

# Quantenkunst

## Konzeptualisierung, Inspiration und mögliche Realisierungen

[http://tph.tuwien.ac.at/~svozil/publ/  
2024-Svozil-Duesseldorf-pres.pdf](http://tph.tuwien.ac.at/~svozil/publ/2024-Svozil-Duesseldorf-pres.pdf)

Karl Svozil

Institut für theoretische Physik der TU Wien  
[svozil@tuwien.ac.at](mailto:svozil@tuwien.ac.at)

Mittwoch, 5. Juni 2024, im Rahmen der "Ringvorlesungen  
Sommer '24" 17.04.-10.07.22 an der Hochschule Düsseldorf,  
Düsseldorf am Rhein

# Physikalische Kategorienbildung // Konstruktion der physikalischen “Realität”

- Heinrich Hertz, “Die Prinzipien der Mechanik”, 1894, Einleitung  
(<https://archive.org/stream/dieprinzipiende00hertgoog>):  
“Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die dennotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. Damit diese Forderung überhaupt erfüllbar sei, müssen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sein zwischen der Natur und unserem Geiste. Die Erfahrung lehrt uns, dass die Forderung erfüllbar ist und dass also solche Übereinstimmungen in der Tat bestehen.”

# Physikalische Kategorienbildung // Konstruktion der physikalischen “Realität”

- Heinrich Hertz, “Die Prinzipien der Mechanik”, 1894, Einleitung  
(<https://archive.org/stream/dieprinzipiende00hertgoog>):  
“Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die denotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. Damit diese Forderung überhaupt erfüllbar sei, müssen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sein zwischen der Natur und unserem Geiste. Die Erfahrung lehrt uns, dass die Forderung erfüllbar ist und dass also solche Übereinstimmungen in der Tat bestehen.”
- “Eine (physikalische) Kategorie besteht aus Objekten [[(Schein-)Bilder oder Symbole]] und deren Beziehungen [[Folgen]] zueinander.”

# Ontologische Sicherheit vs. Schock

- Ronald David Laing "Ontologische Sicherheit", in *The Divided Self* 1960 im psychotherapeutischen Kontext, (<https://www.bbc.com/news/uk-scotland-38816660>) and Anthony Giddens 1991 (<https://www.linkedin.com/pulse/brief-history-ontological-shock-unhidden-org>):  
"... ein Gefühl von Ordnung und Kontinuität in der Art und Weise, wie ein Individuum die Welt sieht. Sinn wird durch das Erleben positiver und stabiler Emotionen und durch die Vermeidung von Chaos und Angst gefunden."

# Ontologische Sicherheit vs. Schock

- Ronald David Laing “Ontologische Sicherheit”, in *The Divided Self* 1960 im psychotherapeutischen Kontext, (<https://www.bbc.com/news/uk-scotland-38816660>) and Anthony Giddens 1991 (<https://www.linkedin.com/pulse/brief-history-ontological-shock-unhidden-org>):  
“... ein Gefühl von Ordnung und Kontinuität in der Art und Weise, wie ein Individuum die Welt sieht. Sinn wird durch das Erleben positiver und stabiler Emotionen und durch die Vermeidung von Chaos und Angst gefunden.”
- John Mack 1994 “ontologischer Schock”: Wenn ein Ereignis eintritt, das nicht mit dem Sinn des Lebens eines Menschen übereinstimmt, bedroht dies die ontologische Sicherheit des Einzelnen, und mittelbar der Gesellschaft.

# Quantenmechanik als ontologischer Schock

Max Planck verließ um 1900, im fin de siècle, (s)eine ontologische Sicherheit — und damit die Sicherheit der Belle Époque  
(<https://www.wissenschaft.de/allgemein/ein-akt-der-verzweiflung>)

“Kurz zusammengefasst kann ich die ganze Tat als einen Akt der Verzweiflung bezeichnen”,

schrrieb Planck rückblickend in einem Brief vom 7. Oktober 1931 an den amerikanischen Experimentalphysiker Robert Williams Wood.

“Denn von Natur bin ich friedlich und bedenklichen Abenteuern abgeneigt. Eine theoretische Deutung musste um jeden Preis gefunden werden, und wäre er noch so hoch.”

# Quantenausdrückbarkeit I: Boolesche Algebren *versus* geometrische, vektorielle Mittel

- Klassische Musik ist in Begriffen klassischer physikalischer Zustände, die auf Booleschen Algebren, Potenzmengen, mengentheoretischen Vereinigungen, Schnittmengen, Komplementen basieren, formuliert.

# Quantenausdrückbarkeit I: Boolesche Algebren *versus* geometrische, vektorielle Mittel

- Klassische Musik ist in Begriffen klassischer physikalischer Zustände, die auf Booleschen Algebren, Potenzmengen, mengentheoretischen Vereinigungen, Schnittmengen, Komplementen basieren, formuliert.
- Quantenmusik ist vektorbasiert; reine Zustände werden formalisiert (aka “verbildert”) durch Vektoren eines Hilbertraumes (uA Vektorraum mit Skalarprodukt). Deren zeitliche Entwicklung ist eine verallgemeinerte Form der Permutation, eine so genannte unitäre Transformation—auch bekannt als Eins-zu-Eins-Transformation von Vektoren zweier Orthonormalbasen—solcher Vektoren.



# Quantenausdrückbarkeit II: Parallelität & Verschränkung

- Parallelisierung durch kohärente Überlagerung (auch simultane Linearkombination genannt) von klassisch sich gegenseitig ausschließenden Tönen oder Signalen, die akustisch, optisch, taktil, geschmacklich oder anderweitig sensorisch sind.

# Quantenausdrückbarkeit II: Parallelität & Verschränkung

- Parallelisierung durch kohärente Überlagerung (auch simultane Linearkombination genannt) von klassisch sich gegenseitig ausschließenden Tönen oder Signalen, die akustisch, optisch, taktil, geschmacklich oder anderweitig sensorisch sind.
- Verschränkung nicht nur durch klassische Korrelation sondern durch relationale Kodierung von Zuständen mehrer Teilchen, so dass
  - \* jede klassische Information in relationale, gemeinsame mehrteilige/tonale Eigenschaften “verschlüsselt” wird;
  - \* bei gleichzeitigem Verlust der Wertbestimmtheit über die einzelnen Bestandteile solcher Zustände mehrer Teilchen/Töne.

Dies kann als eine Art Nullsummenspiel betrachtet werden—ein Kompromiss zwischen individuellen und kollektiven Eigenschaften.

# Quantenausdrückbarkeit III: Komplementarität & Kontextualität

- Komplementarität im Zusammenhang mit der Wert(un)bestimmung bestimmter Töne oder Signale die akustisch, optisch, durch Berührung, Geschmack oder auf andere Weise wahrnehmbar sind: Wenn eine solche Beobachtung eindeutig ist, ist es eine andere nicht, und *vice versa*.

# Quantenausdrückbarkeit III: Komplementarität & Kontextualität

- Komplementarität im Zusammenhang mit der Wert(un)bestimmung bestimmter Töne oder Signale die akustisch, optisch, durch Berührung, Geschmack oder auf andere Weise wahrnehmbar sind: Wenn eine solche Beobachtung eindeutig ist, ist es eine andere nicht, und *vice versa*.
- Kontextualität ist eine “erweiterte” Form von Komplementarität und Wertunbestimmtheit, die auf verschiedene Weise definiert werden kann, insbesondere durch die Betonung der homomorphen, strukturerhaltenden Nicht-Einbettbarkeit in klassische Schemata.

Quanten-Wahrnehmung: sind unsere Sinne überhaupt in der Lage, Quanten aufzulösen und wahrzunehmen?

- Können unsere Organe (einzelne) Quanten oder nichtklassische Quantenzustände erkennen?

Quanten-Wahrnehmung: sind unsere Sinne überhaupt in der Lage, Quanten aufzulösen und wahrzunehmen?

- Können unsere Organe (einzelne) Quanten oder nichtklassische Quantenzustände erkennen?
- Können diese Organeindrücke dann in der Folge auch entsprechend “kohärent” weiterverarbeitet werden?

# Über das “Sehen” einzelner Photonen

- Menschliche Stäbchenzellen reagieren auf einzelne Photonen (Hecht et al, 1942, DOI 10.1085/jgp.25.6.819; Westheimer DOI 10.1201/9781315373034-2).

# Über das “Sehen” einzelner Photonen

- Menschliche Stäbchenzellen reagieren auf einzelne Photonen (Hecht et al, 1942, DOI 10.1085/jgp.25.6.819; Westheimer DOI 10.1201/9781315373034-2).
- Menschen könnten in der Lage sein, einzelne auf die Hornhaut auftreffende Photonen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, die deutlich über dem Zufall liegt, zu erkennen (Tinsley 2016, DOI 10.1038/ncomms12172).



# Visuelle Phänomene der kosmischen Strahlung oder Lichtblitze (LF), auch bekannt als Astronautenaugen

- Sie traten in verschiedenen Farben und Formen auf. Die wichtigsten beobachteten Formen sind “Flecken” (oder “Punkte”), “Sterne” (oder “Supernovas”), “Streifen”, “Kleckse” (oder “Wolken”) und “Kometen” (Sannita et al, DOI 10.1016/j.visres.2005.12.002).

# Visuelle Phänomene der kosmischen Strahlung oder Lichtblitze (LF), auch bekannt als Astronautenaugen

- Sie traten in verschiedenen Farben und Formen auf. Die wichtigsten beobachteten Formen sind “Flecken” (oder “Punkte”), “Sterne” (oder “Supernovas”), “Streifen”, “Kleckse” (oder “Wolken”) und “Kometen” (Sannita et al, DOI 10.1016/j.visres.2005.12.002).
- Zu den Hypothesen gehören die Cherenkov-Strahlung, die beim Durchgang der kosmischen Strahlungsteilchen durch den Glaskörper der Augen der Astronauten entsteht, die direkte Interaktion mit dem Sehnerv, die direkte Interaktion mit den Sehzentren im Gehirn, die Stimulation der Netzhautrezeptoren, und andere ... ([https://en.m.wikipedia.org/wiki/Cosmic\\_ray\\_visual\\_phenomena](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray_visual_phenomena)).

## Konkrete Ansätze: “Oktav”-Basis



Zeitfolge von Quantentönen  $|\Psi_c\rangle, |\Psi_d\rangle, \dots, |\Psi_b\rangle$  in C-Moll welche die Oktav-Basis  $\mathfrak{B}$  of  $\mathbb{C}^7$  ergibt: Diese Oktav-Basis wird formalisiert durch die Cartesische Basis-Tupel

$$|\Psi_c\rangle = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 1),$$

$$|\Psi_d\rangle = (0, 0, 0, 0, 0, 1, 0),$$

...

$$|\Psi_b\rangle = (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$$

# Klassische Wahrnehmung von musikalischer Quantenparallelität

Wenn ein klassisches Auditorium den quantenmusikalischen Zustand  $|\psi\rangle = \alpha_c|\Psi_c\rangle + \alpha_d|\Psi_d\rangle + \dots + \alpha_b|\Psi_b\rangle$  hört, können die einzelnen klassischen Zuhörer diesen “Quanten-Ton”  $|\psi\rangle$  sehr unterschiedlich wahrnehmen; das heißt, jeder einzelne Zuhörer wird vermutlich nur einen *einzelnen* der verschiedenen Töne mit Wahrscheinlichkeiten von  $|\alpha_c|^2$ ,  $|\alpha_d|^2$ , ..., and  $|\alpha_b|^2$ , hören. Außer dieser ist in der Lage, kohärent zuzuhören (Schrödingers Katze oder Qualle).

# Ein Beispiel

Zur Veranschaulichung wollen wir eine Zwei-Noten-Quantenkomposition ausprobieren. Wir beginnen mit einem reinen quantenmechanischen Zustand in dem zweidimensionalen Unterraum, der von  $|\Psi_c\rangle$  und  $|\Psi_g\rangle$  aufgespannt wird, spezifiziert durch

$$|\psi_1\rangle = \frac{4}{5}|\Psi_c\rangle + \frac{3}{5}|\Psi_g\rangle = \frac{1}{5} \begin{pmatrix} 4 \\ 3 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

$|\psi_1\rangle$  würde vom Hörer in  $(4/5)^2 = 64\%$  als  $c$  erkannt werden aller Messungen (Anhörungen) und als  $g$  in  $(3/5)^2 = 36\%$  aller Hörvorgänge. Unter Verwendung der unitären Transformation

$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ , wäre der nächste Quantenton

$$|\psi_2\rangle = \mathbf{X}|\psi_1\rangle = \frac{3}{5}|\Psi_c\rangle + \frac{4}{5}|\Psi_g\rangle = \frac{1}{5} \begin{pmatrix} 3 \\ 4 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Das bedeutet für die Quantenmelodie der beiden Quantentöne  $|\psi_1\rangle$  und  $|\psi_2\rangle$  in nacheinander in wiederholten Messungen, in  $(4/5)^4 = 0,64^2 = 40,96\%$  aller Fälle ist  $c - g$  zu hören, in  $(3/5)^4 = 0,36^2 = 12,96\%$  aller Fälle  $g - c$ , in  $((4/5)(3/5))^2 = 0,64 \cdot 0,36 = 23,04\%$  aller Fälle  $c - c$  bzw.  $g - g$ . Die Summe all dieser Wahrscheinlichkeiten ergibt  $(4/5)^4 + (3/5)^4 + 2 * ((4/5)(3/5))^2 = 1$  (=100%).



# Einige Unterscheidungsmerkmale von “Quantenmusik” und klassische Musik

- Quantenmusik stellt eine neuartige Form der musikalischen Ausdrucksfähigkeit und der klanglichen Formen dar.
- Der Quantenmusik fehlen einige klassische Formen der musikalischen Ausdrucksfähigkeit - alle, die nicht eins-zu-eins sind; z.B. ist das “Entfernen” von Tönen nur durch Transformation in andere Töne möglich; kein “silenzio”.
- Quantenmusik kann “schwer” und von jedem Zuhörer anders wahrzunehmen sein; sie kann eventuell sogar widersprüchliche, paradoxe Erfahrungen mit sich bringen—vgl. Schrödingers Katze oder Quantenquallen (späte Dublin-Seminare von Schrödinger).

# Verschränkte Musik, Komplementarität und Kontextualität

Einen ersten Einstieg in diese Themen finden Sie in unseren Veröffentlichungen ...

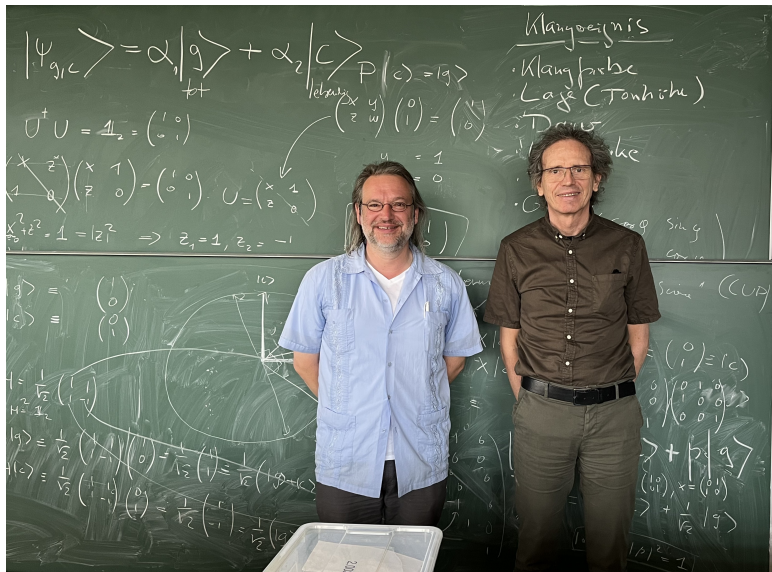
- \* Volkmar Putz and Karl Svozil, "Quantum Music", Soft Computing 21(6), 1467-1471 (2017), DOI: 10.1007/s00500-015-1835-x
- \* Volkmar Putz and Karl Svozil, "Quantum music, quantum arts and their perception", in "Quantum Computing in the Arts and Humanities An Introduction to Core Concepts, Theory and Applications", Hg. Eduardo Reck Miranda, (Springer, 2022), arXiv:2108.05207 (2022), DOI: 10.1007/978-3-030-95538-0\_5



# Experimente mit Quantenanalogien: Der Kurs Quantum Music von Christian Jendreiko







Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

