



Ex

<sup>14</sup> Si  
28.085

<sup>19</sup> K  
39.098

<sup>19</sup> K  
39.098

<sup>85</sup> At  
(210)

<sup>8</sup> O  
15.999

r

DEZEMBER DEZEMBER

SYMMETRIE

SYMMETRIE

20

24

SYMMETRIE

SYMMETRIE

DEZEMBER DEZEMBER



# Exsitorial

Liebe Exsi-Leser:innen

In dieser aussergewöhnlich langen Ausgabe erwarten euch – ich kann es kaum glauben – zwanzig (20!) Beiträge, wovon die meisten auf die eine oder andere Weise mit **Symmetrie** zu tun haben.

Barbara hat erneut ein wundervolles **Titelbild** erstellt, das euch bei jedem Blick neue (symmetrische) Elemente entdecken lässt. Ausserdem enthält es ein besonderes Detail: Ein **Bärtierchen**, das uns zu inspirierenden Diskussionen geführt hat.

Pünktlich zum Winterbeginn erklärt euch Fiona, wie **Schneekristalle** eigentlich ihre faszinierende hexagonale Form annehmen, während Luise ihr Rezept für **Weihnachtsguetzli** vorstellt. Simon führt euch in die Musiktheorie ein und zeigt euch die leichte **Asymmetrie der Musik**. Darüber hinaus konnten Samuel und Nonô ein spannendes **Interview mit Prof. Beltrao** führen – er erzählt dem Exsi von schönen und weniger schönen Aspekten der **Proteinfaltung**.

In dieser Ausgabe berichten auch unsere Redaktionsmitglieder, die sich derzeit im Austausch befinden: Leif stellt euch die **Unterschiede zwischen der ETH und dem MIT** vor, Aurora erzählt vom **Fest der Lichter, Diwali** und Raphael liefert eine physikalische Erklärung der **Symmetrie und Darstellungstheorie**.

Falls euch Raphaels Essay neugierig auf noch mehr Symmetrie und Gruppentheorie

macht, empfehle ich auch Farkas' Beitrag über **Charaktertafeln**. Wer hingegen die nicht-mathematischen Aspekte der Symmetrie entdecken möchte, findet von Lara einen Text über die **Symmetrie der Zeit**, von Alexander ein Essay zur **Symmetrie in der Psychologie** und von Kenny einen Artikel über die **Psychologie der Schachstrategie** – inklusive Einblicken des **Grossmeisters Anish Giri**.

Sollt ihr in den nächsten Wochen eine Pause vom Lernen brauchen, keine Sorge, denn für Ablenkung ist gesorgt: Ihr findet in diesem Exsi ein **Kreuzworträtsel**, ein **Spektrrätsel** und ein **Mandala**.

Ausserdem findet ihr wieder die altbekannte Kolumne von **Prof. Dr. Exsikkator** und ein **Horoskop**. Natürlich dürfen auch **Buch- und Filmkritik** nicht fehlen: Silvan gibt euch eine ehrliche Einschätzung zu **Tenet** und Nonô rezensiert das Buch **How to Make an Apple Pie from Scratch: In Search of the Recipe for Our Universe**.

Abschliessend möchte ich allen danken, die an diesem Exsi mitgewirkt haben – sei es durch das Verfassen oder Lektorieren von Texten, die Bestimmung der Punktgruppe des Spektrrätsels oder den Einsatz für den pünktlichen Druck dieser Ausgabe. Falls ihr beim nächsten Exsi auch mithelfen wollt, meldet euch gerne jederzeit bei [exsi@vcs.ethz.ch](mailto:exsi@vcs.ethz.ch).

Ich wünsche euch viel Spass beim Le-

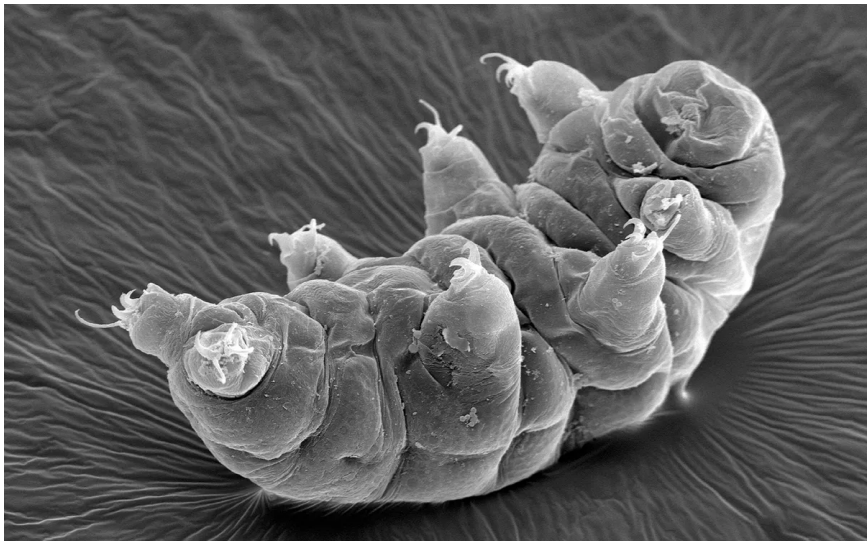
sen, fröhliche Festtage und eine schöne Prüfungs- und/oder Ferienphase.

Eure Samira

Samira

## Quellen

- [1] M. Weisberger, G. S. Paulson, «Tardigrades probably see in black and white», zu finden unter <https://www.livescience.com/tardigrades-cant-see-color.html>, **2021** (abgerufen 6. Dez. 2024).



**Abbildung 1.1:** Das Bärtierchen gehört zu den wenigen bekannten Lebewesen, die auch in den extremen Bedingungen des Weltalls überleben können.<sup>[1]</sup>

# Präsi labert

Liebe Exsi-Lesende,

Zürich hat seine Transformation von herbstlichem Nebeltreiben zur Winterlandschaft abgeschlossen und die Tage werden immer kürzer. Und so tritt in das Leben vieler eine Stimmung geprägt von **Schnee, Ski, Plätzchen und Glühwein**.

Zeit, auf die vergangenen Wochen zurückzublicken, und all den Leuten zu danken, die die VCS zu dem machen, was sie ist: eine lebendige Studivereinigung. Danke an den höchstmotivierten Vorstand und alle Helfenden. Danke für Eure vielen Perspektiven und Euren Einsatz. Wir konnten dieses Semester **jede Woche mindestens ein Event** anbieten, darunter Klassiker wie das **Bierpongturnier** und alkoholfreie Neuzugänge wie die **PowerPoint-Karaoke**. Ein herzlicher Dank gilt ebenfalls dem **Chemtogether-OK**, das erneut einen grossen Beitrag zu Vernetzung von Studis mit der Industrie geleistet hat durch die diesjährige Messe. Ausserdem unterstützt Euch die VCS in der kommenden Lernphase wieder mit **PVKs**, die im Januar stattfinden werden. Vielen Dank an alle TAs für Ihr Engagement.

Auch hochschulpolitisch hat sich sehr viel getan. Unsere HoPos planen die **Umsetzung von PAKETH** weiter, beschäftigten sich mit der Neustrukturierung von Beurteilungen schriftlicher Prüfungen, gleisten den **Marco-Ponts-Award** auf und riefen das N-Familienprogramm ins Leben – um nur einen kurzen Überblick über ihre vielfälti-

ge Arbeit zu geben. Wie Ihr seht, die VCS hat viel getan und viel vor, und wir haben viel Gewicht als Studivertretung, Dinge zu bewegen. Falls Ihr auch Lust habt, Euch auch in der VCS zu engagieren, zum Beispiel als Helfende oder Vorstände, dann meldet Euch gerne bei uns. Wir würden uns freuen!

Blicken wir nun noch in die fernere Zukunft. Die **Generalversammlung** der VCS findet am 26. Februar statt, gefolgt von einem Essen im HXE. Vom 21. bis 24. Februar besucht die VCS die Studis vom **Imperial College London** und hostet sie in Zürich vom 21. bis 24. März. Ebenfalls findet der **Austausch nach Nijmegen** vom 22. bis 27. April statt. Zu einem späteren Zeitpunkt freuen wir uns, die Studis aus Nijmegen bei uns begrüssen zu dürfen. Darüber hinaus packt die VCS die Bergluft vom 07. bis 09. März und wir machen uns auf zum **VCS-Skiweekend in Adelboden**.

Damit bleibt mir nur noch, Euch allen eine gute Zeit zu wünschen. Danke Euch allen für dieses Semester. Schöne Feiertage und einen guten Start ins neue Jahr!

Euer Leon



# Symmetrie

<b>3</b>	<b>The Symmetry of Snow Crystals</b>	5
<b>4</b>	<b>Die leichte Asymmetrie der Musik</b>	11
<b>5</b>	<b>A Rather Unhinged Exploration of the Tilted Hourglass</b>	16
<b>9</b>	<b>Get Rotated, Idiot!</b>	37
<b>11</b>	<b>Dualism in Hinduism</b>	50
<b>12</b>	<b>Aber was sind eigentlich Charaktertafeln?</b>	54
<b>14</b>	<b>Psychological Symmetry</b>	63
<b>15</b>	<b>Mandala</b>	68
<b>16</b>	<b>Filmkritik</b>	69
<b>17</b>	<b>Psychologie und Schach</b>	71

# Exsi

<b>1</b>	<b>Exsitorial</b>	1
<b>2</b>	<b>Präsi labert</b>	3
<b>6</b>	<b>Kreuzworträtsel</b>	21
<b>7</b>	<b>Prof. Beltrao In Conversation</b>	23
<b>8</b>	<b>MIT &gt; ETH</b>	31
<b>10</b>	<b>Spektrenrätsel</b>	47
<b>13</b>	<b>Betti Base</b>	61
<b>18</b>	<b>Prof. Dr. Exsikkator – Sprechstunde</b>	74
<b>19</b>	<b>Buchkritik</b>	76
<b>20</b>	<b>Horoskop</b>	82

# The Symmetry of Snow Crystals

## *How Nature Creates Gorgeous Crystals That Fall from the Sky*

**Fiona Buchholz** There are not a lot of things, which can fascinate me as much as the first snowflakes falling from the sky every winter. For me, those fluffy, white, symmetrical crystals falling out of the grey are the most beautiful thing Mother Nature can create. But how does she do that?

When I was younger, I loved catching snowflakes while they were falling and staring at the beautiful hexagonal shape and the delicate dendrites before the small crystals melted into droplets. Before I was able to understand how a water molecule is composed and what its characteristics are, I always wondered why the snow crystal had six arms that look nearly identical. And why were there always six?

When I got older and learned more about chemistry and physics, I understood that the hexagonal shape of the ice crystals was due to the bond angle in the water molecule and the ability to form hydrogen bonds between the molecules. But that did not fully solve the puzzle of how snow crystals came to be, and especially why these beautiful dendrites are formed.

After the formation of snow crystals was mentioned in my atmospheric physics class and in the lecture on the cryosphere, I got curious again and had a closer look at the research Kenneth Libbrecht does at Caltech. To understand how snow crystals grow and how they get their typical shape, I will take you inside a cold cloud, where the

life of snow begins.

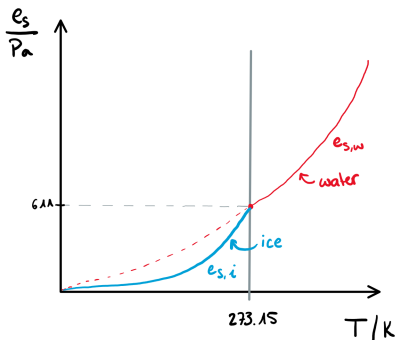
### **Growth**

Snow crystals can grow when the air in their cloud is supersaturated with respect to ice, i.e. when the saturation vapour pressure  $e_{s,i}$  (with respect to ice) is exceeded, causing water to go into the solid phase. So if the air is humid and cold enough, ice crystals can form. This can either happen via homogenous or heterogenous nucleation.

**Nucleation is a phase change where an energy barrier has to be surpassed.** Homogenous nucleation means, that no nucleation particles (aerosols) are needed. For the growth of ice, homogeneous nucleation can only occur at temperatures below 235 K in the atmosphere, where water droplets directly freeze into ice crystals. Heterogeneous nucleation also works at higher temperatures through ice nucleation particles (INPs), because the Gibbs free energy barrier for water molecules to attach to a pre-existing surface (the INP) is lower than in the homogenous process.

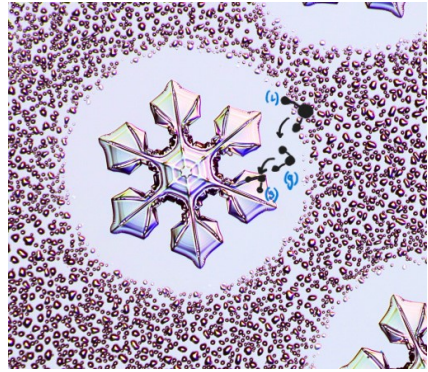
In a cloud, water droplets do not immediately freeze at 0 °C, because of this energy

barrier. Below  $0^{\circ}\text{C}$ , the water droplets are supercooled and in a metastable phase. Under these conditions, the saturation vapour pressure  $e_s$  with respect to ice (blue line in Figure 3.1) is always smaller than  $e_s$  with respect to water (dashed red line in Figure 3.1).



**Figure 3.1:** Diagram for the saturation vapour pressure  $e_s$  against the ambient temperature for water and ice.

If the ice crystals start to grow, it will lead to a local subsaturation of the air around the crystal with respect to liquid water, meaning the relative humidity will drop under 100%. **This subsaturation will cause the water droplets around the crystal to evaporate to compensate for the lower humidity.** Since the air is still supersaturated with respect to ice, the water vapour molecules will then diffuse to the growing snow crystal and attach to its surface. This is called the Wegener-Bergeron-Findeisen process and can be seen in Figure 3.2.<sup>[1]</sup>



**Figure 3.2:** Ice crystal growth via the Wegener-Bergeron-Findeisen process, where water molecules evaporate from the droplets, diffuse to the crystal and stick to its surface.<sup>[2]</sup>

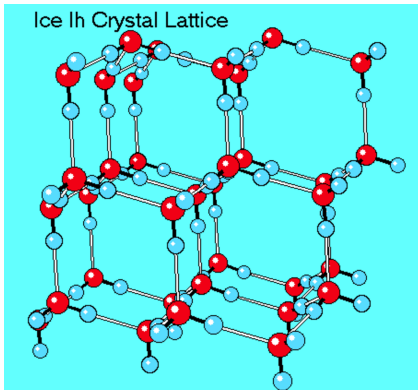
We might associate snow with winter, but snow crystals are more common than one might think. All cold clouds, especially high-level clouds, consist of snow crystals, but sadly those crystals do not often reach the ground, because they melt on their way down to the earth's surface, when they cross the  $0^{\circ}\text{C}$  border. **The next time when you are looking at the sky and see a Cirrus cloud high in the sky, you will be looking at snow!**

### Hexagonal Shape

Ice crystals are hexagonal because the angle of  $104.5^{\circ}$  between the O-H bonds and the ability to build two hydrogen bonds allows water molecules to freeze in a hexagonal lattice. In the process of growing, more and more water molecules attach to the surface of the crystal. This is easier on molecu-

### 3 The Symmetry of Snow Crystals

larly rough surfaces, where more free spots for hydrogen bonds exist. On an even surface, the water molecules are less likely to stick, resulting in a hexagonal shape over time.<sup>[3]</sup>



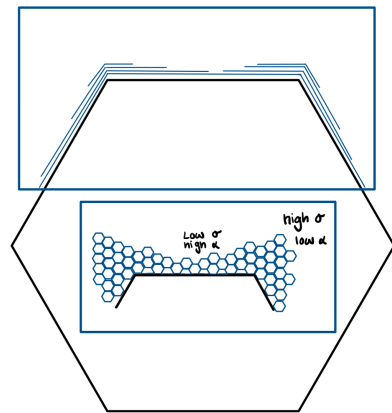
**Figure 3.3:** The lattice structure of ice.<sup>[2]</sup>

#### Diffusion-limited Growth

The speed at which the ice crystal can grow is **limited by the diffusion of water vapour molecules** from the surrounding air to the surface of the ice crystal, which is a rather slow process. Around the crystal, the air is supersaturated with respect to ice, but in the growing process, a gradient for the supersaturation is created. Near the surface of the crystal, the supersaturation  $\sigma$  drops to zero. Since the crystal is not perfectly round but hexagonal, the edges of the hexagonal facet stick out a little bit more to the surrounding air, which can be seen in Figure 3.4. Thus,  $\sigma$  is slightly higher for the edges, resulting in more wa-

ter molecules attaching to the corners. At the same time, more molecular terrace steps (“loose ends”) develop near the facet centres, resulting in a higher attachment coefficient  $\alpha$  there. Because the growth rate is proportional to  $\sigma \cdot \alpha$ , the facet grows at a constant rate.<sup>[3]</sup>

We all know that snow crystals can develop wonderful symmetrical branches, but how does this fit within the growth process I just described?



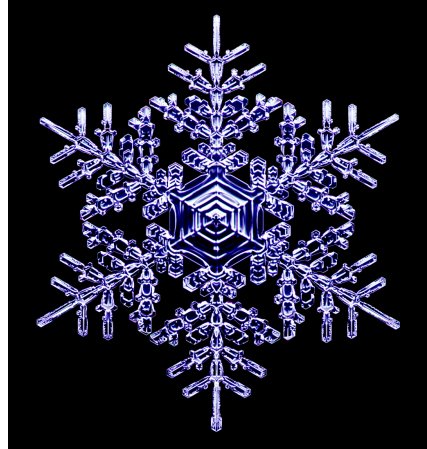
**Figure 3.4:** At the top, the terrace steps of the prism facet are visualized, where  $\alpha$  is high. Below, a simple sketch (not proportional) of the ice crystal surface shows that the hexagon’s edges stick out a bit more than the facet centres.

#### Faceting and Branching

The constant growth process works until the attachment coefficient  $\alpha \approx 1$  at the facet centres, meaning that the spots



existing at the terrace steps are immediately occupied. Then, the facet centres can no longer hold up with the faster-growing edges. Rather abruptly, the edges will grow much faster, causing six branches to emerge from the hexagonal body. These branches reach out far better into the supersaturated environment than before. But here again, the tips stick out just a little bit more than the rest of the branch and the process of diffusion-limited growth is repeated for every branch. Where the side branches get near each other, their growth decreases, but the tips pointing out to the surrounding air can grow further and branch again. Depending on the local supersaturation around the snow crystal, the side branches grow faster or slower. **When the supersaturation is high, the tip keeps a round shape and grows further. But if the supersaturation is lowered, edges grow out of the tip which can develop into new side branches.** When growing a snow crystal in a lab, the environmental conditions can be adjusted artificially. Like this, Kenneth Libbrecht grows various snow crystals in his lab, where he can change the conditions throughout the growth process. He calls these snow crystals “Designer Snowflakes” and one of them can be seen in Figure 3.5.<sup>[3]</sup>



**Figure 3.5:** A Designer snow crystal by Libbrecht. By lowering the supersaturation in the environment, the side branches begin to form facets.<sup>[2]</sup>

### Symmetry and Asymmetry

When thinking of a snow crystal, I always imagine a perfectly symmetrical, flat ice crystal with six complex side branches. But this is by far not the case for every snow crystal.

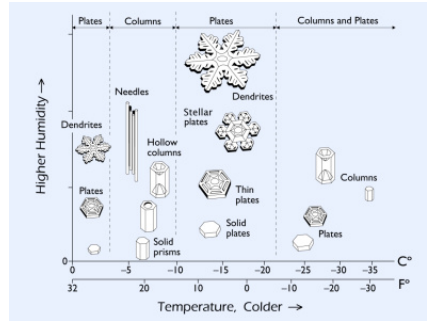
Firstly, snow crystals are not perfectly symmetrical. Many look more or less symmetrical because all branches grew approximately under the same conditions, which is why they develop the same side branches and have a similar length. But life inside a cloud is rough. Environmental conditions can vary a lot, and when getting blown through a cloud, one can easily get hit and lose a piece of a branch. One example can be seen in Figure 3.6

### 3 The Symmetry of Snow Crystals



**Figure 3.6:** An asymmetrical snow crystal.<sup>[2]</sup>

Secondly, not all snow crystals are flat and not all of the flat ones have six branches. The overall shape of the crystal is strongly dependent on the temperature at which it grows. The largest and most beautiful crystals with dendrites grow around  $-15^{\circ}\text{C}$ . Above  $-10^{\circ}\text{C}$  and below  $-22^{\circ}\text{C}$ , the basal facet of the crystal grows much better, resulting in column shapes. Just below  $0^{\circ}\text{C}$ , the flat, hexagonal shape is preferred again. The higher the humidity, the bigger the ice crystals can grow and the more delicate the dendrites will be if the crystals are built in this form. The different shapes and their growing temperatures can be seen in Figure 3.7. The reason for this behaviour is complex, but it has something to do with the difference between the saturation over water and ice and with the equilibrium above the surface of the ice crystal.



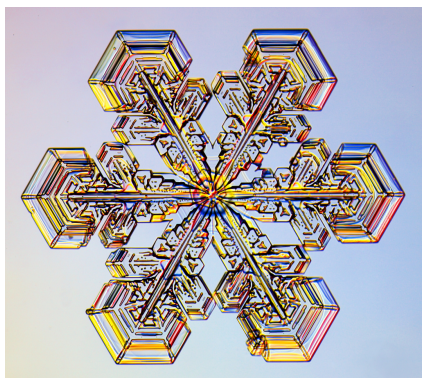
**Figure 3.7:** The Shape of snow crystals depends on the humidity and the temperature at which they grow.<sup>[2]</sup>

Simple Prisms	Solid Columns	Sheaths	Scrubs on Plates	Triangular Forms
Hexagonal Plates	Hollow Columns	Cups	Columns on Plates	12-branched Stars
Stellar Plates	Bullet Rosettes	Capped Columns	Split Plates & Stars	Radiating Plates
Sectored Plates	Isolated Bullets	Multiply Capped Columns	Skeletal Forms	Radiating Dendrites
Simple Stars	Simple Needles	Capped Bullets	Twin Columns	Irregulars
Stellar Dendrites	Needle Clusters	Double Plates	Arm-in-arm Twins	Rimed
Ferrolic Stellar Dendrites	Crossed Needles	Hollow Plates	Crossed Plates	Graupel

**Figure 3.8:** Classification of snow crystals.<sup>[2]</sup>

There are a lot of different shapes into which snow crystals. Some shapes which are common in nature are listed in Fig-

ure 3.8, a classification suggested by Kenneth Libbrecht for snowflake watching. So when it snows again this winter, **you might want to take a closer look at the crystals falling from the sky and think about the journey they took through the clouds.** Fascinating forms and shapes are awaiting you, as well as physics and lots of love from Mother Nature.



**Figure 3.9:** Another snow crystal picture, just because they are so beautiful.<sup>[2]</sup>

## Acknowledgement

Thank you to Prof Kenneth Libbrecht, who kindly granted permission to use pictures and information from his website <https://www.snowcrystals.com/> in this article.

## Bibliography

- [1] U. Lohmann, F. Lüönd, F. Mahrt, *An introduction to clouds: from the microscale to climate*, Cambridge University Press, **2016**.
- [2] K. G. Libbrecht, “snowcrystals.com”, can be found under <https://www.snowcrystals.com/> (accessed Nov. 18, 2024).
- [3] K. G. Libbrecht, *Snow Crystals, A case study in spontaneous structure formation*, Princeton University Press, Princeton, **2022**.



# Die leichte Asymmetrie der Musik

**Simon Hauser** Töne bestehen aus Schwingungen in der Luft mit verschiedenen bestimmten Frequenzen. Man kann die coolsten Musikstücke kreieren, ohne nur das Geringsste hinter der mathematischen Theorie der heutzutage gängigen Tonleitern zu verstehen. Ich selber hatte seit meiner Kindheit relativ intensiv mit Musik zu tun, wobei ich nie aktiv nach einer Erklärung des mathematischen Hintergrunds der westlichen Musik suchte. Als ich nun aber den Auftrag bekam, für diesen Exsi etwas «über Symmetrie und Musik» zu schreiben, bekam ich die Idee, diesem kleinen Mysterium selbst einmal gründlich auf den Grund zu gehen und daraus einen kleinen Beitrag zu formulieren. Im Folgenden will ich klarmachen, was ein reiner Ton ist, wie sich eine Tonleiter aus einem Ton ableiten lässt, welche Ansätze dafür früher benutzt wurden und welcher davon heute vor allem gebraucht wird.

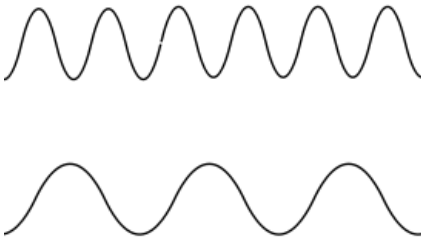
Das menschliche Ohr kann sinusoidale Schwingungen im Frequenzbereich von 50–20 000 Hz wahrnehmen. Dabei ist zu beachten, dass eine Erhöhung der Frequenz eine Erhöhung des Tons mit sich bringt. Sprich, **ein 200 Hz Ton klingt tiefer als ein 1000 Hz Ton**. Jetzt stellt sich aber die Frage, was die Abhängigkeit von Tonhöhe zu Frequenz ist.<sup>1</sup> Wenn man eine bestimmte Frequenz von 440 Hz (in der Musiktheorie auch A genannt) hat, dann erklingt sie mit einer definierten Tonhöhe. Erhöht man nun die Frequenz, erhöht sich der Ton, wobei man an einem bestimmten Punkt einen ganz ähnlich klingenden, harmonischen Ton erreicht. Dieser Punkt ist bei 880 Hz erreicht und entspricht der doppelten Frequenz unseres Anfangstons (siehe Abbildung 4.1).

Weil er so ähnlich wie das A mit 440 Hz klingt, nennen ihn Musiker auch A. Mit Referenz zur westlichen Musiktheorie spricht man auch von einer Erhöhung um eine Oktave. Danach könnte man das Spiel weiterführen, wobei bei 1760 Hz eine weitere Oktave nach oben wäre, während 220 Hz eine Oktave nach unten verschoben wäre.<sup>2</sup> Diese Oktaven haben immer ein Frequenzverhältnis von  $2^x$ , wobei positive  $x$  die Anzahl Oktavensprünge in die Höhe und negative  $x$  die Anzahl Oktavensprünge in die Tiefe angeben. Das nächstkleinere interessante Frequenzverhältnis, welches auf vielen Tonleitern zu finden ist, entspricht  $\frac{3}{2}$ , in der Musiktheorie auch als **Quinte** bezeichnet. Mit unserem Anfangston von 440 Hz heisst das konkret, der Ton im Abstand einer Quinte

<sup>1</sup> Da ich schriftlich ein bisschen eingeschränkt bin, euch eine auditive Kostprobe zu geben, werde ich so gut wie möglich alles umschreiben. Ihr könnt euch sonst aber auch dieses Video anschauen, das genau dasselbe Thema behandelt und für mich auch eine grosse Inspiration für diesen Text war: <https://www.youtube.com/watch?v=nK2jYk37Rlg>.

<sup>2</sup> Siehe auch meinen Beitrag im *Zyklus-Exsi*, «Musiz(ykl)ieren.»

zum A hat eine Frequenz von 660 Hz. Musiker nennen diesen Ton auch E. Ganz wichtig zu erwähnen ist, dass **so lange man die Frequenzverhältnisse gleich lässt (hier konkret  $\frac{2}{1}$  und  $\frac{3}{2}$ ), aber die absoluten Tonhöhen verändert, klingen die resultierenden Intervalle immer noch ähnlich harmonisch für unser Gehirn**. Die erste Beschreibung dieses harmonischen Verhältnisses wird Pythagoras zugeschrieben.



**Abbildung 4.1:** Eine Visualisierung von zwei allgemeinen Sinusschwingungen, die zueinander ein Verhältnis von  $\frac{2}{1}$  haben, also Oktaven sind.

So weit, so gut. Es gibt nun viele verschiedene Typen von Instrumenten. Solche, mit denen man Oktaven, Quinten, aber auch das ganze Kontinuum dazwischen mit Leichtigkeit spielen kann; Beispiele sind die Geige, das Cello usw. Hingegen **das Klavier ist in der Wahl der Tonhöhen ziemlich beschränkt**. Anstatt eines Kontinuums verschiedener Tonhöhen stehen nur 88 Töne zur Verfügung. Um die richtigen Töne zu wählen, griff man zu bestimmten Regeln, wobei man dann jedem anderen Ton neben Oktave und Quinte auch ein bestimm-

tes Frequenzverhältnis zum Grundton zuweisen konnte. Wir wollen auf jeden Fall den Grundton, eine Quinte und eine Oktave, konkret 440 Hz, 660 Hz und 880 Hz, spielen können. Zusätzlich müssen wir hier nur eine einzige Oktave besprechen, weil alle anderen Oktaven äquivalent aufgebaut werden. Auf diesen drei Frequenzen können wir ein Rezept kreieren. Gehen wir von 660 Hz eine Quinte nach oben, erhalten wir 990 Hz. Da 990 Hz über der jetzigen Oktave ist, halbieren wir die Frequenz und erhalten dadurch 495 Hz. Der nächste Schritt ist wieder eine Quinte, wodurch wir 742.5 Hz erhalten. Ein weiterer Quintenschritt geht wieder aus der Oktave raus, weshalb sich nach einer Frequenzhalbierung eine Frequenz von 556.875 Hz ergibt. So kann man das ewig weiterführen, **wobei man bei strenger Verfolgung dieser Verhältnisse nie wieder exakt bei 440 Hz ankommen wird**. Da ein Klavier nicht unendlich viele Töne hat, wie wir schon vorher bemerkt haben, ist das ein grosses Problem. **Pythagoras** hat sich als eine der ersten Personen daran gemacht, dieses Problem zu bewältigen. Er hat erkannt, dass man nach zwölf Iterationen des vorherigen Algorithmus ziemlich nah an die ursprüngliche Anfangsfrequenz zurückkommt. Da Pythagoras aber kein Fan von komplizierten Brüchen war, hat er mit ein paar Zusatzschritten einfachere Verhältnisse ausgewählt. Eine allgemeine Verhältnistabelle ist in Abbildung 4.2 dargestellt,

#### 4 Die leichte Asymmetrie der Musik

bei der man dann die Zahlen mit der Frequenz des Grundtons multiplizieren kann, um die jeweilige Tonleiter zu bekommen.

Algorithmus		Pythagoras	440 Hz
$\frac{2187}{2048}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{256}{243}$	$\frac{1}{1}$ A
$\frac{19683}{16384}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{32}{27}$	$\frac{9}{8}$ B
	$\frac{81}{64}$	$\frac{81}{64}$	$\frac{81}{64}$ C
	$\frac{177147}{131072}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{4}{3}$ D
$\frac{729}{512}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$ E
$\frac{6561}{4096}$	$\frac{27}{16}$	$\frac{128}{81}$	$\frac{27}{16}$ F
$\frac{59049}{32768}$	$\frac{243}{128}$	$\frac{16}{9}$	$\frac{243}{128}$ G
	$\frac{2}{1}$	$\frac{2}{1}$	$\frac{2}{1}$ A

**Abbildung 4.2:** Frequenzverhältnisse von den zwölf Tönen in einer Oktave nach dem obig erwähnten Algorithmus und der Vereinfachung von Pythagoras. Die spezielle Gliederung entspricht der klassischen Gliederung in Haupttöne (jeweils rechte Spalte), die die ursprünglichen Töne auf dem Klavier ausmachten und Zwischentöne (jeweils linke Spalte), die später mit eingebaut wurden, dass man besser transponieren kann. Die grünen Buchstaben entsprechen den (englischen) Tonnamen, wenn man die Zahlen mit 440 Hz multipliziert.

Multipliziere die Zahlen mit 440 und du bekommst die Anzahl Hertz, die jeder Ton in der pythagoreischen A-Tonleiter bekommen soll. YAY! Sehr nice! Wir haben unsere Tonleiter, mit der wir einfache, herkömmliche westliche Melodien nachspielen kön-

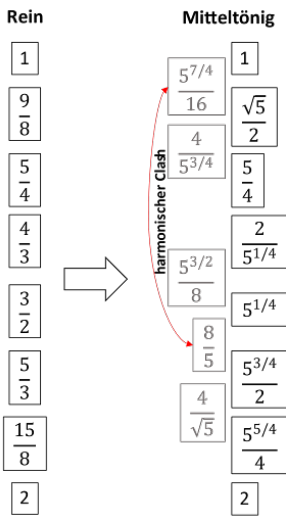
nen! **Ist nun alles gelöst und vorbei? NEIN!** Wir haben nämlich ein Problem. Mehrklänge, also wenn man mehr als einen Ton auf einmal spielt, klingen zum Teil ziemlich schrecklich in der pythagoreischen Stimmung. Deshalb hat man im Barock eine zusätzliche Stimmung eingeführt: die reine Stimmung. In der reinen Stimmung werden gewisse Frequenzverhältnisse durch andere ersetzt, die entgegen der pythagoreischen Stimmung weniger harmonische Clashes verursachen (siehe Abbildung 4.3).

	Pythagoras		Rein
harmonischer Clash	$\frac{1}{1}$	→	$\frac{1}{1}$
	$\frac{9}{8}$		$\frac{9}{8}$
	$\frac{81}{64}$		$\frac{5}{4}$
	$\frac{4}{3}$		$\frac{4}{3}$
	$\frac{3}{2}$		$\frac{3}{2}$
	$\frac{27}{16}$		$\frac{5}{3}$
	$\frac{243}{128}$		$\frac{15}{8}$
	$\frac{2}{1}$		$\frac{2}{1}$

**Abbildung 4.3:** Hauptton-Verhältnisse von der pythagoreischen und reinen Stimmung im Vergleich mit Beispiel von einem verbesserten harmonischen Verhältnis.

Diese Clashes existieren deshalb, weil ganzzahlige Vielfache der Frequenz des Grundtons, sogenannte Obertöne, gemeinsam

mit dem Grundton erklingen. In der reinen Stimmung existieren hingegen viel weniger dieser Clashes, was ein **schöneres mehrstimmiges Musizieren** ermöglicht. Ein grosses Problem dabei ist aber, dass das Transponieren fast unmöglich wird und Nebentöne<sup>3</sup> zu konstruieren ist auch schwierig. Fängt man einen Ton höher an zu spielen, klingt die Melodie schon sehr schief, weil die Verhältnisse nicht mehr stimmen und es fehlen einem regelrecht die Töne.

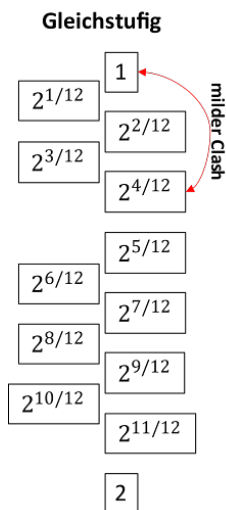


**Abbildung 4.4:** Hier sind die reine und die mitteltönige Stimmung im Vergleich. Die mitteltönige Stimmung lässt Nebentöne wieder besser zu und stellt bessere harmonische Verhältnisse verschiedener wichtiger Intervalle zur Verfügung. Das einzige Problem bleibt ein einzelnes, clashinges Intervall.

Um das Problem der Transponierbarkeit zu lösen, hat man in der Barockzeit auch die mitteltönige Stimmung eingeführt, die bewirkt, dass die unregelmässigen Tonabstände ähnliche geometrische Distanzen bekommen. Man versucht da, hauptsächlich die geometrischen Mittel von gewissen Intervallen zu finden, die **gute Transponierbarkeit und eine schöne Harmonie** (ausser einem Intervall) zugleich bewahren. In Abbildung 4.4 sieht man die reine und die mitteltönige Stimmung im Vergleich.

Somit kommen wir noch zur gleichstufigen Stimmung. Sie ist heute am verbreitetsten und bietet viele Vorteile. Der Ansatz ist, dass man jedem der zwölf Töne in der Tonleiter einen gleichen geometrischen Abstand von  $2^{1/12}$  zuteilt (Abbildung 4.5). So kommt man in zwölf Schritten zur doppelten Frequenz und der Unterschied zur reinen Stimmung in der Quinte ist verschwindend klein. Diese Stimmung bringt den grossen Vorteil, dass sie **perfekt transponierbar** ist, hat aber den kleineren Nachteil, dass die grosse Terz (erster und dritter Hauptton), **weniger harmonisch** klingt. Diese kleine Unreinheit ist aber etwas, das den meisten ungebübten Ohren gar nicht auffällt. Und selbst viele Leute, denen es auffällt, sind bereit, diesen Kompromiss einzugehen, wenn sie dadurch eine perfekte Transposition erreichen können.

<sup>3</sup> So nenne ich die Töne in der linken Spalte der hiesigen Verhältnis-Übersichten.



**Abbildung 4.5:** Perfekt transponierbare gleichstufige Stimmung mit mildem Clash in der grossen Terz.

Zum Schluss kann man sich fragen, ob es denn nicht einfach auch andere Tonabstän-

de und entsprechend mehr oder weniger Töne in einer Tonleiter geben kann. Und diese Frage ist sehr berechtigt. Tatsächlich sind in der indischen, arabischen, türkischen und persischen Musik eher «mikrotonale» Tonleitern verbreitet. Das heisst, es gibt **feinere Abstufungen innerhalb einer Oktave**, was sich für Leute, die sich westliche Musik gewohnt sind, sehr speziell anhören kann. Man könnte noch viel weiter ausschweifen und noch viele mathematische Hintergründe genauer erläutern. Nichtsdestotrotz hoffe ich, dass ich nun ein wenig Klarheit habe schaffen können, woher unser heutiges westliches Tonleistersystem kommt.





# A Rather Unhinged Exploration of the Tilted Hourglass

## Lara Moser

And we: spectators, always, everywhere,  
looking at everything, and never from!  
It floods us. We arrange it. It falls apart.  
We arrange it again, and fall apart ourselves. (Rainer Maria Rilke, *Duino Elegies*)

## Gazing Into the Hourglass

Time, with its relentless forward march, remains one of the great mysteries of human existence. Its asymmetry – the undeniable arrow pointing from past to future – grounds our perception of reality and saturates our lives with meaning, nostalgia, and hope. Yet, as we delve deeper into its nature, time reveals itself to be both more tensile and more enigmatic than common experience suggests. This **duality of the tangible and the intangible**, makes time a central theme of literature, science, philosophy and our daily thoughts. The poem cited above is just one of many reflections on the transience of human nature evoked by time's arrow. Another vivid illustration of time's hold over the human spirit lies in Marcel Proust's masterpiece, *In Search of Lost Time*. In an oft-cited moment, the protagonist tastes a madeleine dipped in tea, and suddenly, "*the vicissitudes of life had become indifferent to me, its disasters in-*

*nocuous, its brevity illusory.*" This vivid rush of involuntary memory propels him back into his childhood, dissolving the line between past and present into a fused sea of memories. Such moments reveal how deeply time governs not only our external reality as a universal framework but also our most inner and intimate world of memory and identity. But let's explore further here – why does time pass in only one direction?

## Trickling Through the Hourglass

What had he to do with that endless procession of moments that made up the stream of time?

He wanted to halt them, to turn back the wheel, but time had its own way, indifferent and unstoppable. (Leo Tolstoy, *The Death of Ivan Ilyich*)

The asymmetry of time in physical laws poses profound questions. While many fundamental equations in physics – such as those governing classical mechanics, electromagnetism, and even quantum mechanics – are time-reversible, the macroscopic reality we experience is far removed from this symmetry. Ice cubes do not spontaneously form at room temperature, nor do mixed liquids separate back into distinct layers by themselves – I'm sure you've heard these visual examples quite a bit by

## 5 A Rather Unhinged Exploration of the Tilted Hourglass

now. Even though they oversimplify things, they do offer some intuitive understanding of just what it is – that’s what is so astonishing about thermodynamics.

The renowned physicist Arthur Eddington encapsulated this paradox when he said, “The arrow of time is the distinction between the two directions of time, one of which is a hopeless tangle of chance, the other a string of logical sequences.” This distinction is not a quirk of perception, but a result of – probably **the most publicly slandered and misused concept of physics, but I shall say it – the second law of thermodynamics**, which assigns time a definitive direction: the movement toward greater probability.

The second law states that in an isolated system, the total entropy will either increase or remain constant over time. Unlike energy, which is conserved and relative, entropy is not: it quantifies the number of microscopic arrangements – so-called microstates – corresponding to a macroscopic configuration – a macrostate and has a defined point 0 – a perfect crystal structure at 0 Kelvin. Ludwig Boltzmann gave this insight mathematical form with his famous equation:

$$S = k \ln W$$

If this seems familiar to you but you can’t really grasp why, it’s probably because at some point while passing through HCl’s

hallways, you have heard this formula chanted over and over again by an ensemble of very confused students attending the PC I lecture held by Barnes. Or maybe you know it because it’s a very famous and oft-used equation. That’s also fair enough. Here,  $S$  is entropy,  $k$  is Boltzmann’s constant, and  $W$  is the number of microstates consistent with a given macrostate. **Entropy, therefore, is a measure of the system’s statistical properties rather than its physical ones.** It sums up the – to us indistinguishable – microstates to a macrostate. Crucially, entropy does not represent “disorder” – a term that misrepresents its true meaning. What we often perceive as “order” or “disorder” reflects human biases about specific configurations that do not inherently carry characteristics that make them objectively more *ordered* or *special*. In reality, entropy simply quantifies the relative probabilities of different macrostates. This transition – from a more unlikely to a more likely macrostate – describes the arrow of time.

The connection between entropy and time takes on a new dimension in information theory, pioneered by Claude Shannon. In this framework, entropy is a measure of uncertainty or “missing information” about a system. Shannon’s entropy equation mirrors Boltzmann’s in form, with the key difference being its application to probabili-

ties of messages rather than molecular configurations. Shannon Entropy, therefore, quantifies the information that's missing to identify a single one of the indistinguishable microstates of a given macrostate. Since there are way more microstates to a macrostate at higher entropy, the information we obtain about a single microstate is therefore way less than we would obtain of a microstate of a configuration at lower entropy. Thus, **as entropy increases, the available information decreases**, leaving us with an ever-expanding realm of uncertainty.

The eternal current whirls all ages  
through both realms forever,  
and drowns out their voices in its  
sound. (Rainer Maria Rilke, *Duino Elegies*)

It was this endless current – time – so much of which we owe our current understanding to Ludwig Boltzmann. It was in the year 1906 when Boltzmann decided to put a definite end to his time on Earth during a family holiday in Duino. The same holiday castle, where just a few years later, Rilke should meditate on this endless current, putting into words, what it has to offer, just as well as what it demands from human existence.

### **At the Bottom of the Hourglass**

Sweet is by convention, bitter by convention, hot by convention, cold by

convention, color by convention; in truth there are but atoms and the void.  
(Democritus)

While entropy provides a framework for understanding the direction of time, it merely shifts the question to another level: *Why* can entropy still increase? This might sound stupid, but if being at low entropy is so unlikely, then it's also unlikely to assume that the universe started in a very low entropy state. This initial condition at low entropy is described by Sean Carroll's *Past Hypothesis*; without it, we would end up in the situation of a so-called Boltzmann brain, leaving neither room for mental stability nor research. So now the new question is: **Why was entropy so low to begin with?** The proposed, yet not really satisfying answer as one of the reasons lies in cosmology. As space expands, it unlocks an exponentially greater number of accessible macrostates, allowing for more possible arrangements and therefore increasing the maximum of entropy. Stephen Hawking highlighted the triviality of this statement:

Our subjective sense of the direction of time, the psychological arrow of time, is therefore determined within our brain by the thermodynamic arrow of time. Just like a computer, we must remember things in the order in which entropy increases. This makes the second law of thermodynamics al-

## 5 A Rather Unhinged Exploration of the Tilted Hourglass

most trivial. Disorder increases with time because we measure time in the direction in which disorder increases. You can't have a safer bet than that! (Stephen Hawking, *A Brief History of Time*)

And indeed – stripped of all its nice culinary anecdotes of eggs unscrambling, of coffee's unmixing and of your mug wondrously re-assembling after crashing, stripped of the four-minute YouTube videos claiming the single explanation for time and human existence is the **mystical increase in disorder of everything**, stripped of all the corny motivational speeches – this is what remains. Not necessarily satisfying now, is it? We just happen to measure time in the same direction as entropy, which overall seems to increase. We don't know exactly where the asymmetry arises to finally form a macroscopic time perception, nor why the entropy was relatively low to begin with. Drawing final conclusions from this mystified concept regarding *conditio humana* and ontological questions as strict causalities is, first off, just not very rigorous in thinking and, second off, simply not scratching that itch. So, what remains at the bottom?

### Beyond the Hourglass

For time is the medium of narration, as it is the medium of life. To deny it is to deny life itself. (Thomas Mann, *Der*

*Zauberberg*)

What is this crooked little concept called life? No, really – if you think about it, there is barely anything un-crooked about it. **Asymmetry lies at the very heart of life's essence.** Living organisms exemplify what physicist Ilya Prigogine called *dissipative structures*: systems that maintain their organization and complexity by consuming energy in low entropy form and expelling the high entropy metabolites to their surroundings after having converted useful energy to sustain a working metabolic network into a less useful form of energy. This asymmetry, far from being incidental, is fundamental to existence itself. As Erwin Schrödinger noted in *What is Life?*, life does not operate at thermal equilibrium. *We are thriving on skewness.*

But this preference for asymmetry is not only observed with thermodynamic properties. Consider chirality – a hallmark of life's molecular architecture. Amino acids in all known organisms exhibit consistent handedness, being laevorotatory, while the DNA double helix is uniformly right-handed. **That said, the warm little pond must have been displaying a preference.** Even enzymatic reactions are often enantioselective, favoring one enantiomer over another. Essential transfer processes for life are fuelled by gradients – whether based on electrochemical potentials or proton gra-

dients. But not only on a microscopic scale does our life depend on asymmetry to function. Our brains exhibit lateralization, with specialized hemispheres, and the heart, slightly off-center, drives asymmetric circulatory patterns. **Without these vital imbalances, the intricate machinery of metabolism and growth would collapse.**

In contemplating time, we find ourselves at existential crossroads. As we reflect on time through the scientific lens of entropy and the asymmetry of life, we are reminded of its profound weight on our angsty shoulders – a concept that transcends equations and scientific observations to permeate the essence of what it means to be alive. Time embeds itself in our very being, knitting together the fragments of our identity. **It**

**flows through us, just as we flow in it and get carried away by it, just as it slips right through our fingers when we try to catch it and bring it to a halt.** Still, within this tension – or maybe just because of it – we achieve to find more or less meaningful occupations. That’s just what we do. Far from opposing entropy, life thrives within its constraints, relying on nonequilibrium conditions to sustain itself. Asymmetry is not merely an attribute of life but its driving force – a dynamic interplay between order and flux, enabling life’s persistence against the backdrop of an ever-changing universe. That’s definitely not a bug, that’s a feature.



# Kreuzworträtsel

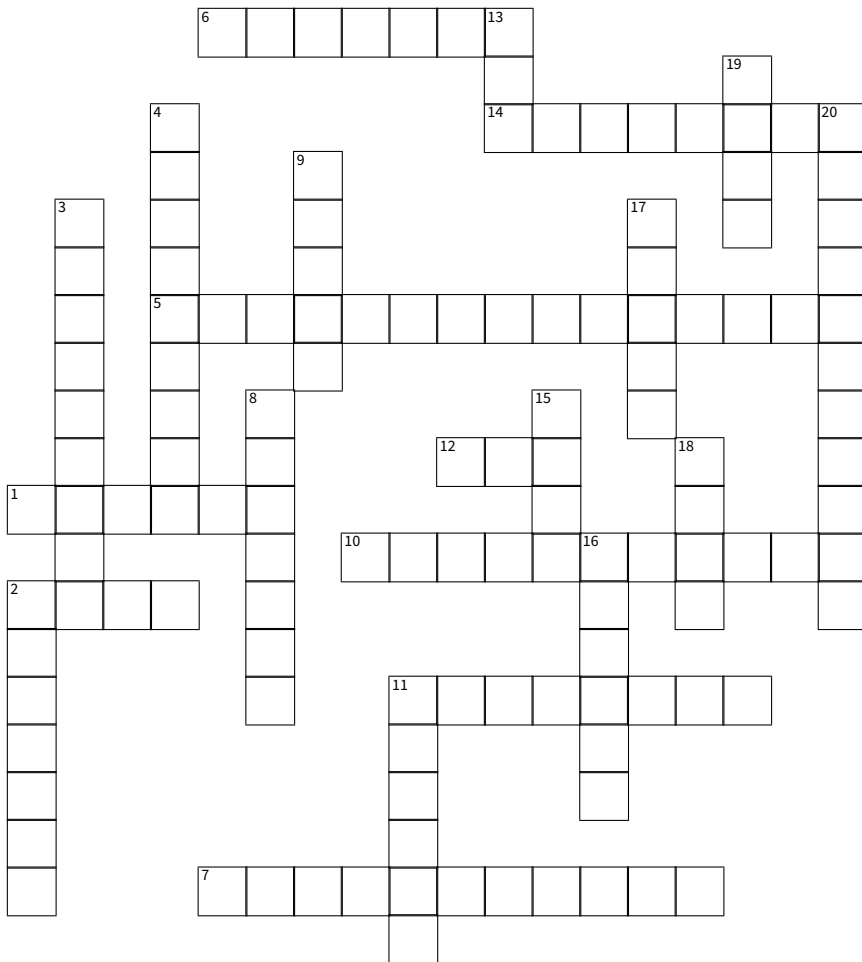
Leonard Hummer und Donata Giuliani

## Horizontal

- 1 Symmetrieeigenschaft eines homonuklearen zweiatomigen Moleküls wie  $O_2$ ?
- 2 Wie heisst die Sportorganisation der ETH?
- 5 Ion mit Oktaedersymmetrie und der Formel  $[Fe(CN)_6]^{3-}$
- 6 Welcher Stoff wird in Zahnpasta zur Kariesprävention verwendet?
- 7 Wie nennt man eine Molekülgeometrie mit  $90^\circ$ -Bindungswinkeln und sechs Bindungspartnern?
- 10 Welches Metall ist flüssig bei Raumtemperatur?
- 11 Wie heisst das grösste jährlich stattfindende Fest der ETH Zürich?
- 12 In welchem Gebäude steht die berühmte Ein-Millionen-Treppe?
- 14 Wie nennt man das Mass für die Unordnung eines Systems in der Thermodynamik?

## Vertikal

- 2 Welcher Stoff gibt Knoblauch seinen charakteristischen Geruch?
- 3 Welche Plattform nutzen ETH-Studierende, um sich für Kurse anzumelden?
- 4 Wo bekommt man im Dezember seinen täglichen Glühwein?
- 8 IUPAC-Präfix von Carbonsäure?
- 9 Wie heisst unser Departement?
- 11 Wie heisst der derzeitige IT-Vorstand und eine Spannung in der OC?
- 13 Grammatikalischer Artikel von VCS
- 15 Was verbindet den Höngg und ETH Zentrum?
- 16 Welcher pH-Wert ist neutral?
- 17 Wie viele Finger hat das HCl?
- 18 Dieses Präfix wird oft an der ETH verwendet?
- 19 Welche berühmte technische Hochschule ist die Schwesterinstitution der ETH Zürich?
- 20 Wie nennt man Moleküle, die sich wie Spiegelbilder verhalten?



Es gilt Ä = A, Ö = O, Ü = U.



# Prof. Beltrao In Conversation

## *The Good, the Bad, and the Ugly of Protein Folding*

**Samuel Wechsler, Nonô Saramago** Prof. Pedro Beltrao, whom you might know if you ever attended Systems Biology, kindly took the time to speak to *Exsikkator* about his research in human systems biology, as well as recent advances in computational structural biology. He leads a group at the Institute of Molecular Systems Biology (IMSB) at D-BIOL. His work focuses on understanding the impact of genetic variation on cell biology, particularly how mutations contribute to genetic disease. A key aspect of his research involves the use of deep learning models like AlphaFold to better understand the molecular mechanisms behind genetic diseases.



**We'd like to begin this conversation by asking you about your academic journey. What challenges did you face along the way?** I did a biochemistry degree in Portugal, and there were fellowships you could obtain to do a PhD anywhere in the world. So that was a great opportunity which led me to pursue my PhD in Germany

at EMBL in Heidelberg. Then I did a post-doc in San Francisco at USCF. In 2013, I started my first group leader position at the European Bioinformatics Institute, a part of the European Molecular Biology Laboratory, near Cambridge. After nine years in the UK, I moved here to ETH Zurich, where I have been for the past three years. So that's my academic path: I started in biochemistry and then learned to do computational work in biology. And you wanted challenges. In everything we do, there are always obstacles to overcome, but, particularly in academia, people often move to different countries. The challenge of moving around, as a scientist, is that you have to start again, build new roots and meet new people, which is both enriching and challenging.

**The Nobel Prize in Chemistry 2024 is partly about predicting the shape of proteins. Can you describe what poten-**



**tial these discoveries hold?** The three-dimensional shape of proteins determines how they interact with each other and how they function. For example, we can try to understand how a drug may change the function of a protein by looking at the protein's three-dimensional structure.

Of course, there are experimental methods to determine the shape of proteins, but these are **extremely laborious and time-consuming**. This is particularly challenging given the enormously large numbers of proteins in biology. To get a sense of the scale, there are about 20 000 different proteins in humans alone, only a small fraction of which have been structurally resolved experimentally. Considering the entire protein universe, probably more than three billion types of proteins have been discovered. Comparing this to the size of experimental protein structure databases, prior to AlphaFold, we had about 20 000 different types of proteins with known shapes. AlphaFold then solved this very difficult problem and allowed us to make predictions purely on the sequence of a protein, which is much easier to determine than its structure.

**For decades, making accurate predictions of protein structures has been considered the holy grail of structural biology. Why was this particular problem so difficult to solve?** Consider the informa-

tion contained in a protein: at any position in a protein sequence you could find one out of 20 proteinogenic amino acids. Given all the possibilities on how this sequence folds or creates a shape, the combinatorial space of arrangements is so vast that, if you were to explore by just trying all possible combinations, it would take longer than the age of the universe. And that also explains why it was thought to be an extremely difficult problem to solve computationally. Nevertheless, these neural network models are very good at solving that.

**How good are these models, and how can we quantify the accuracy of predictions for proteins of which we don't have an experimental counterpart?** Often-times, in these machine learning exercises, one leaves a test set away from the training data, and then makes predictions on the test set to see how well the model performs on unseen data. Essentially, you try to superimpose the predicted structure with the experimental data, and compare the distances between atoms, then use some metric to determine the accuracy. In the field of computational structural biology a competition takes place every two years, in which experimentalists provide new datasets involving some hidden cases that computational groups haven't seen beforehand. The models are then very carefully evaluated on the quality of predictions for new

unseen experimental data. Incidentally, **this is how we found out that DeepMind had developed this amazing new predictor called AlphaFold.** The second time DeepMind participated, the success rate of their latest model, AlphaFold 2, was so high that it was comparable to experimental methods for predicting individual small proteins.

**AlphaFold 2 wasn't trained on structures of protein complexes, yet it apparently can be successfully applied in such cases.**

**How was that feat accomplished?** The first approach involved adding a short linker sequence between the protein subunits, and predicting the structure of the combined sequence. Surprisingly, the predictions for the structure of the protein complex fit very well with experimental results. With only a few additional lines of code, one could then omit the linker sequence entirely, **proving AlphaFold's utility to make structural predictions of protein complexes,** which was unexpected!

**How are these models applied in biology?**

The first immediate application was in the field of experimental structural biology. There are many situations where even the experimental data is not good enough to resolve the structure. Before AlphaFold, experimental groups would already combine some amount of predictions based on structural similarities to other known pro-

teins together with experimental data to resolve the new structure. So then, with AlphaFold, they could do that much faster and for many more sequences with less similarity to previous structures. They would just make the prediction with AlphaFold, allowing them to resolve their structure together with the oftentimes limited experimental data.

But AlphaFold is useful in many other areas, for example pharmaceutical applications, where researchers mainly deal with human proteins, for which we didn't previously have a resolved structure. With these tools, **you can predict the structure and use it to find cavities that are likely to be good sites for drug targets.** Thereby, you can figure out which proteins are "druggable" and try to design pharmaceuticals for those. The applications even extend to more fundamental questions of evolutionary biology. With this tool at our disposal, we can, for example, try to figure out how many different types of shapes of proteins exist, which is a question we could never address before. The latest version, AlphaFold 3, can also predict protein structures interacting with small molecules.

**Why is the prediction of interactions between proteins and small molecules so difficult, and thus why is this new feature of AlphaFold 3 so revolutionary?**

As is often the case in deep learning, the

challenge arises from the limited availability of suitable training data. The PDB primarily consists of proteins and, although there are indeed many ways in which amino acids can be assembled into different shapes, that space is perhaps smaller than the variations that could exist with protein interactions and small molecules. Therefore, there's essentially not enough data to account for the dimensionality of the problem.

One reason why there is not enough data is the pharmaceutical industry's lack of collaboration. Part of the research in pharmaceutical companies involves resolving structures with small molecules, especially inhibitors or agonists of certain drug targets. Unfortunately, pharmaceutical companies have accumulated quite a large amount of data, which they don't release to the public, as it would obviously impact their market competitiveness. However, **if they were to release it publicly, we could train much better models**. This is again one of the problems where many different interest groups would have to agree to share a common good, which in return would help them all.

**Shouldn't a published model like this be openly accessible?** AlphaFold 3 was not made immediately fully available because DeepMind created another biotech company called Isomorphic Labs. Then, Al-

phaFold 3 was essentially created jointly by DeepMind and Isomorphic labs with very likely clear intention to be used as a tool for pharmaceutical and biotechnological applications. Because of their intention to support Isomorphic lab I suspect they did not want to provide AlphaFold 2 as open access. They received a lot of push-back for this decision because they published AlphaFold 3 as a scientific paper in Nature. Therefore, the scientific community organized the writing of an open letter, in which I also participated, arguing that **they should respect the rules of academia if they want to publish their achievements as scientific results**. After that, they agreed to release the model within six months. They have very recently now made the model available, which will make it easier for the scientific community to judge independently how good this model really is at predicting interactions between proteins and small molecules. The previous models are all freely available, even if you intend to use them for commercial applications. This is not the case for AlphaFold 3. They have released it under a license that allows academics to use it freely but restricts any commercial applications.

**This is presumably because pharmaceutical companies are very interested in such a tool?** Yes, exactly. Isomorphic Labs made deals with pharmaceutical com-

panies involving large sums of money with the aim of discovering novel drug candidates. So there are huge financial incentives, but we could be a bit more altruistic, and humanity as a whole could enormously profit from this tool being freely available.

**Pharmaceutical companies do not even publish data on drugs for which the patent has expired?** No, there is nothing in the approval process that requires them to ever provide this information. When there's no longer legal protection for these small molecules, they could in principle be generous and release this information, but that doesn't happen.

**How can AlphaFold be applied in evolutionary biology problems?** If you look at the sequence of proteins in different species, the same protein that does a particular job will change in the different species throughout evolution because every time a cell divides, some mutations occur. So, over time, the sequences will diverge quite drastically, but the shapes will remain similar for longer periods of time. Therefore, by comparing the shapes of proteins, we are in a better position to find proteins that are doing similar jobs than by simply comparing the sequences. Based on this idea, we could in principle try to reconstruct the ancestral sequences and proteins and position them in the phylogenetic tree of life. For example, if a protein existed in five

species, it should also have existed in the ancestral species of this group.

**Has that been applied in a concrete way? Can I find a reconstruction of the tree of life based on protein structures?** We have not yet tried to reconstruct ancestors using this approach, but we and another group have used similar approaches to compare and classify the structures for a very large number of proteins. In our case, we have looked at 200 million different proteins and tried to group them by their similarity and shapes. In particular, **we wanted to figure out whether there are specific shapes of proteins that are very unique and have not been studied before**; essentially the objective was to find all the novel shapes of proteins. There are many such groups, but less than I thought. Most proteins can be classified in a structural group that has previously been studied. That is consistent with the fact that some of these groups have many representatives because they were very successful in evolution. And because there are many sequences belonging to these groups, they have likely been studied before.

**One interesting branch of your group's research involves using these expanded proteome datasets to better understand the mechanism of disease mutation. Could you explain how AlphaFold is applied in this context?** Yes, that is one

very clear application I haven't mentioned yet. In a clinical setting, it sometimes doesn't matter to understand the mechanism of a mutation. For example, if two parents want to have children, you may just want to know whether their baby will have a severe disease given a set of parental mutations; or for diagnostic purposes, there's no need to understand how a pathogenic mutation causes the disease. However, **for the development of treatments for a genetic disease, one is interested in how exactly a mutation affects the function of the protein** and in this case, protein structures can be very insightful. You can think of different ways that a mutation could disrupt the function of a protein and the easiest way is just to destabilize it, meaning the native protein will no longer fold very well.

We can also model how a mutation affects protein-protein interactions. Specifically, if we determine the surface of interaction between two proteins and insert a mutation, we can assess whether this mutation is likely to prevent the interaction between those proteins. Similarly, if we find a disease-causing mutation that alters the structure of a protein cavity, the most likely disease mechanism would be improper binding of a small molecule to its binding site.

If I understand what's broken, the next natural step is to figure out how to fix it, which

is much harder. One way of fixing a dysfunctional protein would be to genetically modify the patient's DNA. Alternatively, if we knew the disease-causing mutation results in a destabilized structure, we could come up with a pharmaceutical intervention that helps stabilize the protein.

**How far away are we from very idealistic futuristic ideas where you could just put in a sequence and actually predict not only the structure, which in principle determines the function, but also understand how all these molecular machines work mechanistically?**

There are many intermediate steps between those two ideas. There's probably something like three million known interactions between proteins, but the space of all possible pairs is very, very large: 20 000 by 20 000 in humans. That is just for pairs, but these proteins usually work in assemblies with five or even twenty different types of proteins, while each type can exist in multiple copies within a complex. For example, a complex could be formed by three copies of protein A and two of protein B. **So even if we know that there are these five different types of proteins forming a machine, we don't know this stoichiometry.** This type of information will be required to even try to build a model that predicts the function of these molecular machines.

Then there are the computational costs in

terms of time and resources required to do it, and we are still not there technologically. Another major limitation of all this is that proteins are not static. They exist in different conformations, and this dynamics is required for the function. But right now we're just predicting one shape with AlphaFold, something like the lowest energy state. This is because **most of the training data in the form of experimental structures comes from crystallography**. It's debatable whether this form that proteins will adopt in the crystal is actually the functional state. There are other methods like cryo-EM where in fact you have a distribution, but it's very hard to actually get the different states, so people just try to get the image that best represents the distribution. And that is what AlphaFold has been trained to predict, which is why it's not very good at generating a diversity of shapes. However, it is an open question and people are working on that problem. Even before AlphaFold existed, people were running molecular dynamics simulations to sample the states of the distribution and their weights. Now there are more ideas on how to take the same sort of neural network architectures of AlphaFold but try to make them generate different shapes or even the dynamics of the movement.

**One well-known limitation of deep learning models is that they are essentially a**

**black box. So although we obtain accurate predictions, we don't understand how the model came to a certain prediction. Do you think interpretability is a key feature we're currently still missing, or are we mainly interested in the final prediction?** Even though the final result is the most important, as a scientist of course I would like to understand the factors that lead to this result better. Although we do not exactly know how the sequence creates a specific shape, we know a bit about what information AlphaFold leverages to make the structural predictions, which is the coevolution between amino acids that are close together. During evolution, there might be a mutation in a region of protein that might be slightly destabilizing, but it gets compensated by another mutation nearby. **Such compensatory mutations will leave a pattern of correlation of mutations that tend to be close together in the 3D structure.** But there are still many gaps. For example, you would like to understand the exact folding pathway the sequence takes to create the final three-dimensional shape.

There are other examples: let's say I have the genotypes and phenotypes of many individuals. The UK Biobank has about half a million genomes, but in the future we will have millions and millions of genome sequences for human individuals as well as

their phenotypes, for example their heights. Then maybe I have a computational deep-learning model that's perfect at predicting your height from a genome, but I have no understanding whatsoever of how that happens: that would be very disappointing, even if it would be useful for diagnostics. Or if it could predict the probability of having certain types of diseases, but I don't understand anything about the molecular mechanism of the diseases. It wouldn't help you in the search for a treatment.

**What could be possible approaches to solving that interpretability issue?**

This is more of a computer science problem. Computer scientists are working on model architectures that use physical or biological parameters to make predictions. Let me explain this with an example: our group is currently building an SNP-to-genotype model. Yet, instead of using a deep neural network, which is essentially a complete black box, we use a simpler architecture with fewer layers where every layer and neuron<sup>1</sup> has biological significance. So if a given set of neurons is firing, it should in principle represent some aspect of cell biology. Of course, this doesn't have to be the case, a neural network could learn what it needs to learn without capturing a representation of any cell biology in this way. But

we can try to set up the training process in a way to facilitate this.

**Final question: What advice do you offer to students, who are perhaps interested in computational biology, on how to navigate academia?**

It is a really exciting time to be doing biology. We are producing data at an exceedingly high rate, therefore I think it's crucial that students in biology or related fields are capable of doing some amount of computational work and have a working understanding of systems biology. Whether you intend to go into academia or industry, these skills are going to be increasingly required to compete, and they are also very transferable. If you learn these concepts, you can apply them to almost anything.

Secondly, I'd advise any student to use the time when they are young to spend some years abroad. I get the impression that many people here are less excited to travel the world, perhaps because Switzerland offers a fantastic quality of living, but I think that it is a very enriching experience to see new places.

**Thank you so much for talking with us!**



<sup>1</sup> *Editor's remark:* computational node, not nerve cell

# MIT > ETH

## *Warum das MIT immer besser sein wird als die ETH*

**Leif Sieben** Ein Gespenst geht um an unserer Institution – das Gespenst des universitären Rankings. Es gibt wohl keinen unter uns, der nicht wenigstens eine grobe Idee davon hat, dass wir sehr gut in internationalen Klassierungen abschneiden. Es braucht nicht viel, dass wir es vor unseren Freunden, Verwandten und allen, die es hören wollen (oder nicht), erwähnen: Die ETH (meine ETH!) ist Top-10, beziehungsweise Top-11 oder jedenfalls Top-40. Man muss es ein bisschen wiederholen, bevor man selber (und womöglich der Rest der Welt) ganz dran glauben will. Vor uns, aber für unser akademisches Wohlbefinden viel entscheidender, unter uns in jenen Auflistungen finden sich illustre Namen weltbekannter Institutionen. Für manche (eine Mehrheit?) von uns war dieses Gütesiegel ein relevantes bis entscheidendes Kriterium hier zu studieren. Es ist eine naheliegende und durchaus zu verteidigende Schlussfolgerung, die sich daraus fusst: Stimmt es etwa, dass auch wir ganz oben mitspielen können?

Es ist, glaube ich, nicht zu weit gegriffen, zu behaupten, dass diese Position Teil unserer institutionellen Identität geworden ist. Unsere relative Stellung im Vergleich zu unseren europäischen – ja was denn eigentlich? Rivalen kann man ja nicht sagen – wird man zumindest am D-CHAB auch in den Basisvorlesungen nicht müde, zu erwähnen. Vielleicht auch ein wenig als Rechtfertigung, warum eigentlich alles so verdammt schwierig sein muss: «Versteht, liebe Studierende, Ihre Ausbildung muss so herausfordernd sein, weil Sie nun in der höchsten Liga der Wissenschaften mitspielen.» Es stimmt jedenfalls für einen guten Teil jener, die nach dem Basisjahr noch unter uns weilen: Auch wir haben es so gewollt.

Aber es ist kein einfacher, kein selbstbewusster Stolz, den wir Studierende in diesem

Punkt empfinden. So recht will man dem ganzen eben doch nicht trauen. Ist es wahr, dass auch wir in diesen Sphären schweben? Es ist ein seltsames, aber nicht unübliches Phänomen, dass man seine Dozierenden zu Beginn nach den Institutionen klassifiziert, die sich auf ihren Lebensläufen tummeln. Der Mann war in Oxford. Sie hat ihren Postdoc in Princeton gemacht. Und das seltsame, wenn zugleich höchste, Qualitätsmerkmal: **Sie war einmal an der Fakultät in Harvard.** Sieh, sagt man sich innerlich: Jene Orte mit ihren fremden und doch vertrauten Namen sind uns gar nicht so verschieden. Man kennt uns. Mann nimmt Notiz von uns. Denn auch unsere Absolventen, ProfessorInnen und Alumnae verkehren unter ihnen. Was sie früher in Harvard unterrichtet haben muss, hören auch wir in die-



sem Moment in Zürich. Unsere Ausbildung ist die Harvards ebenbürtig. Nein, überlegen, denn wir haben es schwerer, wo doch bei uns, im Gegensatz zum amerikanischen System, die Leute selbst im Master noch aus dem Studium fliegen.

Glauben wir wirklich daran? Ich will bei Weitem nicht behaupten, dass diese Beobachtung auf restlos alle meiner Kommilitoninnen zuträfe. Es gibt eine grosse Mehrzahl an gesunden Minimalisten, die sich nicht weniger um solche luftige Debatten scheeren könnten und für die ein Studium ein notwendiges Übel zu einem Abschluss darstellt. Das Optimieren gehört ja schliesslich auch zum Kern des technischen Denkens. Seligjene, welche die Dinge klarer sehen als wir selbst. Für eine grosse Zahl von uns allerdings – und ich weiss dies, weil ich selbst zu ihnen gehöre – bleibt die Frage nach unserer Stellung in der Welt in einer Art manischem Minderwertigkeitskomplex befangen. Wir wollen so sehr sein wie sie und glauben doch selbst nicht ganz daran.

Wir sind stolz darauf, dass unser Studium kein einfaches ist, dass das Bestehen des Basisjahrs ein Beweis von **Intelligenz und Willensstärke** darstellt. Wie viel des ersteren und wie viel des letzteren sei einmal dahingestellt. Wir sind überzeugt, dass wir global kompetitive Forscher, Ingenieure ... auch so und nebenbei ein paar Architekten ausbilden. Schliesslich kriegt man so einen

ETH-Abschluss nicht gerade umsonst! Hier fallen je nach Studiengang immerhin 60 % durchs Basisjahr, was uns arithmetisch also ungefähr 10 % besser macht als die 50 %-Durchfallquote in Recht und VWL an der UZH. Wer könnte schon gegen solche Zahlen argumentieren? Vielleicht auch das ein Grund, warum wir uns mit unserer aktuellen Hochschulreform so schwertun: **Lacht man in Oxford nicht eigentlich über uns, wenn wir jeden einfach so in unsere Hörsäle spazieren lassen?** Natürlich sind diese Rankings alle höchst ungenau und eine Universität lässt sich nicht einfach auf eine einzige Zahl reduzieren. Im Prinzip erhoffen wir uns ja auch etwas ganz anderes davon. Diese Tabelle soll bestätigen, woran wir ohnehin schon glauben (wollen): dass auch wir bei den ganz Grossen mitspielen.

Was hat man eigentlich als Studi davon, wenn man im Ranking ganz oben steht? Als jemand, der kürzlich die Reise von Platz 7 nach Platz 1 (oder von Platz 11 zu Platz 3, beziehungsweise von Platz 21 zu Platz 3) gemacht hat, meine ich diese Frage durchaus nicht rhetorisch. Die implizite Annahme würde lauten, dass ich nun an einer 6 (bzw. 8 bzw. 18) Einheiten besseren Universität bin. Als Fussballspieler kriegt man immerhin mehr Geld, wenn man weiter oben mitspielt. Was aber ist wirklich anders, hätte ich hier studiert statt an meiner ETH? Was hat sich geändert in meiner Lebenswirklich-

keit als Forscher, als ich auf die andere Seite des Atlantiks gezogen bin?

An erster Stelle muss man wohl gestehen, dass **die Lehre** hier einfach überlegen ist. Es muss irgendetwas im Grundwasser sein, aber in Amerika doziert – redet – man einfach besser. Wer mir nicht glauben will, darf sich gerne per MIT OpenCourseWare überzeugen. Nicht dass es nicht auch wunderbare, inspirierende und herzliche Dozierende an unserer Alma mater gäbe, aber der Standard ist dort einfach höher. Warum hat eigentlich nur das *private* MIT ein *öffentliches* Vorlesungsverzeichnis und meine öffentliche ETH nicht? Ein bisschen beschämend ist das schon. Scheuen sich etwas unsere ProfessorInnen, weil sie insgeheim wissen, dass sie nicht mithalten können? Fürs erste bleibt nur die Spekulation.

Allem ETH-Dünkel zum Trotz: **Der Standard des Gelehrten** ist hier übrigens wohl schwerlich niedriger als bei uns. Auch wenn man wohl mit ein ganz bisschen Stolz sagen darf, wohl auch nicht viel höher und dabei ist das MIT so ziemlich das Anspruchsvollste, was man sich auf diesem Kontinent an Ausbildung geben kann. Dasselbe liesse sich nicht unbedingt auf jene Liberal Arts Colleges ausweiten, die mitunter auch vor uns rangieren. Beispielsweise die «Arts-and-Crafts School down the road», wie man hier in an der Dreibuchstaben-Universität in Cambridge, Massachusetts,

liebevoll sagt. Aber seien wir einmal ehrlich: Es ist völlig egal, wie schwer ein Kurs oder wie gut der Prof ist, ja selbst wie viel Stoff abgedeckt wird. **Am Ende bleibt eh nur das hängen, was man wirklich gelernt hat.**

Bis zum bitteren Ende durchdacht und diskutiert hat, bis nichts mehr wackelt. Mich selbst haben viele meiner Vorlesungen zu diesem Punkt gebracht (gerade jene, die besonders schlecht unterrichtet wurden) und ich hatte das Privileg, mit Menschen studieren zu dürfen, die mit mir bis zu diesem Punkt gegangen sind. Bis es weh tut. Solche Menschen (und ihr minimalistisches Pendant, das mit gutem Recht lernt, um eine Prüfung zu bestehen) gibt es hier wie dort. Vielleicht ist das Verhältnis in einem Jahrgang, der aus Tausenden von Bewerbern handverlesen wurde, höher als in unserem System. Aber nicht um viel.



Nicht nur die Kuppel auf dem Hauptgebäude übrigens, sondern auch das Büro meines Professors ist ein bisschen **kleiner als zu Hause**. Architekturpreise jedenfalls gewinnen die meisten MIT-Gebäude nicht und zumeist lebt es sich als Forscher

in der Schweiz doch deutlich bequemer. Vom Salär sei hier schon gar nicht die Rede. Aber Boston als Stadt hat eine Energie, einen **Ehrgeiz, den man in Europa vergebens sucht**. Es passiert hier mehr und schneller als zu Hause. Nicht unbedingt, weil die Leute mehr arbeiten. Wie auch in Zürich findet man hier eine weite Verteilung über Forschungsgruppen hinweg: Von der 90-Stunden- bis zur Vier-Tage-Woche. Aber man traut sich mehr. Es wird mehr kollaboriert. Man versucht hier Ideen, die so ehrgeizig sind, dass sie an Idiotie zu grenzen beginnen. Cambridge, MA, ist ungefähr das Resultat, wenn man den Höneggerberg mit einem Nudelholz auf die Grösse einer Kleinstadt flachdrücken würde. Hier arbeitet eigentlich jeder in den Wissenschaften und man kann kaum einkaufen gehen ohne unwillentlich einem Gespräch über genAI oder CART-Zellen beizuwohnen. Die Gastvorlesungen hier sind dafür ein Genuss und **es tummeln sich hier jene Namen, die man sonst nur aus den Lehrbüchern und Namensreaktionen kennt**. Es ist eben alles ein bisschen grösser in Amerika: Die ETH hat ca. 560 ProfessorInnen, das MIT 1089. Die ETH hat das PSI. Das MIT hat das Broad, das McGovern, das Koch, das Whitehead, das Kavli, das Picower, das Ragon Institut, um nur ein paar zu nennen. Wenn man manchmal das Gefühl hat, dass jeder zweite Nobelpreis hier nach Cambridge geht, muss man auch dazusagen,

dass gefühlt jede zweite Forschungsgruppe dort ihren Wohnsitz hat. Die Mieten sind übrigens noch unbezahlbarer als in Zürich.

Was hat sich an meinem Forschungsalltag geändert? Ich arbeite an einem Thema, an dem ich nicht an der ETH hätte arbeiten können. Oder sonst irgendwo auf dieser Welt. Schlicht und ergreifend, weil dieses Forschungsfeld erst von meiner Gruppe erfunden werden musste. Das passiert hier wohl ehrlicherweise einfach mit einer höheren Frequenz als bei uns. **Es ist alles ein bisschen chaotischer, ein bisschen kurzfristiger, aber eben auch ambitionierter**. Zugleich sehne ich mich nach nichts mehr zurück als an Euler, den HCI-Shop und eine funktionierende Klospülung. An Infrastruktur fehlt es uns zu Hause doch an wenig. Es herrscht hier einfach eine andere Forschungskultur. Man muss es mögen, doch die Ergebnisse sprechen für sich. Man ist innovativer in diesem Land. Das ist vielleicht eine kulturelle Feststellung, die über unseren akademischen Kontext am Ende hinausreicht. Nvidia, SpaceX und OpenAI sind eben auch nicht in Europa gegründet worden, ob man das nun gut oder schlecht halten mag. Viel mehr Start-ups werden am MIT übrigens nicht gegründet, dafür muss man wohl schon eher nach Stanford und die Bay Area blicken. Um hier auch eine Lanze für unsere Schulleitung zu brechen: die Relevanz unsere Forschung auch in An-

wendung in der Gesellschaft zu übersetzen, wird durchaus erkannt und gefördert. Wir können nicht schlecht auf unser eigenes Start-up-Ökosystem in Zürich blicken.

Das MIT und die ETH teilen übrigens eine Besonderheit, die so auch bei den meisten Top-10-Unis nicht gegeben ist. **Praktisch von Tag Null kann man (später muss man) als Studi in einer Forschungsgruppe aktiv sein.** Das ist am Ende ein ungewohntes Alleinstellungsmerkmal und auch wenn es nun gerade am MIT niemanden hinter dem Ofen hervorlockt, macht man doch an den meisten angelsächsischen Unis nicht schlecht Augen, wenn ein Master- oder gar ein Bachelor-Studi einen Plan von aktueller Forschung hat und das Zeug dann auch gleich selbstständig im Labor umsetzen kann. **Wir sind und bleiben eben ein Polytechnikum.** Eine praktische Schule, die historisch jedenfalls mehr mit der ZHAW als

mit der UZH gemein hat.

Zuletzt möchte ich es mir als jemand, dessen Gehalt noch nie über das spärliche Zubrot eines IMPS-Hilfsassistenten hinausgekommen ist, nicht anmassen, über die späteren Jobmöglichkeiten als ETH- oder MIT-Alumnus zu urteilen. Um das Triviale zu sagen: der amerikanische und der schweizerisch-europäische Arbeitsmarkt sind einfach radikal verschieden. Was man hier genau vergleichen will, bleibt eh fragwürdig. Aber es ist natürlich gerade dieser Aspekt, in dem ein solches Ranking den Ausschlag gibt. Selbst wenn die Klassifizierung völlig willkürlich und die Uni Saarland auf Platz 1 landen würde, könnte das Prestige und die Reputation allein wohl nach wie vor Türen öffnen, die anderen verschlossen blieben. In der Akademie wie in der Industrie.

Universität	# Studis	# Profs	Verhältnis	Budget (Mia CHF) <sup>2</sup>	Stiftungskapital (Mia CHF) <sup>2</sup>
MIT	11 900	1089	10.9 : 1	4.5	24.6
Harvard	24 600	2400 <sup>1</sup>	10.3 : 1	6.4	53.2
Oxford	26 600	7000	3.8 : 1	3	6
Cambridge	24 200	6000	4.0 : 1	2.3	8.2
Stanford	17 000	2300	7.4 : 1	7.4	36.3
ETH	24 500	560	43.8 : 1	1.9	0

<sup>1</sup> Zuzüglich zu 10 400 weiteren Fakultätsmitgliedern an den assoziierten Universitäts-Spitälern.

<sup>2</sup> Angenommen 1 USD  $\approx$  1 CHF.

Aber bitte, machen wir uns nichts vor: Wir sind *nicht* die Champions League. Das lässt sich einfach nachprüfen: Man gehe beim nächsten Mal, da man im Ausland reisen ist, in den Supermarkt und frage die Kassiererin oder den Uber-Chauffeur, ob man denn schon mal von dieser ETH gehört habe. In neun von zehn Fällen wird man verdatterte Blicke ernten. Die Quote wäre eine andere, hätte man unsere drei Lettern mit «Harvard» ersetzt. Das ist normal. **Man hätte diese Menschen genauso gut fragen können, wer dieses Jahr den Chemie-Nobelpreis gewonnen hat.** Man würde im Prinzip dieselbe Antwort kriegen. Ausserhalb unserer kleinen akademischen Blase braucht man es schlicht nicht zu wissen.

Als öffentliche, eidgenössische, technische Hochschule kann uns das getrost egal sein. Als Absolvent dieser Schule sollte man irgendwann die emotionale Reife entwickelt haben, dass nicht jede neue Bekannt-

schaft, die man macht, einen darin validieren muss, wie krass die eigene Universität doch ist. Unser Auftrag liegt darin, die nächste Generation technisch geschulter Menschen bestmöglich auszubilden. Für dieses Land und die Welt ein Motor an Innovation zu sein und die Forschung international voranzubringen. Gute Arbeit wird am Ende immer entlohnt. Seien wir **selbstbewusst in dem, was wir sind und ändern wir jenes, was der Reform bedarf** und man wird uns ETHler und ETHlerinnen nach wie vor in unserem Feld, in der Akademie und der Industrie als jene fleissigen, fähigen und gewissenhaften Menschen anerkennen, die wir sind. Und nun zurück ins Labor – wollen wir uns doch schliesslich nicht zu sehr auf den eigenen Lorbeeren ausruhen.



# Get Rotated, Idiot!

## *A Representative Exploration of Symmetry and Group Theory.*

**Raphael Zumbrunn** Imagine being a shark, minding your business, just swimming around the ocean floor. Due to your bilateral symmetry, you can freely decide to go left or right.<sup>1</sup> As long as the ocean floor is even, we could call both options “degenerate”. Now, what would you feel like if you were to, for the sake of argument, be rotated around an axis inclined at 45° to your spine (see Figure 9.1).



**Figure 9.1:** Shark being rotated.<sup>[1]</sup>

As the rotation axis did not preserve your symmetry, you would be rightfully confused!<sup>2</sup> You wouldn't be half as confused if you had just been mirrored through the plane bisecting you, would you? The essen-

tial difference between those two scenarios lies in this simple word: symmetry!

But what does symmetry actually mean?<sup>3</sup>

### **Symmetry Means Exactly What It Means**

What happened here is a physical change, but mathematically, it is actually very interesting.<sup>4</sup> **We humans are accustomed to the phenomenon that doing a symmetrical operation on a symmetric object leaves it the same** (mirroring something along its mirror plane results in no visible change). And that doing the same thing on an asymmetrical object visibly changes it (mirroring a non-mirror-symmetric object must change it). Mathematically, this connection is less obvious. How does a property of an object (symmetry of the shark) combine with an action on the object (being rotated) to yield another object (rotated shark)? And how does the result change depending on whether or not the actions and the object's symmetry match?

This is where **group theory** comes into play. Mathematically, a group is a set with a binary operation that fulfills the group axioms: Associativity existence of unique identity and exis-

<sup>1</sup> See my article in the “Fluss” Exsi.

<sup>2</sup> The environment used to be uniform in the plane parallel to your body; now this symmetry has been broken!

<sup>3</sup> If you really want to learn the details of symmetry, you should check out the course MMP II.

<sup>4</sup> If you are into math, that is ...

tence of unique inverse.

Isn't it annoying when people explaining something put complicated definitions in the text not to be understood but just to accentuate how "difficult" the topic is that they try to explain?

Simply put, a group is a collection of things you can combine in pairs to get things of the same type again. A typical example of a group is the rotation group.<sup>5</sup> You can take any rotation and then add a second rotation to **yield a third combined rotation!**

Symmetry, then, is the property of an object that is not to change upon application of the corresponding group operation. You might be wondering why I would want to separate symmetries as properties of objects from symmetries as operations on those objects. And wondering this, you are, of course, correct. Because we never even talked about the object mathematically in the first place. In reality, we always take the approach:

1. Take an object, look at what operations leave it unchanged.
2. Throw away the object.
3. Only consider the symmetries of the object.

So, in practice, by using the symmetries, we intentionally forget the details of the object. If you are a chemist, you have done this a billion times before when reducing a

molecule to its point group. From a point group, you cannot go back to the molecule (because, in the process, you have thrown too many details away).

If we want to go back and explain the confusion of the shark, we only need to find its point group ( $C_s$ ). Checking if  $C_s$  contains a  $C_{2d}$  axis will tell us if the shark ought to have been surprised. And, oh wonder, if we check the character table of  $C_s$ , we see no  $C_{2d}$  axis, which proves the point: The shark has every right to be confused. (Isn't math useful? ☺)

So why *did* I separate the symmetry operations from the symmetries of the object? Well, there is a simple answer:

Sharks are not just a collection of symmetries!

To describe a shark fully, we need way more information. **More information in mathematics means more dimensions!**

### Parallel Orthogonal Dimensions

What do I mean when I say more dimensions? Normally, we think of dimensions as something physical, like the three dimensions of space, the two dimensions of a sheet of paper, or the one dimension of a line. This mindset is limiting because while we might be able to stretch our imagination to include time as a fourth dimension, trying to get geometric interpretations of

<sup>5</sup> See the title of this essay.

4D hypercubes will give you nothing but a headache. If we take a step back from the physical interpretations of dimensions and take a look at what they actually mean, we realize something pretty neat. To illustrate, let me ask you a few easy questions about dimensions you will understand intuitively:

- How many things do you need to tell me about a block in a city for me to find it?
- If you know on which street I live, how much more information do you need to find my house?

The answers to those questions should be two and one, respectively, the dimensions of the spaces the objects we were describing live in.<sup>6</sup> If we continue that trend, **the simplest thing we can say about a four-dimensional space is that any point within it can be described with four coordinates!** Inversely, this also means that if we have a thing that can be described using  $N$  numbers, we can just pretend that this thing lives in an  $N$  dimensional space.

A pretty stupid example of this is IKEA chairs.<sup>7</sup> Many chairs there you can buy with both different wood and with different upholstery. If I need to tell my friend which chair to buy, I can tell them three things:

- Which chair model to buy
- What wood to choose
- Which upholstery.

In essence, IKEA chairs live in a three-

dimensional space. Note that these three “configuration-dimensions” have nothing to do with the three spatial dimensions in which a chair lives. They are dimensions not of real space but of *configuration space*. To accentuate this point, if I’m telling my friend where to put the chair after buying it, I need to tell them the coordinates (let’s say at the back and right). The final resulting chair is now a five-dimensional object (or a 5D-vector see Figure 9.2).



**Figure 9.2:** Illustration of a 5D chair vector.

Going back to our shark, we realize that to describe a shark, we need many, maybe an infinite amount of dimensions. We immediately realized this was terribly inconvenient for any operation we wanted to perform on the shark. Luckily, the mathematical branch of representation theory has our back.

### Symmetry Means Shuffling Matrices

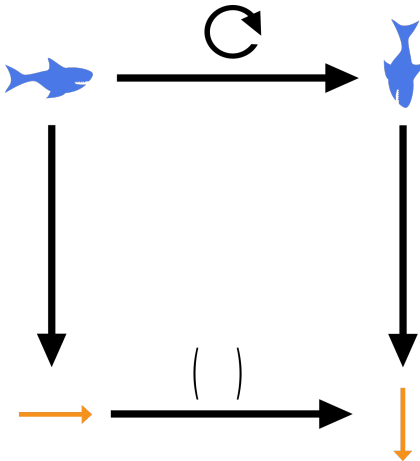
We saw previously that we can describe symmetries on objects by using group theory. And we saw that we can describe objects by using  $N$ -dimensional vectors. We

<sup>6</sup> 2D map of a city or 1D street.

<sup>7</sup> Not sponsored.



might now ask how the symmetry of the object relates to the symmetry of the vector view of said object. There has to be a relation because I can always create a “rotated vector” by first doing the symmetry on the object and then transforming the object to a vector. Mathematicians express this possibility using a so-called commutative diagram (see Figure 9.3):



**Figure 9.3:** Commutative diagram for symmetries on sharks.

We can see that we can follow both the upper and the lower parts of the square to end at the same place. When we ask about the symmetry on a vector, we are, in essence, asking about the bottom edge of the square.

But before we find the exact identity of the

symmetry, we might want to find out what type of “thing” this vector-symmetry will be. We know that the vector-symmetry will be a thing that maps a vector onto a vector. There is one object we know from linear algebra that does this trick fairly easily: Matrices!<sup>8</sup>

Once we have found out how symmetry acts on both the objects and on the vectors, we can associate the group action with the corresponding matrix by going around the commutative diagram. This same procedure can be done for every symmetry in a symmetry group. The resulting **mapping between symmetries and matrices is called a representation**. It is important to note here that a representation of a group is not unique; quite the opposite, actually! You see, the type of thing on the bottom edge of the square really depends on the type of vector we built in the first place.

I’ll elaborate with a simple example. Let’s go back to the point where we defined a vector corresponding to our shark. We said there that we might need thousands of parameters to fully characterize a shark, and this is true. But what if we were lazy and really only cared about one or two properties of the shark? Let’s say we only care about the width and the length of the shark; our resulting vector has two dimensions, one

<sup>8</sup> I know that assuming a linear structure here seems arbitrary, but as long as we assume the objects to be actual vectors (which can be doubted about the shark and chair example), we can always build such a linear structure.

for each of the two attributes.

We can still transform a shark into a vector. And we can still decide if we want to apply the symmetry to the shark or the matrix to the vector. But now, the matrix will be a 2 by 2 matrix. And, of course, the same holds for any number of attributes we might want to define of the shark.

To recap, a representation is a way to consistently transform symmetries into matrices. The sizes of the matrices depend on our encoding of the original object, and representations are not unique.

Why would we care about this matrix and vector stuff if we can just look at the object and the group actions? That is a fair concern, and I know this representation theory stuff can be extremely abstract, but the real reason why we keep up with these complications is that understanding how the general structure of representations works gives us a great insight into how we can simplify hard problems.

### Symmetry Means Coming to Terms with the Complexity of the Universe

We saw previously that there are many different representations for a symmetry group. A logical question might be if there is a way to find which of these representations are useful. To find which representations are useful, we might want to find the smallest possible representation that still

“captures the symmetries” of the object under study.

To find these **smallest representations**, we need to understand what it means for a representation to be “small”. The word mathematicians prefer to use here actually is **irreducible**. An irreducible representation, or irrep for short, *has* to be the smallest representation because it literally cannot be “reduced”/ made smaller.

So, what does it mean to be irreducible? Or: What does it mean to be reducible? Let’s quickly think about our poor shark again. We previously saw that the shark can be lazily described using the two dimensions of width and length. Let’s actually reformulate that a bit and call it core-to-fin distance and length. Let’s try to explicitly construct a representation for this 2D shark. First, the symmetries: We directly see that there are just two  $\sigma$  and the identity. One way to construct a representation here would be the following:

$$id \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \sigma \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Both symmetries map the length onto the length (seen by the top left one in the matrix). Where it becomes interesting is the bottom right. As you can see, the mirror operation flips the core-to-fin distance. Even more interestingly, we see that it seems like there are two different behaviors in both matrices: once, the behavior of the top left,

and once, the behavior of the bottom right. It almost looks like the length part of the shark works fundamentally differently from the left/right part of the shark...

What if we just say the shark is only characterized by length? The resulting representation would be the following:

$$id \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \end{pmatrix}, \sigma \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \end{pmatrix}$$

This is just a 1D representation! We also see this representation as the top left of both of the matrices in the 2D example! Let's see if we can do the same thing by saying the shark is described by left-span and right-span:

$$id \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}, \sigma \rightarrow \begin{pmatrix} -1 \\ -1 \end{pmatrix}$$

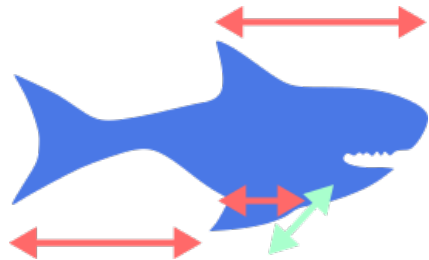
This is another (different) 1D representation! This one is the bottom right of both matrices in the 2D case! Moreover, it turns out that for  $C_s$ , these two representations are all the irreps there are!

Let that sink in. What did we observe just now? We took a look at different properties a shark had, and we found out that some properties transform differently from other properties. We then used that fact to find minimal combinations of properties that behave in this specific way. The first representation we found, the boring one, was a property that did not change upon reflection. This irrep is often just called the **trivial representation**. Other names for it

are the completely symmetric representation, the  $A_1$  representation, or just  $A'$ . It describes any property of the shark that is **not affected by mirroring**; in effect, this means any property that lies on the bisection of the shark. The second irrep we found is often called the **antisymmetric representation** or  $A''$ . It describes **properties that flip or exchange upon mirroring**. Every property that contributes to the “bilateral-ness” of the shark will be represented here.

A way of describing the 2D shark would be  $A' \oplus A''$ . This means that the 2D shark is one part symmetric (the length) and one part antisymmetric (the fin-to-core distance).

We can make our description of the shark more detailed and see how that changes, which irreps make up our vector description of the shark. Let's now consider a shark as the following 4D object (see Figure 9.4).



**Figure 9.4:** A four-dimensional shark.

Here, we describe the shark as a combination of the tail length, the snout length, the fin length, and the fin-to-core distance. By observing how the symmetries  $id$  and  $\sigma$  act

on those measurements, we see that three of them behave symmetrically (red) while one is flipped (green). The resulting representation is thus  $A' \oplus A' \oplus A' \oplus A'' = 3A' \oplus A''$ . Translated, this means that our 4D shark is three parts symmetric and one part anti-symmetric.

This is pretty cool because now we can decompose objects into their symmetry parts, and we can say which parts of an object behave in a specific symmetric way.

Let me give you a more elaborate example. Let's consider  $\text{Cr}(\text{CO})_6$ . The point group here is  $O_h$ . First, consider the ligands as one block. To describe the complex, we need to specify the distance between the ligands and the central atom, which amounts to six dimensions. Let's try to decompose the full 6D representation into irreps. I will spare you the math, but you can look it up here if you are interested.<sup>[2]</sup> We could do the full reduction formula approach, or we can **try to intuit what parts we would expect**.

First, we can describe the complex using the metal-ligand distance. This is one number that does not change upon application of symmetries. This means that the metal-ligand distance is fully symmetric and transforms according to  $A_{1g}$ . We now have five dimensions left. The second thing we could

consider is the z-elongation, meaning how much the two ligands on the z axis are displaced from the average distance to the atom (think Jahn-Teller effect). To describe this elongation, we will have two parts: the “moving apart” dimension and the “moving together” dimension. Thus, the irrep needs to be two-dimensional. Looking at the character table, we see that we need to choose between  $E_u$  and  $E_g$ . The major difference between the two is the action of  $\sigma_h$  on them. For  $E_u$ , applying  $\sigma_h$  flips the property, while for  $E_g$  it remains the same. Both the moving apart and the moving together dimensions stay the same upon application of  $\sigma_h$ , which means this has to be  $E_g$ . We are now left with three more dimensions we need to explain. For this, we will consider the equatorial ligands. There are four, so we might be tempted to say we need a four-dimensional representation, but it turns out you can fully describe the quadrilateral using three parameters.<sup>9</sup> After some more consideration, we will find that the resulting symmetry is  $T_{1u}$ . The full representation is therefore  $A_{1g} \oplus E_g \oplus T_{1u}$ . Each of these representations describes

- the “total symmetry”/the distance from the metal.
- the “axial deformation”/the distance be-

<sup>9</sup> To derive this think about the quadrilateral as 4 points with two coordinates each  $\rightarrow$  8 dimensions in total. We now remove one dimension for every point because they need to stay on the coordinate axis (for symmetry). We also already parametrized the average distance from the center using  $A_{1g}$ , which removes an additional dimension, leaving us with three.

tween the  $z$ -ligands and the center of mass offset from the metal.

- the “equatorial deformation”.

We can now find out how those ligands interact with our metal center. By applying the same representation theory on the  $d$ -orbitals of the metal, we can see that the corresponding representation is  $E_g \oplus T_{2g}$ . One of the irreps ( $E_g$ ) matches, which means that hybridization is possible, which will stabilize the orbitals. The other does not match ( $T_{2g}$  and  $T_{1u}$ ), meaning the  $T_{2g}$  part of the  $d$ -orbitals will not interact and remain non-bonding. This behavior explains the splitting of the ligand field in the octahedral configuration!

The fact that **symmetry tells us something about the energetic structure of a molecule** is no coincidence. It is the direct consequence of one of the most central theorems in representation theory: Schur’s lemma.<sup>[3]</sup> In simplified terms, it states that any function on a symmetric object, which preserves that symmetry (in physics, the Hamiltonian is a good example), will have solutions with the same “shape” as the irreps of the object. This means that if I find that my molecule’s symmetry is made up of one  $1d$ , one  $2d$ , and one  $3d$  irrep, any solution to an equally symmetric Hamiltonian will, at most, have three solutions with degeneracy 1, 2, and 3. This is why we can

label degenerate orbitals with the symmetry symbols. They are directly coupled!

To summarize: We figured out how irreps are “fundamental building blocks” of symmetric objects. We have also seen some examples of how to interpret the irreps. Finally, using Schur’s lemma, we managed to convince ourselves that symmetries can reduce the difficulty of mathematical problems by restricting the solutions to the symmetries.

## Symmetry Means Seeing Beauty in Nature

We are surrounded by a multitude of symmetries. Some of them are evident, such as mirror and rotation symmetries. Others are more obscure, like time translation symmetry. To end this dive into symmetry and representation theory, I would like to show you my favorite applications of symmetry:

### The Noether Theorem

For the people that haven’t read my article “Go with the Flow” in the “Fluss” Exsi, I will give a brief summary.<sup>10</sup> The fundamental statement of the Noether Theorem is that any conserved quantity belongs to a continuous symmetry. It allows us to go from the observation that space is translation symmetric to the realization that momentum must be conserved!

Equipped with our new tools of represen-

<sup>10</sup> If you’d like to learn more about how symmetries and flow combine, feel free to check it out!

tation theory, we can now extend this understanding. In the Noether Theorem, the symmetries need to be explicitly continuous, but using representation theory, we can now tackle discrete symmetries.

An adapted Noether Theorem might be formulated as such:

Any irreducible representation for the symmetry group of a Hamiltonian (read any irrep for the energy landscape) can be mapped onto a conserved subspace.

Essentially, this means that if my energy relations are in a specific symmetry group (for example,  $\text{CH}_4$  will have a  $T_d$  Hamiltonian), I can find properties of the system that need to be conserved. In the  $\text{CH}_4$  example, we could take a look at the vibrational Hamiltonian. Solving the full problem gives us a number of normal modes. **Every normal mode corresponds to an irreducible representation of the Hamiltonian.** The type of irrep for every vibration is now conserved. This means that no matter what happens inside the molecule, vibrational energy in an antisymmetric vibration will never be able to transform into a symmetric vibration. The symmetry of the vibrational energy is conserved!<sup>11</sup>

This is extremely powerful and is used nowadays in spectroscopy as a criterion for

Fermi resonance.<sup>[4]</sup>

### Symmetries and Gauge Invariance

When building a fundamental theory such as electromagnetism, we sometimes stumble over variables we can seemingly choose arbitrarily. We can, for example, choose the electromagnetic potential to have an arbitrary offset. (We don't care if the plus of the battery is at 12 V and the minus at 0 V, or if the plus is at 13 V and the minus at 1 V.) The freedom to choose globally what voltage offset any potential has is called gauge freedom or gauge invariance.

In quantum electrodynamics, one of the fundamental assumptions/findings is that the Dirac field (the field of the electron) possesses local  $U_1$  phase symmetry. This means that **we can multiply any complex phase at any position to the electron field, and nothing changes.**

Surprisingly, the bare electron Lagrangian does not actually have this symmetry. But if we nevertheless impose this symmetry and adjust the Lagrangian to fit this symmetry, we can derive that there needs to be an additional thing that interacts with electrons. Investigating further, it can be shown that this additional thing is the electromagnetic field! It is essentially possible to derive the existence of light from the nature of electrons and an additional symmetry requirement!

<sup>11</sup> This is very closely linked to Schur's lemma.

If you want to learn more about this, I highly recommend the video “Electromagnetism as a Gauge Theory” by Richard Behiel.<sup>[5]</sup>

## Symmetry Means Ending with the Beginning

There are many more applications of symmetry, and if you look around yourself and are open to perceiving the world through the lens of representation theory, you will discover many more. I hope this article has given you some insights into the application, brilliance, and beauty of symmetry.

So, to round off this entire article, imagine being a shark and minding your own business. Just swimming around the ocean floor. If you want to understand how symmetry works, you should definitively check this out!<sup>12</sup>

## Bibliography

[1] Wikipedia contributors, “Time-translation symmetry”, can be found under [https://en](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Time-translation_symmetry&oldid=1184599556)

[.wikipedia.org/w/index.php?title=Time-translation\\_symmetry&oldid=1184599556](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Time-translation_symmetry&oldid=1184599556), **2023**.

- [2] Physical Chemistry (PChem), “22 2a ML6 (Oh Point Group) Irreducible Representations of the Ligands.” Can be found under <https://youtu.be/k7OoGPc1LeA?si=iVsiht65bqZl7INr>, **2019**.
- [3] Wikipedia contributors, “Schur’s lemma. Wikipedia (2024).” Can be found under [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Schur’s\\_lemma&oldid=1240838458](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Schur’s_lemma&oldid=1240838458), **2024**.
- [4] Wikipedia contributors, “Fermi resonance”, can be found under [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Fermi\\_resonance&oldid=1240925280](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Fermi_resonance&oldid=1240925280), **2024**.
- [5] R. Behiel, “Electromagnetism as a Gauge Theory”, can be found under [https://youtu.be/Sj\\_GSBaUE1o?si=blVuNcWKM-BMD45D](https://youtu.be/Sj_GSBaUE1o?si=blVuNcWKM-BMD45D), **2024**.



# Spektrenrätsel

**Zur Verfügung gestellt von Dr. Marc-Olivier Ebert** In einem off-resonance entkoppelten  $^{13}\text{C}$ -Spektrum sieht man quaternäre C-Atome als Singulett, CHs als Dublett,  $\text{CH}_2\text{s}$  als Triplett und  $\text{CH}_3\text{s}$  als Quartett.

Tipp: Das Molekül gehört zur Punktgruppe  $\text{C}_{2h}$ .

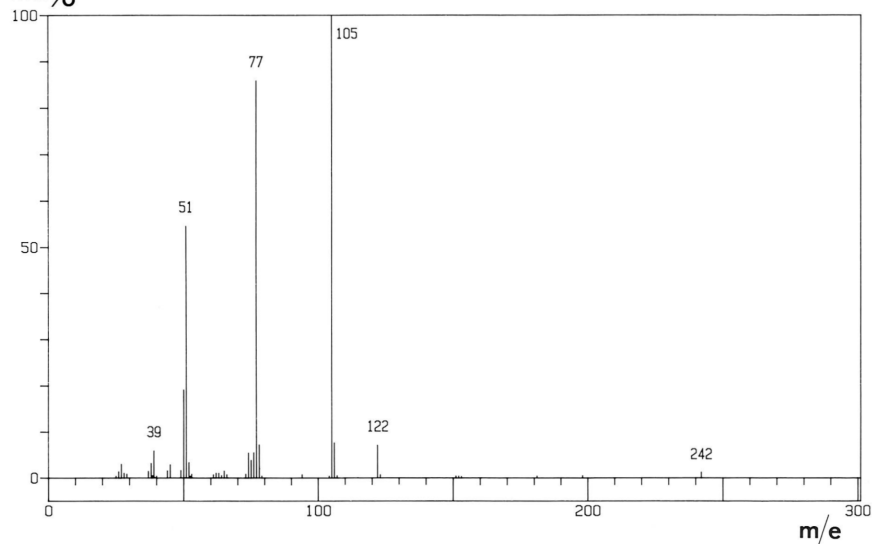
Lösungsvorschläge bitte an [exsi@vcs.ethz.ch](mailto:exsi@vcs.ethz.ch), der erste richtige Vorschlag wird mit einem Preis belohnt. Die Lösung findet ihr im nächsten Exsi.

## MS

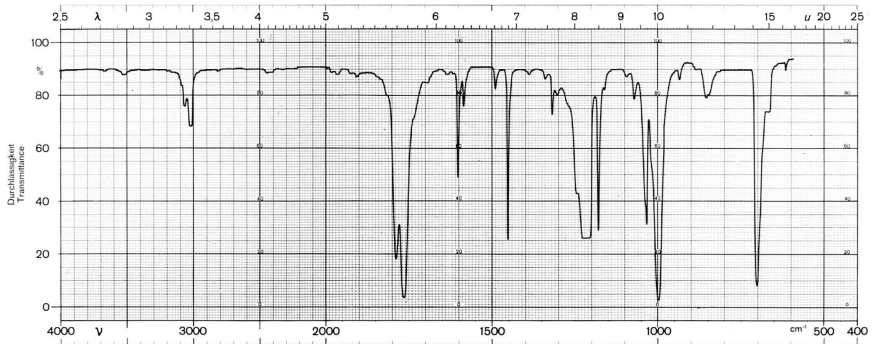
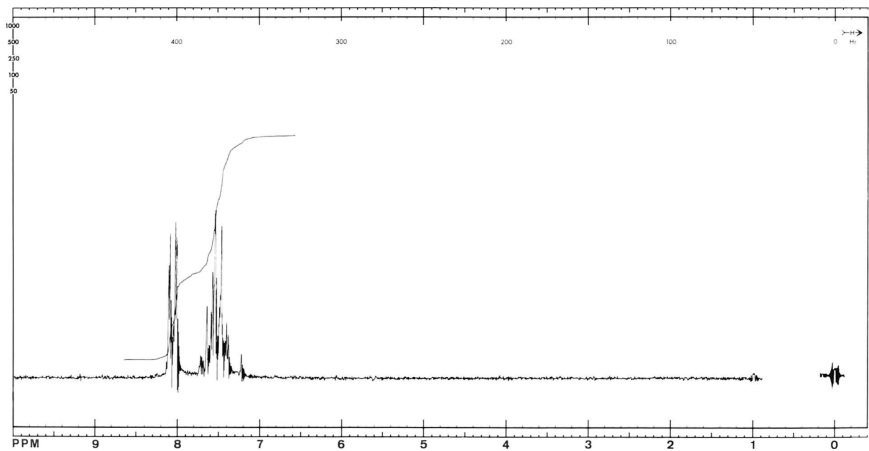
Hitachi Perkin-Elmer, RMU-6M

$m^*$	$m_1^+ \longrightarrow m_2^+$	$\Delta m$	
56.5	105	77	28
33.8	77	61	26

Int. %





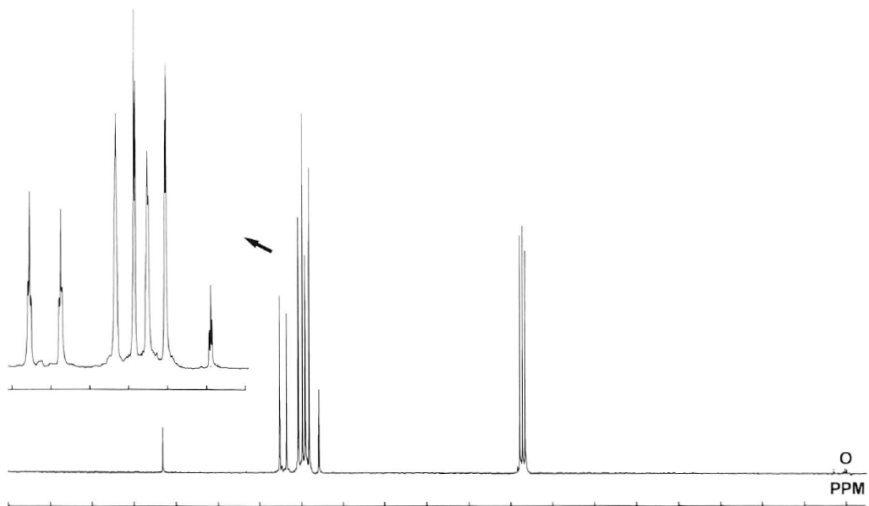
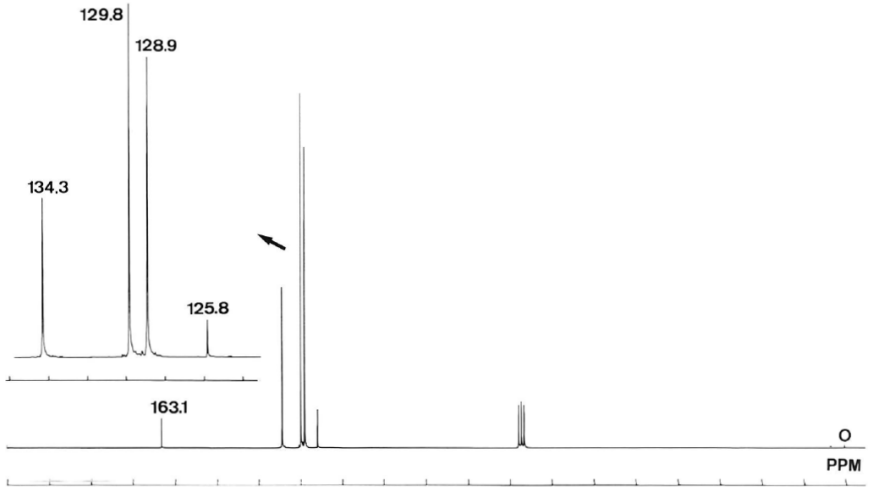
**IR**Perkin-Elmer 125, aufgenommen in  $\text{CHCl}_3$  **$^1\text{H-NMR}$** Varian HA-100 (100 MHz), aufgenommen in  $\text{CDCl}_3$ 

## <sup>13</sup>C-NMR

Bruker Spectrospin WP-200 SY (50.3 MHz), aufgenommen in CDCl<sub>3</sub>

oben: breitband-entkoppelt

unten: off-resonance-entkoppelt



# Dualism in Hinduism

**Aurora Leuenberger** ✂ Since I am currently in India for my Bachelor thesis and traveling, I would like to share some of my experiences and insights into India's culture, tradition, and especially its **diversity** with you. This article will also tell you something about one of India's most important festivals: *Diwali*. This year, it was celebrated on October 31st, and I was able to participate in the university's celebrations. There is an intriguing story about the meaning of this festival, which I will tell you after I've given you a brief introduction to ancient Indian mythology in general, and let's see, we'll probably run into some **philosophical symmetry** here and there.

Generally, there is no generality in India. **Unity in diversity** is what the country accounts for. The North has different eating habits than the South, Kerala (the state where I am right now) speaks differently than Tamil Nadu (the neighbouring state), and Kolkatta celebrates in another fashion than Hyderabad (a very large city in central India). India is very rich in religions, languages, ethnicities, traditions, cultures, cuisines, geography, climates, and so on. They say, if you'll travel 100 km in India, there will be a major change in at least one thing from the preceding list.

Most of the people in India are Hindus, about 80 %, although it is not evenly distributed, e.g., in Kerala there are only about 55 % Hindus because there is an extraordinarily high share of Muslims and Christians. But we'll stick to the Hindu mythology for now, as this is the one most of you probably know the least.

In Hinduism, there is an important concept called *dualism*, meaning that there are always **two related but opposing parts or**

**forces**. This can be seen as a philosophical kind of symmetry and is what I referred to in my introduction. Basic examples of dualistic pairs are left and right, light and dark, east and west, as well as male and female.

In ancient Indian mythology, there is the *Trimurti* – a trinity of deities, namely **Brahma** (the Creator), **Vishnu** (the Preserver), and **Shiva** (the Destroyer). These three deities are married to the members of the *Tridevi*, who are **Saraswati** – goddess of knowledge and arts; **Lakshmi** – goddess of wealth and fortune; and **Parvati** – goddess of love, beauty, and motherhood. So the *Tridevi* is the female counterpart to the male *Trimurti*, giving us our first symmetry. In fact, there are more gods in Hinduism. **Ganesha** – the god of good beginnings – is a son of Parvati and has a very funny creation story (which I strongly encourage to read if you don't know it). Many **other deities in Hinduism are just a different form of the previously introduced gods and goddesses, or they are avatars to teach people something very specific.**

## 11 Dualism in Hinduism

Some of you might have heard of **Krishna**, he is an avatar of Vishnu. **Kali** on the other hand is a different form of Parvati. I confess it is highly confusing, and I could not be further away from understanding all the connections, but let's not make it too complicated and try to keep what I just presented and call it a day.



**Figure 11.1:** Tridevi: Lakshmi, Parvati and Saraswati (because honestly, no one cares about the men anymore, most of you will have heard from them some time).<sup>[1]</sup>

The **festival of lights, called Diwali**, which I was privileged to attend at the Indian Institute of Science Education and Research (IISER), is celebrated as the victory of light over darkness, good over evil. The main characters of the story are **Rama** and **Sita**. Rama is another avatar of Vishnu and was born as a prince in northern India. Sita is an avatar of Lakshmi, as Sita is Rama's wife. Sita is taken by the demon king **Ravana** and brought to Sri Lanka. Rama kills Ravana, rescues Sita, and brings her back to India. The return of Rama with Sita is the event

celebrated on Diwali. It is therefore called **the festival of lights, because light has triumphed over darkness**.

Diwali is often not just a one-day festival, it can last up to five or six days, depending on what part of India you are looking at. The festivities usually begin with decorations. Entrances to homes are decorated with *rangolis*, which are designs made out of coloured rice flour, sand, or flowers and may remind you of mandalas. Mandalas are similar but are used in meditation practices to focus one's attention and tend to be more abstract and geometric as opposed to floral rangolis used in devotion to the gods. In the centre of the rangoli a small oil lamp is placed with **two wicks aligned from east to west**. Our next symmetry representing the sun rising and setting and, taken a step further, light and dark.

Other lights ignited after dark on Diwali are small axial symmetrical clay lamps called *diya* which are filled with sesame or coconut oil.

Of course, there are loads of other **traditions, purgas (prayers), and a lot of sweets!** I think it's safe to say that people all over India love sweets, even though there is again a wide variety of them. The ones I liked best so far are called sandesh and are very famous in Kolkatta and are made from condensed milk and sugar.



**Figure 11.2:** Rangoli with diyas, axial and rotational symmetry here. Art form to worship the deities on the Hindu festival of lights, Diwali.<sup>[2]</sup>

Since this article is kind of a personal experience report, I will introduce you to the dance *Garba*, which is not necessarily associated with Diwali but was performed here at IISER during the Diwali festivities. Moreover, it gives further insight into Hindu philosophy, and we'll also encounter more symmetry there!

Garba is a dance originating in the very north of India, namely in the state of *Gujarat*. It is performed by dancers in concentric circles. In the circle's centre is a material representation (like a statue) of **Durga** (which is again another form of Parvati), or just a big oil lamp. **Both represent motherhood, especially the womb, and thus life itself.** The dancers move around this centre, following the lead of an inner circle that dictates the movements to be performed

by all. The revolving cycles symbolise time, as time is cyclical in Hindu philosophy (rotational symmetry ahead!). **The dancers pass through birth, life, death, and rebirth on and on.** The goddess in the centre is the only static thing in a constantly changing universe. The dance creates a deep feeling of connectedness, and another interpretation of the centre is a body invoking divinity. The dancers move around to worship that every living being carries this same divine energy.

By the way, there is another fundamentally important symbol in Hinduism, that shows rotational symmetry: it is, of course, the *swastika* (attention please, this is not to be confused with the Hakenkreuz, which completely altered its meaning). The **sun sign**, as it is translated, symbolises prosperity and good luck and was widely used in Western countries before it became associated with the Third Reich.



**Figure 11.3:** Notice not only the Swastika, but also to which army this airplane belonged in World War One.<sup>[3]</sup>

I asked a well-educated lady who owns an

art shop on the coast why there is so much symmetry in Hindu art and architecture. She explained that **for every failure there will be success, for every feeling of bliss there will be sadness, and after every dark night, there will be a bright day again**. So we should never be completely consumed by our feelings, neither good nor bad, as there is nothing in the universe that is static, except the gods. I would like to close with that because I have nothing to add. ॐ

P.S.: If somebody asks why I began and ended this article with an “Om”, the sacred symbol and sound representing the Supreme Absolute, Consciousness, and True Self, then tell this somebody that this is my last homage to symmetry, as this very symbol was used in the *Vedas* (sacred Hindu texts) at the beginning and end of

each chapter. Namaste.

## Bibliography

- [1] nakshatra, “Tridevi: Saraswati, Lakshmi, And Parvati”, can be found under <https://www.nakshatra.app/en/en-dev-tridevee.html> (accessed Nov. 19, 2024).
- [2] S. Bharti, “Top 15 Simple Rangoli Designs for Your Diwali Celebrations”, can be found under <https://creditdharma.in/home-loan/simple-rangoli-designs/>, **2024** (accessed Nov. 19, 2024).
- [3] M. J. Campion, S. Heller, “How the world loved the swastika - until Hitler stole it”, can be found under <https://www.bbc.com/news/magazine-29644591>, **2014** (accessed Nov. 19, 2024).



# Aber was sind eigentlich Charaktertafeln?

## Ein Blick unter die Motorhaube

**Farkas Kulcsár** Charaktertafeln werden in der Chemie meist als gegeben betrachtet. Man bestimmt die Punktgruppe des Komplexes und benutzt dann die zugehörige Charaktertafel um Ligandengruppenorbitale zu konstruieren, Vorhersagen über die spektroskopischen Eigenschaften einer Verbindung zu machen, oder die Reaktivitäten zwischen verschiedenen Orbitalen zu prüfen, alles mit nur buchhalterischem Matheaufwand. In den Vorlesungen wird nur angedeutet, wie und warum das alles funktionieren sollte. Wir werden im folgenden mithilfe der Gruppentheorie Charaktertafeln und Punktgruppen genauer unter die Lupe nehmen.

### Gruppentheorie

Eine Gruppe ist eine Menge, die nur Elemente enthält, die durch eine **Verknüpfung** ( $\times$ ) miteinander verbunden werden können. Diese Verknüpfung, die eine beliebige mathematische Operation darstellen kann, muss dann folgende Axiome erfüllen:

1. Geschlossenheit: Die Verknüpfung von zwei Elementen in einer Gruppe  $G$  muss ein Element der gleichen Gruppe ergeben, also  $a \times b = c$ , wobei  $a, b, c \in G$ .
2. Assoziativität: Für beliebige drei Elemente  $a, b, c$  muss gelten, dass  $(a \times b) \times c = a \times (b \times c)$ . Das heißt, dass das Resultat von zwei Verknüpfungen von deren Reihenfolge unabhängig ist.
3. Existenz eines neutralen Elements: Es existiert ein Element  $e$ , das nach einer Verknüpfung keinen Effekt auf alle anderen Elemente hat, also  $a \times e = a$ .
4. Jedes Element hat ein Inverses, sodass

eine Verknüpfung mit diesem wieder das neutrale Element  $e$  ergibt, also  $a \times a^{-1} = e$ .

Am besten lassen sich diese Axiome durch die wohlbekannteste Gruppe der ganzen Zahlen illustrieren: Alle ganzen Zahlen können durch die Operation der Addition miteinander verknüpft werden. Eine kurze Prüfung der Axiome zeigt, dass diese tatsächlich gelten: Addition von ganzen Zahlen kann nur ganze Zahlen ergeben (1), das Resultat einer Reihe von Additionen ist von deren Reihenfolge unabhängig (2), die Null erfüllt die Rolle des neutralen Elements (3), und positive Zahl hat ein negatives Gegenteil, dessen Addition Null ergibt (4).

Es stellt sich heraus, dass sich aus Symmetrieoperationen ebenfalls Gruppen bilden lassen, wobei die Verknüpfung das Nacheinanderausführen der Operationen darstellt. Diese werden Punktgruppen genannt, weil es für jede Gruppe mindestens

<sup>1</sup> Das im Kontrast zu den in der Kristallographie gebräuchlichen Raumgruppen.

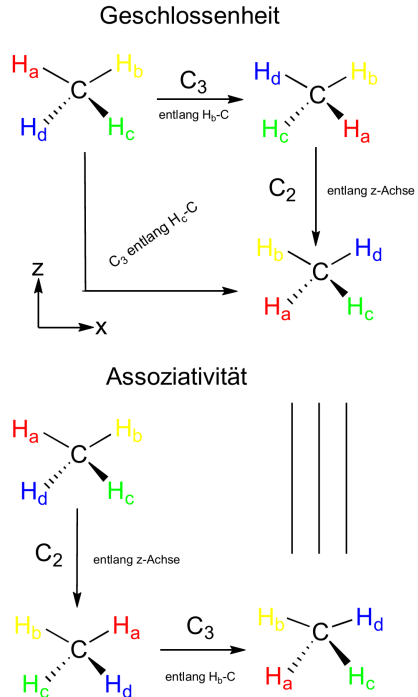
## 12 Aber was sind eigentlich Charaktertafeln?

einen Punkt gibt, der durch alle Operationen wieder auf sich selbst abgebildet wird.<sup>1</sup> Das kann ein zentrales Atom sein (z. B. das Metallzentrum), oder auch ein Punkt im Raum (der Schwerpunkt zwischen zwei Metallzentren in einem bimetalischen Komplex). Alle möglichen Molekülstrukturen können einer dieser Punktgruppen zugeteilt werden. Nehmen wir als Beispiel Methan, das Teil der  $T_d$ -Gruppe ist.

$T_d$	$E$	$8C_3$	$3C_2$	$6S_4$	$6\sigma_d$
$A_1$	1	1	1	1	1
$A_2$	1	1	1	-1	-1
$E$	2	-1	2	0	0
$T_1$	3	0	-1	1	-1
$T_2$	3	0	-1	-1	1

Wie in Abbildung 12.1 dargestellt kann jede Verknüpfung zweier Symmetrioperationen durch eine dritte beschrieben werden (Geschlossenheit) und die Reihenfolge dieser Operationen hat keinen Einfluss auf das Endresultat (Assoziativität). Die Identitätsoperation und die Tatsache, dass jede Operation eine Inversion hat (z. B. eine  $C_3$ -Drehung in die andere Richtung) erfüllen die anderen zwei Axiome.<sup>[1]</sup>

Um aber mit diesen Operationen auch mathematisch etwas anfangen zu können, müssen wir diese in Mathe-Sprache übersetzen. Hier kommen Matrizen ins Spiel.



**Abbildung 12.1:** Punktgruppen sind geschlossen und assoziativ.

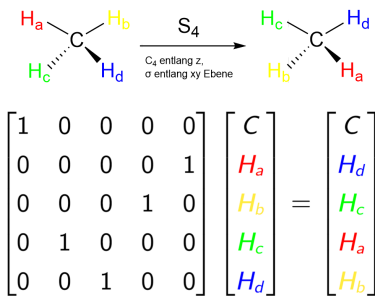
### Matrizen

Symmetrioperationen werden mithilfe Transformationsmatrizen dargestellt. Dabei wird eine Matrix, die die Koordinaten von allen Atomen eines Moleküls darstellt, mit einer Transformationsmatrix multipliziert. Diese agiert wie eine Karte, die den Atomen sagt, wo sie sich nach der Operation befinden werden. Das ganze sieht dann wie in Abbildung 12.2 abgebildet aus. Die erste Matrix ist die Transformationsmatrix,



die zweite enthält die Positionen der Atome. Die neue Position von z. B.  $H_a$  erhält man dann mittels Matrixmultiplikation so:

$$(0 \cdot C) + (0 \cdot H_a) + (0 \cdot H_b) \\ + (0 \cdot H_c) + (1 \cdot H_d) = H_d$$



**Abbildung 12.2:** Die  $S_4$  Operation in Matrixform. In Worten:  $H_a$  kommt auf die Position von  $H_d$ ,  $H_b$  auf  $H_c$ , usw.

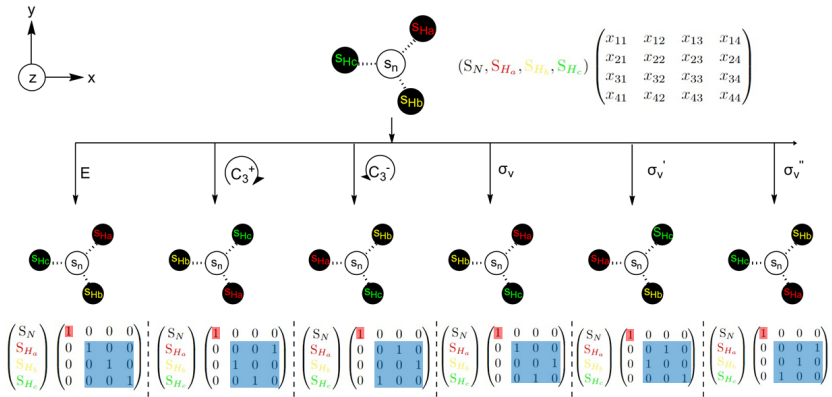
Tatsächlich können alle Symmetrieeoperationen einer Punktgruppe durch solche Matrizen dargestellt werden, wobei diese ebenfalls den bekannten Gruppenaxiomen gehorchen. Um das machen zu können, müssen wir einen Basissatz definieren. Das kann so ziemlich alles sein, was Koordinaten im Raum hat, wie Atome, Orbitale oder Vektoren. Hier werden wir mit Orbitalen weiterarbeiten, um später gewisse Schritte mit Orbital-Terminologie erklären zu können.<sup>[2]</sup>

Nehmen wir dazu ein aus  $s$ -Orbitalen konstruiertes  $NH_3$ , Punktgruppe  $C_{3v}$ . Die Orbitale bilden den Basissatz  $[s_N, s_{H_a}, s_{H_b}, s_{H_c}]$ , und wie im Beispiel oben können wir nun die Symmetrieeoperationen der  $C_3$ -Gruppe in Matrixform beschreiben. Die erhaltenen Transformationsmatrizen sind dann die sogenannten Repräsentationen  $\Gamma$  des Basissatzes. Das ganze Prozedere wird in Abbildung 12.3 gezeigt. Wir erhalten also sechs 4D-Matrizen, die die sechs möglichen Operationen repräsentieren. Es ist aber möglich, diese in tiefer-dimensionale Matrizen zu zerlegen. Dieser Prozess heißt **Reduktion**, und funktioniert wie folgt:

Wir merken, dass wir es mit quadratischen, sogenannten **Blockdiagonalen** Matrizen zu tun haben. Eine Matrix ist blockdiagonal, falls sie entlang der Diagonale in Untermatrizen geteilt werden kann, sodass alle Werte ausserhalb dieser Diagonalen null sind. In allen sechs Matrizen in Abbildung 12.3 lässt sich eine  $1 \times 1$  (Rot umrahmt), sowie eine  $3 \times 3$  (Blau umrahmt) Untermatrix bilden. So kann diese 4D-Repräsentation durch eine direkte Summe<sup>2</sup> dieser zwei Untermatrizen dargestellt werden. Die direkte Summe  $\Gamma^{(4)}$  kann dann so dargestellt werden:  $\Gamma^{(4)} = \Gamma^{(1)} \oplus \Gamma^{(3)}$ . Unsere erste Reduktion ist geschafft. Offensichtlich kann  $\Gamma^{(1)}$  nicht weiter reduziert werden. Das gibt uns sechs

<sup>2</sup> Eine direkte Summe zweier Matrizen ergibt eine Matrix höherer Dimensionalität, und wird durchgeführt, indem man die zwei Matrizen entlang deren Diagonale «aneinanderhängt», und die leeren Plätze mit nullen füllt.

## 12 Aber was sind eigentlich Charaktertafeln?



**Abbildung 12.3:** Wir generieren für jede Symmetrieoperation eine Transformationsmatrix. Da diese blockdiagonal sind, können wir sie in Untermatrizen (Rot und Blau) aufteilen. Achtung: Die Vektoren sind eigentlich horizontal, und werden nur aus Platzgründen vertikal dargestellt.

$1 \times 1$ -Matrizen, die alle das  $s_N$ -Orbital als Basis haben (dieses Element der urspr. Transformationsmatrix hat immer die Position von  $s_N$  bestimmt). Wir können also unsere erste irreduzible Repräsentation beschreiben, indem wir die Werte von  $\Gamma^{(1)}$  für jedes Symmetrieelement eintragen.<sup>[3][4]</sup>

$\Gamma$	$E$	$C_3^+$	$C_3^-$	$\sigma_v$	$\sigma'_v$	$\sigma''_v$
$\Gamma^{(1)}$	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Und kompakter:

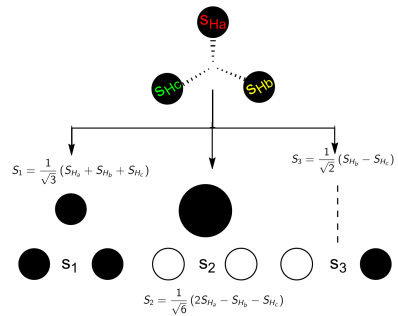
$\Gamma$	$E$	$2C_3(z)$	$3\sigma_v$
$\Gamma^{(1)}$	+1	+1	+1

Hier kurz eine Zusammenfassung von dem, was wir bis jetzt erreicht haben: Wir haben die Transformationsmatrizen für alle

Symmetrieoperationen für den Basissatz  $[s_N, s_{H_a}, s_{H_b}, s_{H_c}]$  erhalten. Diese Matrizen bilden zusammen eine Repräsentation. Eine Repräsentation ist nichts anderes als eine mathematische Beschreibung der Auswirkungen der Symmetrieoperationen auf den Basissatz. Was wir in Worten als «die Operation  $X$  verändert die Position von Basis  $A$  in so und so einer Weise» beschreiben würden, wird hier stattdessen mit Matrizen gemacht. Die **irreduzible Repräsentation (Irrep)**  $\Gamma^{(1)}$  tut dies für das  $s_N$ -Orbital. Wie wir vielleicht auch erwarten würden, ist sie überall gleich +1, da  $s_N$  bei jeder Operation immer nur auf sich selbst abgebildet wird.

Was aber mit der Repräsentation  $\Gamma^{(3)}$ ? Diese

3D-Matrizen haben die Orbitale  $S_{H_a}$ ,  $S_{H_b}$ ,  $S_{H_c}$  als Basis, und sind leider nicht blockdiagonal, weshalb wir keine direkte Summe bilden können. Das heisst aber nicht, dass wir sie nicht weiter reduzieren können. Dazu ein Trick:<sup>[3]</sup>



**Abbildung 12.4:** Durch LCAO können wir einen neuen Basissatz generieren, der mit unserer ursprünglichen Basis verwandt ist.

Zwei Matrizen  $A$  und  $B$  sind ähnlich, wenn eine Transformationsmatrix  $C$  existiert, für die gilt, dass  $B = C^{-1}AC$ . In diesem Fall haben  $A$  und  $B$  dann das gleiche charakteristische Polynom und folglich auch gleiche Eigenwerte, Spuren, und Determinanten. Das bedeutet auch, dass sie **Teil der gleichen Gruppe** sind. Wir müssen also eine Matrix  $C$  finden, die  $r^{(3)}$  so transformiert, dass die resultierenden Matrizen blockdiagonal sind. Zudem müssen diese Matrizen einen Basissatz beschreiben, der irgendwie mit unserer ursprünglichen Basis verwandt ist. Diese «Verwandtschaft» ist die in Abbildung 12.4 dargestellte Linearkombination von  $[S_{H_a}, S_{H_b}, S_{H_c}]$  mit einer Koeffizientenmatrix  $C$ . Weil es sich bei unserem Basissatz um Orbitale handelt, lässt sich das mittels LCAO auch im Chemie-Framework verstehen:<sup>3</sup>

$$S_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} (S_{H_a} + S_{H_b} + S_{H_c})$$

$$S_2 = \frac{1}{\sqrt{6}} (2S_{H_a} - S_{H_b} - S_{H_c})$$

$$S_3 = \frac{1}{\sqrt{2}} (S_{H_b} - S_{H_c})$$

Und das in Matrixform:

$$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} S_{H_a} \\ S_{H_b} \\ S_{H_c} \end{pmatrix},$$

$$C = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{2}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

Wenn wir mit  $C$  die Ähnlichkeitstransformation  $B = C^{-1}r^{(3)}C$  durchführen, erhalten wir für unsere  $B$ -s sechs neue Repräsentationen, die alle blockdiagonal sind.<sup>[3]</sup> Jetzt sind  $r^{(1)}$

<sup>3</sup> Die Wurzelterme sind Konsequenz der LCAO-Theorie und stellen sicher, dass die Wellenfunktionen normalisiert und orthogonal sind.

## 12 Aber was sind eigentlich Charaktertafeln?

$$\begin{matrix}
 E & C_3^+ & C_3^- & \sigma_v & \sigma'_v & \sigma''_v \\
 \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}
 \end{matrix}$$

**Abbildung 12.5:** Unsere neue Repräsentation  $\Gamma^{(3f)}$ , die zu  $\Gamma^{(1)}$  und  $\Gamma^{(2)}$  reduziert werden kann.

$\Gamma$	E	$C_3^+$	$C_3^-$	$\sigma_v$	$\sigma'_v$	$\sigma''_v$
$\Gamma^{(1)}$	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
$\Gamma^{(1)}$	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
$\Gamma^{(2)}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -\sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ \sqrt{3}/2 & -1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -\sqrt{3}/2 & 1/2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1/2 & -\sqrt{3}/2 \\ \sqrt{3}/2 & 1/2 \end{pmatrix}$

**Tabelle 12.1:** Tabelle unserer drei Irreps.

und  $\Gamma^{(2)}$  beide irreduzibel. Wir erhalten also die in der Tabelle 12.1 gezeigten Repräsentationen.

$\Gamma^{(2)}$  sieht aber immer noch recht unangehen aus. Das lösen wir, indem wir die Spuren, oder **Charaktere**, der Matrizen bestimmen, wobei der Charakter einer Matrix lediglich die Summe der auf der Diagonalen liegenden Terme ist. So erhalten wir:

$\Gamma$	E	$C_3^+$	$C_3^-$	$\sigma_v$	$\sigma'_v$	$\sigma''_v$
$\Gamma^{(1)}$	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
$\Gamma^{(1)}$	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
$\Gamma^{(2)}$	(2)	(-1)	(-1)	(0)	(0)	(0)

Und zusammengefasst:

$\Gamma$	E	$2C_3(z)$	$3\sigma_v$
$\Gamma^{(1)}$	(1)	(1)	(1)
$\Gamma^{(1)}$	(1)	(1)	(1)
$\Gamma^{(2)}$	(2)	(-1)	(0)

Wir sehen, dass  $\Gamma^{(1)}$  und  $\Gamma^{(1)}$  identisch sind. Das heisst, dass deren Basen  $S_N$  und  $S_1$  die gleiche Symmetrie haben, was nicht

besonders überraschend ist, da aus Abbildung 12.3 und Abbildung 12.5 ersichtlich ist, dass beide Basen nach allen Operationen unverändert bleiben. Schauen wir uns die Tabelle oben an, wird klar, dass unsere ursprüngliche Basis aus zwei verschiedenen Irreps, nämlich zwei 1D und eine 2D, besteht. Mit der Mulliken-Symbolik würden wir das so beschreiben:  $\Gamma = 2A_1 + E$ .

### Charaktertafeln

Wie oben angedeutet sind also Charaktertafeln nichts anderes als die tabellierten Charakter der Transformationsmatrizen, die die Auswirkungen von Symmetrioperationen auf alle möglichen Basen eines Moleküls beschreiben. Für  $C_{3v}$ :

$C_{3v}$	E	$2C_3(z)$	$3\sigma_v$	linear	quadratisch
$A_1$	+1	+1	+1	z	$x^2 + y^2, z^2$
$A_2$	+1	+1	-1	$R_z$	-
E	+2	-1	0	(x, y), ( $R_x, R_y$ )	$(x^2 - y^2, xy), (xz, yz)$

$A_2$ , die anti-symmetrische Irrep bezüglich einer vertikalen Spiegelebene, kam in unserer gewählten Basis nicht vor. Tatsächlich

transformiert alleine die Rotation entlang der z-Achse auf dieser Weise.

Hoffentlich ist die versteckte mathematische Maschinerie der Symmetrieeoperationen und Charaktertafeln nun etwas klarer geworden.

## Quellen

- [1] K. C. Molloy, *Group theory for chemists, Fundamental theory and applications*, 2. Aufl., Woodhead Publishing, Cambridge, **2013**, S. 17–27.
- [2] K. Haas, «Representations of Point Groups», zu finden unter <https://chem.libretexts.org/@go/page/226817>, **2023**.
- [3] C. Vallance, «Molecular Symmetry, Group Theory, & Applications», zu finden unter <https://vallance.chem.ox.ac.uk/pdfs/SymmetryLectureNotes.pdf> (abgerufen 24. Nov. 2024).
- [4] D. Nocera, «Irreducible Representations and Character Tables», zu finden unter <https://chem.libretexts.org/@go/page/221671>, **2024**.



### Luise Hahne

<b>Chemikalien</b>	0.750 kg 80–90 %iges <b>Milchfett</b>
	0.750 kg <b>Saccharose</b>
	3 <b>Hühnereier</b>
	1 <b>Hühnereigelb</b>
	0.500 kg <b>Mehl</b> oder Mehlderivate
	0.036 kg pulverisierte <b>Früchte des <i>Theobroma cacao</i></b>
	0.008 kg <b>vanillierte Saccharose</b>
	0.006 mol <b>Natriumhydrogencarbonat</b> ( $\text{NaHCO}_3$ )
0.0086 mol <b>Natriumchlorid</b> ( $\text{NaCl}$ )	
<b>Utensilien</b>	Bechergläser
	Kühlschrank
	Messer und mehrere Spatel
	Magnetrührer mit Rührfisch
	Reaktor
	Papier mit Antihafbelag und Stahlblech
	Pinself
Sieb	

### Durchführung

1. Milchfett, Saccharose und Hühnereier im Becherglas **verrühren bis die Masse homogen ist**. Dann in Rührschüssel überführen.
2. Gesiebtes Mehl mit Natriumhydrogencarbonat **vermengen, löffelweise zum homogenen Gemisch dazugeben** und unterrühren.
3. Die  **Hälfte der Masse abnehmen** und in eine andere Rührschüssel überführen.
4. In **eine der Hälften** Fruchtpulver des *Theobroma cacao* unterrühren.
5. Ofen auf **423.15 K** vorheizen.
6. Beide Massen **0.5 h kaltstellen**.
7. Aus beiden Massen mehrere **längliche Quader** formen. Als Richtwerte für die Kantenlängen können  $0.01 \times 0.01 \times 0.20$  m verwendet werden.
8. Quader **schachbrettartig** aneinanderlegen und die zusammenzuführenden Seitenflächen mit dem Hühnereigelb als Haftmittel bestreichen. Dann mit leichtem Druck zusammenführen. Die dabei entstehende (im Verhältnis) klei-

- kere Seitenfläche kann durch die Anzahl der zusammengeführten Quader beliebig gross gewählt werden.
9. Zusammengesetzte Quader an den kleineren Seitenflächen in 0.05 m dicke **Scheiben schneiden**.
  10. Stahlblech mit Papier mit Antihafbelag auslegen und Quaderquerschnitte mit **mindestens 0.01 m Abstand zu allen Seiten** zueinander darauf platzieren.
  11. Quaderquerschnitte mittig im Ofen für **0.17–0.25 h backen**. Die Backzeit steht in leichter **Abhängigkeit zum Flächeninhalt** der Querschnittsseite.  
Diese Kekse eignen sich hervorragend zum Erfreuen der Mitmenschen. In kleine Cellophantüten verpackt machen sie tolle Geschenke in der Adventszeit her.



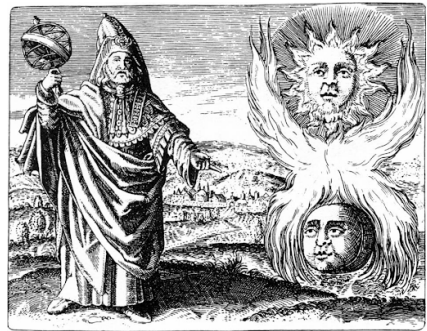
# Psychological Symmetry

## *The Alchemical Endeavour and the Discovery of the Self*

**Alexander Gibbert** The scientific method plays a fundamental role in most of the modern sciences. It has gained great respect over the centuries, and anyone who has ever been a part of the modern scientific enterprise knows very well that any claim made by a scientist will always need to be cross-examined by colleagues and peers. This part is vital as it allows for a theory/hypothesis not to be tainted with the biases of the individual and any other misconceptions that a given scientist might have conned themselves into believing. While we might not like to admit it, our work often has such personal components. Some of these can reveal otherwise quite conscious desires like beating a rival, getting prizes or other recognitions. Other insertions might instead reveal something quite different, not conscious attempts at imprinting matter but rather more unconscious forces.

In his early fifties, the Swiss psychoanalyst Carl Jung started to take an interest in the **forgotten work of the alchemists**. For the remaining thirty years of his life, Jung would study the long-forgotten alchemical texts of the Middle Ages with a particular passion. But this wasn't because Jung was some strange magician searching for the elixir of life or the famed philosopher stone. Jung had observed trends that he thought provided insight into the psychological evolution of mankind. He believed that they were part of what he saw as the missing link between the gnostic tradition of the late Roman period and the psychological state of his society. In his research, Jung would identify multiple archetypal motifs that seemed to indicate an unconscious search for psychological unity – a search that influenced the very theories

and methodologies of the alchemists.



### **From Hermes to Newton: A Brief Overview of the History of Alchemy.**

Alchemy has quite a convoluted and uncertain etymology. While the word leads back to the Arabic *al-kimiya*, there seem to be two possible origins. One comes from the Greek *Khymatos* (“to pour”), while the other comes from the old name for Egypt *Khemia* (“land of black earth,” i.e.,



drenched by the Nile). The traditional founder of the practice of alchemy is attributed to the mythological figure of **Hermes Trismegistus**. The symbolic origins of this figure are traced back to the Greek messenger god Hermes (Mercury in Latin) and the Egyptian god Thoth. Considered the author of the *Corpus Hermeticum*, there are even some accounts of him being taught by Moses or him teaching Moses (or both). Whatever the actual conditions of his life (if any), Hermes Trismegistus profoundly influenced the occult practices of the Hellenistic world. His philosophy – the aptly named hermetic movement – was an amalgam of preexisting philosophical movements ranging from Stoicism, Platonism/Neoplatonism, and even Epicureanism and well-established religious themes stemming from the melting pot of Hellenistic culture. In the *Corpus Hermeticum*, we find the “founding treatise” of alchemy, the fabled emerald tablet. In its pages, we find the most famous dictum, “as above, so below.” From here on, alchemy would encourage significant interest throughout the ancient and early medieval world, capturing the minds of many great Jewish, Christian and Muslim thinkers.

The history of alchemy has been divided by Jeffrey Raff<sup>[1]</sup> into three parts extending from the start of the Hellenistic period to the end of the sixteenth century. First, we

see Hellenistic alchemy (200 BC–600 AD), with its main contributions “coming” from Hermes himself. It is also worth mentioning that there was quite a widespread practice of signing one’s work, as written by Hermes Trismegistus. Next, we see the rise of Arabic alchemy (c. 600–1000 AD), which was most likely aided by the Muslim conquests and the subsequent discovery of Greek and Egyptian occult texts. One of the most illustrious Muslim alchemists was Jabir ibn Hayyan, considered the **father of Arab chemistry**. Lastly, we see Latin alchemy (1100–1700) likely triggered by the first crusades and the subsequent exposure of European cultures to Muslim alchemy. The fall of alchemy came definitively at the beginning of the 18th century with the work of Sir Isaac Newton, who dedicated the last thirty years of his life to its occult practices. John Maynard Keynes, an avid collector of Newton’s works, famously said that far from being the “first of the age of reason, he [Newton] was the last of the magicians.”

### The Alchemical Endeavour

Before we investigate the psychological side of alchemy, as identified by Jung, it might be prudent to expand on some of the key ideas and concepts on which the alchemical enterprise relied. The saying “as above, so below” has already been mentioned before, but there is another worth mentioning. This dictum is “In filth, it shall

be found.” This refers to the somewhat questionable habit of the alchemists of searching for the so-called *prima materia* in not particularly pleasant places. Some of their favourites included **faeces, urine and rotting meat**. One famous case was that of Hennig Brand, who in 1669, after distilling copious amounts of his own urine, was able to isolate the element Phosphorus (from the Greek “light-bringer”).



Not uncharacteristically, Jung saw this dictum as mirroring the idea that valuable personal insight (the psychological equivalent of gold) will be found where you least want to look. An idea that is commonly applied in exposure therapy, for example. Some alchemical texts also mention the holy grail as the subject of investigation, as well as the homunculus, the creation of a small human.

But if we think of the alchemical symbol

par excellence, it is, of course, the philosopher's stone. It was said to transform base metals into gold, give the elixir of life, and, in some rare cases, produce the *panacea* (universal cure for all illnesses), as well as the *alkahest* (a universal solvent). While these attempts failed, it is important to recognise that the alchemists were also interested in **spiritual as well as technical development**. This aspect was what interested Jung, and it is what we will discuss in the next part.

### Psychological Projection in Alchemical Theory

When we talk about alchemy in conjunction with Jung, it is important to outline the concept of Projection. Originally a term coined by Freud, Projection is the idea that human beings tend to attribute to reality ideas that aren't inherent. These are rather ideas that swell up from the unconscious of the on-looker. Jung makes a similar claim for Astrology and the zodiac, writing:

Astrology is a primordial experience similar to alchemy. Such projections repeat themselves whenever man tries to explore an empty darkness and involuntarily fills it with living form.<sup>[2]</sup>

Here, Jung also makes it quite clear that projection is an unconscious phenomenon and does not involve any active effort on the side of the alchemist. The aforemen-

tioned dictum “As above, so below,” or rather in this case, “As without, so within,” further illustrates the relationship between the perception of the external world and the internal spiritual nature of the practitioner. To illustrate this concept, we will now examine the various steps the alchemists would yield the philosopher’s stone.



In his book *Anatomy of the Psyche*, the Jungian analyst Edward Edinger outlines seven separate alchemical operations that lead to the philosopher’s stone. These are *Calcination*, *Solutio*, *Coagulatio*, *Sublimatio*, *Mortificatio*, *Separatio* and *Coniunctio*. Here, Edinger uses the Latin names of the various alchemical practices to illustrate psychological transformations. And so, as matter changed, so too would the practitioner’s psyche. The first, ***Calcination*, is linked to**

**the element fire.** The reason for this association was due to the strange ability of quicklime (CaO) to produce heat when water was added, hence also the Latin name *calx viva*. Fire is associated with the primordial instincts: with rage and passion. It is that which burns all to fine ash, leaving only the essence of that which was. *Calcinatio* is the psychological burning away of all that is not wholly true and pure. The second step, ***Solutio*, is linked to the element water.** It represents the transformation from solid to liquid. The conscious ego is immersed in the depth of the primordial waters of the unconscious. ***Coagulatio* has earth as its element** and is, in many respects, the opposite of *Solutio* as it represents the transformation from liquid to solid. It is the psychological equivalent of the return from the unconscious to surround oneself with the apparent solidity of the ego (conscious part of the self). ***Sublimatio*, attributed to the element air,** is the metaphorical freeing of the spirit. It is the chemical/physical transformation of matter into vapour, and so it is for the mind to separate itself from the body. While this is a liberating experience for the mind, it also has its dangers, as the mind might lose itself in higher ideals, neglecting the body. Incidentally, Jung believed that this was the fate of the German philosopher Friedrich Nietzsche, who, unable to descend from the intellectual heights, plunged into madness. The

next three processes do not have any explicit association with the four elements. **Mortificatio mirrors the act of death and rebirth**, thereby allowing the matter to pass through different stages of development. *Mortificatio* brings on the state of *nigredo* (blackness). This would either be an inherent state of the *prima materia* or a state to be reached. It is a state of utter darkness where spiritual death must occur in order to usher in a new light. According to Jung, the *nigredo* is the subject's encounter with the shadow. Out of this mass of confusion comes **the process of Separatio, where the subject becomes aware of the unconscious**, thereby transforming the singularity of the Self into the duality of the conscious and the unconscious. It is through this revelation that the subject receives a "baptism of truth," allowing the *nigredo* to transition to the *albedo* (whiteness), also known as the *cauda pavonis* (peacock's tail). The equivalent alchemical process was soaking the *nigredo* in certain solvents, thereby whitening the material. Out of this baptism comes the white that holds all colours, illustrating the final alchemical operation **Coniunctio, a union of opposites**, thereby making a new whole. The albedo is a state most associated with the moon's cold light (the planetary equivalent of silver) and was "highly prized by many alchemists as if it were the ultimate

goal."<sup>[2]</sup> The *albedo* is the light before the dawn, but in order to reach the sun, it was necessary to turn the substance into a new *nigredo* and to raise the literal (and metaphorical) fire to the highest intensity. From this emerged the *rubedo*, linked to the redness of the sun, representing the purest of all metals, gold. The *rubedo* is taken to be the philosopher's stone, thereby completing the psychological and alchemical journey of inner and outer fulfillment.

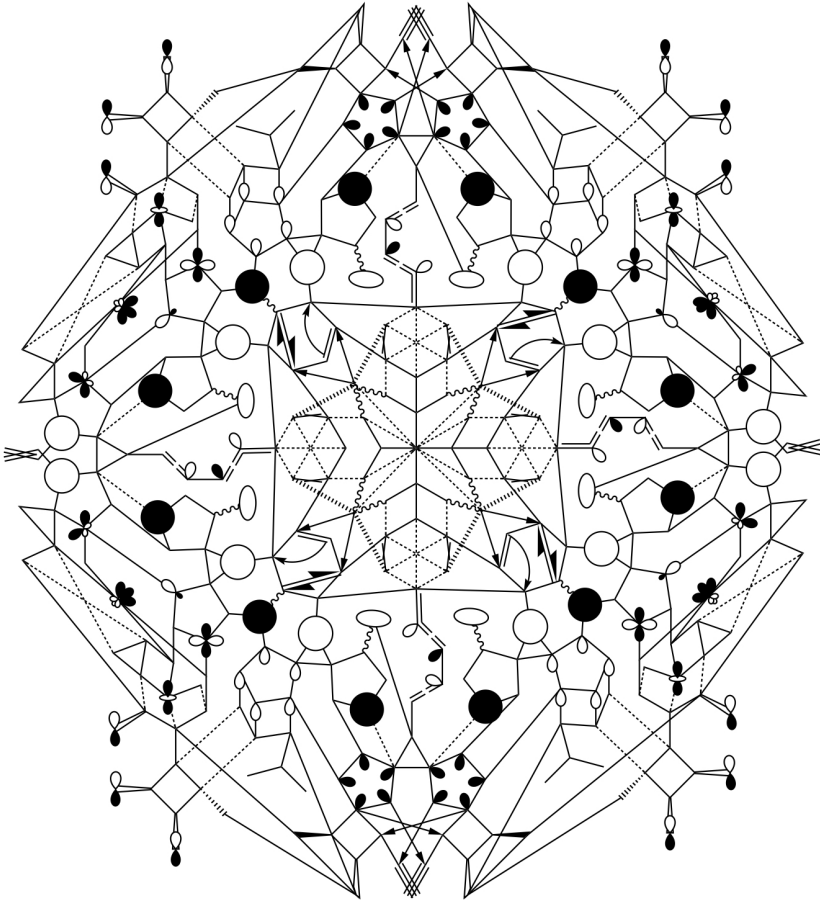
In this not-so-brief example, it is quite apparent that there are at least some striking parallels between the work done by the alchemists and the psychological development espoused by Jung. Of course, there are a million other examples of this type of phenomenon. And these can be found not only in alchemy. **From alchemy to astrology to archaic magic, these somewhat taboo occult practices still have psychological relevance in modern society.** Jung once said that "people don't have ideas, ideas have people." Maybe here we can see what he meant by this, and we might start to get an inkling of what lies beneath the murky waters of the unconscious mind.

### Bibliography

- [1] J. Raff, *Jung and the Alchemical Imagination*, Nicolas Hays, Inc., **2000**.
- [2] C. G. Jung, *Psychology and alchemy*, 2nd ed., Princeton University Press, Princeton, **1968**, pp. 232, 245.

# Mandala

Emma Tita



# Filmkritik

## Tenet

Silvan Zumbunn



<b>Titel</b>	Tenet
<b>Jahr</b>	2020
<b>Regie</b>	Christopher Nolan
<b>Laufzeit</b>	150 min

Die Symmetrie des Titels lässt schon erklären, warum genau dieser Film in unserer jetzigen *Exsikkator*-Ausgabe behandelt wird. Das Palindrom «Tenet» beschreibt im gleichnamigen Film eine Art Untergrundoperation nicht staatlicher Akteure, welche sich der Rettung der Welt widmet. Ein klassisches Thema eines Action-Thrillers und

als wäre das nicht Klischee genug, ist unser Protagonist natürlich Teil des Secret Service und unser Antagonist ist ein russischer Oligarch, welcher Waffen handelt.

Der Regisseur Christopher Nolan bringt jedoch seinen eigenen Twist in die schon etwas zu klassische Story des Filmes, denn wie der Titel schon impliziert, ist ein Hauptaspekt des Filmes die Symmetrie. Diese lässt sich im Film in Form von Zeitreisen wiederfinden. Jedoch nicht als reguläre Zeitreisen, sondern als Invertieren der Zeit. Dieses Phänomen wird im Film durch eine **Inversion der Entropie** erklärt, die Dinge rückwärts ablaufen lässt. Als Wissenschaftler wirkt diese Erklärung etwas unbefriedigend, jedoch ist sie überdurchschnittlich auf einer Hollywood-Erklär-Skala.

Der interessante Teil, der den Film in meinen Augen sehenswert macht, ist die Umsetzung dieser Zeitinversion. Mehrmals werden Szenen des Films einmal vorwärts und einmal rückwärts durchlaufen, dabei treten zuerst Fragen auf, welche später im Film durch die umgedrehte Szene erklärt werden. Der Zuschauer wird durch die Inszenierung gezwungen, sich mit dem Gesehenen auseinanderzusetzen und Zusammenhänge selbstständig zu sehen, anstatt diese einfach erklärt zu bekommen. Teilweise wird auch damit gespielt, dass nur ei-

ne der Szenen gezeigt wird und die andere implizit mitgedacht werden muss. Dies ist als Zuschauer etwas anstrengend, macht jedoch für mich den Reiz aus, überhaupt einen Film zu schauen.

Neben den Zeitreisen, welche zugegebenermaßen etwas Kopfschmerzen verursachen, ist auch für Enthusiasten schöner Bilder etwas zu sehen. Beeindruckend ist dabei, dass nur zu kleinen Teilen CGI (computer generated imagery) verwendet wurde. Wer sich dafür interessiert, sollte anschließend zum Film das Behind the Scenes Exclusive Video von Warner Bros. Pictures anschauen.

Nun zu meiner Filmempfehlung. Mir per-

sönlich hat Tenet sehr gefallen, es war wie ein James-Bond-Film mit schöneren Bildern und einem gewissen Twist. Die Actionszene sind durch die Zeitinversion anders und neu. Es fühlt sich jedoch leider ein bisschen so an, als wollte Christopher Nolan an Inception anknüpfen, was für mich etwas verkrampft herüberkam. Auch die Erklärung im Film, dass man am besten nicht alles verstehen sollte, finde ich persönlich unangenehm. Ist Tenet nun sehenswert? Definitiv. Ist er auf einem Level mit anderen Christopher-Nolan-Filmen? Leider nicht.



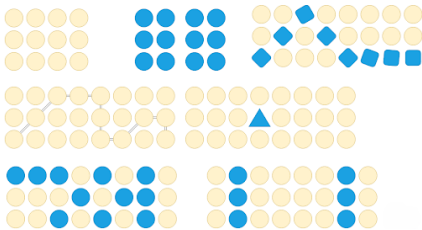
# Psychologie und Schach

Kenny Lay

## Gestaltpsychologie

### Einführung

Die Gestaltpsychologie ist ein Zweig der Psychologie, der sich mit der Wahrnehmung eines Individuums beschäftigt. Visuelle Eindrücke werden durch Strukturen und Ordnungsprinzipien interpretiert. Sie hilft dabei, gute von schlechten Lösungen zu unterscheiden und beispielsweise das Motiv in einem Gemälde hervorzuheben. Ich finde es spannend, ein Bewusstsein für die eigene Wahrnehmung zu entwickeln. **Unsere Sinneseindrücke sind dafür die zentrale Möglichkeit, mit der Umwelt zu interagieren.** Doch wie beeinflusst unsere Wahrnehmung nicht nur die Kunst, sondern auch andere Bereiche unseres Lebens?



### Gestaltpsychologie in der Praxis

Ein Beispiel für die praktische Anwendung der Gestaltpsychologie ist das Layout eines Artikels – wie diesem hier. Menschen orientieren sich an vertrauten Mustern, die ihnen unterbewusst Sicherheit geben. Ein konsistentes Layout, wie beispielsweise das des *Exsikkators*, schafft **Kohärenz, selbst wenn**

**die Autoren und Artikel unterschiedlich sind.** Die Gestaltpsychologie hilft also nicht nur dabei, Kunst zu interpretieren, sondern auch dabei, Informationen effektiv zu präsentieren.

In diesem Zusammenhang möchte ich zwei Gesetze der Gestaltpsychologie vorstellen, die besonders relevant sind.

### Das Gesetz der Nähe und Ähnlichkeit



Objekte, die räumlich nahe beieinander liegen, werden als **zusammengehörig** wahrgenommen. Nähe und Ähnlichkeit erzeugen Einheitlichkeit und erleichtern die Orientierung. Dieses Prinzip wird nicht nur in der Kunst angewendet, sondern auch im Design von Benutzeroberflächen oder der Organisation von Informationen, um eine klare Struktur zu schaffen.

### Das Gesetz der Symmetrie



Symmetrien wirken auf den Menschen ästhetisch ansprechend und **lenken die Aufmerksamkeit auf die Mitte.** Symmetrische Objekte werden schneller wahrgenommen und verarbeitet. In der Natur symbolisieren Symmetrien oft Gesundheit, weshalb symmetrische Gesichter als attraktiver gelten. In der Kunst und im Design ist Symmetrie



essenziell, um Ausgewogenheit und Harmonie zu erzeugen.

Diese Prinzipien zeigen, wie die Wahrnehmung des Menschen bewusst gelenkt werden kann. Sie können nicht nur dabei helfen, visuelle Eindrücke zu optimieren, sondern auch dabei, Probleme zu lösen. Dies wird besonders deutlich, wenn wir uns mit der Psychologie des Schachs beschäftigen.

### Psychologie des Schachs

Schach ist viel komplexer, als man auf den ersten Blick denken könnte. Man kennt immer noch nicht alle möglichen Spiele, die gespielt werden können. Theoretisch gibt es **zwischen  $10^{111}$  und  $10^{123}$  mögliche Schachpartien**. Bis heute hat man keinen Schachcomputer, der perfekte Spielzüge berechnen kann. Die Approximationen werden immer besser, aber Perfektion ist noch nicht erreicht. Wie gehen Menschen und Maschinen mit dieser Komplexität um?

Schachcomputer brechen grosse Problemstellungen auf einfachere Abschnitte herunter, um ihre begrenzte Rechenleistung maximal effizient zu nutzen. Doch bedeutet das, dass Menschen zunehmend robotischer spielen?<sup>[1]</sup>

### Menschliches Denken im Schach

Ich hatte die Gelegenheit, **Anish Giri** diese Frage zu stellen. Giri erklärte, dass Schachcomputer heutzutage eine zentrale Rolle bei der Entwicklung von Eröffnungen und

Theorien spielen. Manche «Lines» (Sequenzen von Spielzügen) werden auswendig gelernt und genauso gespielt, auch wenn der Spieler sie nicht völlig versteht. Sobald jedoch ein Zug ausserhalb der Vorbereitung gespielt wird, endet das «robotische» Schach und das Spiel wird wieder spannend und unvorhersehbar.

Schach ist nicht nur ein Spiel, sondern auch ein **Fundament der Lernpsychologie**. Die Stärke eines Spielers wird durch die Elo-Zahl quantifiziert, was eine Einschätzung ihrer Expertise ermöglicht. Forschungen zeigen, dass Grossmeister keine Genies sind, sondern besonders effektiv lernen. Sie erkennen durch Erfahrung viele Muster wieder, was ihnen ermöglicht, Probleme schneller zu lösen. Dieser Prozess der Mustererkennung erinnert an Prinzipien der Gestaltpsychologie.

### Mustererkennung im Schach

Laut Giri hilft ihm die Mustererkennung oft, gute Züge schnell zu finden, jedoch kann sie auch täuschen. Ein Grossteil der Zeit in einem Schachspiel wird genutzt, um **Züge zu hinterfragen**, die besten Antworten des Gegners vorausszusehen und die Position zu evaluieren. Grossmeister berechnen dabei nicht alle denkbaren Möglichkeiten, sondern konzentrieren sich auf jene, die aufgrund ihrer Erfahrung relevant erscheinen. Diese «Kandidatenzüge» bilden die Grundlage der kurzfristigen Taktik.

Aber wie entwickelt man eine Strategie, ohne zu viele Berechnungen anzustellen? Hier kommen die Prinzipien von Symmetrie und Asymmetrie ins Spiel.



### Symmetrie und Asymmetrie in der Schachstrategie

Symmetrie und Asymmetrie sind Schlüsselkonzepte in der Schachstrategie. Ein Beispiel: Weiss hat auf dem Damenflügel (links) mehr Raum eingenommen, und die c-Linie ist offen. Ein langfristiger Plan könnte sein, diese Linie zu nutzen, indem ein Turm dorthin gezogen wird, um Schwarz einzuschränken.

Die Frage «Was ist anders für Weiss und Schwarz, und wo liegen die Schwächen in der Stellung des Gegners?» hilft dabei, **strategische Pläne zu entwickeln**. Dieses strategische Denken zeigt, wie ein Bewusstsein für Symmetrien und Asymmetrien das Denken verbessern kann.

### Konklusion

Gestaltpsychologie und Schach verdeutlichen, wie Wahrnehmung sowie Mustererkennung unser Denken und Handeln prägen. Die Prinzipien der Gestaltpsychologie helfen nicht nur dabei, unsere Umgebung besser zu verstehen, sondern können auch praktisch eingesetzt werden, um visuelle Eindrücke gezielt zu gestalten. **Schach wiederum zeigt, wie systematisches Lernen und die Nutzung von Erfahrung zu besserem Denken und strategischen Entscheidungen führen können**. Beide Themen laden dazu ein, bewusster über die eigene Wahrnehmung nachzudenken und sie aktiv zu nutzen, um komplexe Herausforderungen zu bewältigen.

### Quellen

- [1] P. Kiernan, «Which is greater? The number of atoms in the universe or the number of chess moves?», zu finden unter <https://www.liverpoolmuseums.org.uk/stories/which-greater-number-of-atoms-universe-or-number-of-chess-moves#> (abgerufen 20. Nov. 2024).
- [2] S. Mos, «Gestaltpsychologie und visuelle Wahrnehmung – 9 Gesetze im UX-Design», zu finden unter <https://medium.com/@soniamos/gestaltpsychologie-und-visuelle-wahrnehmung-9-gesetze-im-ux-design-23f35ed7aff1>, **2019** (abgerufen 20. Nov. 2024).
- [3] W. G. Chase, H. A. Simon, in *Visual Information Processing*, Academic Press, New York, **1973**, S. 215–281.

# Prof. Dr. Exsikkator – Sprechstunde

*Was auch immer dich bewegt – wir sind für dich da*

## Prof. Dr. Exmeralda Exsikkator

### Marie (21, Chemie) fragt:

Meine grosse Liebe, die der Mathe studiert, hat mich neulich betrogen. Ich bin am Boden zerstört und weiss nicht, wie ich weitermachen soll. Kannst du mir Tipps geben?

Liebe Marie

Das tut mir aufrichtig leid, du hast Besseres verdient! In meiner Erfahrung ist Distanzierung und vor allem Rache der beste Weg, um über ein Break-Up hinwegzukommen. Dafür würde ich als ersten Schritt einen Info-Studenten anheuern, um die Raumeinteilung zu manipulieren und ihn dann endgültig ins Zentrum zu verbannen #outofsightoutofmind. Um ihn dort zu treffen, wo es weh tut, solltest du auch alle Konstanten in seinem Taschenrechner ändern. Nach der nächsten Prüfung bist du ihn dann endgültig los.

Die beste Rache ist aber natürlich immer noch ein post-break-up glow-up, also sei nicht zu bedrückt, fokussiere dich auf dich selbst und er wird alle seine Entscheidungen bereuen.

P.S.: Versuchs nächstes Mal vielleicht mit jemandem aus der VCS 😊

Alles Liebe

Prof. Dr. Exsikkator

### Josef (19, PC-N) fragt:

Ich gehe super gerne auf die PKK-Events. Am nächsten Morgen bin ich dann aber immer so fertig, dass der ganze Tag zum Vergessen ist. Kannst du mir Ratschläge geben, wie ich auch nach einer langen Nacht am nächsten Tag fit bin?

Lieber Josef

Erstmal möchte ich sagen, dass ich sehr stolz darauf bin, dass du so tatkräftig an den PKK-Events teilnimmst. Sehr vorbildlich! Um schon am Abend dem leidvollen Erwachen vorzubeugen, empfehle ich eine grosse Tasse Gemüsebrühe. Damit hast du wieder alle Nährstoffe, die du brauchst in deinem Körper. Auch solltest du einfach direkt am nächsten Morgen um 7:45 eine Vorlesung oder Übung besuchen, denn nichts bringt dich schneller wieder auf die Beine wie eine gesunde Dosis Chemie. Der Besuch eines Praktikums und womöglich das Einatmen ein paar erfrischende Ammoniak-Dämpfe könnten dir auch sicherlich helfen, wieder hellwach zu werden.

Viel Spass beim nächsten Event, ich hoffe, ich sehe dich dort und auch in der Vorlesung am nächsten Tag 😊

Liebe Grüsse

Prof. Dr. Exsikkator

**Tim (23, BCB) fragt:**

Ich habe nach Jahren an der ETH und einem weiteren Abend Pesto Pasta genug von dieser strengen Diät. Bitte verrate mir, wie ich mich besser ernähren kann!

Lieber Tim

Durch diese Ära muss jeder Student einmal durch, aber es ist gut, dass du deine kulinarischen Künste weiterentwickeln möchtest. Am einfachsten ist es natürlich, die Wahl deines nächsten Partners, auf deren Kochfähigkeiten zu basieren. Dann sparst du nicht nur Zeit, sondern auch Geld; deren Kühlschrank ist dein neuer Coop. Wo wir schon beim Thema sind, Coop to-go ist dein treuer Retter in (Hunger-)Not. Rezepte sind ja schliesslich auch nur chemische Versuchsanleitungen; stell dir einfach vor, deine Küche ist nun das Labor.

Aber vergiss nicht, wer dich durch die ersten Jahre deines Studiums gebracht hat und wende dem altvertrauten Pesto nicht den Rücken zu.

Liebe Grüsse  
Prof. Dr. Exsikkator



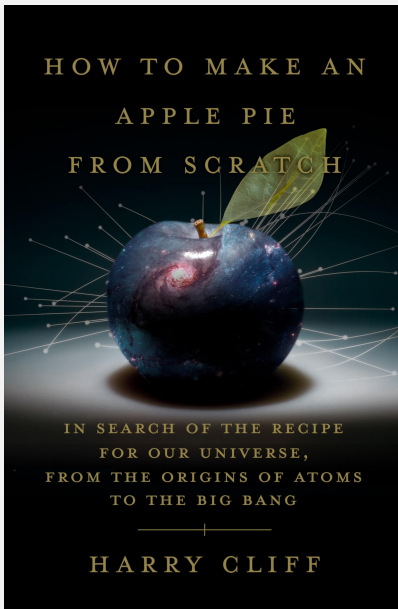
**Abbildung 18.1:** Prof. Dr. Exmeralda Exsikkator ist Professorin am Institut für Molekulare Physikalische Wissenschaft und am Laboratorium für Physikalische Chemie am D-CHAB und forscht daran, Schrödingers Katze zu retten und aus Studierenden das chemische Potential  $\mu_i$  herauszukitzeln. In ihrer Freizeit surft sie Wellengleichungen im Zürichsee und unterstützt beim Exsi Studierende mit ihrer Erfahrung.



# Buchkritik

## *How to Make an Apple Pie from Scratch: In Search of the Recipe for Our Universe*

**Nonô Saramago**



<b>Titel</b>	<i>How to Make an Apple Pie from Scratch: In Search of the Recipe for Our Universe</i>
<b>Jahr</b>	2021
<b>Autor</b>	Harry Cliff
<b>Umfang</b>	385 Seiten

Ich bin mir sicher, dass wenn du gerade hier bist, an der ETH studierst und diesen Exsikkator liest, du, wie ich, eine inhärente Neugierigkeit darüber hast, wie die Welt, in

ihren feinsten und verwickelten Mechanismen, funktioniert, und wieso sie so ist, wie sie ist. Wenn du dich schon mit dieser Frage beschäftigt hast, dann musst du dich irgendwann auf **Teilchenphysik** stürzen, die Wissenschaft des Kleinsten und Grundlegendsten, was wir über unsere Welt wissen. In meiner Schule gab es im Laborgang ein Poster mit dem «Periodensystem» der Teilchen vom Standardmodell, das das Higgs-Boson damals noch gar nicht enthielt. Seitdem ich sehr jung war und durch diesen Gang ging, wo ich noch gar keinen Unterricht hatte, schaute ich mir dieses Poster an und meine Gedanken füllten sich mit Wundern. Ich freute mich auf den Tag, an dem ich verstehen würde, wie all diese abstrakten Teilchen in einem konkreten und essbaren Apfel resultieren.

Ich weiss nicht genau, woher diese **Fixation von Physikern mit Äpfeln** kommt ... sie müssen echt viel Angst vor Ärzten haben! In Carl Sagens berühmter und bahnbrechender populärwissenschaftliche Serie *Cosmos: A Personal Voyage*, deren Veröffentlichung eines der ersten Male war, an denen Astrophysik für ein breites Publikum zugänglich gemacht hat, beginnt er mit dem eindrucksvollen Zitat: «If you wish to make an apple pie from scratch, you

must first invent the universe.» Später erweitert er noch: «The nitrogen in our DNA, the calcium in our teeth, the iron in our blood, the carbon in our apple pies were made in the interiors of collapsing stars. We are made of starstuff.»

Diese Aussagen haben den Teilchenphysiker Harry Cliff inspiriert, eines der bestgeschriebenen populären Physikbücher zu verfassen, die ich je gelesen habe. Mit dem ehrgeizigen Ziel, von Grund auf und unterhaltsam kompletten Laien zu erklären, **woraus Materie aufgebaut ist**, geht er durch das fundamentale Rezept einer Apfeltorte und sinkt Schritt für Schritt in die Theorie des Kleinsten. Am Ende dieser Reise versteht man, was Carl Sagan damit meinte: Wenn man eine Apfeltorte echt ganz aus dem Nichts machen will, also die Materie selbst, wovon sie zusammengesetzt ist, erzeugen will, braucht man ein ganzes Universum, einen Big Bang, Sterne, und Tausende von Jahren. Somit endet auch<sup>1</sup> dieses Buch mit dem Rezept der Apfeltorte, das mit der folgenden Beschreibung beginnt: «Serves eight. Preparation time 13.8 billion years.»

Obwohl ich inzwischen realisiert habe, dass ich nicht Teilchenphysikerin werden könnte, weil es mir zu anwendungsfern ist, hat mich meine Neugier und Wunder für die Teilchen- und Astrophysik nie verlassen. Ich habe immer noch ein Poster vom Standard-

modell in meinem Zimmer aufgehängt, neben dem Periodensystem der Elemente, einem Poster mit biochemischen Pathways und der Tabelle der deutschen Deklinationen. Die Entscheidung, im Buchladen auf dem London-Austausch gerade dieses Buch zu kaufen, bereue ich nicht.

Auf unserem Rückflug nach Zürich hatte ich schon garantierte Unterhaltung. Die ersten drei Kapitel habe ich durchgeblättert und Stücke hier und da gelesen, denn **der Inhalt war mir als Zweiti schon sehr bekannt**. Es ging nämlich um Atome und Elemente und diese grundlegenden chemischen Sachen. Es war gerade dieses Kapitel, das mich erstaunt hat: Obwohl ich nichts wissenschaftliches Neues gelernt habe, war es fern von einer Zeitverschwendung. Das Buch war amüsant und intelligent geschrieben, mit einer gelungenen Abwechslung zwischen interessanten Anekdoten und wissenschaftlichen Erklärungen. Obwohl ich diese Erklärungen nicht selbst brauchte, um die Geschichten zu verstehen, erkannte ich, wie gut sie für jemanden, der das noch nie oder vor langer Zeit gelernt hat, wären.

Weiter hat Cliff über die Grundlagen der Quantenmechanik gesprochen, beispielsweise, wie wir gefunden haben, dass alle Elemente, die schwerer als Helium sind, in den Sternen erzeugt werden müssen, mit einer sehr guten Erklärung von Quantum

<sup>1</sup> Spoiler Alert.

Tunneling und mehreren persönlichen Geschichten von seiner wissenschaftlichen Karriere. Langsam kam es zu Themenbereichen, von denen ich selbst nur gelegentlich etwas gehört hatte, wie die Dirac'sche Gleichung, mit der die Existenz von Antimaterie das erste Mal angedeutet wurde.

Die ästhetische Idee der Symmetrie ist die Basis für unglaublich vieles in der Teilchenphysik. Es gibt mehrere von Cliff erzählte Beispiele in der Geschichte dieser Wissenschaft, wo die Suche nach Symmetrien Wissenschaftler erlaubt hat, verrückte Theorien vorherzusagen, bevor sie überhaupt experimentell bewiesen würden. Zum Beispiel, die Existenz von Quarks wurde theoretisiert, um die bisher unerklärte Vielfältigkeit neuer Hadronen, – Teilchen wie Protonen und Neutronen – die gemessen wurden, zu erklären. Physiker haben gemerkt, dass befriedigender Weise alle diese Hadronen durch eine Symmetriegruppe<sup>2</sup> beschrieben und nach Eigenschaften organisiert werden könnten, wenn jeder aus einer Kombination dreier Quarks bestünde. Dafür müsste es 6 Arten von Quarks geben: Up, Down, Top, Bottom, Strange und Charm, sowie ihre respektiven Antipartikel. Mit dieser Theorie konnten die fehlenden Hadronen, die noch nicht gemessen wurden, vorausgesagt werden. Die Quarks selbst

wurden später auch experimentell bewiesen, das war aber eine schwierige Aufgabe, weil diese Grundteilchen nie alleine vorkommen. Rate mal, das kann man auch durch ihre Symmetrie erklären.

Das Higgs-Boson, das 2013 endlich gefunden wurde, und der Hauptgrund, wieso der Large Hadron Collider (LHC) am CERN, der grösste Teilchenbeschleuniger der Welt, gebaut wurde, wurde auch prophezeit, um ein **Paradox im Standardmodell** zu erklären: Die Teilchen, die für die schwache Kraft verantwortlich sind, –  $Z^0$ -,  $W^+$ - und  $W^-$ -Bosonen – müssten masselos sein, um durch die Symmetriegruppe beschrieben zu werden, die überhaupt benutzt wurde, um diese schwache Kraft zu entdecken. Das einzige Argument dafür, wieso die schwache Kraft so ... schwach ist, wären grössere Massen für diese Bosonen, weswegen es ein neues Feld geben müsse – das Higgs-Feld – der diesen Teilchen Masse geben könnte. Ich meine, Cliff ist aber, als jemand, der sogar am LHC gearbeitet hat, auch wenn nicht direkt auf der Suche für den Higgs-Boson, eine bessere Person, um das alles zu erläutern.

Doch Cliffs beste Erklärung in Bezug von Symmetrie, und ein wundervolles Beispiel seiner Genialität als Wissenschaftskommunikator, ist, wieso Symmetrie für das Vor-

<sup>2</sup> Für mehr über Gruppentheorie und Symmetriegruppen, verweise ich euch zu Farkas' Artikel über Charaktertafeln und Raphaels Artikel über Repräsentationstheorie, beide in dieser selben Ausgabe

<sup>3</sup> Um mehr darüber zu wissen und eine formellere aber unterhaltsame Erklärung des Noether-Theorems zu

handen aller Naturkräfte selbst zuständig zu sein scheint.<sup>3</sup> Die Metapher geht wie folgt: Stelle dir ein Fussballfeld vor, das im Raum schwebt. Transformationen, wie jegliche Translation des Feldes durch den Raum, haben keinen Effekt auf das Spiel. Man kann das Spiel vor und nach der Translation nicht unterscheiden, also ist es symmetrisch bezüglich solcher Transformationen. Jedoch ist es nicht symmetrisch bezüglich einer Rotation, die die Steigung des Feldes ändert (angenommen, in unserem Beispiel ist die Schwerkraft wie bei einem Fussballspiel auf der Erde). Das könnte ein Team begünstigen, weil es bergauf läuft, während das andere bergab laufen muss. Die Symmetrie könnte aber beispielsweise wiederhergestellt werden, wenn ein starker Wind gegen das zuvor bevorzugte Team geblasen wurde. So eine **Kraft** kann die Symmetrie wiedererlangen. In einer ähnlichen Weise ergeben sich das elektromagnetische Feld und alle anderen Felder der Quantenfeldtheorie und ihre Kräfte als logische Konsequenz, um das Verhalten der beteiligten Teilchen auf gewisse Transformationen symmetrisch zu machen.<sup>4</sup>

Und wenn du meinst, dass das schon genug von Symmetrie ist, think again! Denn Cliff geht weiter durch alle Arten und Weisen, die Physiker benutzt haben, um mit **«Verletzungen» dieser heiligen Symme-**

**trie** umzugehen. Wie «Spontaneous Symmetry Breaking»: Die Symmetrie ist am Anfang da, sie wird aber durch zufällige Prozesse in verschiedene Bereiche in verschiedene Richtungen verschoben. Zum Beispiel: Zwei Gruppen Wanderer treffen sich auf einem Weg, die Gruppen können sich (abgesehen von kulturellen Vorschriften) mit gleicher Wahrscheinlichkeit links oder rechts kreuzen, die Situation ist symmetrisch. Wenn die erste Person sich entscheidet, nach links zu gehen, folgt der Rest, die Symmetrie wurde gebrochen.

Oder «Charge Parity (CP) Symmetry», die benutzt wurde, um zu erklären, wieso «Parity Symmetry» gebrochen wurde, und dann «Charge Parity Time (CPT) Symmetry», als CP-Verletzungen auch gefunden wurden. Das Brechen dieser letzten Symmetrie wurde glücklicherweise bisher noch nicht festgestellt. Diese Konzepte sind mit einer der heutigen grössten Geheimnisse des Universums: wieso es mehr Materie als Antimaterie gibt.

Den letzten Teil dieses Buches habe ich erst viel später gelesen, während meiner Reise nach Südafrika diesen Juli. An einem Punkt macht Cliff den Disclaimer, dass die folgenden Theorien noch nicht nachgewiesen wurden: Er spricht von «Science in Progress», was für einen populärwissenschaftlichen Autor sehr mutig, aber auch

---

lesen, empfehle ich Raphaels Artikel dazu im Fluss-Exsi

<sup>4</sup> Mehr über Gauge Symmetry in Raphaels Artikel in dieser Ausgabe



sehr spannend ist! Es war ein komisches Gefühl, die makroskopischen Naturwunder eines mir zuvor unbekanntes Kontinents zu erkunden, wo ich auf atemberaubende Orte stiess, und am selben Tag über die Wunder der mikroskopischen Physik zu lesen, und zu verstehen, dass wir gar nicht verstehen, wieso diese herrliche Welt, die ich sah, so ist wie sie ist.

Denn **die Teilchenphysik ist in einer Krise**. Seitdem das Higgs endlich experimentell gemessen wurde, sind nur mehr Fragen aufgetaucht. Es scheint, als ob die ganze Welt wie sie nur aus einem **reinen unvorstellbaren Zufall** überhaupt existiert. Denn aus allen möglichen Werten hat das Higgs-Feld genau die richtige Grössenordnung, einen sogenannten Goldlückchenwert, der es erlaubt, dass Atome bestehen. Und alle möglichen Versuchen, dieses «Hierarchie-Problem» sowie andere aktuelle fundamentale Fragen der Physik anzudeuten, wie die Einführung vom Multiversum, von zusätzlichen Dimensionen, oder die Theorie der Supersymmetrie, sind bis jetzt gescheitert. Hinweise, die schon gefunden worden hätten sollten, sind aber nicht da.

Es gibt aber schon etwas Komisches in den Experimenten: Werte, die nicht genau verstanden werden. Sind es Hinweise einer neuen Symmetrie? Sind es einfach statistische Schwankungen? Von Cliff als «Anomalien» bezeichnet, sind sie die neue Hoff-

nung der Teilchenphysik für weitere Fortschritte in der Entwicklung einer Theorie von allem.

Die Mathematik hat sich für eine sehr lange Zeit überraschend effektiv gezeigt, um experimentelle Entdeckungen vorherzusagen. Nach absoluten Erfolgsgeschichten wie der allgemeinen Relativitätstheorie, der Dirac'schen Theorie und des Standardmodells war das Vertrauen der Physiker an die **Kraft und die Schönheit der Mathematik** am Anfang dieses Jahrhunderts an ihrem Höhepunkt. Ist diese Zeit vorbei? Werden die aktuellen Fragen der Teilchenphysik irgendwann gelöst?

Das Buch endet mit solchen bittersüssen Provokationen: Das reduktionistische Paradigma ist falsch. Man kann nicht alles über die Welt verstehen, nur in dem man tiefer und tiefer zoomt. Es werden neue spannende Projekte und Teilchenbeschleuniger für die Zukunft geplant, die vielleicht die jetzigen Fragen beantworten. Aber wir müssen uns dafür vorbereiten, dass man nichts mehr findet. So ein Ergebnis für das aktuelle Paradigma der Teilchenphysik auf den Kopf stellen. Aber vielleicht ist so eine Revolution, die wir brauchen, um weiterzukommen. Denn ein Ding ist klar: Die Natur hat noch sehr vieles in seinen mysteriösen Arbeitsweisen, um uns zu überraschen: Wir müssen einfach weiter suchen!

## Fazit

Es ist der Fluch der populären Wissenschaft, dass man nie alle befriedigen wird. Experten werden sich immer wegen grober Vereinfachungen nerven, Laien werden sich immer technisch überwältigt fühlen. Hauptsächlich, wenn man über Sachen redet, die noch an der Grenze des Unbekannten sind. Seien wir froh: Wenn Wissenschaft so einfach erklärt werden könnte, was würden wir denn alle hier machen, drei Jahre lang Chemie zu studieren? Aber man sollte es trotzdem versuchen: Die Rolle der Wissenschaftsveröffentlichung ist meiner Meinung nach auf Messers Schneide zu laufen, so dass man die Neugier des Publikums erweckt, mehr darüber zu lernen, oder ihnen zumindest zeigt, wie viel Arbeit dahin fließt ist, dass wir all das wissen, was wir heute wissen. Und wie viel Arbeit immer noch dahin fließt und fließen werden muss. Ist es nicht absolut fantastisch, dass wir sehr wahrscheinlich nie alles über die Welt genau wissen werden?

Harry Cliff ist erfolgreich in dieser Balanceübung, indem er nicht versucht, die ganze Physik in einem einzigen Buch beizu-

bringen, sondern nur genug, um seine Geschichten zu verstehen. Denn der Kern dieses Buches sind die Geschichten, die erzählt werden – persönliche Geschichten und die Geschichte der Physik selbst. Also wenn du Teilchenphysik lernen willst, die wirkliche Physik, dann besuche am besten eine langweilige Vorlesung darüber, du bist hier an der ETH am richtigen Platz, richtiger bist du nur in Genf. Wenn du aber verstehen willst, wie dieses Wissen aufgebaut wurde und einen Überblick des «Rezepts» des Universums bekommen willst, in einer **leichten und inspirierenden Art und Weise**, dann kannst du mit diesem wundervollen Buch nichts falsch machen.

Jetzt komme ich zu Harry Cliffs neuem Buch, «Space Oddities: The Mysterious Anomalies Challenging Our Understanding of the Universe», das dieses Jahr erschienen ist. Ich freue mich sehr auf das Lesen dieser neuen Geschichte und auf das Lachen und die Inspiration, die ich damit sicher auch bekommen werde.



# Horoskop

## Donata Giuliani, Olga Palffy und Leonard Hummer

### Chemie

Die Chemikalien im Praktikum haben sich zu deinen Gunsten verbunden. Dein Semester wird exotherm enden und eine erfolgreiche Prüfungsphase steht dir bevor. Auch dein momentaner Stress wird sich in den nächsten Monaten lösen – wie Kupfersulfat in Wasser.

### BCB

Wie eine komplexe Molekülstruktur bist du derzeit sehr belastet mit deinen Verantwortungen. Doch wenn du dir ein gutes Unterstützungssystem, wie die IUPAC, zum Entziffern der Verbindung findest, kannst du dein Studium besser strukturieren und mehr Zeit für deine Hobbys finden.

### ChemIng

Das Semester neigt sich dem Ende zu, doch du beharrst wie ein Edelgas. Stoisch verfolgst du weiter den akademischen Erfolg und lässt dich nicht von deinem Umfeld zu Nebenreaktionen katalysieren. Selbst in deinem Liebesleben wird dir deine Ruhe von Vorteil sein und dich auf den richtigen Pfad schicken.

### Bio-N

Deine Probleme erscheinen derzeit gestapelt wie die DNA. Doch mit ein wenig Planung kannst du sie, wie die Helikase, in kleinere Schritte zerteilen. So steht deinem Er-

folg nichts im Wege, und du wirst dein Studium gelassener fortsetzen.

### PC-N

Die Gravitationsfelder warnen: Pass auf, in welche Äquivalenzklasse du gerätst – manche Dinge lassen sich nur schwer zurückführen. Du hast lange alle Reibungskräfte vernachlässigt, aber damit du in der Prüfungsphase nicht dafür büßen musst, nimm dir Zeit, um deine Work-Life-Balance zu reevaluiieren und komme zurück zu deinem Massenmittelpunkt.

### Master

Viele Einflüsse wirken auf dich wie Licht auf ein Atom. Du befindest dich in einem höheren Energieniveau und musst diese Extrabelastung loswerden. Doch passe auf, auf wen oder was du deine Energie fokussiert und vergesse nicht, auch auf dich selbst zu achten.

### Erstis

Die Finger des HCl sind ausgerichtet und du wirst Neues am Campus erleben. Überspringe kein Event der VCS, denn dort wirst du eine augenöffnende Erkenntnis über dein Liebesleben haben und vielleicht sogar deinen nächsten grossen Schwarm kennenlernen.



# Impressum



## **Chefredaktion**

Samira Neff [exsi@vcs.ethz.ch](mailto:exsi@vcs.ethz.ch)

## **Vize-Chefredaktion**

Léona Dörries, Nonô Saramago

## **Cover**

Barbara Bönnhoff

## **Layout**

Samira Neff

## **Lektorat**

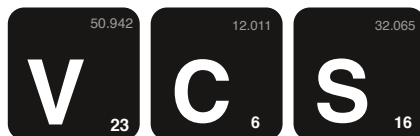
Léona Dörries, Kenny Lay, Samira Neff,  
Richard Walter

## **Redaktion**

Fiona Buchholz, Alexander Gibbert,  
Donata Giuliani, Luise Hahne, Simon Hauser,  
Leonard Hummer, Farkas Kulcsár,  
Kenny Lay, Aurora Leuenberger,  
Lara Moser, Olga Palffy, Leif Sieben,  
Emma Tita, Samuel Wechsler,  
Raphael Zumbrunn, Silvan Zumbrunn

## **Anschrift Re(d)aktion**

Vereinigung der Chemiestudierenden  
ETH Hönggerberg  
Postfach 84  
Wolfgang-Pauli-Strasse 9  
CH-8093 Zürich



**vcs**eth **Fachverein**  
Verband der  
Studierenden  
an der ETH