



Leopoldina
Nationale Akademie
der Wissenschaften

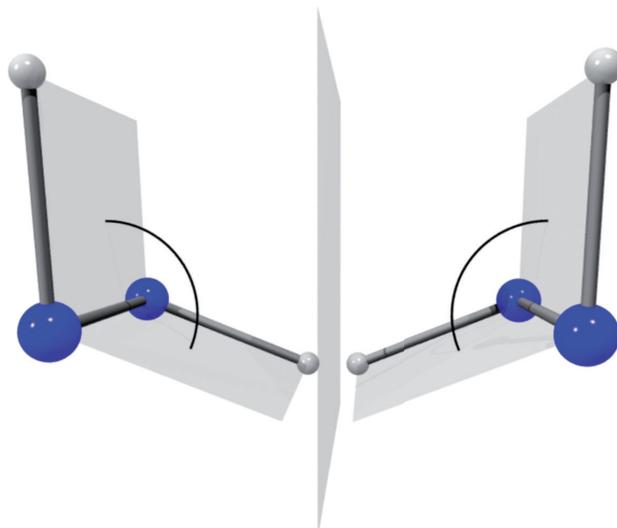
NOVA ACTA LEOPOLDINA

Neue Folge | Vorabdruck | Band 127 | Nummer 412

Symmetrie und Asymmetrie in Wissenschaft und Kunst

**Programm und Kurzfassungen
der Vorträge für die Jahresversammlung
18. und 19. September 2015 in Halle (Saale)**

Herausgegeben von Jörg Hacker, Präsident der Akademie



**Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale) 2015**

NOVA ACTA LEOPOLDINA

Abhandlungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina

NEUE FOLGE

VORABDRUCK

NUMMER 412

BAND 127

Symmetrie und Asymmetrie in Wissenschaft und Kunst

Programm und Kurzfassungen
der Vorträge für die Jahresversammlung
18. und 19. September 2015 in Halle (Saale)

Herausgegeben von Jörg Hacker, Präsident der Akademie



**Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina –
Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale) 2015**

Redaktion: Dr. Michael KAASCH und Dr. Joachim KAASCH

Die Schriftenreihe Nova Acta Leopoldina erscheint bei der Wissenschaftlichen Verlagsgesellschaft Stuttgart, Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart, Bundesrepublik Deutschland.

Die Schriftenreihe wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung sowie das Ministerium für Wissenschaft und Wirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt.

Die Abkürzung ML hinter dem Namen der Autoren steht für Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina.

© 2015 Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. – Nationale Akademie der Wissenschaften
Postadresse: Jägerberg 1, 06108 Halle (Saale), Postfachadresse: 110543, 06019 Halle (Saale)
Hausadresse der Redaktion: Emil-Abderhalden-Straße 37, 06108 Halle (Saale)
Tel.: +49 345 47239134
Fax: +49 345 47239139

Printed in Germany 2015

Herausgeber: Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Jörg HACKER, Präsident der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften

Gesamtherstellung: unicom Werbeagentur GmbH
Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Inhalt

Programm

Freitag, 18. September 2015

Feierliche Eröffnung	9
Festvortrag	10
Session I.....	10
Session II.....	11
Abendvortrag	11

Samstag, 19. September 2015

Session III.....	12
Session IV	12
Werkstatt Junge Akademie.....	13
Session V	13
Schlusswort	13

Kurzfassungen der Vorträge

Festvortrag

Birnbacher, Dieter: Symmetriebrüche in der Moral 14

Session I

Hon, Giora: Das doppelte Gesicht der Symmetrie: Eine konzeptuelle Geschichte.... 15

Fritzschn, Harald: Symmetrien in der Physik 16

Gabrielse, Gerald: Symmetrien und Asymmetrien von Teilchen und Antiteilchen17

Session II

Jenni, Peter: Der lange Weg zum Higgs-Teilchen und mehr am CERN Large Hadron Collider (LHC)..... 18

Quack, Martin: Die Spiegelsymmetrie des Raumes und die Chiralität in Chemie, Physik und in der biologischen Evolution 19

Abendvortrag

Hasinger, Günther: Ist der Himmel symmetrisch?..... 20

Session III

Bredenkamp, Horst: Ohne Störung kein Leben? Die bildende Kunst und die Symmetrie 21

Büschges, Ansgar: Neuronale Steuerung der Fortbewegung – Erzeugung adaptiver Bewegungsmuster auf Basis struktureller Symmetrien 22

Session IV

Schwille, Petra: Symmetriebrechung und Musterbildung in minimalen biologischen Systemen 23

Werner, Sabine: Krebsentstehung als überschießende Wundheilung: Verlust einer empfindlichen Balance..... 24

Bruckner-Tuderman, Leena: Symmetrie und Asymmetrie von Hautveränderungen: medizinisch relevant?..... 25

Session V

<i>Kablitz, Andreas</i> : Symmetrie als strukturelles Prinzip des Denkens in der Moderne	26
<i>Wienhard, Anna</i> : Geometrie durch Symmetrie.....	26
<i>Shechtman, Daniel</i> : Quasi-periodische Materialien – ein Paradigmenwechsel in der Kristallographie	27

Abstracts of the Presentations

Honorary Lecture

Birnbacher, Dieter: Breaches of Symmetry in Morality 28

Session I

Hon, Giora: The Double-Face of Symmetry: A Conceptual History 29

Fritzscht, Harald: Symmetries in Physics 30

Gabrielse, Gerald: Symmetries and Asymmetries of Particles and Antiparticles 31

Session II

Jenni, Peter: The Long Journey to the Higgs Boson and beyond at CERN's Large Hadron Collider (LHC)..... 32

Quack, Martin: The Reflection Symmetry of Space and Chirality in Chemistry, Physics and in Biological Evolution 33

Evening Lecture

Hasinger, Günther: Are the Heavens Symmetrical?..... 34

Session III

Bredenkamp, Horst: No Life without Disorder? The Visual Arts and Symmetry..... 35

Büschges, Ansgar: Neural Control of Locomotion – Structural Symmetries in the Generation of Adaptive Locomotor Programs..... 36

Session IV

Schwille, Petra: Symmetry Breaking and Pattern Formation in Minimal Biological Systems 37

Werner, Sabine: Cancer Development as an Excessive Wound Healing Process: Loss of a Delicate Balance 37

Bruckner-Tuderman, Leena: Symmetry and Asymmetry of Skin Diseases: Medically Relevant? 38

Session V

<i>Kablitz, Andreas: Symmetry as Structural Principle of Mind in Modernity</i>	39
<i>Wienhard, Anna: Geometry through Symmetry</i>	39
<i>Shechtman, Daniel: Quasi-Periodic Materials – A Paradigm Shift in Crystallography.....</i>	40

Dank

Wir danken der Alfried Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung für die großzügige finanzielle Unterstützung der Veranstaltung



Alfried Krupp von Bohlen
und Halbach-Stiftung

Wir danken der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung für die großzügige finanzielle Unterstützung bei der Realisierung eines Schülerprogramms, das in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte (GDNÄ) ausgewählten Schülerinnen und Schülern eine Teilnahme an der Leopoldina-Jahresversammlung ermöglicht.



Programm

Die Feierliche Eröffnung findet in deutscher Sprache statt. Eine Simultanübersetzung ins Englische ist vorgesehen. / *The Opening Ceremony will be in German. Simultaneous translation into English will be provided.*

Die wissenschaftlichen Vorträge werden in der im Titel angekündigten Sprache gehalten. / *The scientific lectures will be given in the language as announced by the title.*

ML – Mitglied der Leopoldina / *Member of the Leopoldina*

Freitag, 18. September 2015

9:00 – 13:00 Uhr | Feierliche Eröffnung*

Musikalische Eröffnung

Pfeiferstuhl Music Halle

Begrüßung

*Martin Lohse ML, Würzburg
Vizepräsident der Leopoldina*

Ansprache

*Jörg Hacker ML, Halle (Saale)
Präsident der Leopoldina*

Verleihung von Preisen und Medaillen

*Jörg Hacker ML, Halle (Saale)
Präsident der Leopoldina*

- Cothenius-Medaille
- Carus-Medaille
- Schleiden-Medaille
- Mendel-Medaille
- Thieme-Preis der Leopoldina für Medizin
- Leopoldina-Preis für junge Wissenschaftler
- Georg-Uschmann-Preis für Wissenschaftsgeschichte

10:20 – 10:50 Uhr | Pause

Begrüßung der Bundeskanzlerin

*Jörg Hacker ML, Halle (Saale)
Präsident der Leopoldina*

Grußwort

*Reiner Haseloff
Ministerpräsident des Landes Sachsen-Anhalt*

Festrede

*Angela Merkel
Bundeskanzlerin*

* nur für Mitglieder der Leopoldina, Mitglieder des Leopoldina Akademie Freundeskreises sowie geladene Gäste

12:15 – 13:00 Uhr | Festvortrag

Einführung in den Festvortrag

*Martin Lohse ML, Würzburg
Vizepräsident der Leopoldina*

Festvortrag **Symmetriebrüche in der Moral**
Dieter Birnbacher ML, Düsseldorf

13:00 – 14:00 Uhr | Stehempfang

Session I

Moderation:
*Gunnar Berg ML, Halle (Saale)
Vizepräsident der Leopoldina*

14:00 – 14:45 Uhr **The Double-Face of Symmetry:
A Conceptual History**
Giora Hon, Haifa (Israel)/Berlin

14:45 – 15:30 Uhr **Symmetrien in der Physik**
Harald Fritzsch, München

15:30 – 16:15 Uhr **Symmetries and Asymmetries of Particles
and Antiparticles**
Gerald Gabrielse, Cambridge (MA, USA)

16:15 – 16:45 Uhr | Pause

Session II

Moderation:

*Ursula M. Staudinger ML, New York (NY, USA)
Vizepräsidentin der Leopoldina*

16:45 – 17:30 Uhr **Der lange Weg zum Higgs-Teilchen und mehr
am CERN Large Hadron Collider (LHC)**
Peter Jenni, Genf (Schweiz)/Freiburg (i. Br.)

17:30 – 18:15 Uhr **Die Spiegelsymmetrie des Raumes und die Chiralität
in Chemie, Physik und in der biologischen Evolution**
*Martin Quack ML, Zürich (Schweiz)
Mitglied des Präsidiums der Leopoldina*

20:00 Uhr | **Abendvortrag**

Einführung:

*Jörg Hacker ML, Halle (Saale)
Präsident der Leopoldina*

Ist der Himmel symmetrisch?

Günther Hasinger ML, Honolulu (HI, USA)

Samstag, 19. September 2015

Session III

Moderation:

*Frank Rösler ML, Hamburg
Mitglied des Präsidiums der Leopoldina*

8:30 – 9:15 Uhr

**Ohne Störung kein Leben?
Die bildende Kunst und die Symmetrie**
Horst Bredekamp ML, Berlin

9:15 – 10:00 Uhr

**Neuronale Steuerung der Fortbewegung –
Erzeugung adaptiver Bewegungsmuster
auf Basis struktureller Symmetrien**
Ansgar Büschges, Köln

10:00 – 10:30 Uhr | Pause

Session IV

Moderation:

*Peter Propping ML, Bonn
Mitglied des Präsidiums der Leopoldina*

10:30 – 11:15 Uhr

**Symmetriebrechung und Musterbildung
in minimalen biologischen Systemen**
Petra Schwille ML, Martinsried

11:15 – 12:00 Uhr

**Krebsentstehung als überschießende Wundheilung:
Verlust einer empfindlichen Balance**
Sabine Werner ML, Zürich (Schweiz)

12:00 – 12:45 Uhr

**Symmetrie und Asymmetrie von
Hautveränderungen: medizinisch relevant?**
Leena Bruckner-Tuderman ML, Freiburg (i. Br.)

12:45 – 14:30 Uhr | Pause

14:30 – 16:00 Uhr | Werkstatt Junge Akademie

„A-/Symmetrie zwischen Wissenschaft und Kunst“

Ein Gespräch mit der Choreografin Eva Meyer-Keller (Berlin), der Mathematikerin Ricarda Winkelmann (Potsdam) und dem Musikwissenschaftler und Komponisten Gordon Kampe (Essen) über Machtverhältnisse in interdisziplinären Forschungsprojekten.

Moderation: *Stefanie Wenner (Philosophin und Kuratorin, Berlin)*

16:00 – 16:30 Uhr | Pause

Session V

Moderation:

*Thomas Lengauer ML, Saarbrücken
Mitglied des Senats der Leopoldina*

16:30 – 17:15 Uhr Symmetrie als strukturelles Prinzip des Denkens in der Moderne

Andreas Kablitz ML, Köln

17:15 – 18:00 Uhr Geometrie durch Symmetrie

Anna Wienhard, Heidelberg

18:00 – 18:45 Uhr Quasi-Periodic Materials – A Paradigm Shift in Crystallography

Daniel Shechtman, Haifa (Israel)

18:45 Uhr | Schlusswort

*Bärbel Friedrich ML, Berlin
Vizepräsidentin der Leopoldina*

Kurzfassungen der Vorträge

Festvortrag

Dieter Birnbacher ML, Düsseldorf

Symmetriebrüche in der Moral

Geläufige Grundsätze der Alltagsmoral wie die Goldene Regel und elementare Fairnessprinzipien weisen darauf hin, dass ein symmetrisches Verhältnis zwischen moralisch Verpflichteten und durch diese Verpflichtungen Begünstigten den Lebensnerv der Moral ausmacht. Damit Moral als informelles gesellschaftliches Ordnungssystem funktioniert, müssen möglichst viele ein Eigeninteresse daran haben, moralische Normen zu befolgen oder zumindest ihre Befolgung öffentlich zu fordern. Dafür, dass dieses Eigeninteresse besteht, sorgt der Wunsch, den zu erwartenden Sanktionen für Pflichtverletzungen zu entgehen. Eine Minimaethik, die sich auf die Symmetrie zwischen moralischem Geben und Nehmen stützt, ist allerdings nicht geeignet, mehr als nur einen „harten Kern“ der Moral zu rekonstruieren – diejenige Kernmoral, ohne die auch eine „Räuberbande“ (Kant) nicht überleben würde. Wesentliche moralische Verpflichtungen werden von einer Minimaethik nicht erfasst, entweder weil sie sich auf nicht sanktionsfähige Individuen oder Kollektive richten oder weil die Moralsubjekte unzureichend motiviert sind, diesen Pflichten aus selbstbezogenen Interessen nachzukommen oder sie auch nur zu akzeptieren. Auf der Ebene des Individuums werden dazu drei „Problemfälle“ (Amoralismus, Immoralismus, Egoismus) diskutiert, auf der kollektiven Ebene (am Beispiel der Klimaethik) die Themen Generationengerechtigkeit und internationale Verteilungsgerechtigkeit. Den Schluss bildet eine kulturphilosophische Überlegung: Für traditionelle Gesellschaften ist der Versuch charakteristisch, die Lücke zwischen der Akzeptanz einer ambitionierten Moral und der Motivation zu ihrer Befolgung durch religiöse oder ideologische Konstruktionen zu schließen. In einer zunehmend religionsfernen und weltanschaulich neutralen moralischen Kultur ist mit einer derartigen „artificial harmony of interests“ (Bentham) nicht zu rechnen. Die Frage stellt sich, ob eine postmetaphysische moralische Sozialisation, auf die Milieutheoretiker wie John Stuart Mill hofften, zur Schließung der Lücke ausreichen kann.

Session I

Giora Hon, Haifa (Israel)/Berlin*

Das doppelte Gesicht der Symmetrie: Eine konzeptuelle Geschichte

Symmetrie wird im Allgemeinen als ein Prinzip wahrgenommen, das bilaterale oder radiale Beziehungen ausdrückt, was in wirksamer Weise räumliche Anordnungen beschreibt, von denen die meisten Menschen denken, dass sie dem menschlichen Verstand in einem gewissen Sinn angeboren sind. Hat das Prinzip dennoch eine Geschichte? Hat es sich entwickelt? Gab es eine Revolution der Ansichten? Wir untersuchen genau den Entwicklungsverlauf des Prinzips in den mathematischen und wissenschaftlichen Disziplinen sowie im Bereich von Kunst und Architektur. Die lange Geschichte des Symmetrieprinzips begann in der klassischen Antike als das besondere Prinzip mit einer Reihe von Anwendungen, das Proportionalität mit einer bestimmten Nebenbedingung ausdrückt. Tatsächlich wurde *Symmetrie* in zwei verschiedenen Zusammenhängen benutzt: In der Mathematik hatte sie die technische Bedeutung des mit dem selben Maß Vergleichbaren, während sie allgemein angemessen oder gut proportioniert bedeutete. Die letztere Verwendung ist mit einer ästhetischen Beurteilung verbunden, zu der man durch den Vergleich mit einem Ideal in dem entsprechenden Bereich und durch den Versuch, eine gewisse Eigenschaft des Objekts festzustellen, z. B. dass es schön ist oder dass es ordentlich funktioniert, kommt. Wir liefern den historischen Beweis, dass es trotz der Vielzahl von Verwendungen in vielen verschiedenen Bereichen eine konzeptionelle Einheit gibt, die der Beschwörung von Symmetrie in der Zeit von der Antike bis in die 1790er Jahre zugrunde liegt, die sich von den wissenschaftlichen Verwendungen dieses Begriffs, der zuerst Ende des 18. Jahrhunderts in Frankreich aufkam, unterscheidet.

Die Veränderungen in der Bedeutung von Symmetrie von der Antike bis in das 18. Jahrhundert können unter Berufung auf die Evolution erklärt werden – keiner in diesem Zeitalter behauptete, etwas Neues zu tun. Die Schlüsselfigur bei der Weiterentwicklung des Symmetrieprinzips war dann der Mathematiker Adrien-Marie Legendre, der im Jahr 1794 vorgab, doch etwas Neues zu schaffen. In der Tat hat er das Prinzip durch die Einführung des Ordnungsprinzips revolutioniert und die Grundlagen für seine moderne Nutzung gelegt.

* Mitautor Bernard R. Goldstein, Pittsburgh (PA, USA)

Symmetrien in der Physik

Eine Symmetrie ist die Eigenschaft eines Systems, sich bei Transformationen nicht zu ändern. Es gibt diskrete Symmetrien mit einer endlichen Zahl von Symmetrieeoperationen, etwa die Symmetrie der Spiegelungen des Raumes, und kontinuierliche Symmetrien mit unendlich vielen Symmetrieeoperationen, z. B. die Drehungen des Raumes.

Die Gesetze der klassischen Mechanik sind symmetrisch bei Translationen des Raumes und der Zeit, bei Drehungen und bei Spiegelungen des Raumes. Die Translationen des Raumes führen zur Erhaltung der Impulse, Translationen der Zeit zur Erhaltung der Energie und Drehungen des Raumes zur Erhaltung des Drehimpulses.

Werner Heisenberg führte 1932 die erste innere Symmetrie ein, den Isospin – eine Symmetrie der Kernkräfte und der starken Wechselwirkung. In den Jahren seit 1950 entdeckte man in der kosmischen Strahlung neue instabile Teilchen, die Hyperonen und die K-Mesonen. 1961 gelang es Murray Gell-Mann, die Nukleonen und die neuen Teilchen durch eine stark gebrochene Symmetrie zu beschreiben, die SU(3)-Symmetrie. Er interpretierte die Baryonen, etwa die Protonen, als Bindungszustände von drei Konstituenten, den Quarks.

Hermann Weyl entdeckte 1929, dass die Elektrodynamik eine kontinuierliche Symmetrie besitzt, die er als Eichsymmetrie bezeichnete. Die Elektrodynamik ist eine Eichtheorie, das masselose Photon ist ein Eichboson. Die Eichgruppe ist die Gruppe der Phasentransformationen des Elektronfeldes.

Fritzsich und Gell-Mann führten 1971 eine neue Quantenzahl für die Quarks ein, die sie als „Farbe“ bezeichneten – die entsprechende Symmetrie wird durch die Gruppe SU(3) beschrieben. Sie interpretierten die Farbgruppe als Eichgruppe einer neuen Theorie, der „Quantenchromodynamik“. Diese beschreibt die starke Wechselwirkung und die Kernkräfte. Die Wechselwirkung wird durch Eichbosonen vermittelt, den acht masselosen Gluonen. Die Quarks und die Gluonen sind permanent in den Baryonen gebunden, existieren also nicht als freie Teilchen.

Heute beschreibt man die schwache und die elektromagnetische Wechselwirkung durch eine Eichtheorie mit vier Eichbosonen, dem masselosen Photon, zwei massiven geladenen W-Bosonen und einem massiven neutralen Z-Boson. Die Massen dieser drei Eichbosonen werden durch eine spontane Symmetriebrechung erzeugt.

Gerald Gabrielse, Cambridge (MA, USA)

Symmetrien und Asymmetrien von Teilchen und Antiteilchen

Die fundamentalen Teilchen, aus denen das sichtbare Universum besteht, und die Antimaterie, die wir als Gegenstücke erzeugen können, offenbaren Symmetrien und Asymmetrien. Physiker sprechen von der Umwandlung von Teilchen in Antiteilchen und rückwärts laufenden Uhren, wenn wir versuchen, die grundlegendsten Symmetrien zu klassifizieren und zu messen. Unglaublich präzise Untersuchungen stammen vom Vergleich von Teilchen und Antiteilchen. Der Beitrag liefert eine anschauliche Einführung in die grundlegenden Symmetrien und die Art, wie wir sie erkennen.

Session II

Peter Jenni, Genf (Schweiz)/Freiburg (i. Br.)

Der lange Weg zum Higgs-Teilchen und mehr am CERN Large Hadron Collider (LHC)

Seit 2010 erforschen Experimente am *Large Hadron Collider* (LHC) des CERN Teilchenphysik bei den höchsten Kollisionsenergien, die je in einer Versuchsanlage erreicht wurden. Nach einer reichen Ernte an Messungen zum Standardmodell der Teilchenphysik kam nun im Jahr 2012 die erste spektakuläre Entdeckung in Form eines neuen, schweren Teilchens. Dieses ist wohl das lange gesuchte Higgs-Teilchen, welches so fundamental für das Verständnis der Natur in ihren kleinsten Bestandteilen ist. Alle neuen Messdaten deuten darauf hin, dass es sich tatsächlich um das postulierte Boson handelt, das die Brout-Englert-Higgs-Theorie der spontanen Symmetriebrechung der elektroschwachen Kräfte bestätigen würde. Damit gäbe es auch eine Erklärung, wie die Elementarteilchen zu ihrer Masse kommen.

Das Experimentierprogramm mit dieser einzigartigen Kollisionsanlage und die Entwicklung der sehr komplexen technischen Nachweisgeräte, Detektoren, die von weltumspannenden riesigen Forschergruppen gebaut wurden und betrieben werden, bedeutet nun schon seit drei Jahrzehnten ein großes wissenschaftliches wie auch menschliches Unterfangen. Aber die aufregende Entdeckungsreise in Bereiche neuer Physik, auch jenseits der Grenzen des Standardmodells, hat am LHC damit erst so recht begonnen. Der Neubetrieb in diesem Jahr, bei noch höherer Energie, verspricht Aufschluss zur offenen Frage der Dunklen Materie im Universum zu geben, welche in einer umfassenden, aber noch unbestätigten, Theorie der sogenannten Supersymmetrie (SUSY) erklärt werden könnte.

Die Spiegelsymmetrie des Raumes und die Chiralität in Chemie, Physik und in der biologischen Evolution

Die Spiegelsymmetrie des Raumes gehört zu den grundlegenden Symmetrien der Physik. Sie ist verknüpft mit der Erhaltung der Quantenzahlparität und einer grundsätzlich nicht beobachtbaren Eigenschaft des Raumes, etwa im Sinne eines absoluten „rechts“- oder „links“-Koordinatensystems. Die Entdeckung der Verletzung dieser Symmetrie – die Nichterhaltung der Parität oder Paritätsverletzung – 1956/1957 hat die weitere Entwicklung der Physik maßgeblich beeinflusst.

In der Chemie ist die Spiegelsymmetrie des Raumes mit der Existenz von symmetrisch exakt äquivalenten Spiegelbildisomeren, den Enantiomeren chiraler, „händiger“ Moleküle (von griechisch *χείρ* für Hand), verbunden, die sich zueinander wie Bild und Spiegelbild oder wie die idealisierte linke und rechte Hand verhalten. Paritätsverletzung führt zu einem extrem kleinen „paritätsverletzenden“ Energieunterschied zwischen Enantiomeren, der theoretisch molekülabhängig zu etwa 100 Attoelektronenvolt (100 aeV, entsprechend etwa 10^{-11} J/mol) berechnet wird, aber bisher noch nicht experimentell nachgewiesen wurde. Wir zeigen, wie mit spektroskopischen Experimenten, die zwar schwierig, aber im Vergleich zu Experimenten der Hochenergiephysik noch sehr einfach sind, einige grundlegende Fragen der Physik beantwortet werden können, da sie Symmetrien und ihre Verletzungen betreffen, die beiden Arten von Experimenten zugänglich sind.

In der Biochemie und Molekularbiologie gehört die Evolution der Homochiralität, also das praktisch ausschließliche Vorkommen von jeweils nur einer chiralen Form (den L-Aminosäuren und D-Zuckern, nicht aber den entsprechenden D- und L-Enantiomeren) in den Biopolymeren (Proteine und DNA) bei allen bekannten Lebewesen zu den großen, seit mehr als hundert Jahren ungelösten Fragen. In der Astrobiologie könnte der spektroskopische Nachweis der Homochiralität als starkes Indiz für die Existenz außerirdischen Lebens verwendet werden.

In dem Vortrag werden diese verwandten Fragestellungen aus verschiedenen Gebieten auf einer gemeinsamen Grundlage der Symmetrie des Raumes behandelt, und es wird über den aktuellen Stand ihrer Beantwortung berichtet.

Abendvortrag

Günther Hasinger ML, Honolulu (HI, USA)

Ist der Himmel symmetrisch?

Das Universum entstand vor 13,8 Milliarden Jahren aus einer chaotischen Inflation von Quantenfluktuationen. Dabei spielte eine spontane Symmetriebrechung die wesentliche Rolle. Die Tatsache, dass es überhaupt Materie gibt, und Menschen, die darüber nachdenken, haben wir wiederum einer Symmetriebrechung zu verdanken. Gibt es eigentlich Symmetrie im Kosmos? Anhand der Entstehung und Entwicklung von großräumigen Strukturen, von Galaxien, Sternen und Planeten beschäftigt sich der Vortrag mit dieser Frage. Auch der Tod von Sternen, die Entstehung von Weißen Zwergen, Neutronensternen und Schwarzen Löchern erlaubt interessante Einblicke in die Frage der Symmetrien. Im weiteren Verlauf spielten die Entwicklung der Schwarzen Löcher und ihr Einfluss auf die Galaxien eine wichtige Rolle.

Session III

Horst Bredekamp ML, Berlin

Ohne Störung kein Leben? Die bildende Kunst und die Symmetrie

In der Kunsttheorie stehen sich unversöhnbar zwei Grundauffassungen gegenüber. Eine erste Lehre, die in der Regel mit dem Begriff der Klassik verbunden wird, erkennt in der Kunst, wie sie etwa die Hochrenaissance entwickelt hat, die Symmetrie als Grundlage ihrer höchsten Vollendung. Die zweite, zumeist als Prinzip des Manierismus bezeichnete Überzeugung erkennt in der Symmetrie nicht etwa die Bedingung für höchste Vollendung, sondern für eine formale und damit auch inhaltliche Leere. Im Vortrag soll gefragt werden, ob Symmetrie ein erschöpfendes Prinzip der Kunst sein kann, oder ob ein Minimum an Asymmetrie notwendig ist, um die Kunst in jene Rahmenstellung zu führen, die mit dem Begriff des Lebens verbunden ist.

Neuronale Steuerung der Fortbewegung – Erzeugung adaptiver Bewegungsmuster auf Basis struktureller Symmetrien

Die Kontrolle der Motorik gehört bei Tieren zu den Hauptaufgaben des Nervensystems. Wenn sich Tiere fortbewegen, sei es schwimmend, kriechend, springend, fliegend, hüpfend, laufend oder fliegend, tun sie dies mit einem Körper und Fortbewegungsapparat, der häufig symmetrisch ist. Symmetrien des Bewegungssystems von Tieren existieren in allen Formen, d. h. in Spiegel- und Radiärform, und sind das Resultat von ontogenetisch bestimmten Restriktionen. Ein spiegelsymmetrischer Körperbau kann zum Beispiel die Erzeugung der grundlegenden Bewegungen für Hüpfen auf zwei Beinen, Kriechen von Würmern oder Fliegen erleichtern.

Allerdings sind komplexere Fortbewegungsformen nur dann möglich, wenn der symmetrische Bauplan eines Tierkörpers asymmetrisch eingesetzt werden kann, d. h. wenn räumliche Symmetrie zeitlich und vorübergehend gebrochen wird. Im Falle terrestrischer Fortbewegung, wie dem Laufen, erlauben zeitliche Asymmetrien die Erzeugung eines großen und flexiblen Repertoires adaptiver Bewegungsmuster der Beine. Diese ermöglichen Änderungen der Laufgeschwindigkeit und -richtung, die Erzeugung unterschiedlicher Gangarten und Koordinationsmuster, Anpassungen an Belastung oder Verletzung und schlussendlich ein sicheres Fortkommen in unvorhersehbarem Terrain.

Ich werde in dem Vortrag drei Aspekte der Symmetrie in der Biologie mit Bezug auf die Fortbewegung von Tieren ansprechen: Symmetrien des Fortbewegungsapparates, Symmetrien der Topologie neuronaler Netzwerke, die die motorische Aktivität erzeugen, und schlussendlich, Symmetrie in der neuronalen Kontrolle von Fortbewegung. Bei der Besprechung der Rolle struktureller Symmetrien im Bewegungssystem von Tieren werde ich mich insbesondere der Erzeugung der terrestrischen Fortbewegung des Laufens mit einer verschieden großen Anzahl an Beinen widmen, für die unterschiedliche Gangarten im Lichte der strukturellen Symmetrie der Organismen zu betrachten sind. Anschließend werde ich die Konsequenzen der symmetrischen topologischen Struktur der neuronalen Netzwerke im Zentralnervensystem für die neuronale Kontrolle von Schreitbewegungen bei Tieren besprechen. Der letzte Teil meines Vortrags wird sich der Vorstellung des Fehlens von Symmetrie auf der Ebene der neuronalen Kontrolle einzelner Extremitäten bei der Erzeugung rhythmisch-zyklischer Fortbewegungsmuster widmen.

Session IV

Petra Schwille ML, Martinsried

Symmetriebrechung und Musterbildung in minimalen biologischen Systemen

Die Fähigkeit, unter Energieverbrauch räumliche Ordnung und Muster in Reaktionsmischungen in Lösung zu erzeugen und aufrechtzuerhalten, gehört zu den wichtigsten Merkmalen belebter Systeme. Die prinzipiellen mathematischen Voraussetzungen für Musterbildung und Morphogenese wurden bereits 1952 von Alan Turing beschrieben und in der Zwischenzeit theoretisch auf verschiedene Musterbildungsprozesse in der Biologie angewandt. Im Gegensatz zur unbelebten Natur wurden aber in der Biologie bislang nur sehr wenige Systeme identifiziert, die zur Selbstorganisation fähig und dennoch einfach genug sind, um eine quantitative Beschreibung mit nur wenigen Parametern zu erlauben. Eines dieser Systeme ist das sogenannte MinCDE-Proteinsystem, das in *E. coli*-Bakterien eine Oszillation zwischen den beiden Zellpolen ausführt und dadurch die Maschinerie für die symmetrische Teilung in zwei gleich große Tochterzellen positioniert. Die Oszillationen und die ihnen zugrunde liegenden dynamischen Symmetriebrechungen der Proteinkonzentration beruhen auf einfachen Diffusionsreaktionsbeziehungen zwischen zwei Proteinen der MinCDE-Familie und der Zellmembran. Wir konnten in einem minimalen Modellsystem aus diesen wenigen Funktionselementen solche Oszillationen in zellähnlichen Kompartimenten reproduzieren und damit die ersten Schritte der Positionierung des Teilungsapparats nachbauen. Dieses könnte der erste Schritt auf dem Weg zur kontrollierten Teilung und später Reproduktion künstlicher Zellsysteme sein, die wir in einem synthetisch-biologischen Ansatz zu entwickeln versuchen.

Krebsentstehung als überschießende Wundheilung: Verlust einer empfindlichen Balance

Die Verletzung adulter Gewebe setzt ein komplexes Wundheilungsprogramm in Gang, das zum Ziel hat, den verletzten Körperbereich wieder herzustellen. Die verschiedenen, an der Wundheilung beteiligten Prozesse, müssen engmaschig reguliert und aufeinander abgestimmt werden, um einen optimalen Heilungsprozess zu ermöglichen. Wundheilungsstörungen stellen ein schwerwiegendes gesundheitliches Problem dar, insbesondere bei alten Menschen, bei Diabetikern und bei Patienten, die mit immunsuppressiven Medikamenten behandelt werden. Andererseits kann Wundheilung auch überschießend sein, was zur Bildung von hypertrophen Narben und Keloiden führt. Interessanterweise wurde postuliert, dass „bösartige Tumoren Wunden sind, die nicht heilen“ (Harold Dvorak 1986) und dass Tumorzellen die Wundheilungsantwort des Wirts kapern, um ihr eigenes Wachstum zu fördern. Im Gegensatz zu heilenden Wunden ist der Prozess bei Krebs jedoch nicht selbst limitierend, und es kommt zu unkontrollierter Zellteilung, zum Eindringen der Tumorzellen in benachbartes Gewebe und schließlich zur Metastasenbildung. Die Parallelen zwischen Wundheilung und Krebs wurden in den letzten Jahren auch auf molekularer Ebene aufgezeigt, und wir und andere Arbeitsgruppen konnten Gene identifizieren und funktionell charakterisieren, die sowohl die Wundheilung als auch die Krebsentstehung beeinflussen. Im Vortrag werde ich einige Beispiele für die bemerkenswerten Parallelen zwischen Wundheilung und Krebs aufzeigen, aber auch wichtige Unterschiede herausheben. Diese Beispiele zeigen, wie der Verlust der empfindlichen Balance, mit der Wundheilungsprozesse austariert sind, zu unkontrolliertem Wachstum und Verlust der Symmetrie führt und damit letztendlich zur Bildung bösartiger Tumoren.

Symmetrie und Asymmetrie von Hautveränderungen: medizinisch relevant?

Die Haut ist das größte Organ des menschlichen Körpers mit einem Areal von etwa 1,7 m² und einem Gewicht von ca. 3 kg. Die vielfältigen lebenswichtigen Schutzfunktionen der Haut umfassen die Barrierefunktion gegen äußere Noxen, wie Mikroben oder UV-Bestrahlung, die Immunfunktion und die Fähigkeit, auf fremde Agenzien zu reagieren, sowie die mechanische Stützfunktion. Die Haut ist aber auch ein Sinnesorgan, das Berührung, Kälte, Hitze oder Schmerz empfindet, und ein regulatorisches Organ für die Justierung von Temperatur oder Körperflüssigkeitsbilanz. Die Bewältigung der komplexen funktionellen Herausforderungen beruht auf zwei Hautschichten: auf der Epidermis, der oberen zellreichen Schicht, und der Dermis, der unteren Schicht, die aus Bindegewebe besteht und Blutgefäße und Drüsen enthält. Die Epidermis und die Dermis sind durch eine spezialisierte Basalmembran miteinander verbunden. Unter normalen physiologischen Bedingungen gewährleisten strikt regulierte und organisierte Wechselwirkungen zwischen den Hautschichten optimale Funktionalität. Bei Hauterkrankungen ist entweder die Struktur oder die Funktion der Hautschichten gestört. Die Störungen führen zu Funktionsverlust und zu sichtbaren Hautveränderungen (Läsionen). Symmetrie oder Asymmetrie der Läsionen ist ein wichtiges klinisches Zeichen, das die Diagnose erleichtert. Symmetrische Hautveränderungen, z. B. ein Ausschlag oder spiegelbildlich symmetrische Veränderungen, weisen auf eine systemische Erkrankung hin. Asymmetrische Läsionen deuten auf äußere Ursachen, wie Infektionen, Kontaktallergien oder physikalische Einflüsse, hin. Asymmetrische genetische Mosaikflecken der Haut sind zurzeit wissenschaftlich hochinteressant, weil Mosaikflecken möglicherweise eine Quelle für neuartige Zelltherapien für bisher unheilbare genetische Erkrankungen der Haut darstellen.

Session V

Andreas Kablitz ML, Köln

Symmetrie als strukturelles Prinzip des Denkens in der Moderne

Eine Zusammenfassung liegt nicht vor.

Anna Wienhard, Heidelberg

Geometrie durch Symmetrie

Symmetrien spielen eine zentrale Rolle in der Mathematik. Durch die Betrachtung der inhärenten Symmetrien eines mathematischen Objektes kann die Komplexität einer mathematischen Fragestellung reduziert werden. Zudem ergeben sich dadurch oftmals spannende Beziehungen zwischen geometrischen Strukturen auf der einen und algebraischen Strukturen auf der anderen Seite.

Dies werde ich an klassischen Beispielen sowie an aktuellen Forschungsfragen veranschaulichen.

Quasi-periodische Materialien – ein Paradigmenwechsel in der Kristallographie

Die Kristallographie war bereits eine der ausdifferenzierten Wissenschaften. Im Laufe der Jahre hatte die moderne Wissenschaft der Kristallographie, die 1912 mit Experimenten zur Röntgenstrahlbeugung an Kristallen begann, ein wichtiges Paradigma entwickelt, und zwar ging man davon aus, dass alle Kristalle geordnet und periodisch sind. In der Tat war dies die Definitionsgrundlage für „Kristall“ in Lehrbüchern der Kristallographie und der Röntgenstrahlbeugung. Aufgrund der großen Anzahl von Untersuchungsdaten, der sich ständig verbessernden Forschungsinstrumente und der sich vertiefenden theoretischen Kenntnisse über die Struktur von Kristallmaterialien wurde keine Revolution in unserem Verständnis der Atomanordnung bei Festkörpern mehr erwartet.

Dennoch ereignete sich eine solche Revolution mit der Entdeckung der ikosaedrischen Phase, dem ersten quasiperiodischen Kristall (QK) im Jahr 1982, und deren Veröffentlichung im Jahr 1984. Quasiperiodische Kristalle sind geordnete Materialien, aber ihre Atomanordnung ist eher quasiperiodisch als periodisch und ermöglicht die Bildung von Kristallsymmetrien, so zum Beispiel der ikosaedrischen Symmetrie, die in periodischen Materialien nicht vorkommen kann. Die Entdeckung verursachte tiefe Erschütterungen des vorherrschenden Paradigmas, jedoch erfolgte die Akzeptanz der neuen Klasse geordneter Kristalle durch die Kristallographen-Gemeinschaft nicht von heute auf morgen. In der Tat dauerte es nahezu ein Jahrzehnt, bis die QK-Ordnung von den meisten Kristallographen anerkannt wurde. Das offizielle Siegel der Anerkennung kam in Form einer neuen Definition für „Kristall“ durch die Internationale Vereinigung der Kristallographen. Das Paradigma, dass alle Kristalle periodisch sind, wurde überwunden. Es ist jetzt klar, dass unter den Kristallen – obwohl die meisten geordnet und periodisch sind – es auch eine erhebliche Anzahl gibt, die geordnet und quasiperiodisch sind.

Während Anhänger und Gegner dieser Auffassung diskutierten, wurden viele experimentelle und theoretische Untersuchungen veröffentlicht – ein Ergebnis der harten Bemühungen vieler Gruppen in der ganzen Welt. Quasiperiodische Materialien haben sich zu einer spannenden interdisziplinären Wissenschaft entwickelt.

Dieser Vortrag erläutert die Entdeckung der quasiperiodischen Kristalle und erörtert deren Struktur sowie die Rolle der Transmissionselektronenmikroskopie bei dieser Entdeckung.

Abstracts of the Presentations

Honorary Lecture

Dieter Birnbacher ML, Düsseldorf

Breaches of Symmetry in Morality

Common principles of everyday morality like the Golden Rule and an elementary principle of fairness suggest that a symmetrical relation between the subjects of moral obligations and those profiting from conformity with them are of the very essence of morality. A functioning morality as an informal institution of social order depends on the fact that as many as possible have a self-related interest to follow the norms of morality or, at least, to publicly proclaim obedience to them. This interest in turn depends on the expectation that disobedience will incur social sanctions. However, a minimal ethics built on the symmetry of moral give and take is capable of reconstructing no more than the “hard core” of morality, the core without which even a robber band (Kant) would not be able to survive. It is incapable of covering important moral obligations, either because these are directed to individuals or collectives without sanctioning capacity or because the moral subjects are insufficiently motivated to follow them or even to accept them. On the individual level, the talk discusses in detail three well-known problem cases (amoralism, immoralism, and egoism), and, on the collective level, the analogous issues (with reference to climate politics) of intergenerational relations and international distributive justice. The talk concludes with a reflection on cultural history: It is characteristic of traditional societies to close the gap between the acceptance of an ambitious morality and the motivation to follow it by religious and ideological constructions. In an increasingly areligious and ideologically neutral moral culture an “artificial harmony of interests” (Bentham) of this kind can no longer be expected. The question arises if a postmetaphysical moral socialization such as milieu theoreticians like John Stuart Mill hoped for will be able to close the gap.

Session I

Giora Hon, Haifa (Israel)/Berlin*

The Double-Face of Symmetry: A Conceptual History

Symmetry is commonly perceived as a concept that expresses bilateral or radial relations, which effectively describes spatial arrangements that most people think is in some sense innate to the human mind. So, does the concept have a history? Has it evolved? Was there a revolution? We examine closely the trajectory of the concept in the mathematical and scientific disciplines as well as its trajectory in art and architecture. The long history of the concept of symmetry began in classical Antiquity as a single concept with a range of applications, expressing proportionality with a specific constraint. In fact, *symmetry* was used in two different contexts: In mathematics it had the technical meaning of commensurable, while generally it meant suitable or well proportioned. The latter usage involves an aesthetic judgment arrived at by comparison with an ideal in the relevant domain, in an attempt to establish a certain property of the object, e.g., that it is beautiful or that it functions properly. We offer historical evidence that, despite the variety of usages in many different domains, there is a conceptual unity underlying the invocation of symmetry in the period from Antiquity to the 1790s which is distinct from the scientific usages of this term that first emerged in France at the end of the 18th century. The changes in the meaning of symmetry from Antiquity to the 18th century can be explained by appealing to evolution – nobody in that period claimed to be doing anything new. The key figure in revolutionizing the concept of symmetry was the mathematician Adrien-Marie Legendre who, in 1794, claimed to be doing something new. Indeed, by introducing a principle of ordering he revolutionized the concept, and laid the groundwork for its modern usages.

* Co-author Bernard R. Goldstein, Pittsburgh (PA, USA)

Symmetries in Physics

A symmetry is the property of a system, not to change under a certain transformation. There are discrete symmetries with a finite number of symmetry operations, e.g. the symmetry of reflections of space, and continuous symmetries with an infinite number of symmetry operations, e.g. the rotations of space.

The laws of classical mechanics are symmetric under translations of space and time, under rotations and reflections of space. The translations in space lead to the conservation of the momentum, the translations in time to the conservation of energy and the rotations of space to the conservation of the angular momentum.

Werner Heisenberg introduced in 1932 the first internal symmetry, the isospin – a symmetry of the nuclear forces and of the strong interactions. As of 1950 new unstable particles were discovered in the cosmic rays, the hyperons and the K-mesons. In 1961 Murray Gell-Mann described the nucleons and the new particles by a broken symmetry, the SU(3)-symmetry. He interpreted the baryons, e.g. the protons, as bound states of three constituents, the quarks.

Hermann Weyl discovered in 1929, that the electrodynamics has a continuous symmetry, which he called the gauge symmetry. The electrodynamics is a gauge theory – the photon is a gauge boson. The gauge group is the group of phase transformations of the electron field.

Fritzsch and Gell-Mann introduced in 1971 a new quantum number for the quarks, which they called “color” – the associated symmetry is described by the group SU(3). They interpreted the color group as the gauge group of a new theory, the “quantum chromodynamics”. This theory describes the strong interactions and the nuclear forces. The interaction is generated by gauge bosons, the eight mass-less gluons. The quarks and gluons are permanently confined inside the baryons – they do not exist as free particles.

Today the weak and the electromagnetic interactions are described by a gauge theory with four gauge bosons, the mass-less photon, two massive charged W-bosons and a massive neutral Z-boson. The masses of these three gauge bosons are generated by a spontaneous symmetry breaking.

Gerald Gabrielse, Cambridge (MA, USA)

Symmetries and Asymmetries of Particles and Antiparticles

The fundamental particles that comprise the universe that we see, and the antimatter counterparts that we can produce, manifest symmetries and asymmetries. Physicists speak of changing particles into antiparticles, and clocks running backwards, as we seek to classify and measure the most basic symmetries. Incredibly precise tests come from comparing particles and antiparticles. A pictorial introduction to the fundamental symmetries and how we learn about them will be provided.

Session II

Peter Jenni, Genf (Schweiz)/Freiburg (i. Br.)

The Long Journey to the Higgs Boson and beyond at CERN's Large Hadron Collider (LHC)

Since 2010 the experiments at the Large Hadron Collider (LHC) investigate particle physics at the highest collision energies ever achieved in a laboratory. Following a rich harvest of results for Standard Model physics came in summer 2012 the first spectacular discovery by the ATLAS and CMS experiments observing a new, heavy particle which is most likely the long-awaited Higgs boson, fundamental to the understanding of Nature in its smallest components. All the subsequent data point strongly to the properties as expected for the boson associated with the Brout-Englert-Higgs mechanism postulated to explain the spontaneous symmetry breaking observed for the electroweak forces, and thereby to explain how elementary particles acquire mass.

Building up the experimental program with this unique high-energy collider, and developing the very sophisticated detectors built and operated by world-wide collaborations, meant an incredible scientific and human adventure spanning now three decades. And this is only the beginning of this fantastic journey into uncharted physics territory. The LHC is restarting this year its operation at even higher collision energy, with the exciting prospects to elucidate the mystery of Dark Matter in the Universe, which could be related to a theoretically proposed overarching symmetry in particle physics, called Supersymmetry (SUSY).

The Reflection Symmetry of Space and Chirality in Chemistry, Physics and in Biological Evolution

The reflection (or “mirror”) symmetry of space is among the fundamental symmetries of physics. It is connected with the conservation law for the quantum number parity and a fundamental “non-observable” property of space (as defined by an absolute “left-handed” or “right-handed” coordinate system). The discovery of the violation of this symmetry – the non-conservation of parity or “parity violation” – in 1956/1957 has had an important influence on the further development of physics.

In chemistry the mirror symmetry of space is connected with the existence of symmetrically exactly equivalent “mirror image isomers”, the enantiomers of chiral (“handed” , from Greek *χείρ* for hand) molecules, which relate to each other as image and mirror image or as idealized left and right hand. Parity violation results in an extremely small “parity violating” energy difference between enantiomers, which can be theoretically calculated to be about 100 aeV (equivalent to about 10^{-11} J/mol), depending on the molecule, but which has not yet been detected experimentally. We show, how with spectroscopic experiments, which are difficult, but much simpler than the experiments in high energy physics, one can answer some fundamental questions of physics, as they relate to symmetries and their violation, detectable by both types of experiment.

In biochemistry and molecular biology one finds a related fundamental question unanswered since more than 100 years: The evolution of “homochirality”, which is the practically exclusive existence of one chiral, enantiomeric form in the biopolymers of all known forms of life (the L-aminoacids in proteins and the D-sugars in DNA, not the reverse D- and L-forms, respectively). In astrobiology the spectroscopic detection of homochirality could be used as strong evidence for the existence of extra-terrestrial life, if any.

In the lecture we discuss the related questions from these different areas on a common ground of the symmetry of space, and we report about the current status of answering these questions.

Evening Lecture

Günther Hasinger ML, Honolulu (HI, USA)

Are the Heavens Symmetrical?

The universe was formed 13.8 billion years ago out of a chaotic inflation of quantum fluctuations. Spontaneous symmetry breaking played a major role in this process. The fact that matter even exists, along with humans who can contemplate it, is all down to symmetry breaking. Is there actually symmetry in the cosmos? This talk deals with this question by looking at the creation and development of large-scale structures, galaxies, stars, and planets. The death of stars, the creation of white dwarfs, neutron stars, and black holes also provide interesting insights into the question of symmetries. The development of black holes and their influence on galaxies play an important role in the course of this process.

Session III

Horst Bredekamp ML, Berlin

No Life without Disorder? The Visual Arts and Symmetry

Two basic principles of art theory are irreconcilable. The first principle, which is usually associated with the term “classic”, identifies symmetry in art, such as the High Renaissance developed it, as the basis for its ultimate perfection. The second persuasion, usually characterized as a principle of Mannerism, perceives symmetry as a formal emptiness lacking in content rather than a condition for ultimate perfection. This talk questions whether symmetry can be an exhaustive principle of art, or whether a minimum amount of asymmetry is necessary in order to place art in a framework that is tied to the concept of life.

Neural Control of Locomotion – Structural Symmetries in the Generation of Adaptive Locomotor Programs

Motor behavior is a prime function of the nervous system in animals. When animals move, be it by swimming, crawling, jumping, hopping, walking, or flying, they rely on symmetrical body plans and locomotor apparatuses for the generation of propulsion. Symmetries of organisms and locomotor organs come in all forms, i.e. as mirror or radial symmetries which result from ontogenetic developmental constraints. A mirror-symmetric body plan can already facilitate the generation of basic locomotor patterns, such as two-legged hopping, crawling in legless worms, or flying in birds.

More complex locomotor patterns, however, are only possible if the symmetric layout of an animal's body is actuated in an asymmetric pattern, i.e. when the spatial symmetry is complemented by a temporal and transient break in symmetry. In the case of legged locomotion, for instance, these temporal asymmetries allow for the generation of a large and flexible repertoire of all kinds of behavioral adaptations. The latter comprise changes in speed and direction, the use of different gaits and coordination patterns, adaptations to increased load or injuries, and safe navigation in unpredictable terrain.

In my talk I will touch upon three aspects of symmetry in biology: symmetry in the morphology of the locomotor apparatus, symmetry in the topology of neural networks responsible for motor output, and, finally, symmetry in organization and control of the locomotor behavior. First, I will discuss the role structural symmetries play for the movements of the locomotor apparatus during the generation of locomotion. In particular, I will focus on the generation of terrestrial locomotion with two, four, six, eight, or more legs, in which the use of different coordination patterns has to be seen in the light of existing structural symmetries. Next, I will shed light on the consequences of symmetry in the topology of neural networks in the central nervous system that generate the motor output driving the locomotor apparatus. The last part of the talk will focus on the control of the legs, and will emphasize the lack of symmetry in the neural control of their cyclic motor behavior.

Session IV

Petra Schwille ML, Martinsried

Symmetry Breaking and Pattern Formation in Minimal Biological Systems

One of the most distinctive features of living systems is the ability to create order and spatial structures out of seemingly equilibrated systems in the aqueous environment. The relatively simple mathematical conditions for symmetry breaking and pattern formation were formulated in 1952 by Alan Turing, in order to describe biological morphogenesis. However, to date only few self-organizing biological systems have been identified that were indeed simple enough to fulfil the conditions for Turing patterns, and to be quantitatively described on basis of few parameters. One of these systems is the MinCDE protein machinery, which orchestrates the positioning of the division ring in *E. coli* bacteria. The Min proteins show a distinct oscillation of protein concentrations between the two cell poles, which are based on self-organization through reaction-diffusion. We have been able to reconstitute these self-organized oscillations of purified proteins in artificial cell-shaped compartments, as well as the faithful downstream positioning of protofilaments of the Z division ring. This could be the first step towards autonomous division of an artificial cell system which we aim to establish in a bottom-up synthetic biology approach.

Sabine Werner ML, Zürich (Schweiz)

Cancer Development as an Excessive Wound Healing Process: Loss of a Delicate Balance

Injury to adult tissues initiates a complex wound repair program, which aims to restore the damaged body site. The different events involved in wound repair must be tightly regulated and synchronized to allow an optimal wound healing process. Defects in wound repair constitute a severe health problem, in particular in elderly people, in diabetic patients and in patients treated with immunosuppressive medication. On the other hand, wound healing can be excessive, resulting in the formation of hypertrophic scars and keloids. Interestingly, it has previously been postulated that “cancers are wounds that do not heal” (Harold Dvorak 1986) and that

tumour cells hijack the wound healing response of the host to promote their own growth. In contrast to healing wounds, however, the process is not self-limiting in cancer tissue, resulting in uncontrolled cell proliferation, invasion and metastasis. The parallels between wound healing and cancer have recently been verified at the molecular level, and we and others have identified and functionally characterized genes that control the wound healing process, but also the development and progression of malignant cancers. I will present recent examples that demonstrate the remarkable similarities, but also important differences between wounds and cancers. These examples demonstrate how loss of the delicate balance that exists in normally healing wounds promotes uncontrolled growth and loss of the symmetry, ultimately resulting in cancer development.

Leena Bruckner-Tuderman ML, Freiburg (i. Br.)

Symmetry and Asymmetry of Skin Diseases: Medically Relevant?

The skin is the largest organ of the human body with a surface area of about 1.7 m² and a weight of about 3 kg. Its many-fold protective functions are essential for life, including the barrier function against external insults like microbes or UV-irradiation, the immune function and ability to respond to foreign agents, and the mechanical support function. The skin also acts as a sensory organ to feel touch, cold, heat or pain, and as a regulatory organ for temperature adjustments and body fluid balance. In order to master this spectrum of complex functional challenges, the skin contains two layers: the epidermis, the upper cellular layer, and the dermis, the lower layer which consists mainly of connective tissue and contains blood vessels and glands. The layers are interconnected and tightly attached to each other by a specialized structure called basement membrane. Under normal physiological conditions, the two skin layers interact regularly in a highly organized manner to provide optimal functionality. In skin diseases, either the structure or the function of these layers is perturbed. This leads to functional deficits, and visible pathological skin changes (lesions) arise. Symmetry or asymmetry of skin lesions is an important clinical sign that facilitates diagnosis. Symmetric skin lesions, for example a rash or mirror image symmetrical changes, usually indicate systemic disease. Asymmetric lesions most commonly point to external causes, such as infections, contact allergies, or physical injury. Scientifically, asymmetric genetic mosaicism of the skin is emerging as a highly intriguing phenomenon, since mosaic patches in the skin may provide a source for novel cell-based therapeutic possibilities for hitherto incurable genetic skin diseases.

Session V

Andreas Kablitz ML, Köln

Symmetry as Structural Principle of Mind in Modernity

No contribution available.

Anna Wienhard, Heidelberg

Geometry through Symmetry

Symmetries play a central role in mathematics. Considering the inherent symmetries of a mathematical object allows to reduce the complexity of mathematical research problems. Furthermore, this often leads to an interesting interplay between geometric structure on one hand and algebraic structures on the other. I will illustrate this in classical examples and in current research challenges.

Quasi-Periodic Materials – A Paradigm Shift in Crystallography

Crystallography has been one of the mature sciences. Over the years, the modern science of crystallography that started by experimenting with x-ray diffraction from crystals in 1912, has developed a major paradigm – that all crystals are ordered and periodic. Indeed, this was the basis for the definition of “crystal” in textbooks of crystallography and x-ray diffraction. Based upon a vast number of experimental data, constantly improving research tools, and deepening theoretical understanding of the structure of crystalline materials no revolution was anticipated in our understanding the atomic order of solids.

However, such revolution did happen with the discovery of the icosahedral phase, the first quasi-periodic crystal (QC) in 1982, and its announcement in 1984. QCs are ordered materials, but their atomic order is quasi-periodic rather than periodic, enabling formation of crystal symmetries, such as icosahedral symmetry, which cannot exist in periodic materials. The discovery created deep cracks in this paradigm, but the acceptance by the crystallographers’ community of the new class of ordered crystals did not happen in one day. In fact it took almost a decade for QC order to be accepted by most crystallographers. The official stamp of approval came in a form of a new definition of “Crystal” by the International Union of Crystallographers. The paradigm that all crystals are periodic has thus been changed. It is clear now that although most crystals are ordered and periodic, a good number of them are ordered and quasi-periodic.

While believers and nonbelievers were debating, a large volume of experimental and theoretical studies was published, a result of a relentless effort of many groups around the world. Quasi-periodic materials have developed into an exciting interdisciplinary science.

This talk will outline the discovery of QCs and discuss their structure as well as the role of transmission electron microscopy (TEM) in this discovery.

Veranstaltungsort

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina
Jägerberg 1
06108 Halle (Saale)



