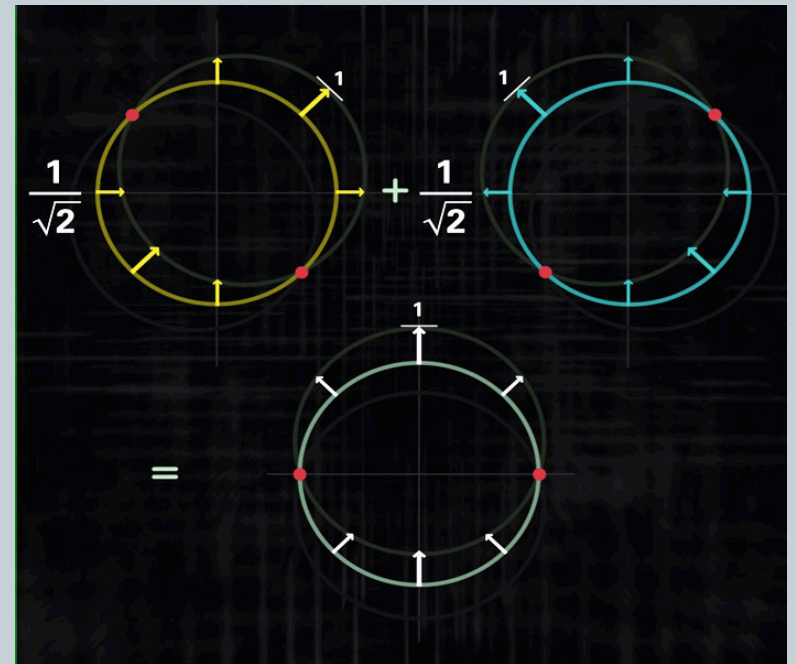
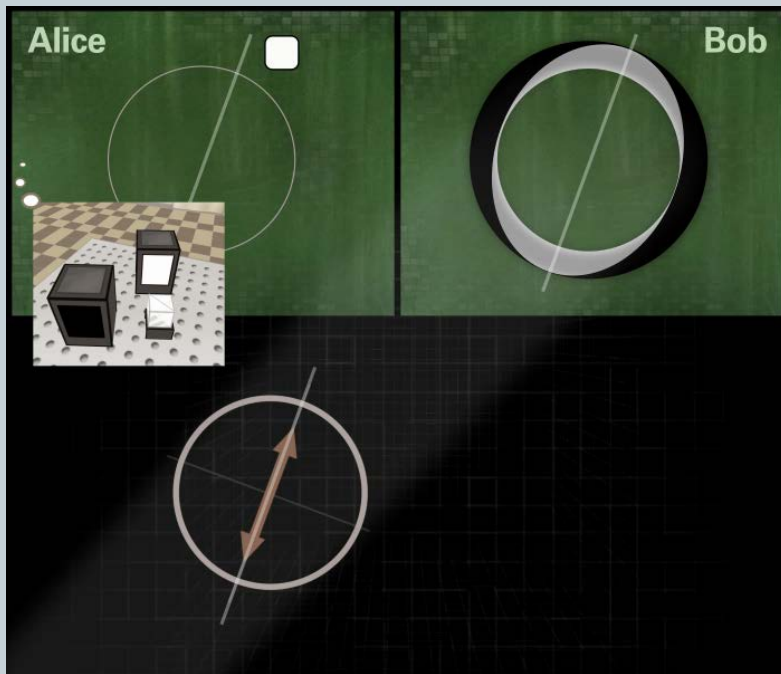


Visualisierungen – ein Schlüssel zu moderner Quantenphysik



Prof. Dr. Stefan Heusler, Institut für Didaktik der Physik, Universität Münster

Schloß Lautrach, 12.7.2014

Prolog: Vergleich von Sprachebenen bei Musik und Physik



Sensorisches
Gedächtnis



Imagene

Logogene

Vorwissen, Kognitive Schemata

Langzeit-
Gedächtnis

Arbeits-
Gedächtnis

Sensorisches
Gedächtnis

Verbale/ Klang
Repräsentation

Mentales
Modell

Auditives
Arbeitsgedächtnis

Visuelles
Arbeitsgedächtnis

Verbaler Kanal

Piktoraler Kanal

Auditiver Kanal

Visueller Kanal



Imagene

Logogene

Vorwissen, Kognitive Schemata

Verbale/ Klang
Repräsentation

Mentales
Modell

Auditives
Arbeitsgedächtnis

Visuelles
Arbeitsgedächtnis

Ohr



Logogene

Langzeit-
Gedächtnis

Arbeits-
Gedächtnis

Sensorisches
Gedächtnis

Verbaler Kanal

Piktoraler Kanal

Auditiver Kanal

Visueller Kanal

Vorwissen, Kognitive Schemata

Langzeit-
Gedächtnis

Arbeits-
Gedächtnis

Sensorisches
Gedächtnis

$$(x_0, \bar{x}) \rightarrow (1, \frac{\bar{x}}{1-x_0})$$
$$x_0^2 + \bar{x}^2 = 1$$

Verbaler Kanal

Auditives
Arbeitsgedächtnis

Auditiver Kanal

Ohr

Gesprochener Text, Geräusche, Musik



Piktoraler Kanal

Visuelles
Arbeitsgedächtnis

Visueller Kanal

$$(x_0, \bar{x}) \rightarrow (1, \frac{\bar{x}}{1-x_0})$$
$$x_0^2 + \bar{x}^2 = 1$$



Logogene

Langzeit-
Gedächtnis

Vorwissen, Kognitive Schemata

Arbeits-
Gedächtnis

$$(x_0, \bar{x}) \rightarrow (1, \frac{\bar{x}}{1 - x_0})$$
$$x_0^2 + \bar{x}^2 = 1$$

Verbaler Kanal

**Auditives
Arbeitsgedächtnis**

???

Piktoraler Kanal

**Visuelles
Arbeitsgedächtnis**

S. Weinberg:

"...our mistake is not that we take our theories too seriously, but that we do not take them seriously enough.

It is always hard to realize that these numbers and equations we play with at our desks have something to do with the real world..."

Langzeit-
Gedächtnis

Vorwissen, Kognitive Schemata

**Mathematische
Formel**

**Visualisierung
Mentales Modell**

Arbeits-
Gedächtnis

Logogene

**Auditives
Arbeitsgedächtnis**

auditorischer Kanal

Image

**Visuelles
Arbeitsgedächtnis**

S. Weinberg:

"...our mistake is not that we take our theories too seriously, but that we do not take them seriously enough.

It is always hard to realize that these numbers and equations we play with at our desks have something to do with the real world..."

Wie mächtig ist eine „Bildersprache“ der Physik?

Beispiel Alltagsphysik

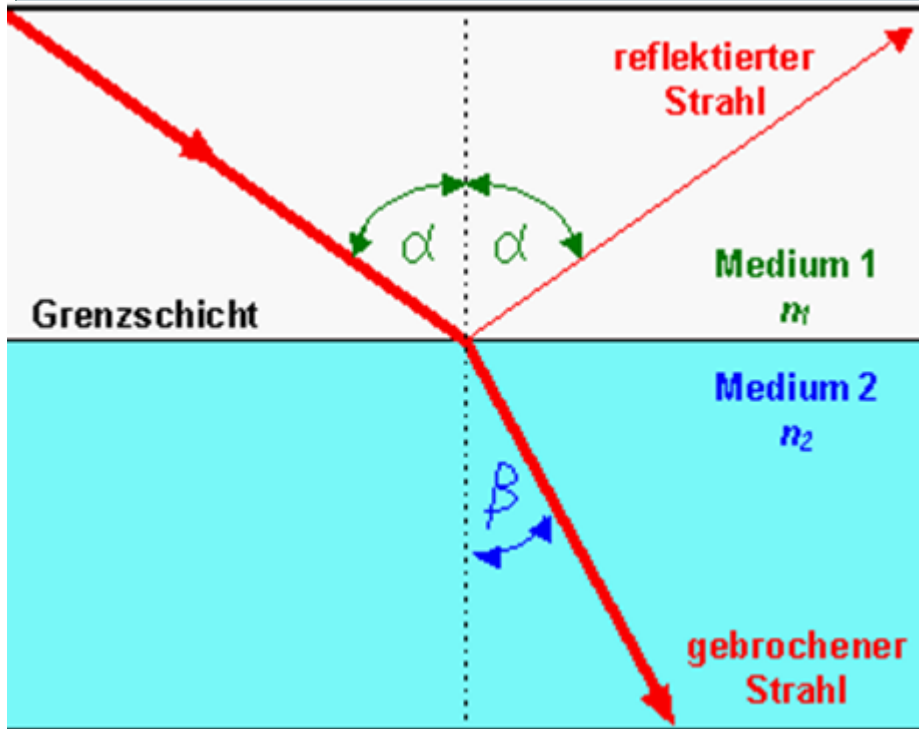


Foto: Joachim Schlichting

Theorie

Experiment

Beispiel Alltagsphysik



Jede Größe in der Theorie
(z.B. Einfallswinkel, Brechungsindex)
hat eine **direkte Interpretation** im Experiment.

Theorie



Experiment

Quantenphysik



Eindeutiger Zusammenhang
zwischen Parametern in Theorie
und Experiment bricht zusammen.

Theorie



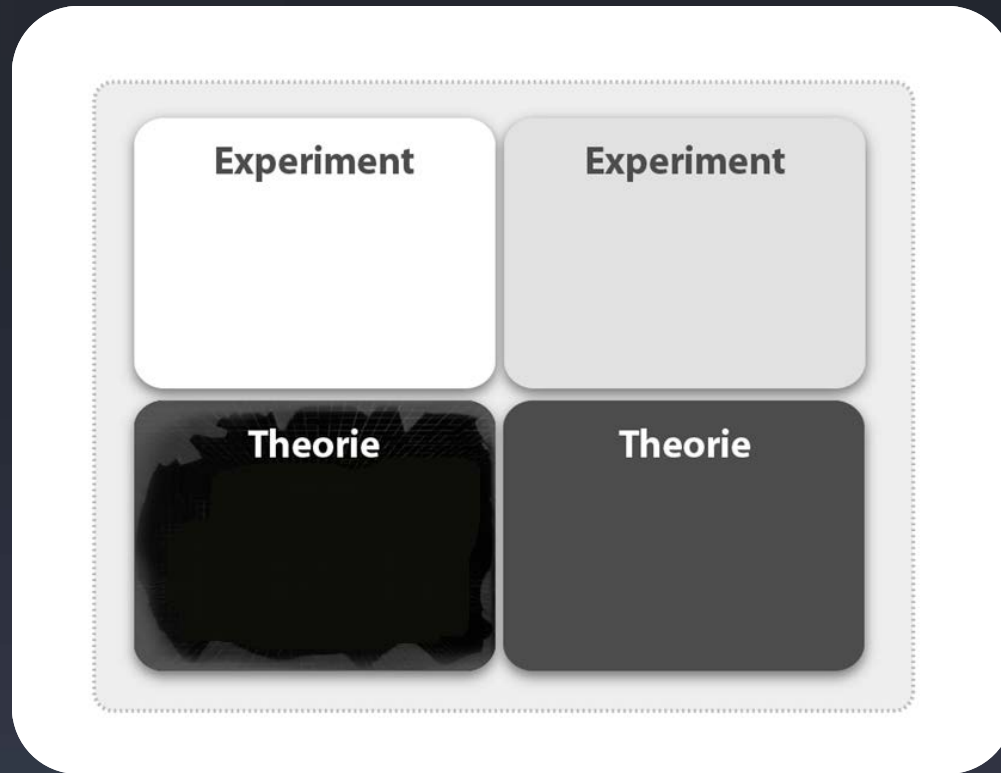
Experiment

Teil 1

Visualisierung von Quantenphysik

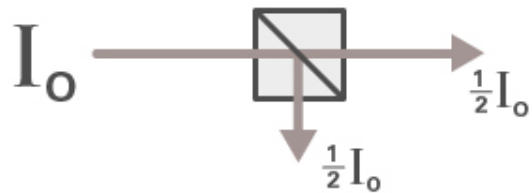


Vier-Quadranten-Schema



Experiment

mit vielen Photonen



Experiment

mit einzelnen Photonen



Theorie

Amplituden



Theorie

Wahrscheinlichkeiten





Experiment

mit einzelnen Photonen



Theorie

Amplituden



Theorie

Wahrscheinlichkeiten





Experiment

mit einzelnen Photonen



Theorie

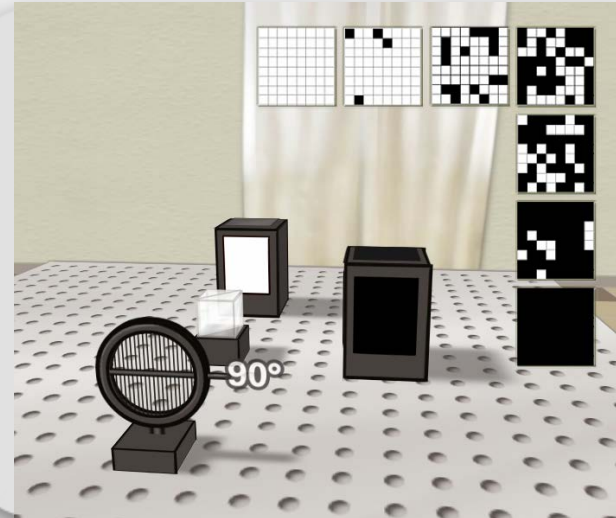
Amplituden



Theorie

Wahrscheinlichkeiten





Theorie

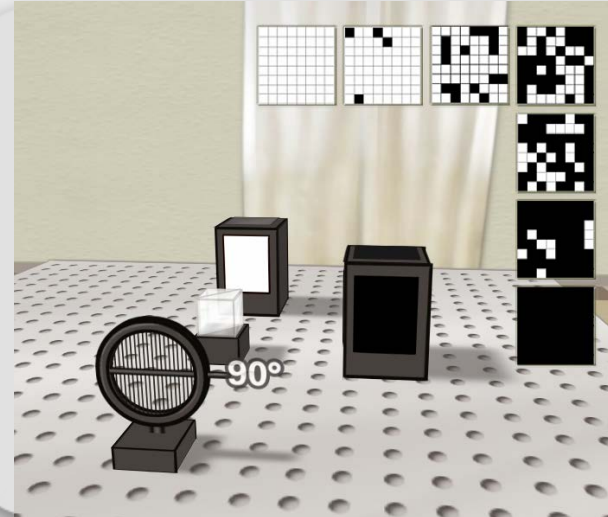
Amplituden



Theorie

Wahrscheinlichkeiten



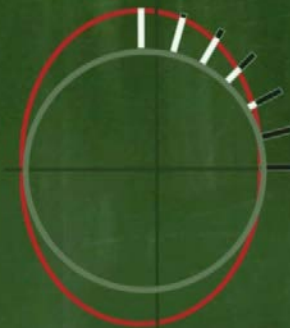


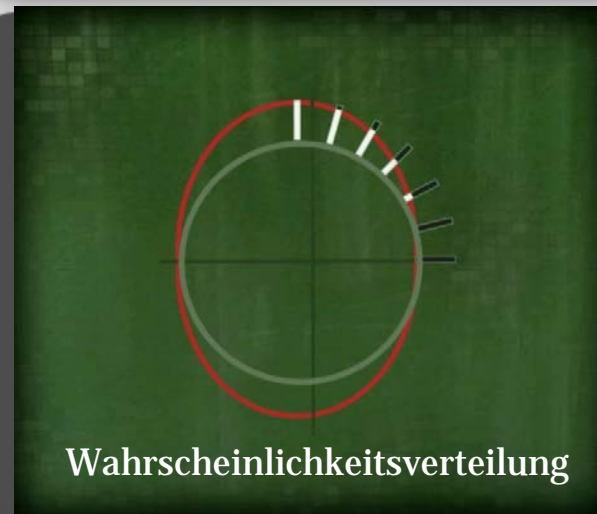
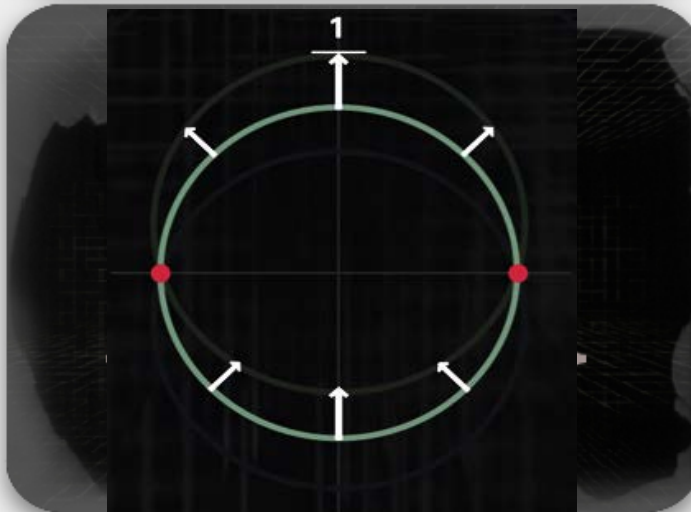
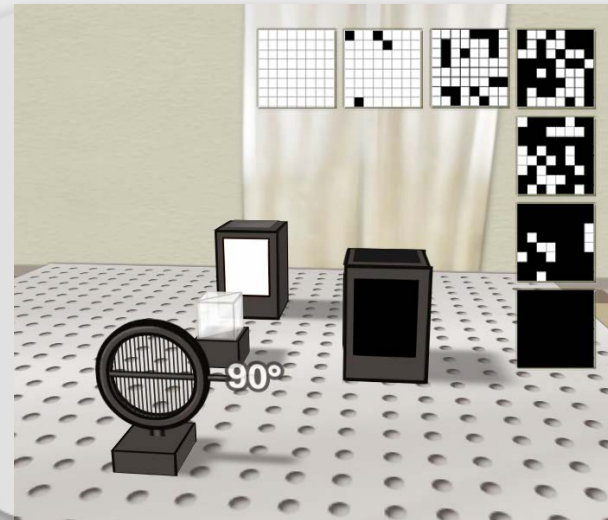
Theorie

Amplituden



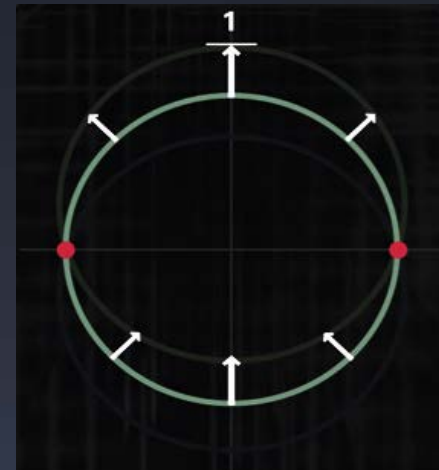
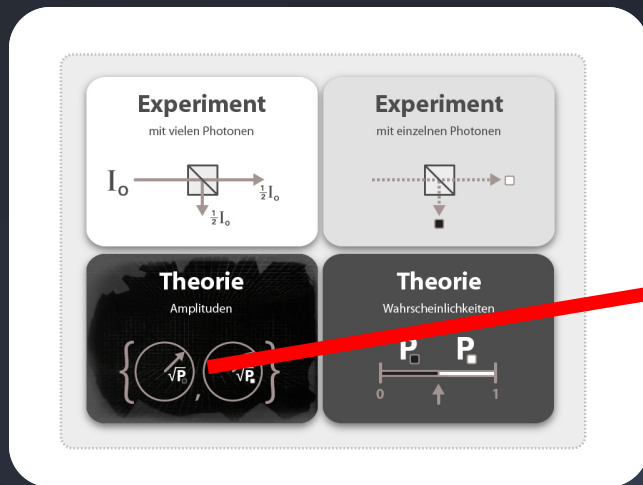
Wahrscheinlichkeitsverteilung





Mathematische Visualisierung

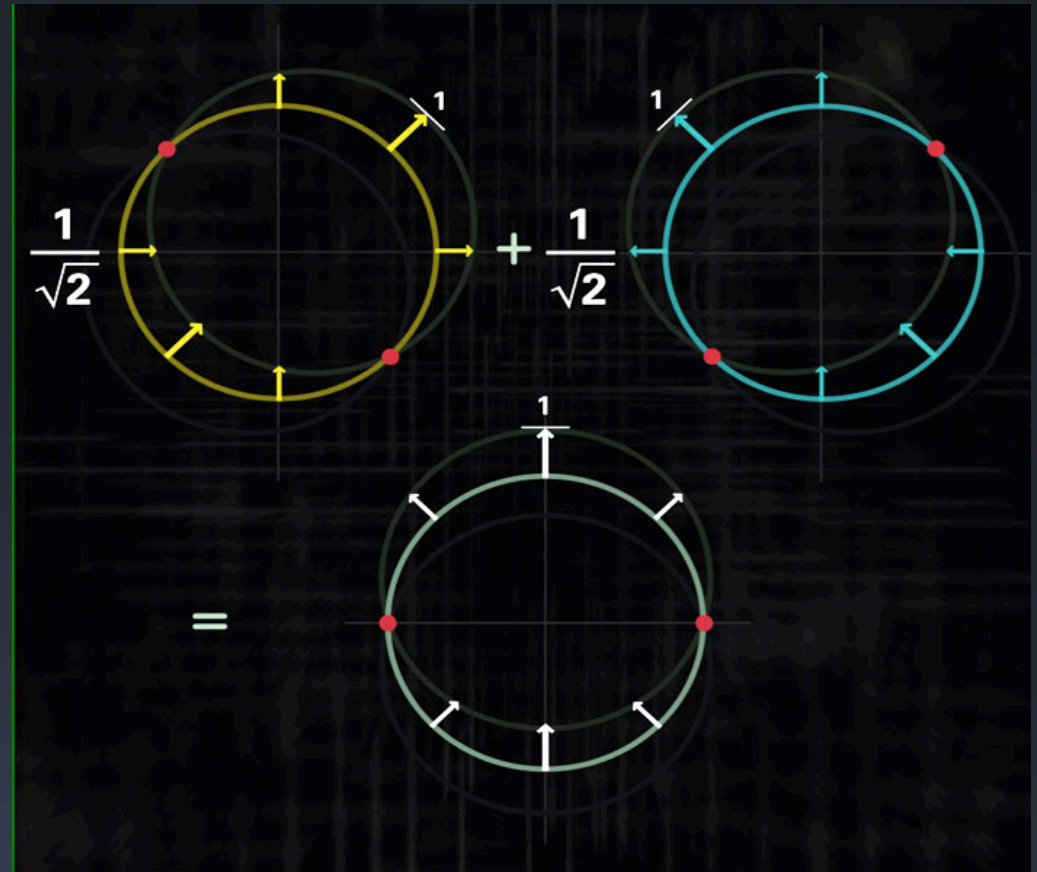
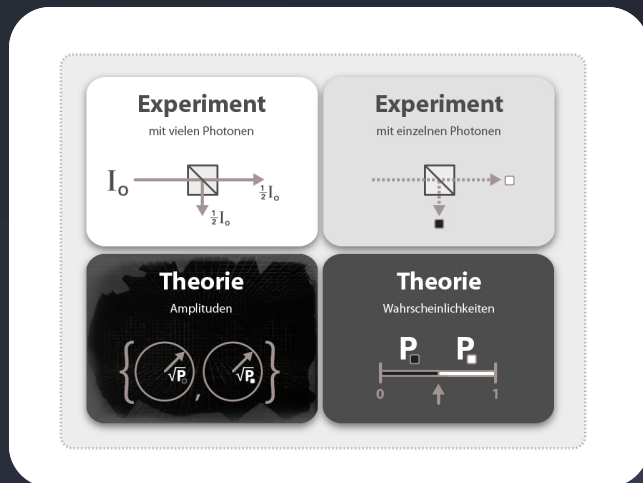
Mathematische
Visualisierung



Amplitude von vertikal polarisiertem Licht...


Mathematische Visualisierung

Mathematische
Visualisierung




...als Superposition von $+45^\circ$ und -45°
polarisiertem Licht.

Mathematische Visualisierung



Mathematische
Visualisierung

DVD-ROM

- Einfache, mathematisch definierte Bildmotive
 - kein Kontextbezug
 - Minimale Interaktivität
- 

Mathematische Visualisierung

Mathematische
Visualisierung

DVD-ROM

- Einfache, mathematisch definierte Bildmotive
- kein Kontextbezug
- Minimale Interaktivität

Künstlerische
Inszenierung

Visualisieren und Inszenieren

Mathematische
Visualisierung

DVD-ROM

- Einfache, mathematisch definierte Bildmotive
- kein Kontextbezug
- Minimale Interaktivität

- Spielfilm
 - Fernsehbeitrag
-
- Physik-Show
 - Exponate

Künstlerische
Inszenierung

Visualisieren und Inszenieren

Mathematische
Visualisierung

DVD-ROM

- Einfache, mathematisch definierte Bildmotive
- kein Kontextbezug
- Minimale Interaktivität

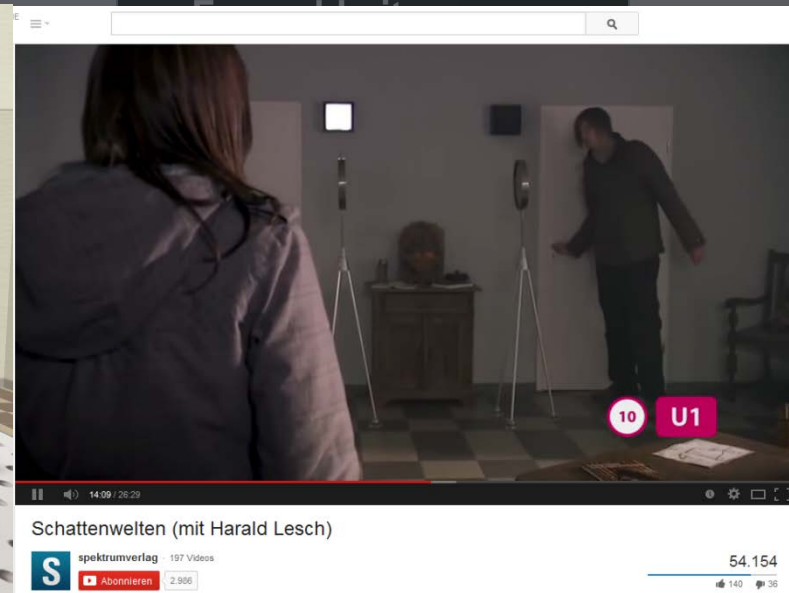
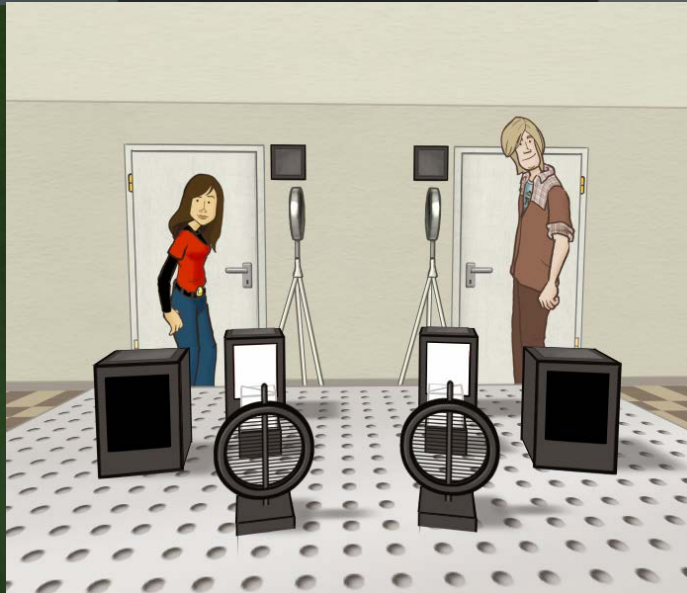
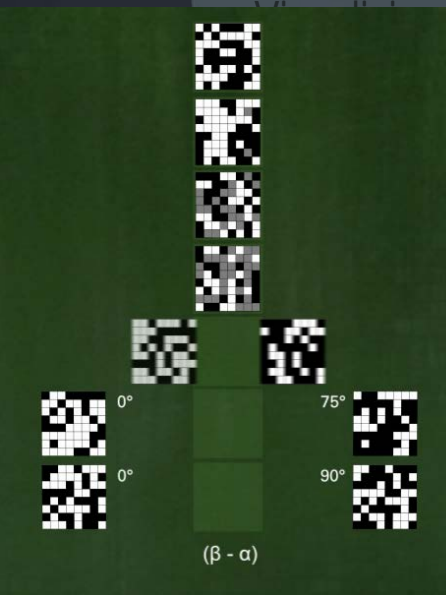
- **Spielfilm**
 - Fernsehbeitrag
-
- Physik-Show
 - Exponate

Künstlerische
Inszenierung

Visualisieren und Inszenieren

Mathematische

• Spielfilm (Kino)

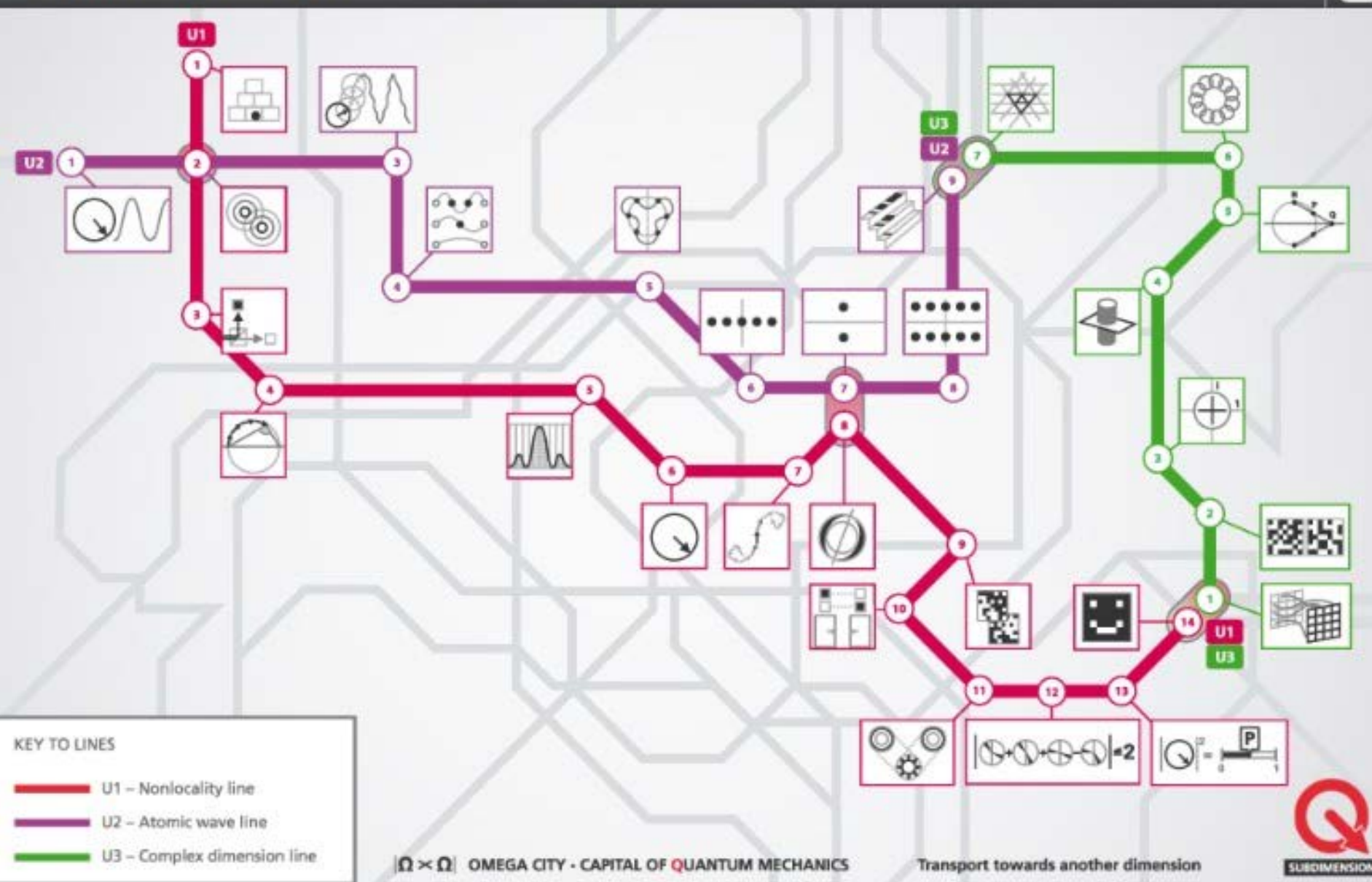


- Minimale Interaktivität
- Lerntheoretisch optimiert

Künstlerische
Inszenierung



Subdimension - U-Bahn-Plan





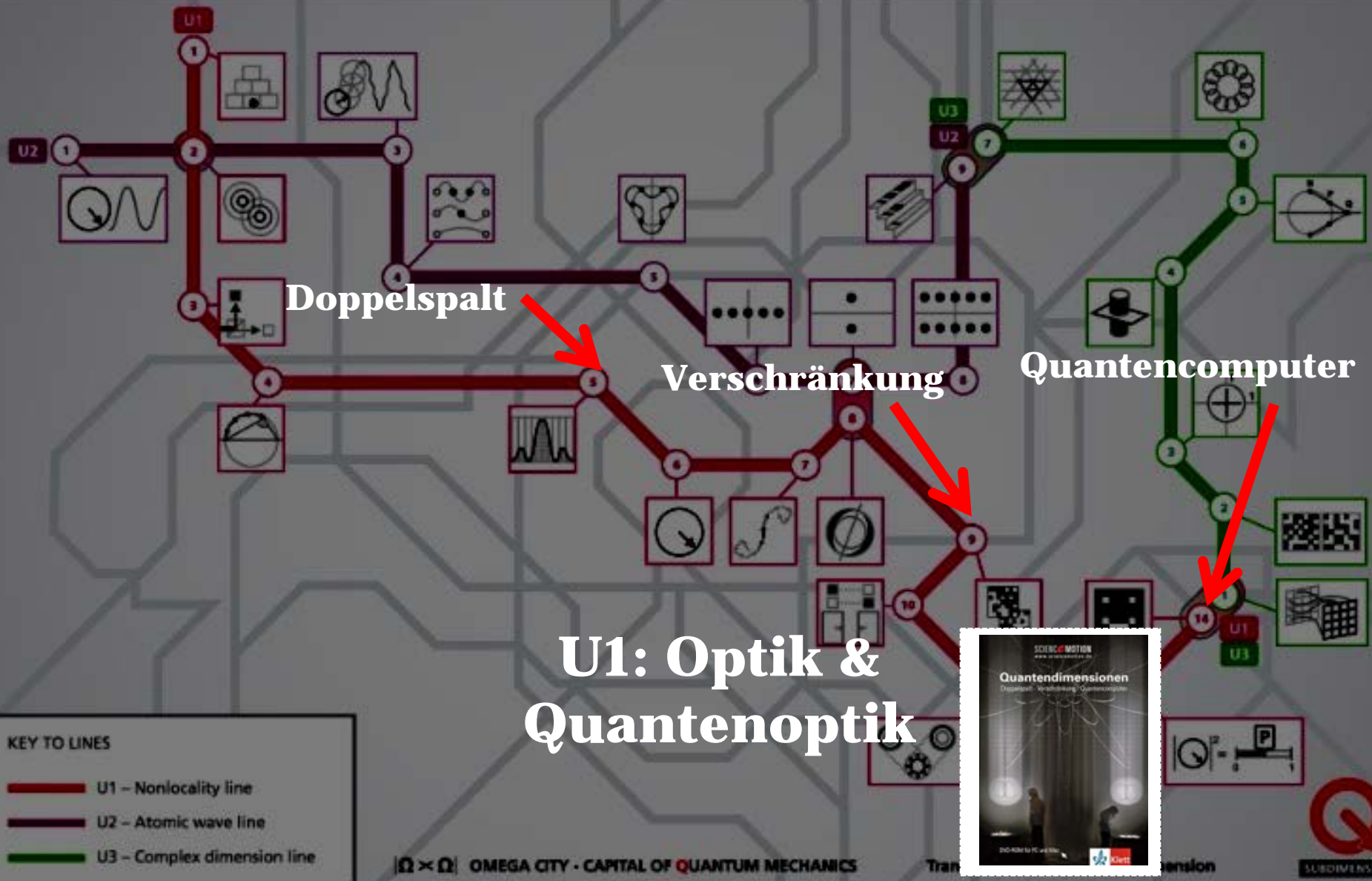
SUBDIMENSION

U1

U2

U3

Subdimension - U-Bahn-Plan



Doppelspalt

Verschränkung

Quantencomputer

U1: Optik &
Quantenoptik

KEY TO LINES

- U1 – Nonlocality line
- U2 – Atomic wave line
- U3 – Complex dimension line

OMEGA CITY - CAPITAL OF QUANTUM MECHANICS

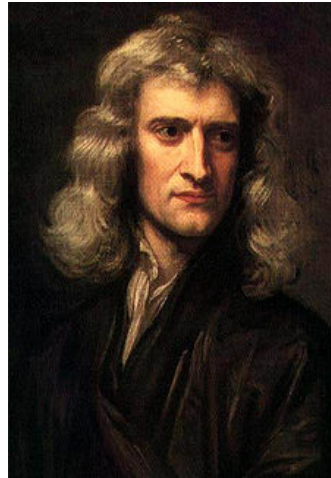
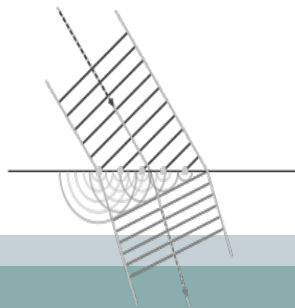


Historische Perspektive: Licht besteht aus...



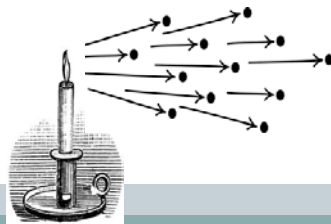
Christian Huygens
(1629–1695)

...Wellen



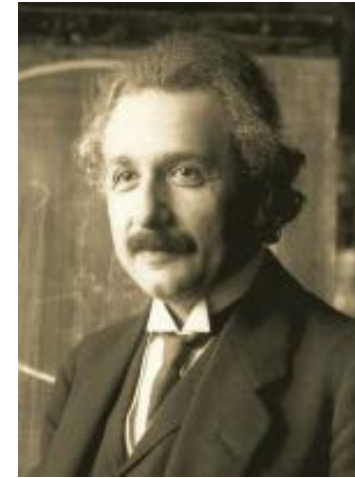
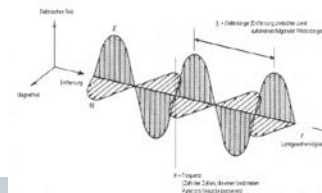
Isaac Newton
(1643–1727)

...Teilchen



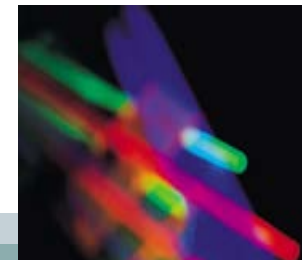
James Clerk Maxwell
(1831–1879)

**...elektro-
magnetischen
Wellen**



Albert Einstein
(1879–1955)

...Quanten

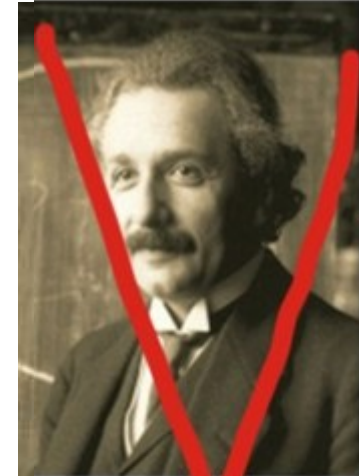
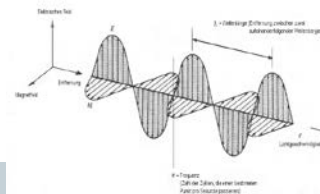


Heutige Datentechnik nutzt Quanteneigenschaften von Licht nicht aus!



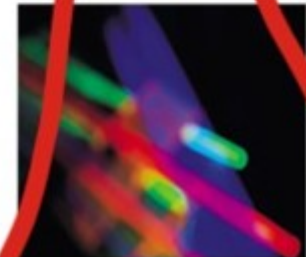
James Clerk Maxwell
(1831–1879)

...elektro-
magnetischen
Wellen



Albert Einstein
(1879–1955)

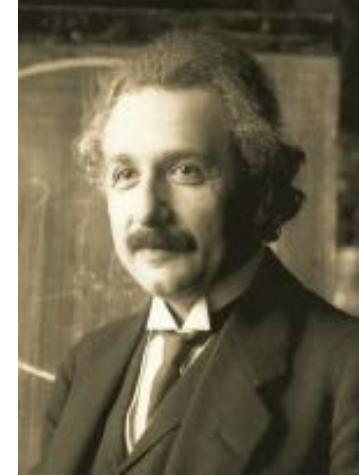
...Quanten



In Zukunft: Kommunikation mit einzelnen Quanten?



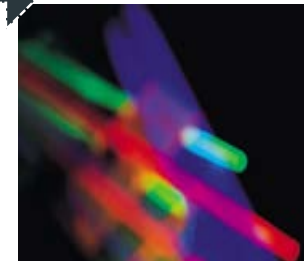
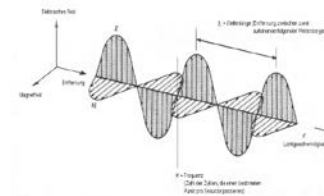
James Clerk Maxwell
(1831–1879)



Albert Einstein
(1879–1955)

...elektro-
magnetischen
Wellen

...Quanten





SUBDIMENSION

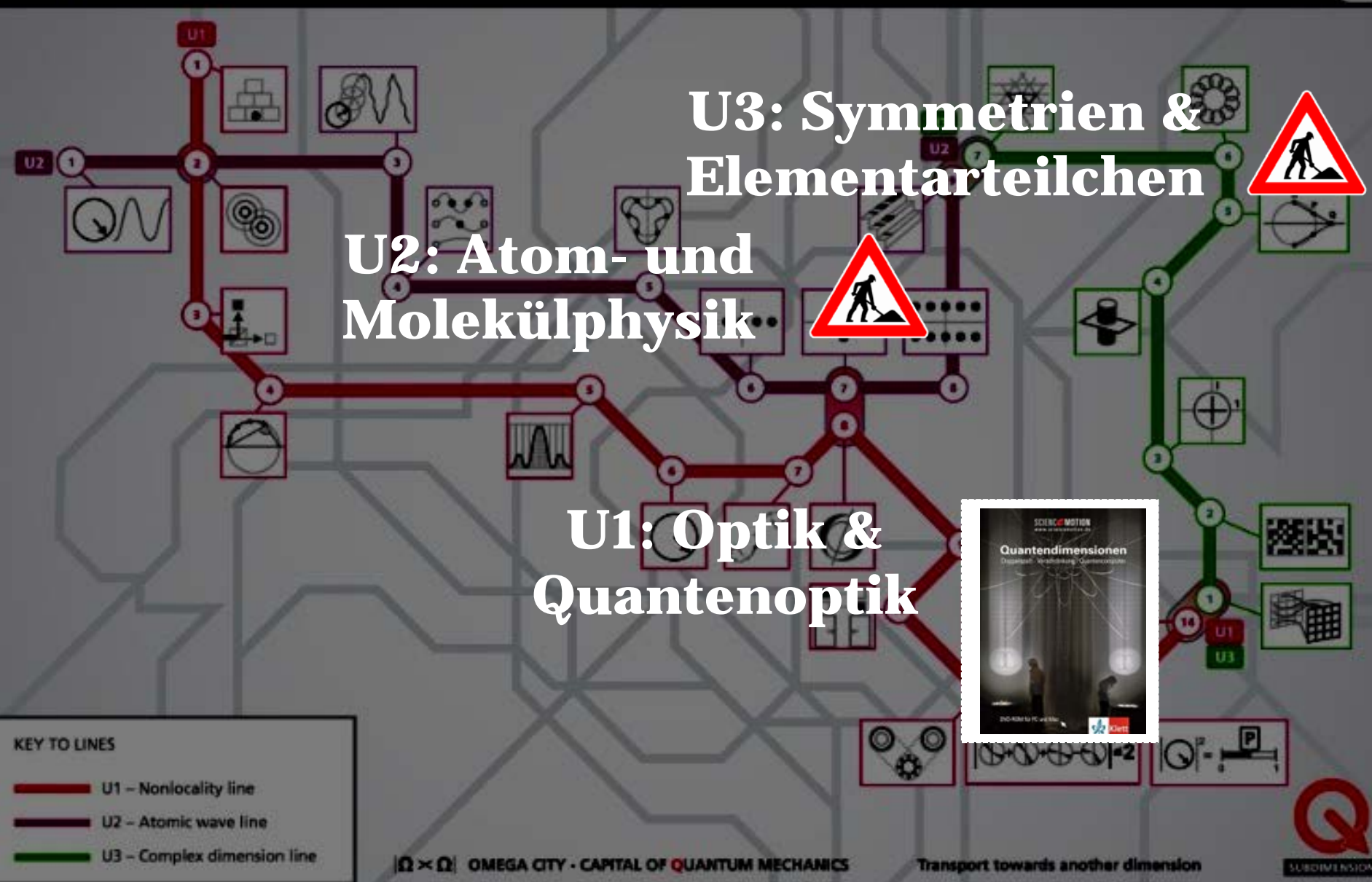
U1

U2

U3



Subdimension - U-Bahn-Plan



U3: Symmetrien & Elementarteilchen

U2: Atom- und Molekülphysik

U1: Optik & Quantenoptik



KEY TO LINES

- U1 – Nonlocality line
- U2 – Atomic wave line
- U3 – Complex dimension line

Ω × Ω OMEGA CITY - CAPITAL OF QUANTUM MECHANICS

Transport towards another dimension



SUBDIMENSION

U 2

Atom und Molekülphysik




U2: Atom- und Molekülphysik



Ist eine Visualisierung der Heisenberg'schen Unschärferelation möglich?

Welches „Bild“ eines Atoms können wir uns machen?

Wie beschreibt man ein „Teilchen“ (z.B. Elektron)?



Klassische Physik:

Klassische Teilchen haben unabhängig von einer Messung bzw. Wechselwirkung mit der Umgebung wohldefinierte Eigenschaften.

(z.B. Geschwindigkeit, Position, Drehimpuls,)


Quantenphysik:

Ein *Quantenzustand* hat nicht zwingend einen festen Wert für eine bestimmte Observable.

(z.B. Geschwindigkeit, Position, Drehimpuls, ...)

Erst durch Anwendung einer *Operation* (Messung) wird eine bestimmte Messgröße erzielt. Dabei werden auch andere Eigenschaften des Zustandes verändert.

Wie beschreibt man ein „Teilchen“ (z.B. Elektron)?



Klassische Physik:

Klassische Teilchen haben unabhängig von einer Messung bzw. Wechselwirkung mit der Umgebung wohldefinierte Eigenschaften.

(z.B. Geschwindigkeit, Position, Drehimpuls,)

Quantenphysik:

Ein *Quantenzustand* hat nicht zwingend einen festen Wert für eine bestimmte Observable.

(z.B. Geschwindigkeit, Position, Drehimpuls, ...)

Erst durch Anwendung einer *Operation* (Messung) wird eine bestimmte Messgröße erzielt. Dabei werden auch andere Eigenschaften des Zustandes verändert.

Wie beschreibt man ein „Teilchen“ (z.B. Elektron)?



Klassische Physik:

Klassische Zustände haben unabhängig von einer Messung bzw. Wechselwirkung mit der Umgebung wohldefinierte Eigenschaften.

(z.B. Geschwindigkeit, Position, Drehimpuls,)

Quantenphysik:

Ein **Quantenzustand** hat nicht zwingend einen festen Wert für eine bestimmte Observable.

(z.B. Geschwindigkeit, Position, Drehimpuls, ...)

Erst durch Anwendung einer **Operation** (Messung) wird eine bestimmte Messgröße erzielt. Dabei werden auch andere Eigenschaften des Zustandes verändert.

Der Weg zur Atomphysik über „klassische“ Operatoren & Zustände



„Drehoperatoren“ erzeugen eine *Drehung* im Raum (x, y, z-Achse).

Anwendung auf einen „klassischen“ Zustand:

Drehungen um zwei verschiedene Achsen kommutieren nicht!

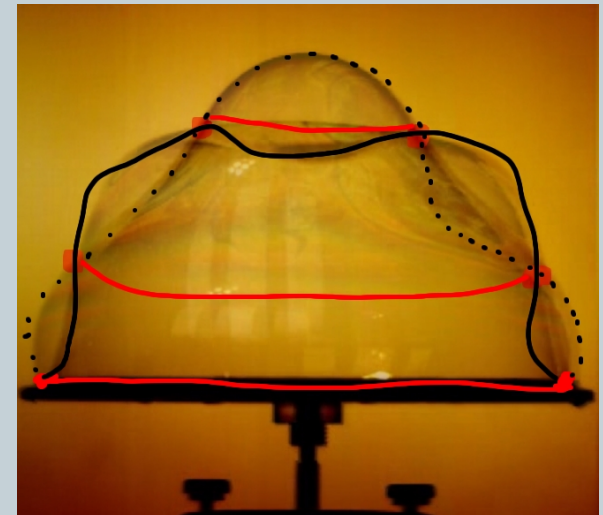
Klassische Operatoren & Zustände auf der Kugeloberfläche



Zustand: Schwingung auf einer Kugelschale



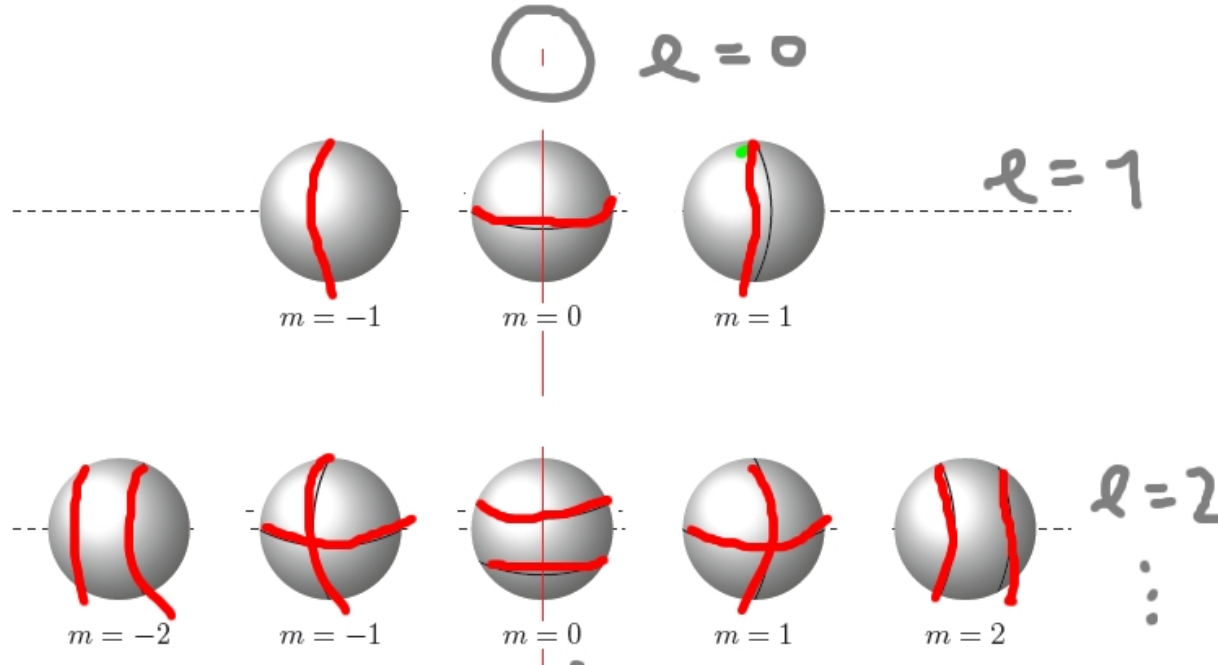
31.08.2011 16:22:43 2000 182948,0[ms] 512x512, 500 Hz, SpeedCam
MiniVis / MacroVis / EoSens #00125, V1.8.6



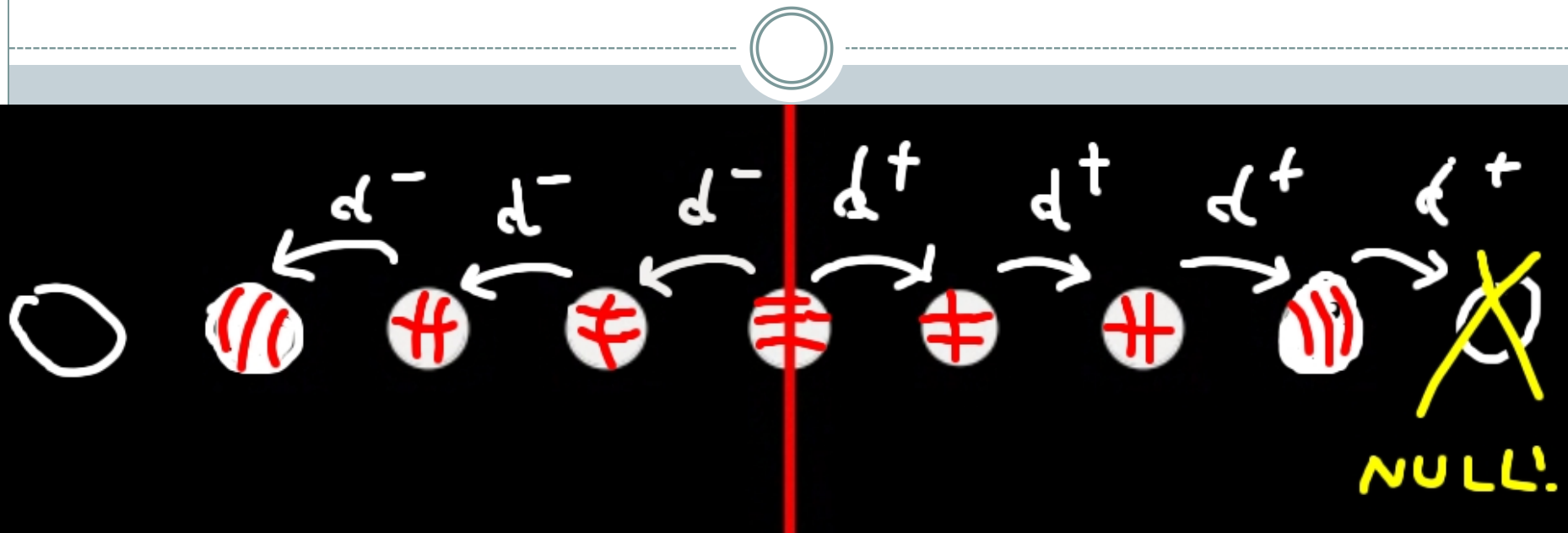
Ein Drehoperator und zwei Knotenlinienoperatoren



Basistransformation: Drehoperator (z-Achse), sowie zwei „Knotenlinienoperatoren“ (Linearkombination von x/y Drehung)



Übergang zur Quantenphysik:



Übergang zur Quantenphysik:

1. Skalierung der OPERATOREN

Quantendimension

Klassische Physik



$$|l, m\rangle$$

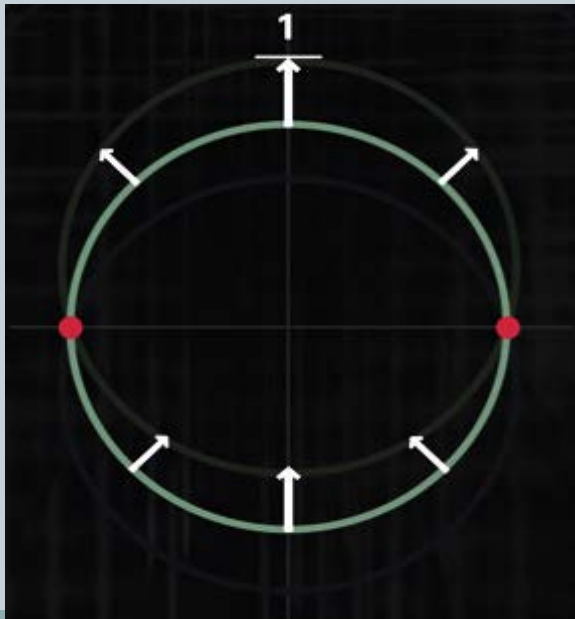
$$|l, m\rangle$$

Übergang zur Quantenphysik:

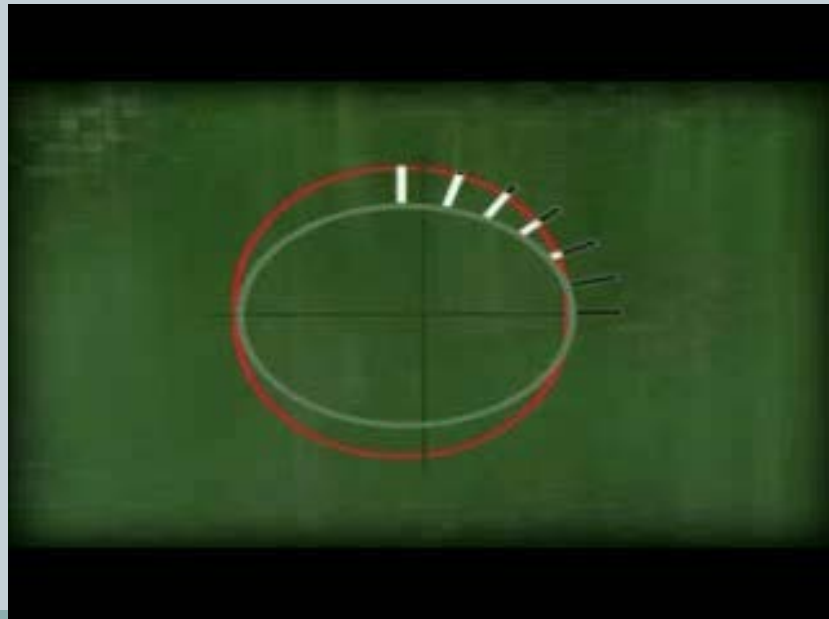
2. Uminterpretation der Amplituden



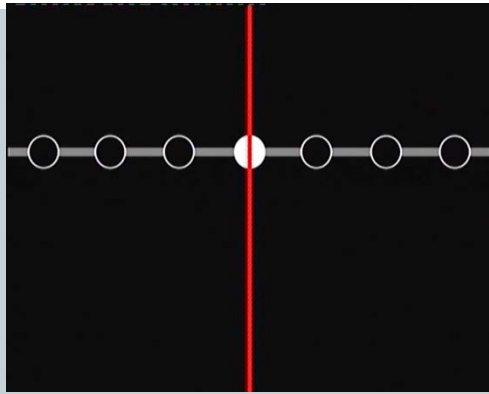
z.B. $l=1$, $m=0$



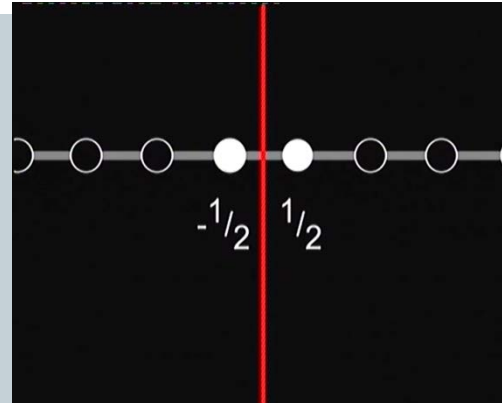
Amplitude in der Quantendimension



Spiegelsymmetrie der Zustände



Bahndrehimpuls (l, m)



Spin ($S=1/2, s$)

Spiegelebene bildet Zustände aufeinander ab.

Welche Positionen der Spiegelebene sind erlaubt?

1. Spiegelebene teilt einen Zustand.
2. Spiegelebene steht genau zwischen den Zuständen.

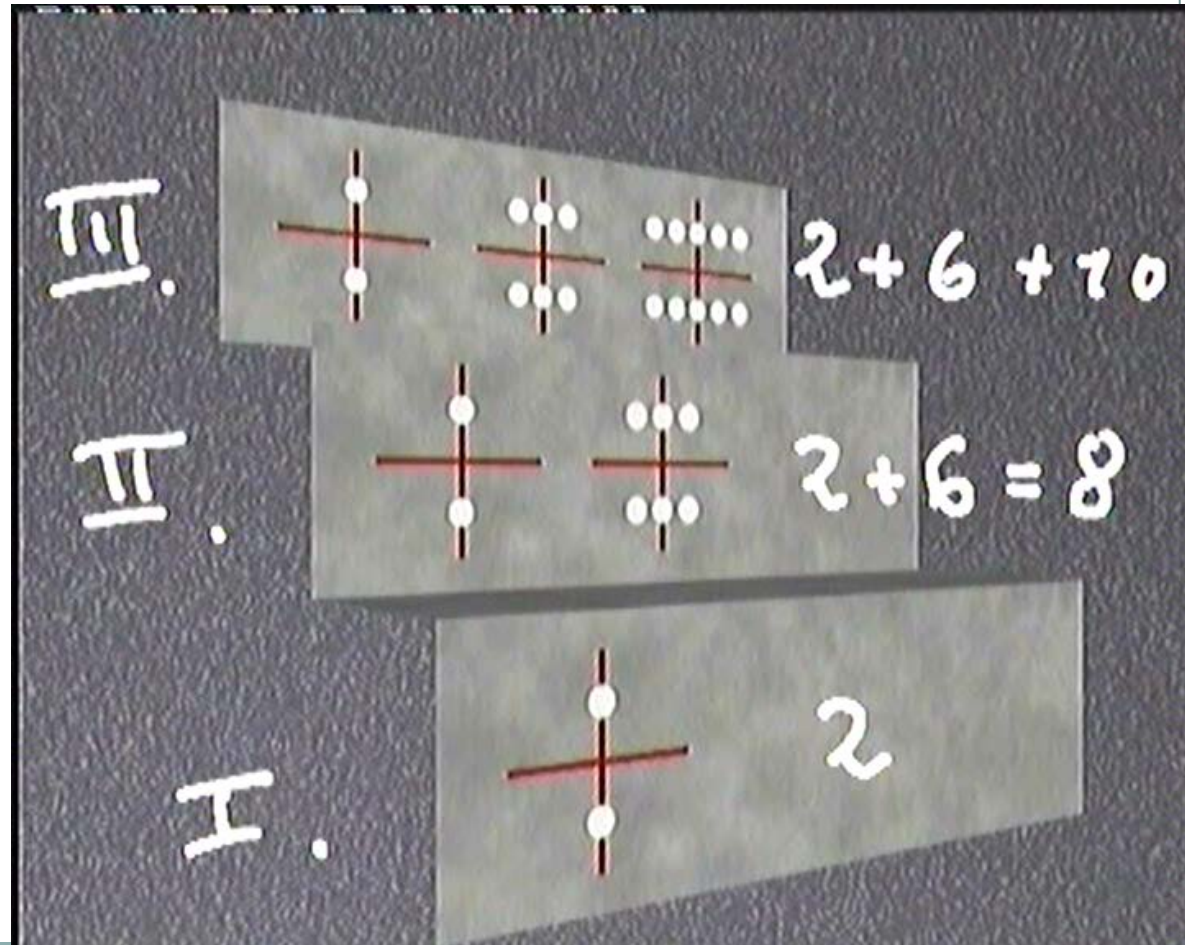
Anwendungsbeispiel: Wasserstoffspektrum

Quantenzahlen (n , l , m , s)

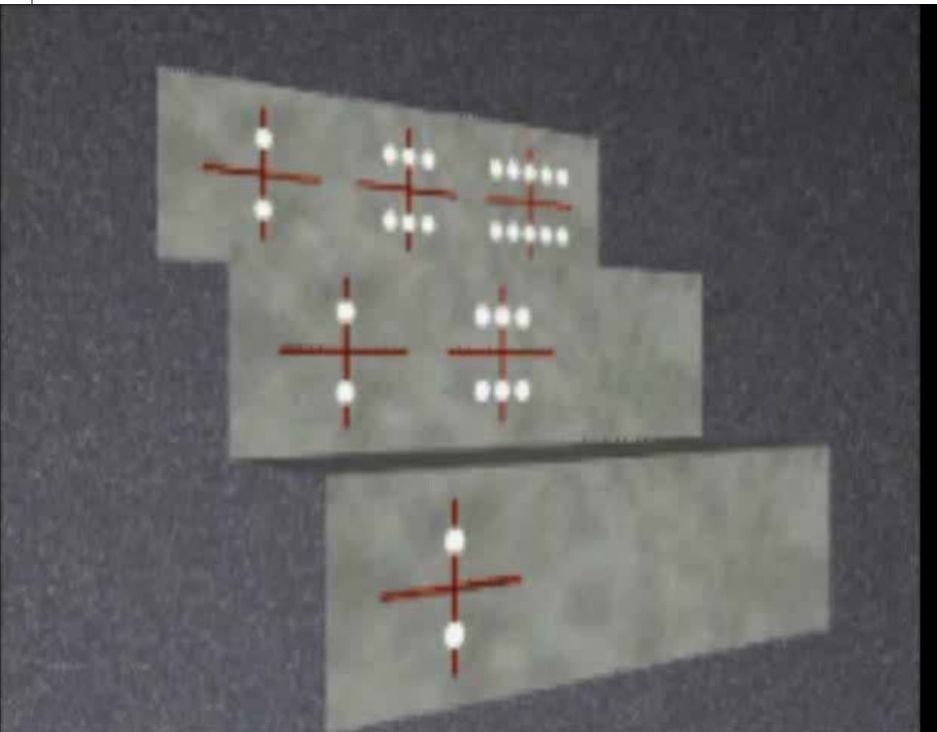
n : Hauptquantenzahl

(l , m): Bahndrehimpuls

($S=1/2$, s): Spin



Anwendungsbeispiel: Periodensystem



Periodensystem der Elemente

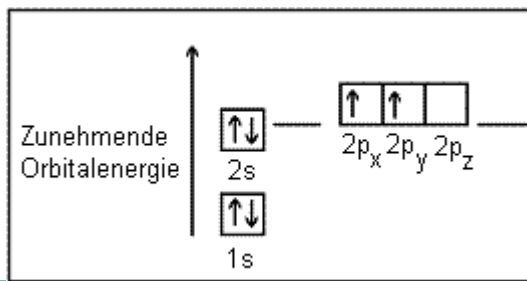
1 1 H Wasserstoff 1.01	2 3 Li Lithium 6.94	4 4 Be Beryllium 9.01	5 11 Na Natrium 22.99	6 12 Mg Magnesium 24.31	7 19 K Kalium 39.10	8 20 Ca Calcium 40.08	9 21 Sc Scandium 44.96	10 22 Ti Titan 47.88	11 23 V Vanadium 50.94	12 24 Cr Chrom 52.00	13 25 Mn Mangan 54.94	14 26 Fe Eisen 55.85	15 27 Co Cobalt 58.93	16 28 Ni Nickel 58.70	17 29 Cu Kupfer 63.55	18 30 Zn Zink 65.41	19 31 Ga Gallium 69.72	20 32 Ge Germanium 72.64	21 33 As Arsen 74.92	22 34 Se Selen 78.96	23 35 Br Brom 79.90	24 36 Kr Krypton 83.80	25 37 Rb Rubidium 85.47	26 38 Sr Strontium 87.62	27 39 Y Yttrium 88.91	28 40 Zr Zirkon 91.22	29 41 Nb Niobium 92.91	30 42 Mo Molybdän 95.94	31 43 Tc Technetium (98)	32 44 Ru Ruthenium 101.07	33 45 Rh Rhodium 102.91	34 46 Pd Palladium 106.42	35 47 Ag Silber 107.87	36 48 Cd Cadmium 112.41	37 49 In Indium 114.82	38 50 Sn Zinn 118.71	39 51 Sb Antimon 121.76	40 52 Te Tellur 127.60	41 53 I Jod 126.90	42 54 Xe Xenon 131.29	43 55 Cs Cäsium 132.91	44 56 Ba Baryum 137.33	45 57 La-Lu Lanthan-Lutetium	46 58 Hf Hafnium 178.49	47 59 Ta Tantal 180.95	48 60 W Wolfram 183.84	49 61 Re Rhenium 186.21	50 62 Os Osmium 190.23	51 63 Ir Iridium 192.22	52 64 Pt Platin 195.08	53 65 Au Gold 196.97	54 66 Hg Quecksilber 200.59	55 67 Tl Thallium 204.38	56 68 Pb Blei 207.2	57 69 Bi Bismut 208.98	58 70 Po Polonium (209)	59 71 At Astat (210)	60 72 Rn Radon (222)	61 73 Fr Francium (223)	62 74 Ra Radium (226)	63 75 Ac-Lr Actin-Lutetium	64 76 Rf Rutherfordium (261)	65 77 Db Dubnium (262)	66 78 Sg Seaborgium (263)	67 79 Bh Bohrium (264)	68 80 Hs Hassium (265)	69 81 Mt Meitnerium (266)	70 82 Ds Darmstadtium (271)	71 83 Rg Roentgenium (272)
---------------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	------------------------------	---------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------------

Ordnungszahl — Elementsymbol — Elementname — Rel. Atommasse

Fe — Feste Elemente
O — Gasförmige Elemente
Hg — Flüssige Elemente (20°C)
Tc — Radioaktive Elemente

© Peter Wich - Experimentalchemie.de - Chemie erleben!

57 La Lanthan 138.91	58 Ce Cer 140.12	59 Pr Praseodym 140.91	60 Nd Neodym 144.24	61 Pm Promethium (147)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.97	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.93	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.97
89 Ac Actinium 227.03	90 Th Thorium 232.04	91 Pa Protactinium 231.04	92 U Uran 238.03	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)



Alternatives Modell:
„Kästchenschreibweise nach Pauli“



SUBDIMENSION

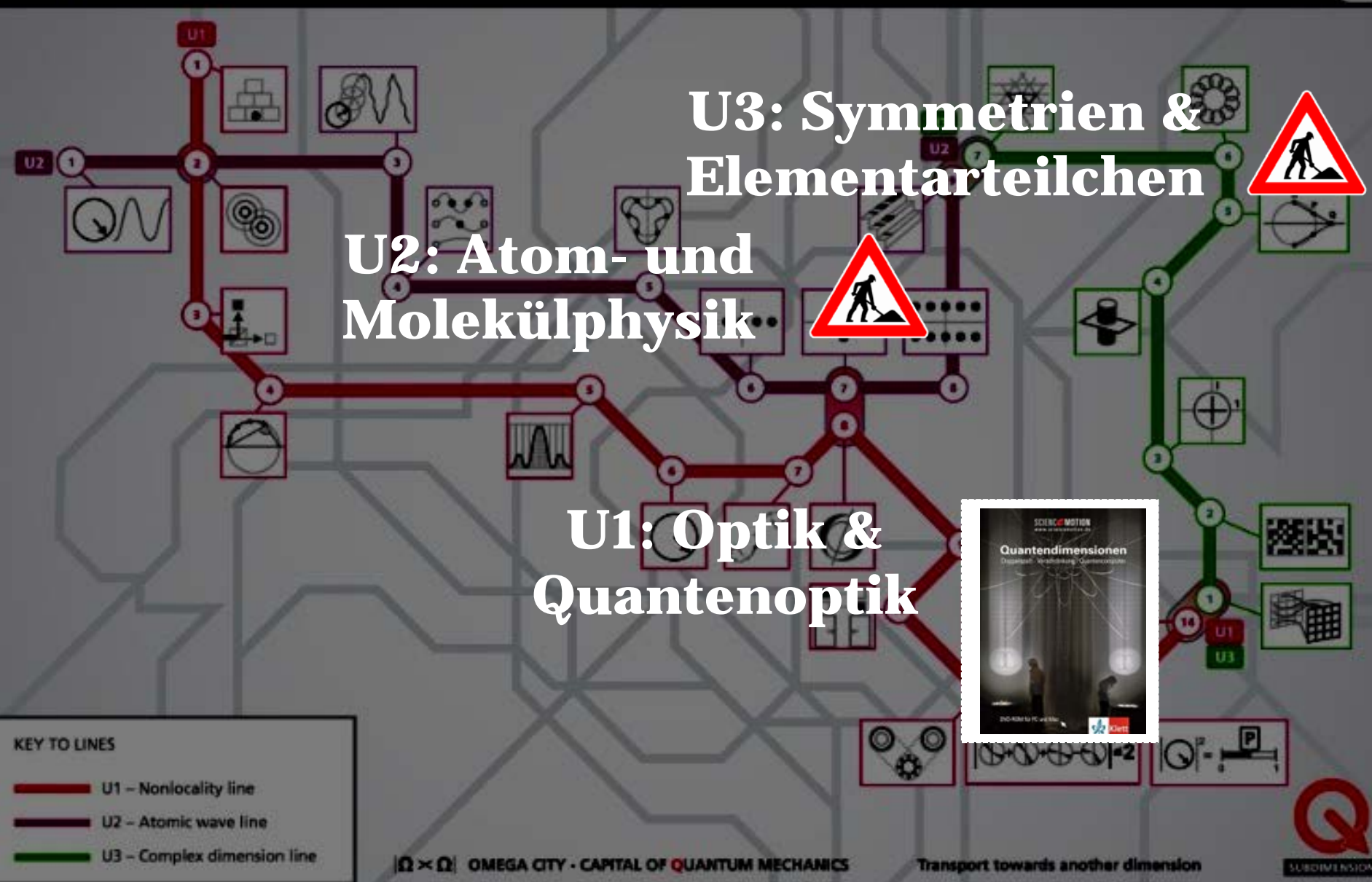
U1

U2

U3



Subdimension - U-Bahn-Plan



U3: Symmetrien & Elementarteilchen

U2: Atom- und Molekülphysik

U1: Optik & Quantenoptik



KEY TO LINES

- U1 – Nonlocality line
- U2 – Atomic wave line
- U3 – Complex dimension line

OMEGA CITY - CAPITAL OF QUANTUM MECHANICS

Transport towards another dimension



SUBDIMENSION

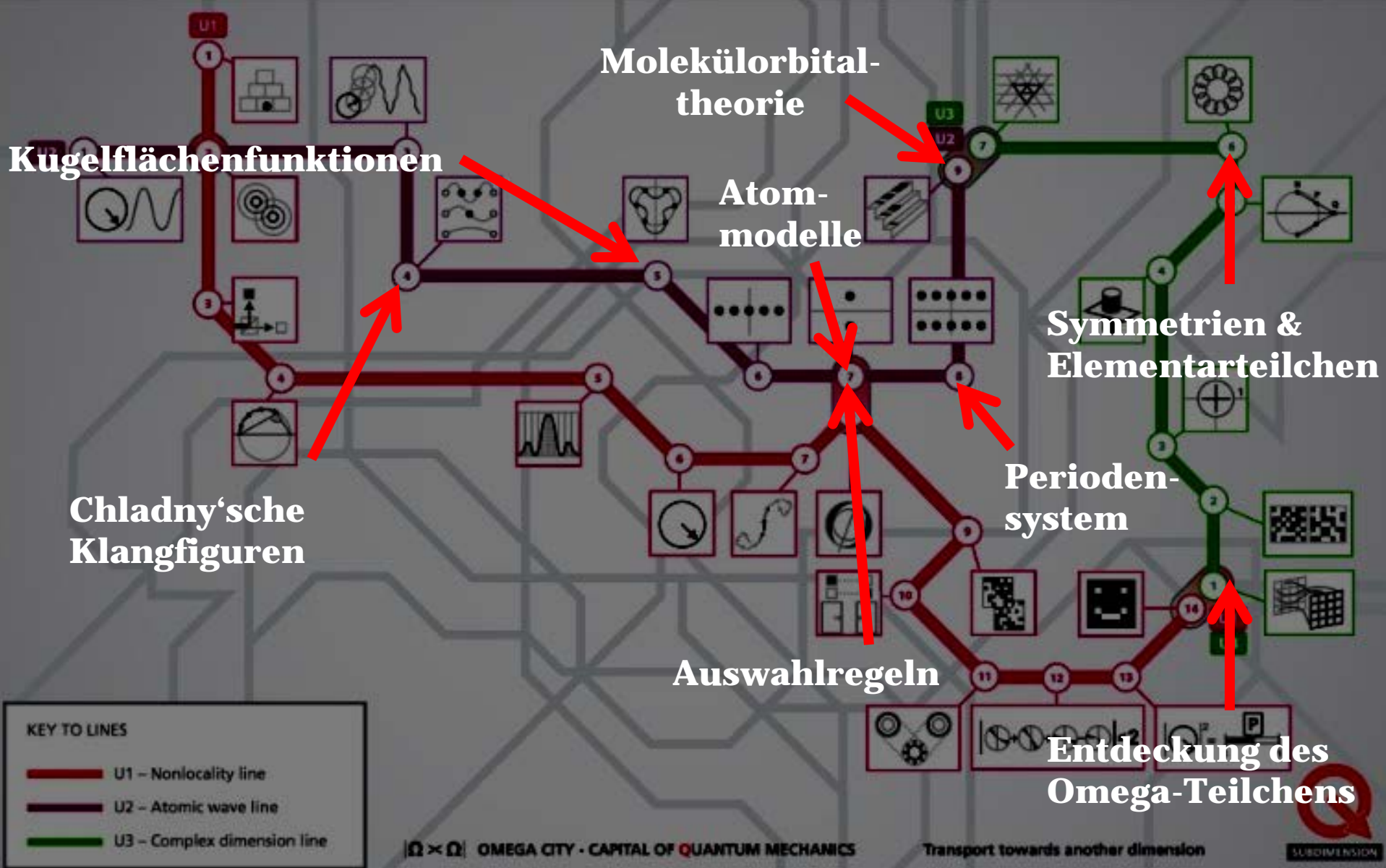


U1

U2

U3

Subdimension - U-Bahn-Plan



Evaluation der DVD Quantendimensionen?



Teil 1 (2008-2010): Schultests mit 300 Schülern
& kontinuierliche Diskussionen mit Physiklehren und Fachkollegen.

Teil 2 (aktuelle Produktion): Kontinuierliche Diskussionen mit Physiklehren und Fachkollegen, sowie qualitative Studien mit Schülern.

Bild der Wissenschaft

Amazon

Artikeldetails



Quantendimensionen. DVD-ROM. Bestseller!
Per Mausklick durch die Quantenwelt!
Art.-Nr.: 802424

✓ Sofort lieferbar.

29,95 €

Menge:

In den Warenkorb

► empfehlen
Für Merkzettel bitte einloggen.

Quantendimensionen.
2011. Multimedia DVD-ROM für Windows und MAC. Ab 16 Jahre.

Diese multimediale Lernsoftware bringt Licht ins Dunkel der Quanten!

Nach fast vierjähriger Arbeit ist am Institut für Didaktik der Physik der Uni München diese

Bestseller in Physik

Die beliebtesten Artikel in Physik. ([Weitere Informationen](#))

1.



Quantendimensionen
von Klett

Plattform: Windows XP / Vista / 7

1 Kundendiskussion

16 neu ab EUR 29,95

2.



Arbeitsblätter für die Sekundarstufe I. Physik / Chemie
/Biologie Klasse 8 - 9. CD-ROM ab Windows 95/98/NT
/2000/XP

von Co.Tec

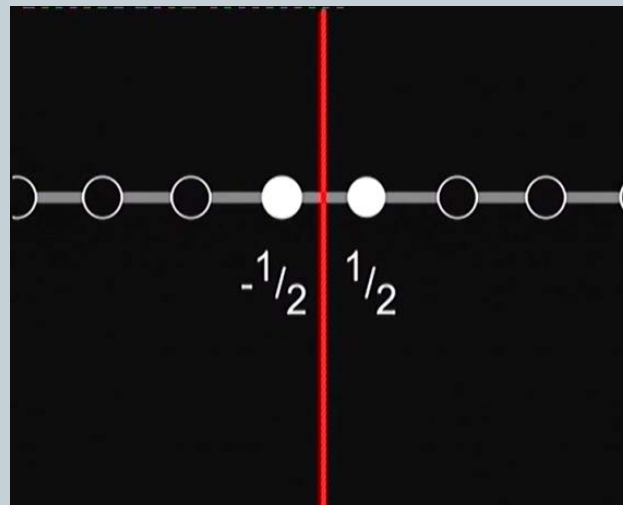
Plattform: Windows 98 / Me / 2000 / XP

Preis: EUR 28,29

Das Qubit als grundlegendes Element der Quantenphysik

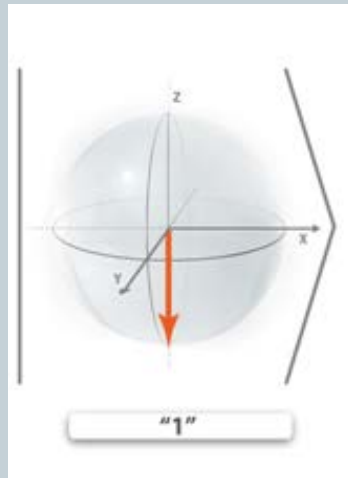


Das Qubit als grundlegendes Element der Quantenphysik

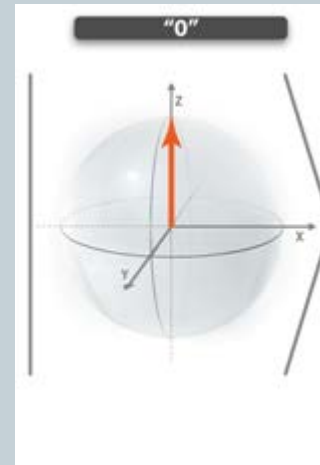
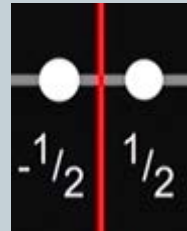


Zwei Spinzustände

Das Qubit als grundlegendes Element der Quantenphysik

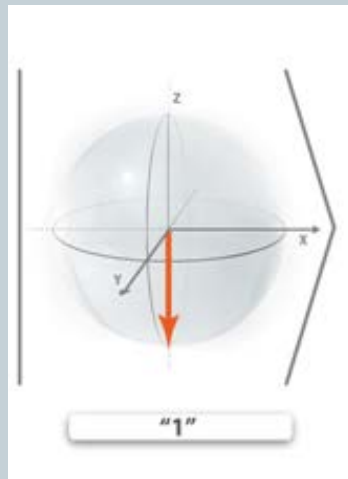


Spin DOWN



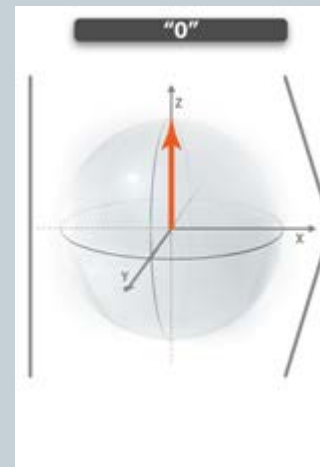
Spin UP

Superposition der Zustände



Spin DOWN

+



Spin UP

Superposition der Zustände



The diagram illustrates the superposition of quantum states using Bloch spheres. It shows an equation where a Bloch sphere on the left is equal to the sum of two Bloch spheres on the right, each multiplied by a coefficient of $\frac{1}{\sqrt{2}}$.

Each Bloch sphere is represented by a circle with a shaded interior, indicating its three-dimensional nature. A coordinate system is shown on each sphere with axes labeled x , y , and z . The z -axis is vertical, the x -axis is horizontal to the right, and the y -axis points diagonally down and to the left.

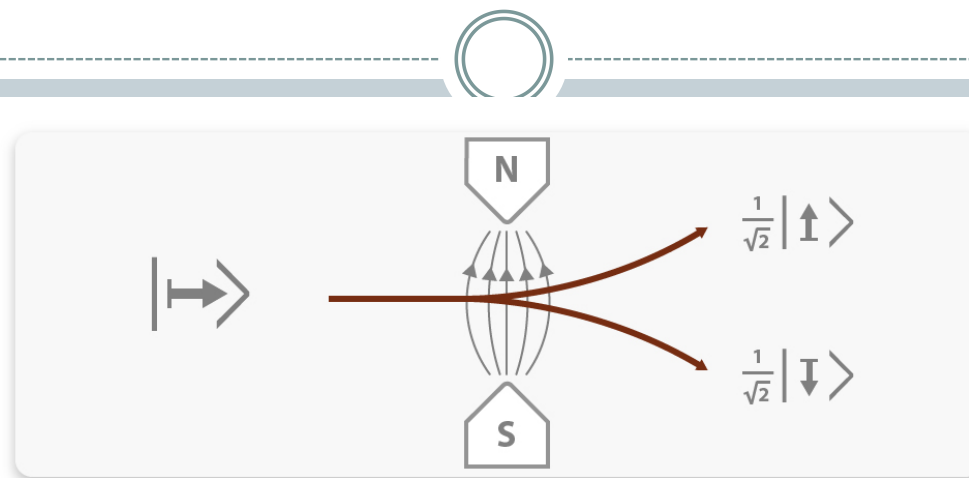
The left Bloch sphere has a red arrow pointing along the positive x -axis.

The right Bloch sphere has a red arrow pointing along the positive z -axis.

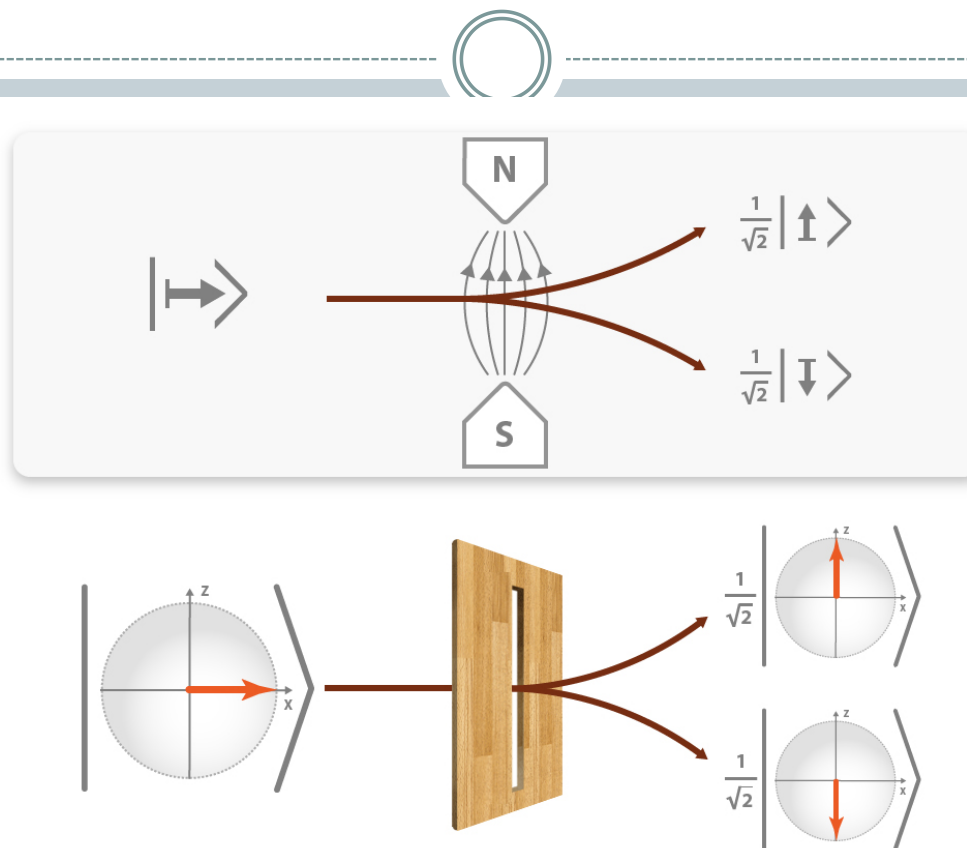
The right Bloch sphere has a red arrow pointing along the negative z -axis.

$$\left| \text{Bloch Sphere with red arrow along } x \right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left| \text{Bloch Sphere with red arrow along } z \right\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} \left| \text{Bloch Sphere with red arrow along } -z \right\rangle$$

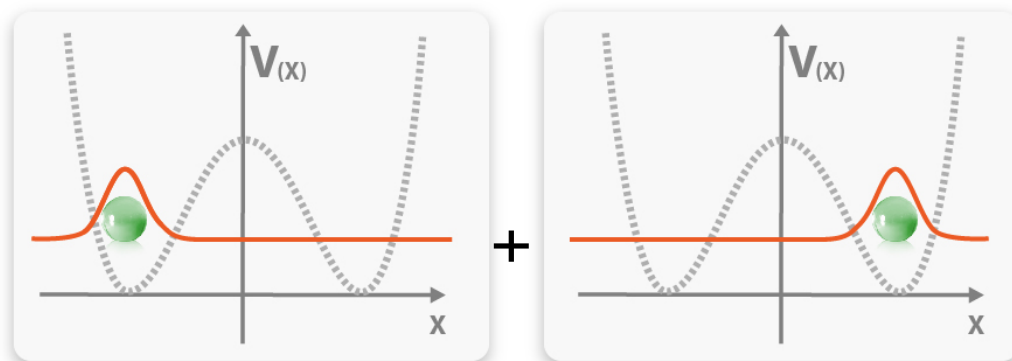
Visualisierung vom Messprozess



Visualisierung vom Messprozess



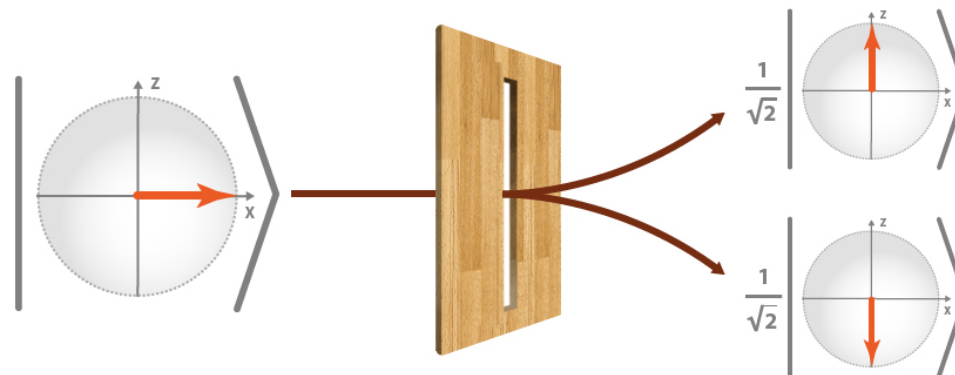
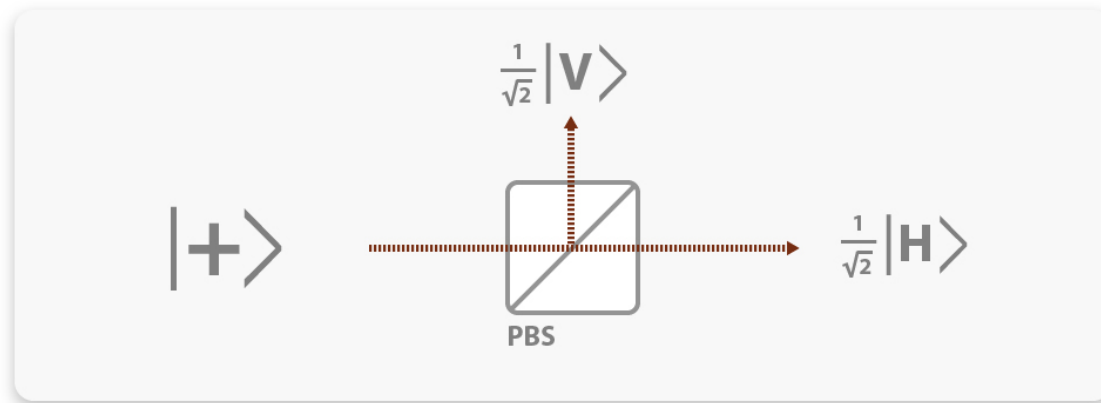
Superposition eines Qubits: Teilchen in Doppelmuldenpotential



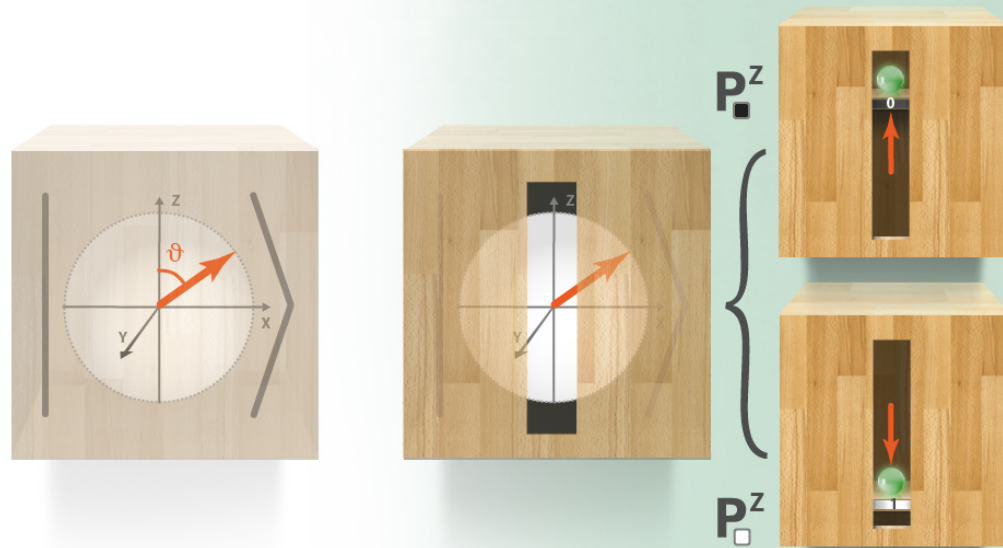
"0"

$$\left| \begin{array}{c} \text{Particle in } x \text{-direction} \end{array} \right\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left| \begin{array}{c} \text{Particle in } z \text{-direction} \end{array} \right\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} \left| \begin{array}{c} \text{Particle in } -z \text{-direction} \end{array} \right\rangle$$

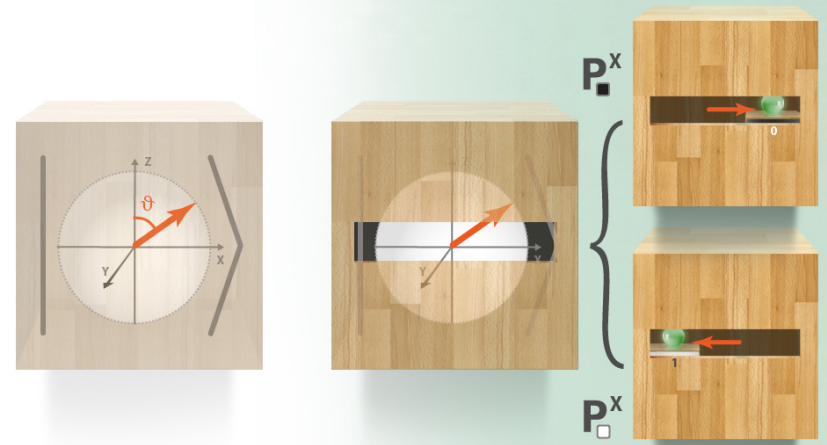
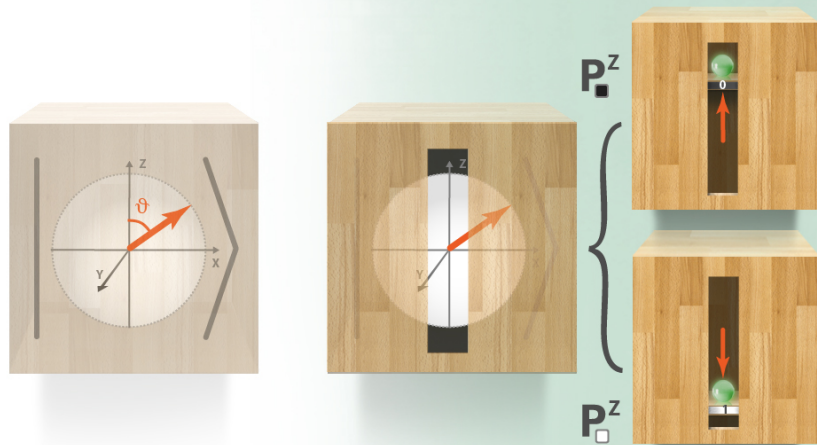
Superposition eines Qubits: Polarisation von Licht



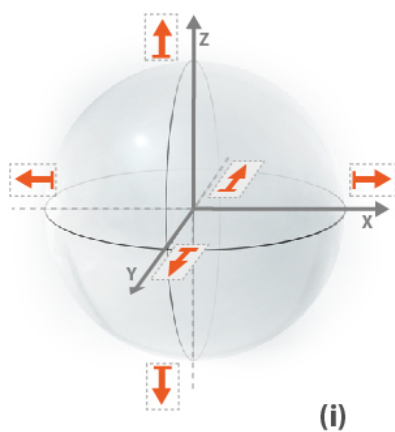
Messung am Qubit



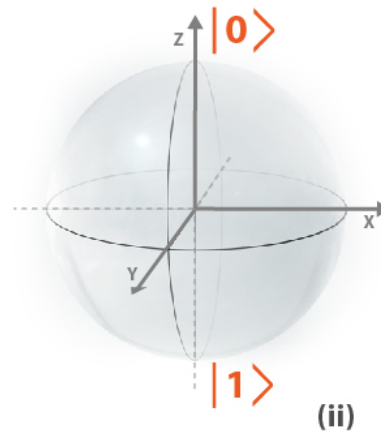
Messung am Qubit



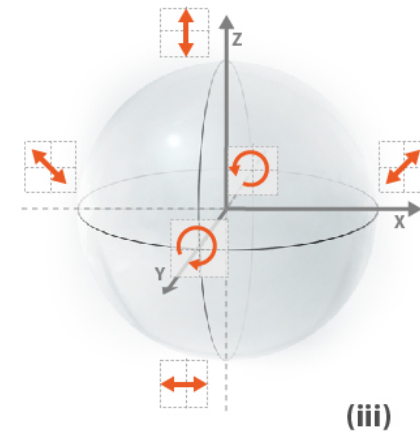
Interpretationen des Qubits



Spin
des Elektrons

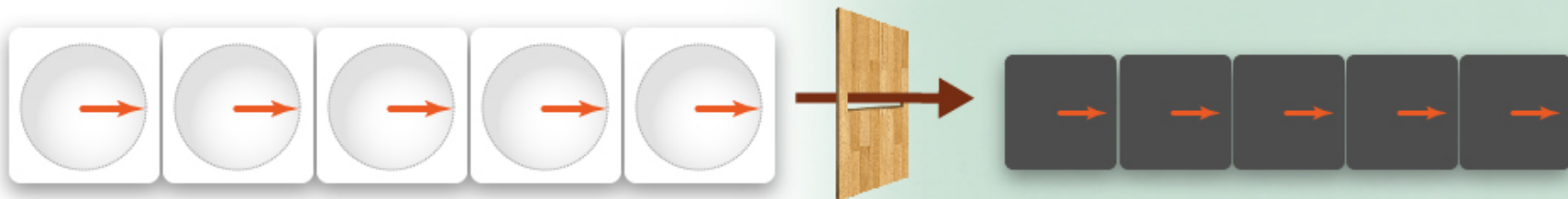
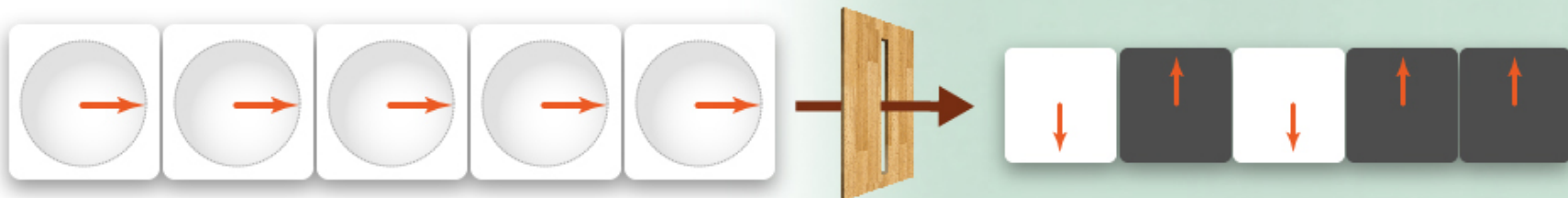
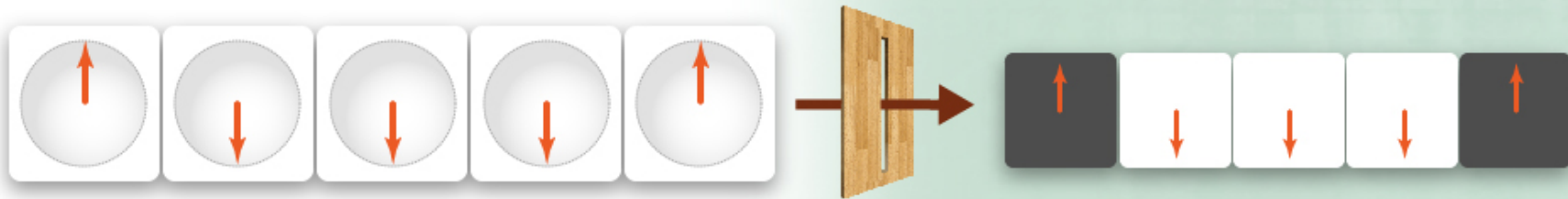


(ii)



(iii)

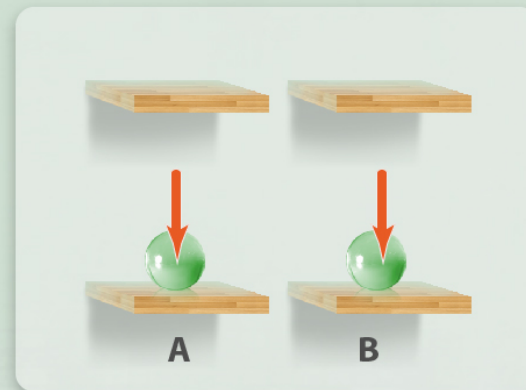
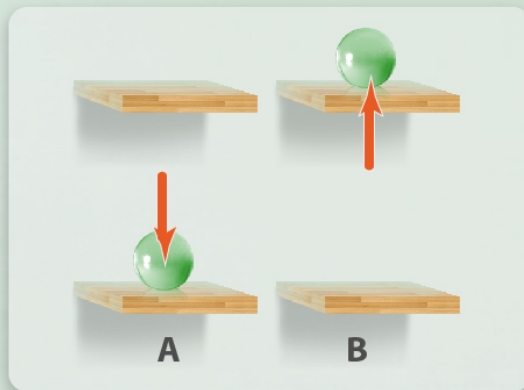
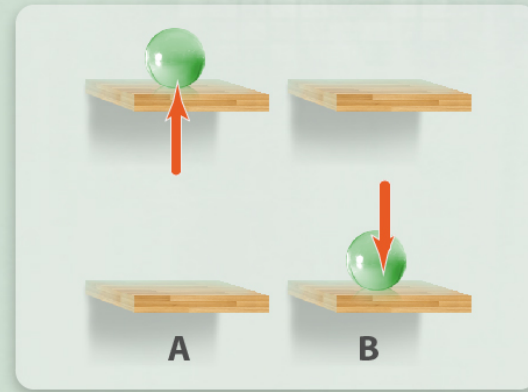
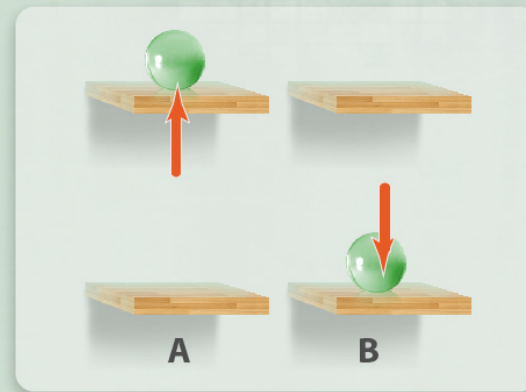
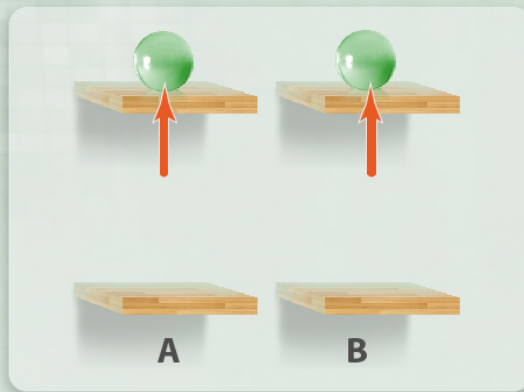
Polarisation
des Photons



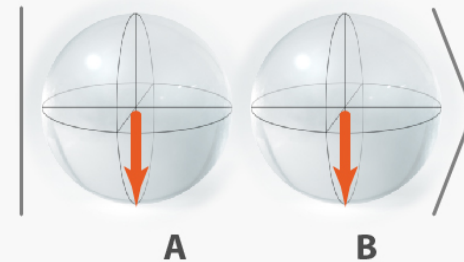
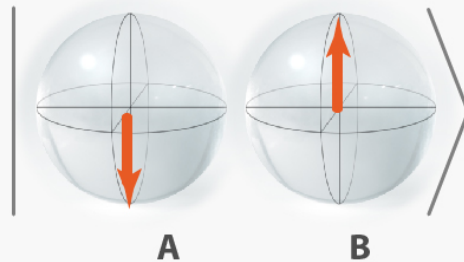
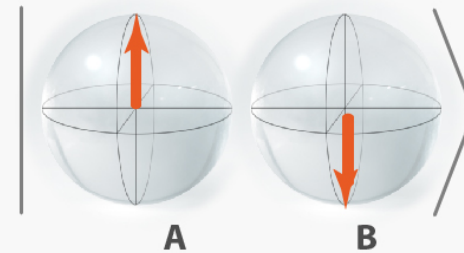
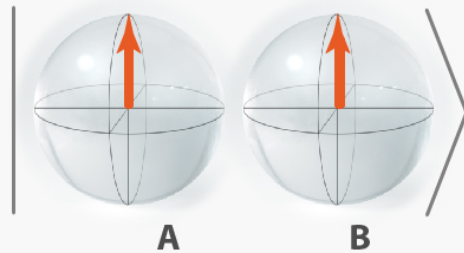
Zwei Qubits



Vier Kombinationen von zwei Bits



Vier Basiszustände von zwei Qubits

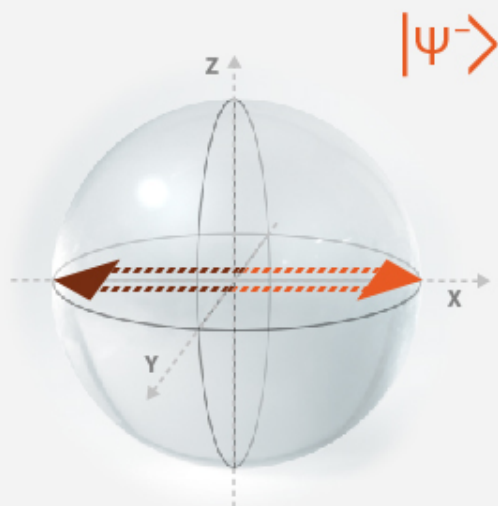
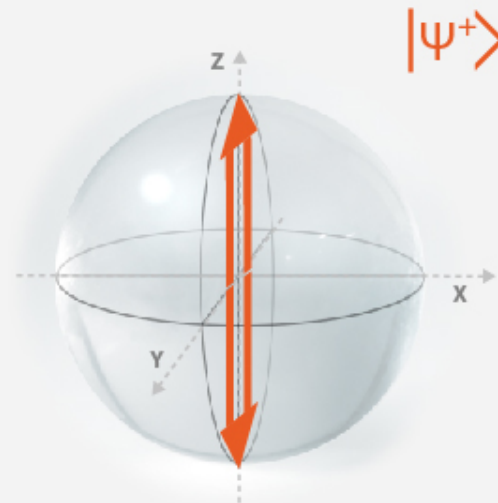
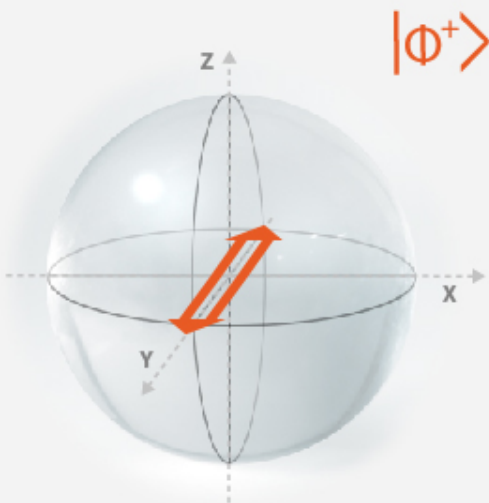
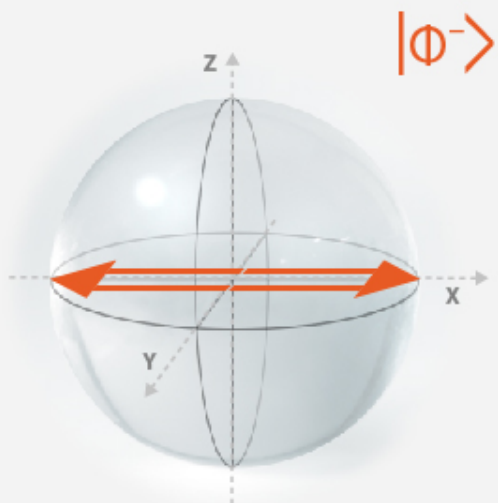


Superposition von zwei Qubits

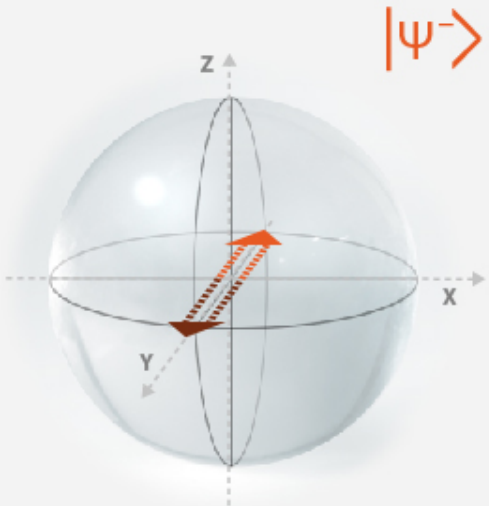


$$\frac{1}{\sqrt{2}} \left| \begin{array}{c} \text{Qubit A} \\ \text{Qubit B} \end{array} \right\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}} \left| \begin{array}{c} \text{Qubit A} \\ \text{Qubit B} \end{array} \right\rangle = \left| \begin{array}{c} \text{Qubit AB} \end{array} \right\rangle$$

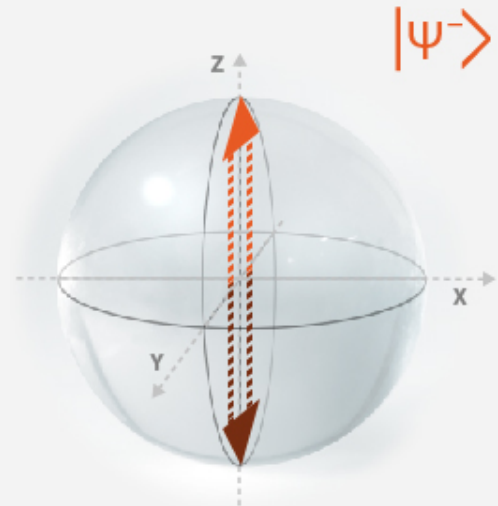
The diagram illustrates the superposition of two qubits. On the left, two terms are added. Each term consists of a coefficient $\frac{1}{\sqrt{2}}$ followed by a ket vector $| \dots \rangle$. The first ket vector contains two Bloch spheres labeled A and B. In the first sphere (A), a red arrow points upwards. In the second sphere (B), a red arrow points downwards. The second ket vector also contains two Bloch spheres labeled A and B. In the first sphere (A), a red arrow points downwards. In the second sphere (B), a red arrow points upwards. An equals sign follows, leading to a single ket vector $| \dots \rangle$ labeled AB. This final ket vector contains a single Bloch sphere labeled AB, which has a red double-headed arrow pointing both up and down, representing the superposition of the two states.

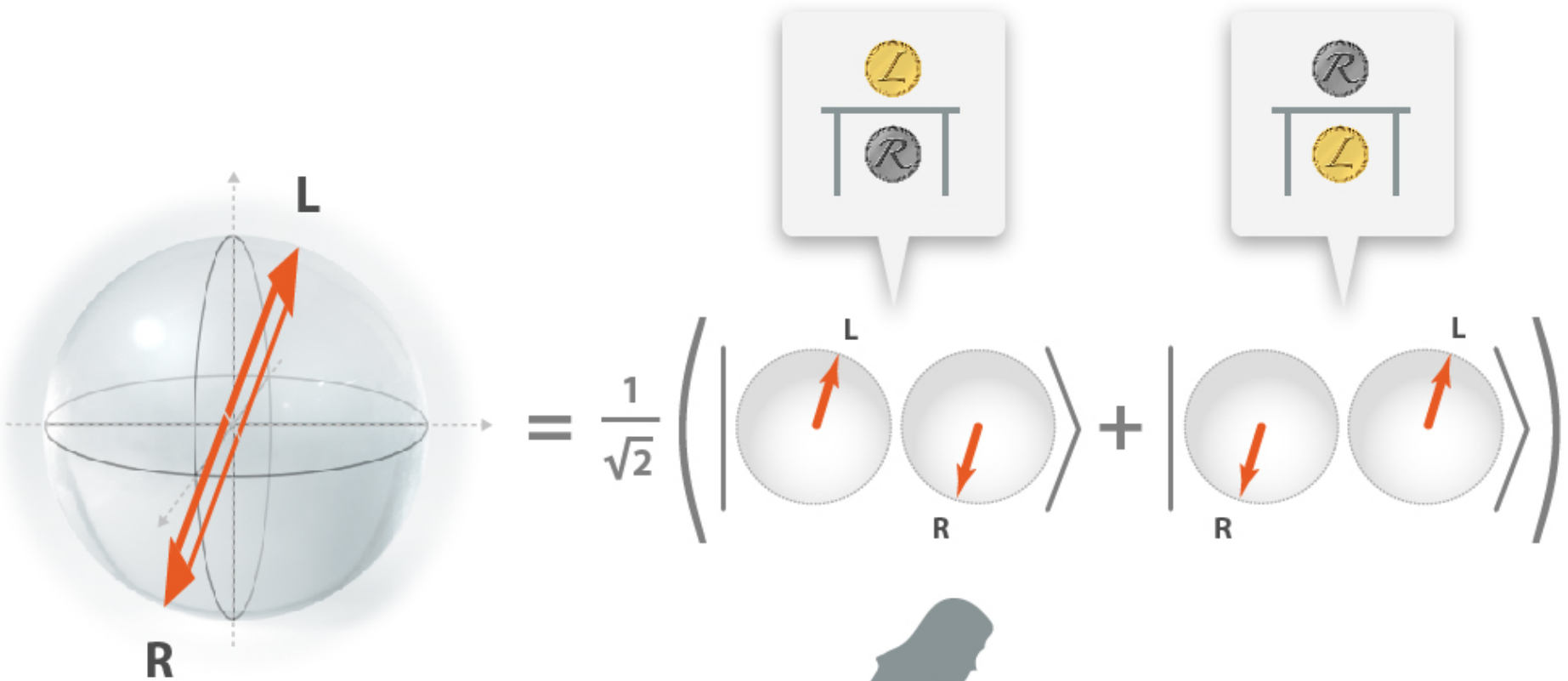


=

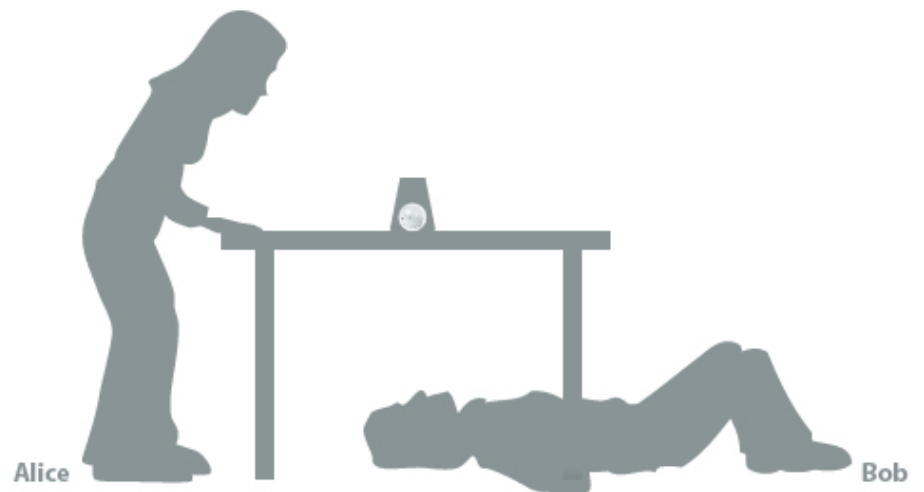


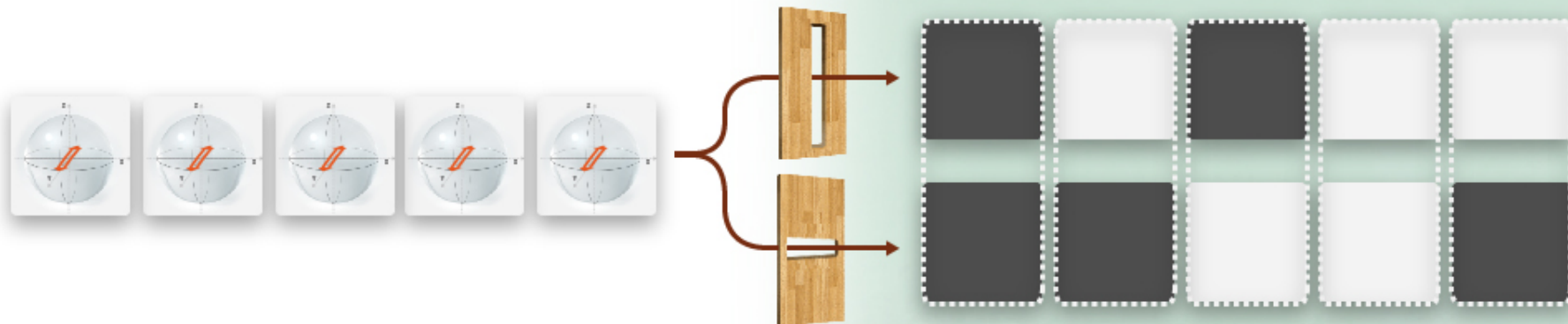
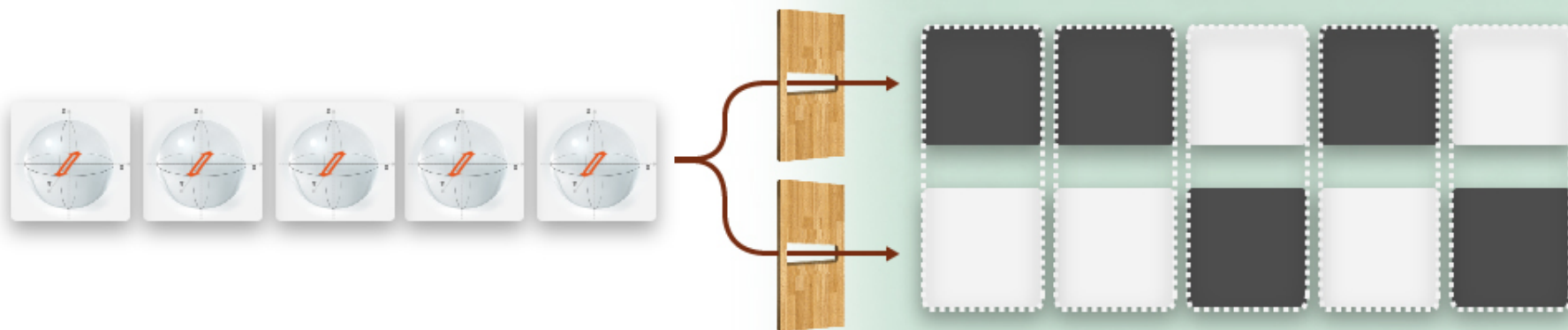
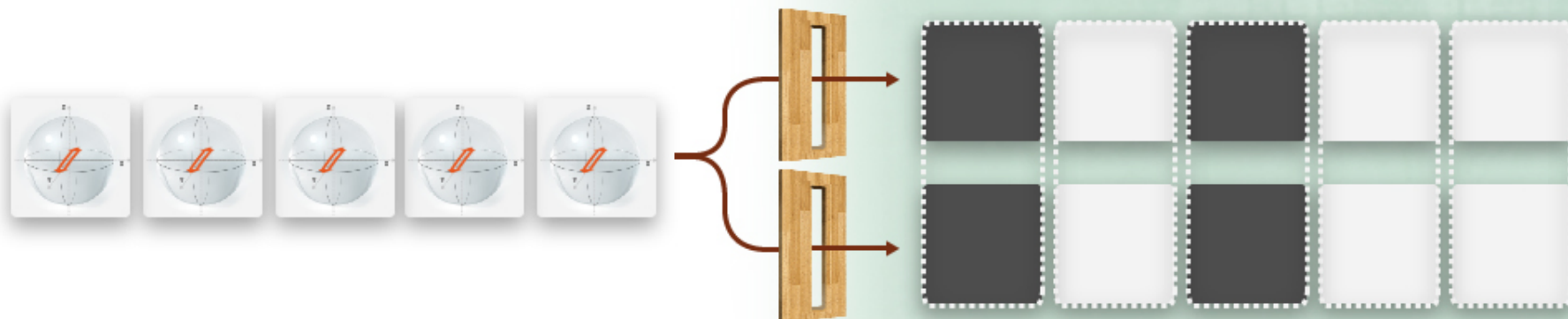
=

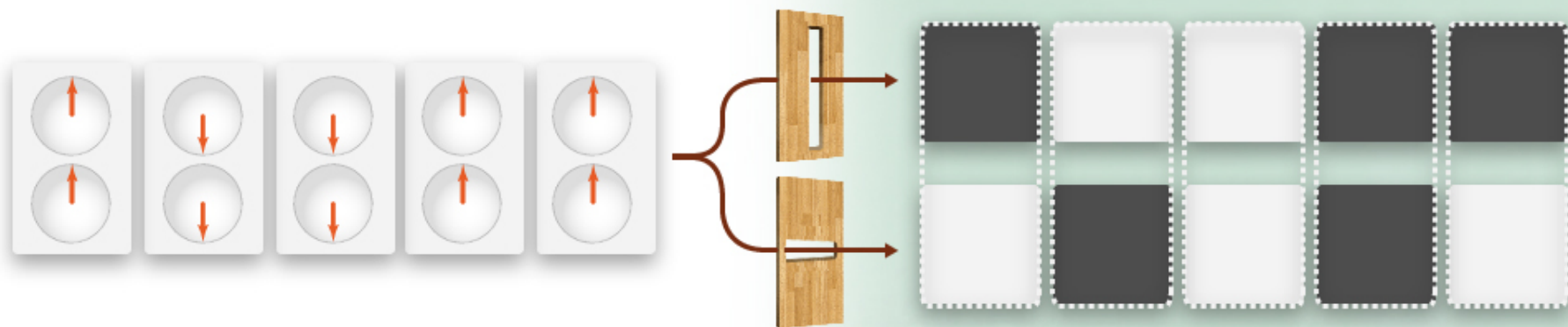
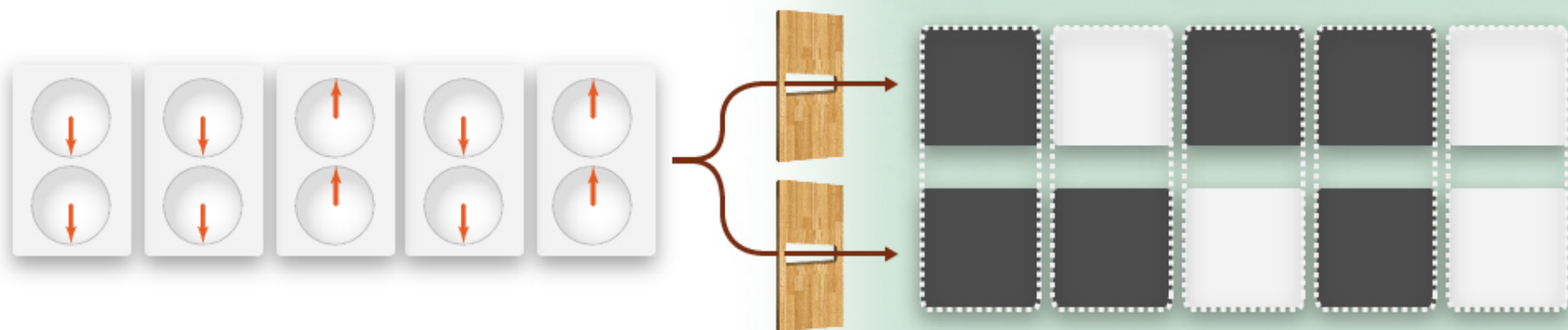
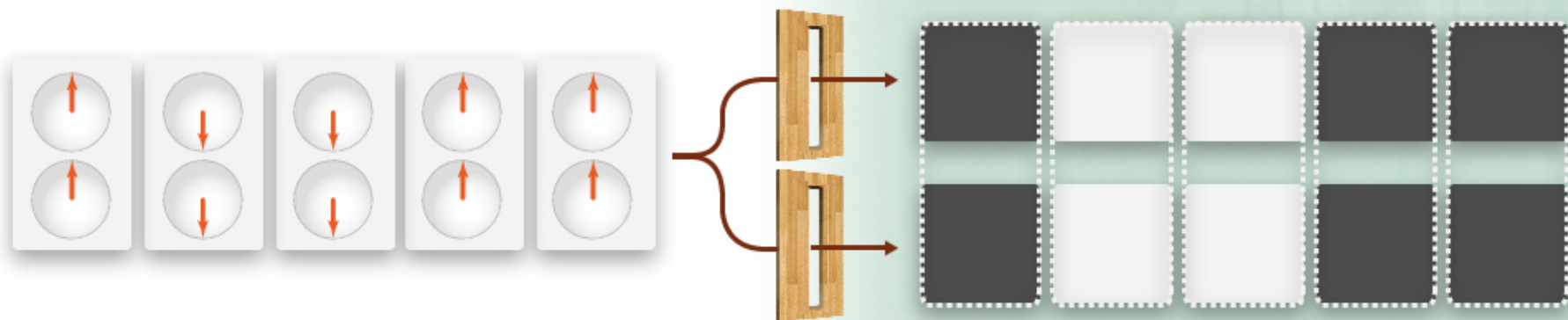


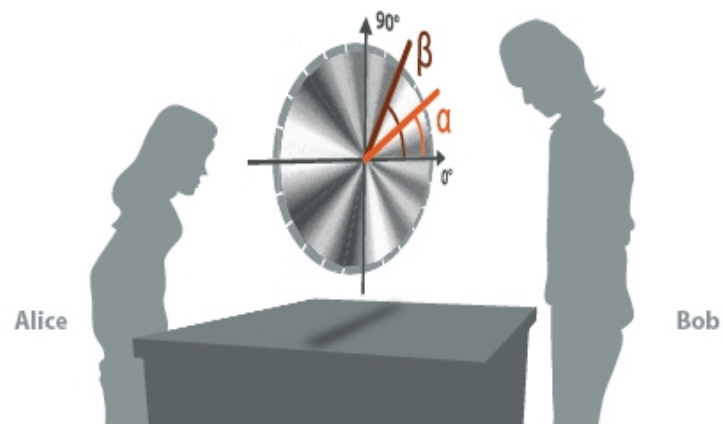
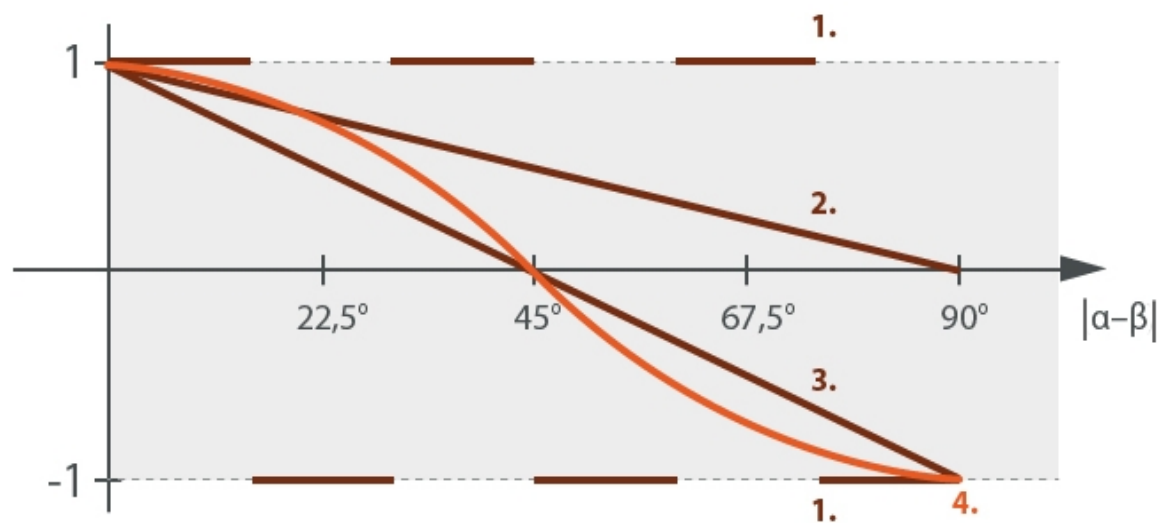
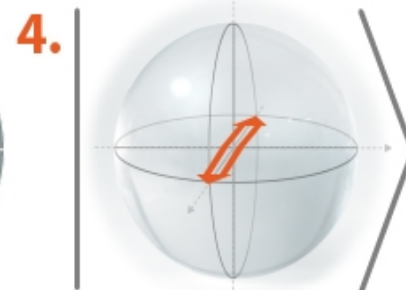
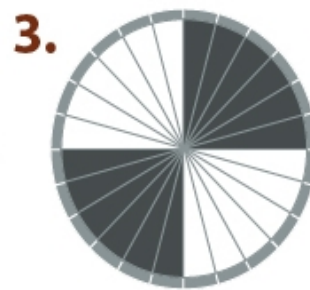
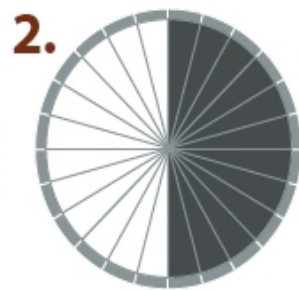
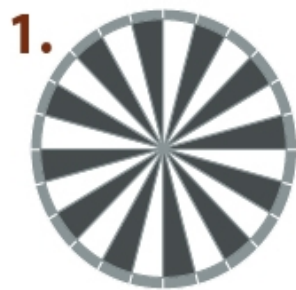


Mathematisch fundierte
Visualisierungen als
Grundlage für das Lehrmedium.









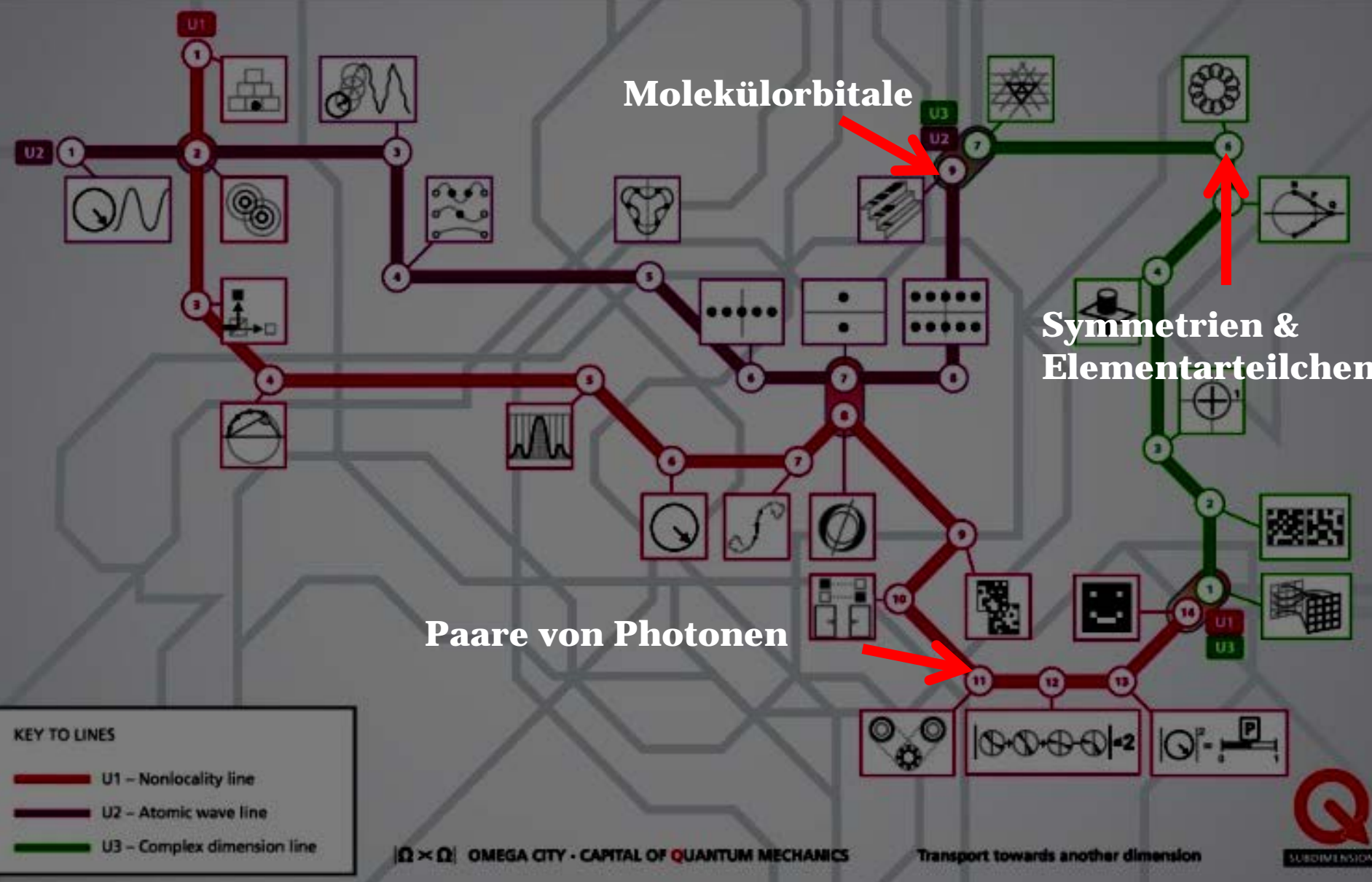


U1

U2

U3

Subdimension - U-Bahn-Plan



Molekülorbitale

Symmetrien & Elementarteilchen

Paare von Photonen

- KEY TO LINES
- U1 – Nonlocality line
 - U2 – Atomic wave line
 - U3 – Complex dimension line

OMEGA CITY - CAPITAL OF QUANTUM MECHANICS

Transport towards another dimension



Epilog: Quantendimensionen





Prof. Omega sagt
„Danke!“
www.scienceemotion.de

<http://chromatek.com/gallery/>