Disziplin vorurteilsfrei begegnen sowie die spezifischen Fähigkeiten und Erfahrungen ihres Kollegen anerkennen. Nur dann ist gewährleistet, dass beide Seiten in optimaler Weise profitieren: Der Empiriker, weil er neue Erkenntnisse gewinnt; der Statistiker, weil er das befriedigende Gefühl hat, ein optimales Mo-

dell erschaffen zu haben; und beide, weil sie gemeinsam zum wissenschaftlichen Fortschritt beigetragen haben.

Letzten Endes sind alle Wissenschaftler die Nutznießer einer statistischen Analyse, auch diejenigen, die nicht an der Durchführung einer Studie und der Datenanalyse unmittelbar beteiligt sind (z. B. die behandelnden Ärzte). Mithilfe der Statistik lassen sich nämlich, trotz der Unvorhersehbarkeit im Einzelfall, allgemein gültige Aussagen herleiten. Diese bilden die Basis für jedes daraus abgeleitete ärztliche Handeln. Mit dieser Vorgehensweise ist zwar nicht sichergestellt, dass eine getroffene Entscheidung in jedem Fall zum gewünschten Ergebnis führt. Die Entscheidung ist aber nachvollziehbar, und das Risiko einer Fehlentscheidung ist minimiert. Insofern wird ein Arzt von den Ergebnissen statistischer Analysen in keiner Weise bevormundet, sondern vielmehr bei seinen Entscheidungen im klinischen Alltag unterstützt. Ähnliche Überlegungen lassen sich anstellen für die Potenziale der „Artificial Intelligence“, die speziell in der Röntgendiagnostik hochspezialisierte Untersuchungen in kürzester Zeit zu leisten vermögen. Sie können den Diagnoseprozess beschleunigen, den behandelnden Arzt unterstützen und die Chancen einer Heilung beim Patienten verbessern.

Als **Konsument** kann man sich auch im alltäglichen Leben an der Schönheit der Statistik erfreuen. Eine Person, die mit Wahrscheinlichkeiten umzugehen weiß, kann weniger leicht in die Irre geführt werden. Sie wird weder an Wunder noch an höhere Mächte glauben, wenn sie mit sensationellen Versprechungen konfrontiert wird; sie wird nicht in Panik verfallen, wenn ihr apokalyptische Prognosen zu Ohren kommen; sie wird auch keine Wissenschaftsdogmen akzeptieren, ohne sie kritisch zu hinterfragen. Sie weiß, dass Wahrscheinlichkeiten nichts aussagen über Kausalitäten und wird deshalb keine vorschnellen Schlüsse ziehen (auch wenn diese im aktuellen Trend liegen sollten). Statistische Überlegungen gepaart mit kühlem Sachverstand helfen, Informationen kritisch zu reflektieren, Risiken realistisch einzuordnen und somit gelassener zu werden.

Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern: Jeder Mensch sollte der Statistik unbefangen begegnen und sich der Schönheit dieser Disziplin öffnen – sei es als Wissenschaftler, der Studien durchführt; als Nutznießer, der die Ergebnisse praktisch umsetzt; oder als ein Konsument, der dazu angehalten ist, die auf ihn einströmenden Informationen zu bewerten. Dann wird er oder sie erfahren, welche Souveränität statistische Kenntnisse zu verleihen imstande sind. Am ehesten gelingt dies, wenn man (im Sinne von Herbert George Wells) Kinder bereits

im Grundschulalter dafür sensibilisiert und ihnen (zusammen mit Lesen und Schreiben) Verständnis für Zahlen und die statistische Denkweise nahebringt.

Literatur

1. Armitage P: Trials and errors: The emergence of clinical statistics. *J R Stat Soc* 1983; 146: 321–334. DOI: 10.2307/2981451
2. Bollet AJ: Pierre Louis: The numerical method and the foundation of quantitative medicine. *Am J Med Sci* 1973; 266: 23–101. DOI: 10.1097/00000441-197308000-00002
3. Ferdinand D, Otto M, Weiss C: Get the most from your data. A propensity score model comparison in real life-data. *Int J Gen Med* 2016; 9: 123–131. DOI: 10.2147/IJGM.S104313
4. Gigerenzer Gerd: Das Einmaleins der Skepsis. Über den richtigen Umgang mit Zahlen und Risiken. Berlin Verlag. 3. Auflage 2003
5. Gigerenzer G, Swijtink Z, Porter T, Daston L, Beatty J, Krüger L: Klassische Wahrscheinlichkeiten: 1660–1840. In: *Das Reich des Zufalls. Wissen zwischen Wahrscheinlichkeiten, Häufigkeiten und Unschärfen*. Spektrum Akademischer Verlag 1999
6. Kerlikowske K: Efficacy of screening mammography among women aged 40 to 49 years and 50 to 50 years: Comparison of relative and absolute benefit. *J Natl Cancer Inst Mono* 1997; 22: 79–86. DOI: 10.1093/jncimono/1997.22.79
7. Krämer W: Konkurrierende Risiken. In: *Statistik für die Westentasche*; Seite 56 ff., Piper-Verlag München 2002
8. Martin M, Fangerau H: Claude Bernard und der „europäische Durchschnittsharn“. *Urologe* 2010; 49: 855–860. DOI: 10.1007/s00120-010-2277-9
9. Porzsolt F, Rocah NG, Toledo-Arruda AC, Thomaz TG, Moraes C, Bessa-Guerra TR, Leao M, Migowski A, Araujo da Silva AR, Weiss C: Efficacy and effectiveness trials have different goals, use different tools, and generate different messages. *Pragmat Obs Res* 2015; 6: 47–54. DOI: 10.2147/POR.S89946
10. Porzsolt F, Wambo GOK, Rösch MC, Weiß C: Prävention muss effizienter werden. *Dtsch Med Wochenschr* 2016; 141: 651–653. DOI: 10.1055/s-0042-101669
11. Rosenbaum PR, Rubin DB: The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika* 1983; 70: 41–55. DOI: 10.1093/biomet/70.1.41
12. Strick HK: Adolphe Quetelet (1796–1874): Der mittlere Mensch. In: *Spektrum.de*. 1. Februar 2011

13. Tröhler U: Die therapeutische „Erfahrung“ – Geschichte ihrer Bewertung zwischen subjektiv sicherem Wissen und objektiv wahrscheinlichen Kenntnissen. In: Köbberling J: Die Wissenschaft in der Medizin. Selbstverständnis und Stellenwert in der Gesellschaft. Schattauer-Verlag 1992
14. Weiss C: Entwicklung der Medizinischen Statistik in Deutschland. Der lange Weg dahin. GMDs Med Inform Biom Epidemiol; 2005

Über die Autorin

Christel Weiß ist Professorin für Biomathematik und Epidemiologie an der Medizinischen Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg. Zu ihrem Tätigkeitsbereich zählen Lehrveranstaltungen für Studierende der Medizin sowie die statistische Beratung von Ärzten, wissenschaftlichen Mitarbeitern und Doktoranden bei der Planung und Durchführung von klinischen und epidemiologischen Studien. Frau Weiß ist Autorin des Lehrbuchs „Basiswissen Medizinische Statistik“ (erschienen im Springer-Verlag, demnächst 7. Auflage), des Ratgebers „Promotion. Die medizinische Doktorarbeit – von der Themensuche bis zur Dissertation“ (zusammen mit Prof. Dr. Axel Bauer, erschienen im Thieme-Verlag, 4. Auflage) sowie Coautorin zahlreicher wissenschaftlicher Papers.

Korrespondenz:

Prof. Dr. Christel Weiß

Medizinische Fakultät Mannheim der Universität Heidelberg

Abteilung für Medizinische Statistik und Biomathematik

Theodor-Kutzer-Ufer 1

68167 Mannheim, Germany

E-Mail: Christel.Weiss@medma.uni-heidelberg.de