

Teaching Experiments: Akzeptanzbefragung zur Elementarisierung quantenoptischer Realexperimente

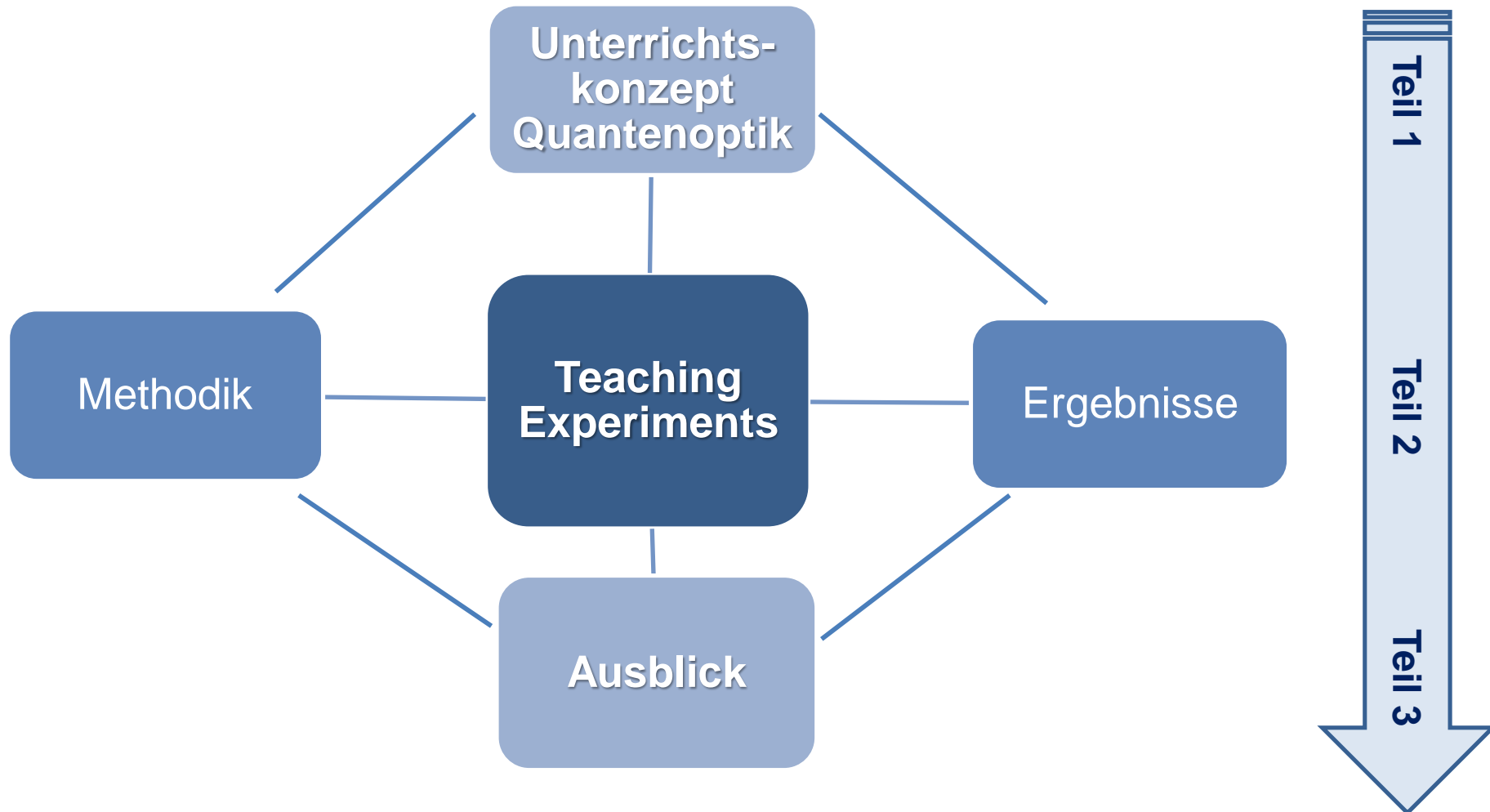
Philipp Bitzenbauer

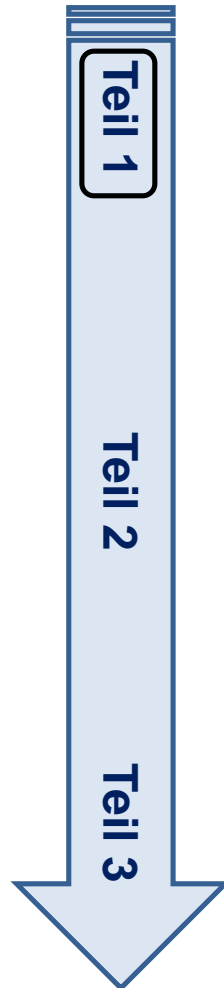
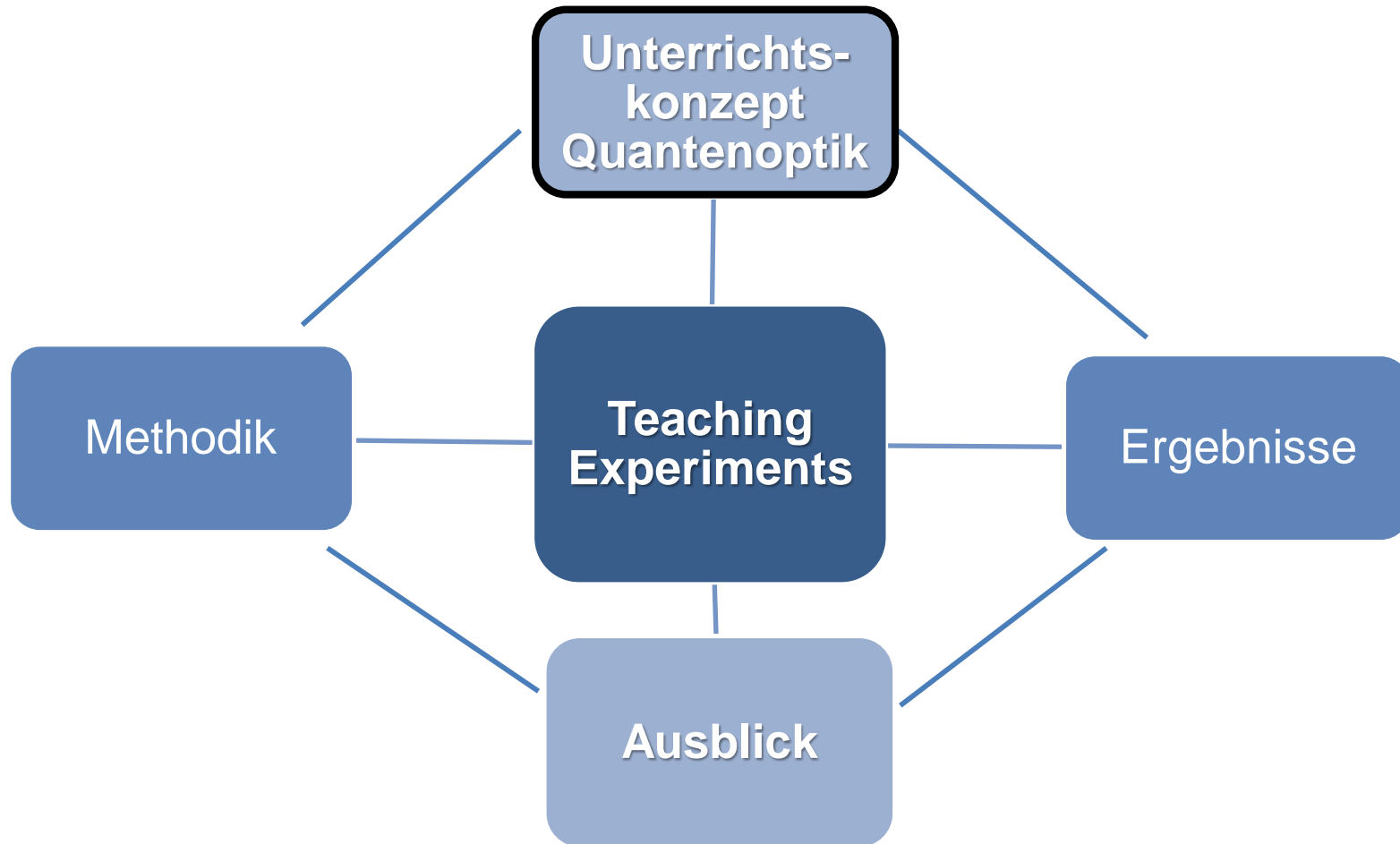
DPG-Herbsttagung 2019 in Freiburg

Beitrag FM 16.3

am 23.09.2019, 17.00 Uhr

Gliederung





Experimental Evidence for a Photon Anticorrelation Effect on a Beam Splitter: A New Light on Single-Photon Interferences.

P. GRANGIER, G. ROGER and A. ASPECT (*)

Institut d'Optique Théorique et Appliquée, B.P. 43 - F 91406 Orsay, France

(received 11 November 1985; accepted in final form 20 December 1985)

PACS. 42.10. – Propagation and transmission in homogeneous media.

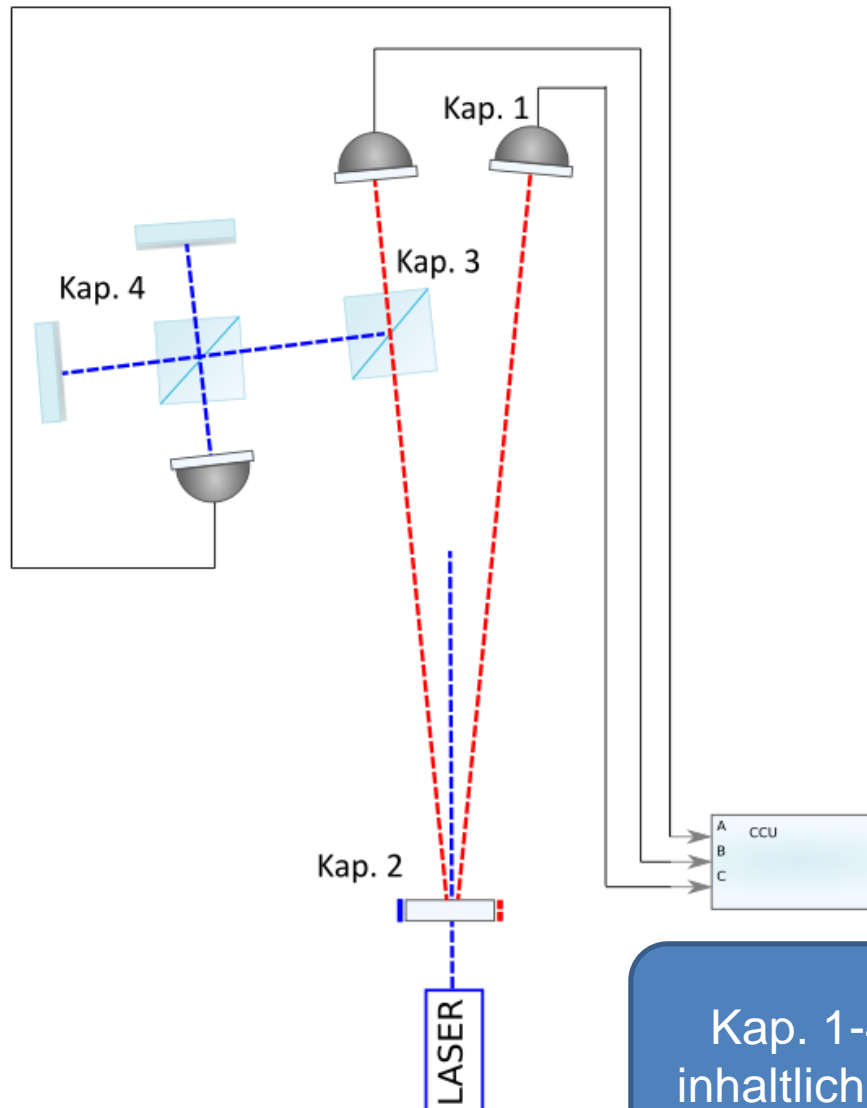
PACS. 42.50. – Quantum optics.



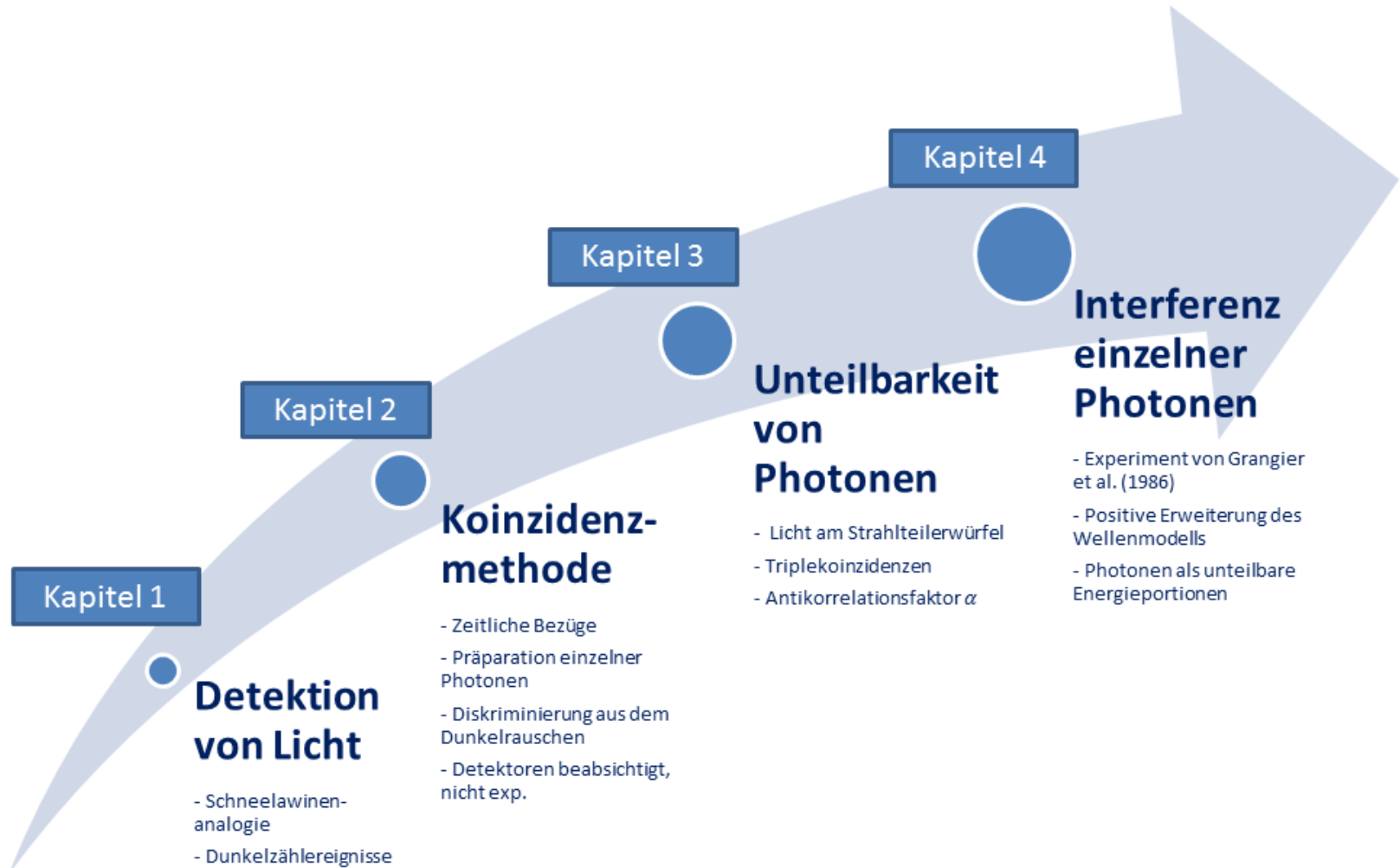
Grundlage /
Idee

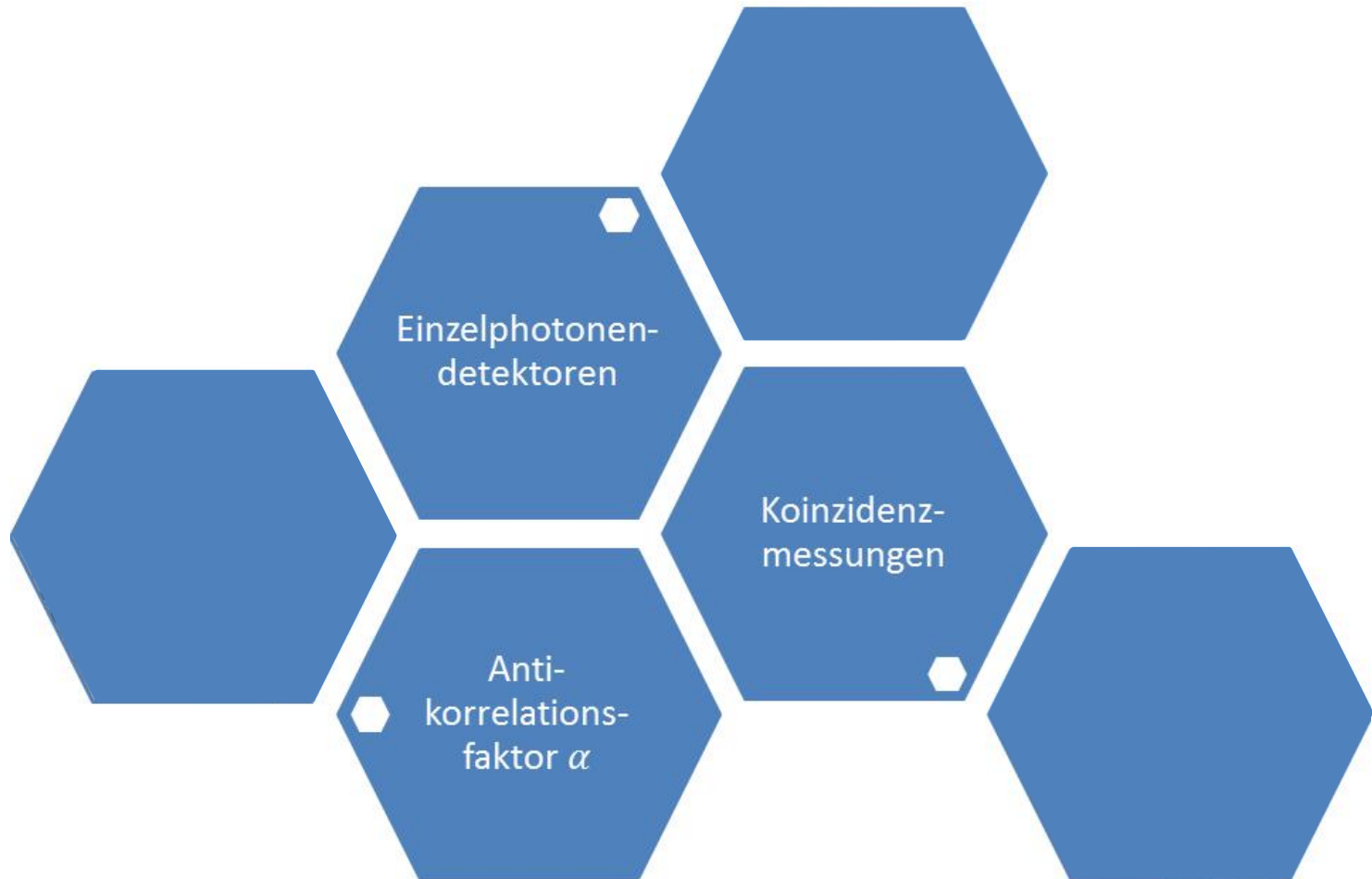
Abstract. – We report on two experiments using an atomic cascade as a light source, and a triggered detection scheme for the second photon of the cascade. The first experiment shows a strong anticorrelation between the triggered detections on both sides of a beam splitter. This result is in contradiction with any classical wave model of light, but in agreement with a quantum description involving single-photon states. The same source and detection scheme were used in a second experiment, where we have observed interferences with a visibility over 98%.

Das Experiment

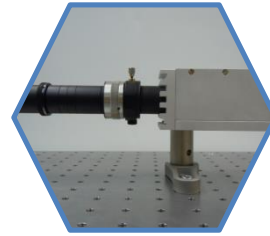


Kap. 1-4: Verortung inhaltlicher Teilaspekte





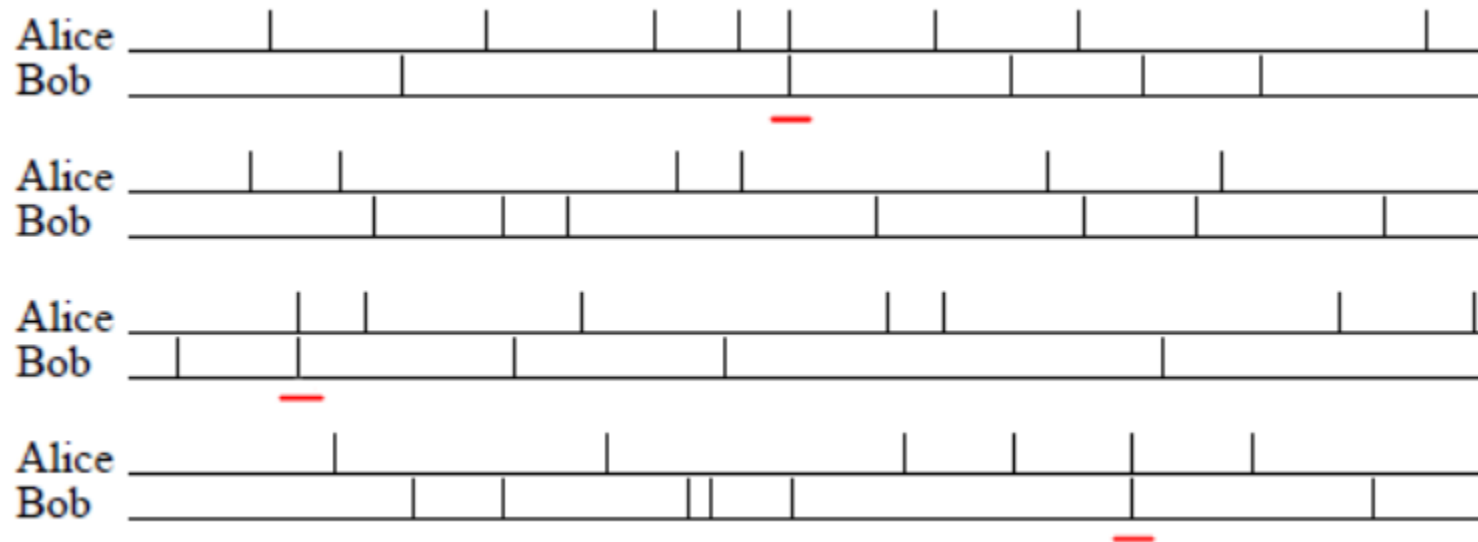
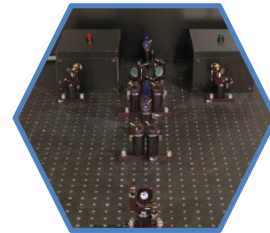
Vermittlung quantenoptischer Konzepte: Beispiel Einzelphotonendetektor

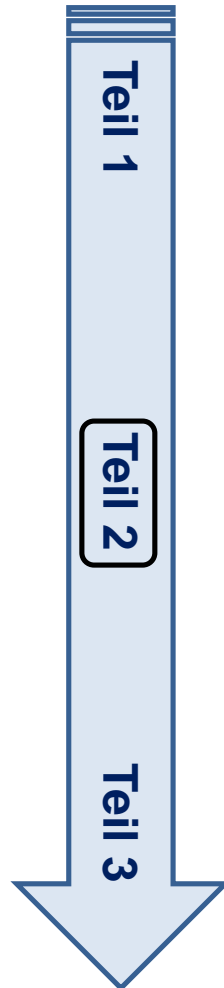
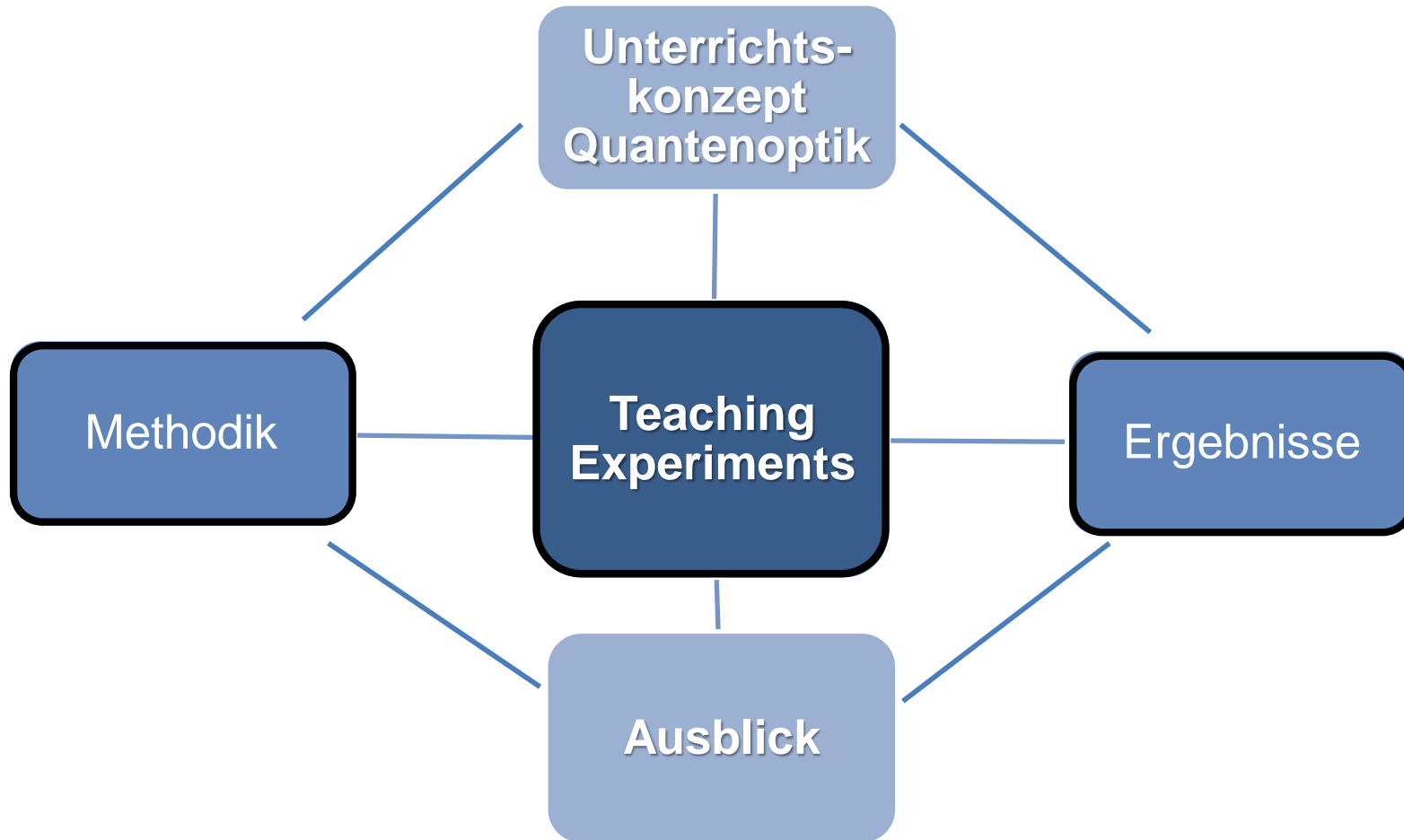


Avalanche Photo Diode	Schneelawine
Elektronen auf hohem elektrischem Potential (metastabiler Zustand)	Schnee auf hohem Gravitationspotential (metastabiler Zustand)
Eine kleine in den Detektor fallende Energiemenge genügt, um die Elektronen freizusetzen	Eine kleine mechanische Störung genügt, um die Schneemassen freizusetzen
Freigesetzte Ladungsträger setzen weitere Ladungsträger frei	Eine sich bergab bewegende Lawine nimmt weiteren Schnee auf
Totzeit	Zeit, bis sich wieder Schnee auf dem Berg angesammelt hat
Dunkelzählereignis	Spontaner Schneeabgang

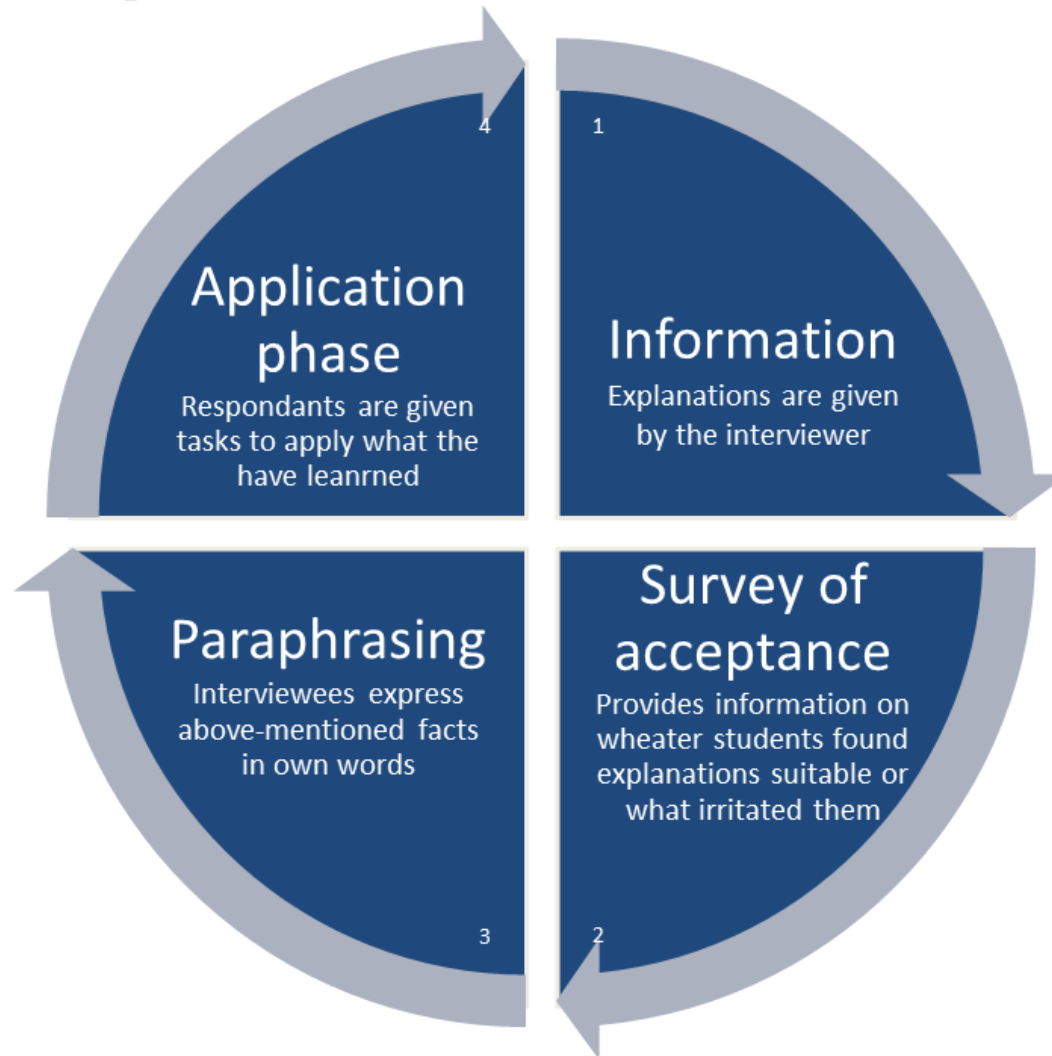
Vermittlung quantenoptischer Konzepte:

Beispiel Koinzidenzmethode





Teaching Experiments



Teaching Experiments

- Teaching Experiments: Evaluation der entwickelten Elementarisierungen quantenoptischer Konzepte (N = 13)
(Jung, 1992; Wodzinski & Wiesner, 1996)
- Kodierung entsprechender Textstellen im Interviewmaterial auf dreistufiger Skala (Akzeptanz und Qualität der Paraphrasierung)
- Unabhängige Rater: Cohens-Kappa $\kappa = 0.87$

Quantenoptik an Schulen: Legitimation

- Erläuterung Funktionsweise der Detektoren (SPCM) in Analogie zum Entstehen und Abgehen einer Schneelawine als positiv wahrgenommen

Quantenoptik an Schulen: Legitimation

- Erläuterung Funktionsweise der Detektoren (SPCM) in Analogie zum Entstehen und Abgehen einer Schneelawine als positiv wahrgenommen

SUAM: „[...] und dann muss man immer aufpassen, dass man sich daran erinnert, dass es eine Dunkelzählrate gibt, also dass auch gemessen werden kann, obwohl gar nichts detektiert wird.“

Ergebnisse zur Befragung nach Akzeptanz im Überblick:

Code	Ak1	Ak2	Ak3	Ak4	Ak5	Ak6	Ak7	Physiknotenmittel	Ak-Mittel
ANWO	0	0,5	0	0	0	1	0,5	3	0,29
BARA	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00
BIST	0	0	0	0	0	0	0	3	0,00
CLMA	0,5	0	0	0	0	0	0	2	0,07
GESI	1	0	0	0	0	0	0	1,5	0,14
MAHE	0	0	0	0	0	0	0	2	0,00
PEPE	0	0,5	0	0	0	0	0	1,5	0,07
SAKO	0	0	0	0	0	0	0	2	0,00
SICH	0	0	0	0	0,5	1	0,5	4	0,29
SIGE	0	0,5	0	0	0	0	0	1	0,07
SOWO	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00
SUAM	0	0	0	0	0	0,5	0	3,5	0,07
DAJE	0,5	0	0	0	0	0	0	1	0,07
Mittelwerte	0,15	0,12	0,00	0,00	0,04	0,19	0,08	2,04	

Ergebnisse zu den Paraphrasierungen im Überblick:

Code	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Physiknotenmittel	P-Mittel
ANWO	0	0,5	0	0,5	0	0,5	1	3	0,36
BARA	0	0	0	0	0,5	0	0	1	0,07
BIST	0	0,5	0,5	0,5	0	0	1	3	0,36
CLMA	0	0	0,5	0,5	0,5	0	0	2	0,21
GESI	0,5	0	0,5	0	0	0	0,5	1,5	0,21
MAHE	0	0,5	0	0	0	0,5	1	2	0,29
PEPE	0,5	0	0	0	0	0	0	1,5	0,07
SAKO	0,5	1	0,5	0	0,5	0	0,5	2	0,43
SICH	0	0	0,5	0,5	0,5	1	0,5	4	0,43
SIGE	1	0,5	0	0	0	0	0,5	1	0,29
SOWO	0	0	0	0	0	0,5	0	1	0,07
SUAM	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5	3,5	0,21
DAJE	0,5	0	0	0	0	0,5	0,5	1	0,21
Mittelwerte	0,23	0,27	0,23	0,15	0,15	0,23	0,46	2,04	

Quantenoptik an Schulen: Legitimation

- Erläuterung Funktionsweise der Detektoren (SPCM) in Analogie zum Entstehen und Abgehen einer Schneelawine als positiv wahrgenommen
- Erklärungen zum Koinzidenzbegriff von 12 der 13 befragten Schülerinnen und Schüler vollständig akzeptiert.

Quantenoptik an Schulen: Legitimation

- Erläuterung Funktionsweise der Detektoren (SPCM) in Analogie zum Entstehen und Abgehen einer Schneelawine als positiv wahrgenommen
- Erklärungen zum Koinzidenzbegriff von 12 der 13 befragten Schülerinnen und Schüler vollständig akzeptiert.

MAHE: „Ich denke er war gut, dieser Zugang, da wird ein wenig die Neugierde geweckt [...], dass man selbst etwas entdecken kann und es einem nicht nur gegeben wird, sondern wir es also gemeinsam erarbeitet haben.“

SAKO: „Dieses Arbeitsblatt war richtig gut.“

Ergebnisse zur Befragung nach Akzeptanz im Überblick:

Code	Ak1	Ak2	Ak3	Ak4	Ak5	Ak6	Ak7	Physiknotenmittel	Ak-Mittel
ANWO	0	0,5	0	0	0	1	0,5	3	0,29
BARA	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00
BIST	0	0	0	0	0	0	0	3	0,00
CLMA	0,5	0	0	0	0	0	0	2	0,07
GESI	1	0	0	0	0	0	0	1,5	0,14
MAHE	0	0	0	0	0	0	0	2	0,00
PEPE	0	0,5	0	0	0	0	0	1,5	0,07
SAKO	0	0	0	0	0	0	0	2	0,00
SICH	0	0	0	0	0,5	1	0,5	4	0,29
SIGE	0	0,5	0	0	0	0	0	1	0,07
SOWO	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00
SUAM	0	0	0	0	0	0,5	0	3,5	0,07
DAJE	0,5	0	0	0	0	0	0	1	0,07
Mittelwerte	0,15	0,12	0,00	0,00	0,04	0,19	0,08	2,04	

Ergebnisse zu den Paraphrasierungen im Überblick:

Code	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Physiknotenmittel	P-Mittel
ANWO	0	0,5	0	0,5	0	0,5	1	3	0,36
BARA	0	0	0	0	0,5	0	0	1	0,07
BIST	0	0,5	0,5	0,5	0	0	1	3	0,36
CLMA	0	0	0,5	0,5	0,5	0	0	2	0,21
GESI	0,5	0	0,5	0	0	0	0,5	1,5	0,21
MAHE	0	0,5	0	0	0	0,5	1	2	0,29
PEPE	0,5	0	0	0	0	0	0	1,5	0,07
SAKO	0,5	1	0,5	0	0,5	0	0,5	2	0,43
SICH	0	0	0,5	0,5	0,5	1	0,5	4	0,43
SIGE	1	0,5	0	0	0	0	0,5	1	0,29
SOWO	0	0	0	0	0	0,5	0	1	0,07
SUAM	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5	3,5	0,21
DAJE	0,5	0	0	0	0	0,5	0,5	1	0,21
Mittelwerte	0,23	0,27	0,23	0,15	0,15	0,23	0,46	2,04	

Quantenoptik an Schulen: Legitimation

- Erläuterung Funktionsweise der Detektoren (SPCM) in Analogie zum Entstehen und Abgehen einer Schneelawine als positiv wahrgenommen
- Erklärungen zum Koinzidenzbegriff von 12 der 13 befragten Schülerinnen und Schüler vollständig akzeptiert.
- Antikorrelationsfaktor α : Herleitung mit elementarer Stochastik, Prozentrechnung und einfacher Bruchrechnung. Mittlerer Akzeptanzwert 0.08; Paraphrasierung 0.46
- Mindestens zufriedenstellende Paraphrasierung: 77% der Probandinnen und Probanden

Quantenoptik an Schulen: Legitimation

BIST: „Also ich denke es ist gut, dass jetzt noch die Stochastik ein bisschen mit reingespielt hat und es war verständlich erklärt.“

GESI: „Ja, ich denke es war sehr gut, dass am Anfang die theoretischen Voraussetzungen und Annahmen, die in die Rechnung eingehen, explizit besprochen wurden, sodass $\alpha = 1$ herauskam. [...]“

Ergebnisse zur Befragung nach Akzeptanz im Überblick:

Code	Ak1	Ak2	Ak3	Ak4	Ak5	Ak6	Ak7	Physiknotenmittel	Ak-Mittel
ANWO	0	0,5	0	0	0	1	0,5	3	0,29
BARA	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00
BIST	0	0	0	0	0	0	0	3	0,00
CLMA	0,5	0	0	0	0	0	0	2	0,07
GESI	1	0	0	0	0	0	0	1,5	0,14
MAHE	0	0	0	0	0	0	0	2	0,00
PEPE	0	0,5	0	0	0	0	0	1,5	0,07
SAKO	0	0	0	0	0	0	0	2	0,00
SICH	0	0	0	0	0,5	1	0,5	4	0,29
SIGE	0	0,5	0	0	0	0	0	1	0,07
SOWO	0	0	0	0	0	0	0	1	0,00
SUAM	0	0	0	0	0	0,5	0	3,5	0,07
DAJE	0,5	0	0	0	0	0	0	1	0,07
Mittelwerte	0,15	0,12	0,00	0,00	0,04	0,19	0,08	2,04	

Ergebnisse zu den Paraphrasierungen im Überblick:

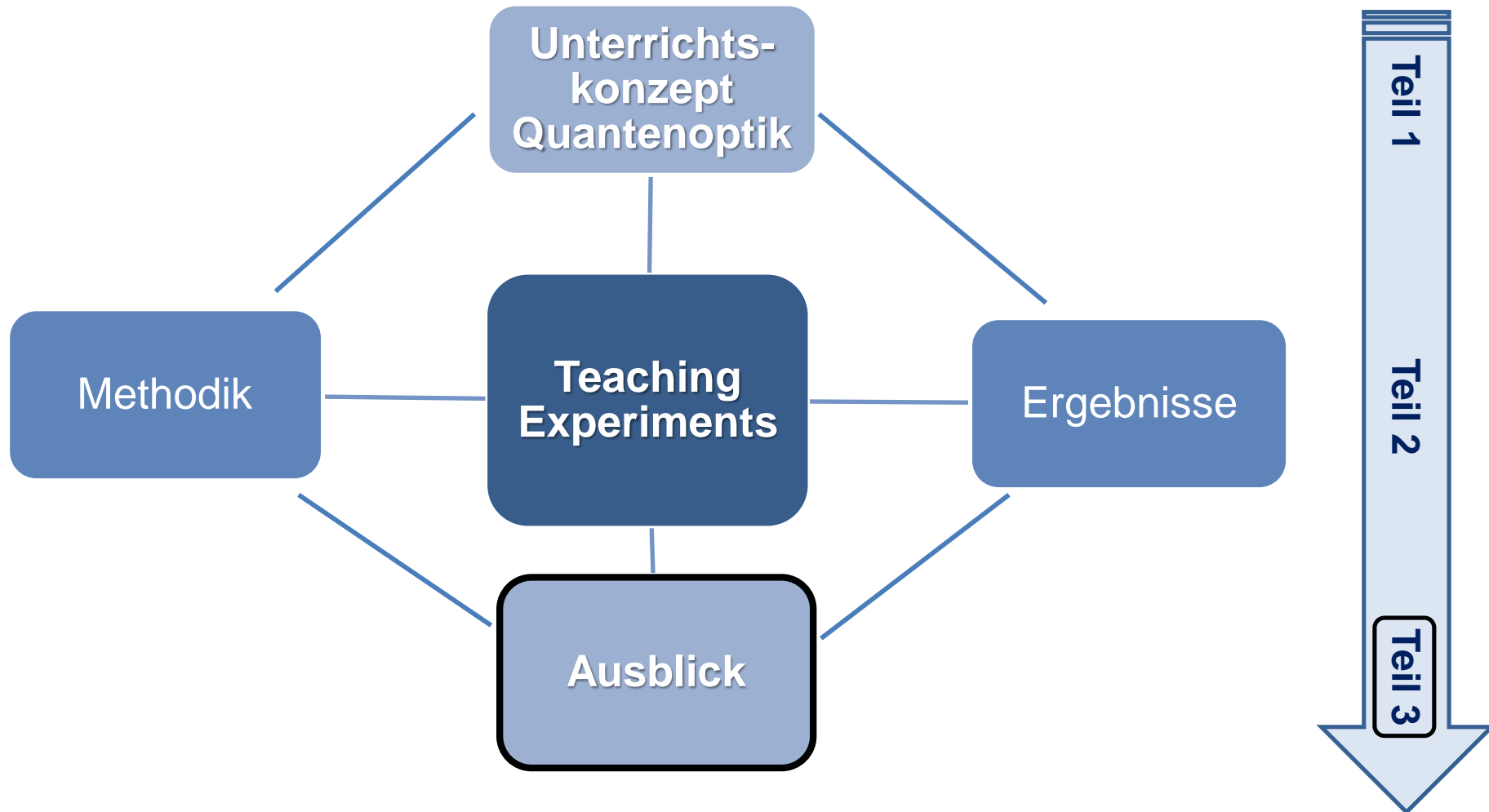
Code	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Physiknotenmittel	P-Mittel
ANWO	0	0,5	0	0,5	0	0,5	1	3	0,36
BARA	0	0	0	0	0,5	0	0	1	0,07
BIST	0	0,5	0,5	0,5	0	0	1	3	0,36
CLMA	0	0	0,5	0,5	0,5	0	0	2	0,21
GESI	0,5	0	0,5	0	0	0	0,5	1,5	0,21
MAHE	0	0,5	0	0	0	0,5	1	2	0,29
PEPE	0,5	0	0	0	0	0	0	1,5	0,07
SAKO	0,5	1	0,5	0	0,5	0	0,5	2	0,43
SICH	0	0	0,5	0,5	0,5	1	0,5	4	0,43
SIGE	1	0,5	0	0	0	0	0,5	1	0,29
SOWO	0	0	0	0	0	0,5	0	1	0,07
SUAM	0	0,5	0,5	0	0	0	0,5	3,5	0,21
DAJE	0,5	0	0	0	0	0,5	0,5	1	0,21
Mittelwerte	0,23	0,27	0,23	0,15	0,15	0,23	0,46	2,04	



Schülervorstellungen Quantenoptik

- Einerseits: Konzept bietet Möglichkeiten bekannte Schülervorstellungen zu umgehen
- Andererseits: Jeder alternative Zugang fördert neue Schülervorstellungen, hier z.B.:

Erklärungsansatz	Schülervorstellung
Diffraktives Element zur Visualisierung des Fluoreszenzkegels	<i>SAKO: „[...] Im Kristall wird der einfallende Lichtstrahl in zwei Lichtstrahlen aufgespaltet.“</i>
Abhilfe: Nur Energie- und Impulserhaltung behandeln	
Arbeitsblatt mit Klicks bei Alice und Bob, um Koinzidenzen zu entdecken	<i>Koinzidenz = Gleichzeitiges Ereignis an <u>zwei</u> Detektoren</i>
Abhilfe: Verallgemeinerung des Koinzidenzbegriffs auf mehr als 2 Detektoren von Anfang an	



Studiendesign und –ablauf

Pilotstudie

- Verständlichkeit der Erklärungsansätze (Teaching Experiments)
- Erprobung der Arbeitsmaterialien
- Entwicklung und Pilotierung des Testinstruments

Hauptstudie

- Summative Evaluation: Erfassung und Bewertung der Lernwirksamkeit und Interessantheit des Unterrichtskonzepts und seiner Inhalte
- Prä-Posttest-Design mit Follow-Up-Test
- Zeitlicher Rahmen: Intervention von 3 Doppelstunden
- Leitfadengestützte Interviews mit einzelnen Probandinnen und Probanden in der Retrospektive

Forschungsfragen



Primäres Ziel: Stellt das entwickelte Unterrichtskonzept eine adressatengerechte Möglichkeit zur Vermittlung quantenoptischer Begriffe und Zusammenhänge auf dem Niveau der gymnasialen Oberstufe dar?

1. Führt das neue Unterrichtskonzept zur Quantenoptik zu signifikantem Lernzuwachs und sind die Schülerinnen und Schüler beim Umgang mit (quanten-)physikalischen Konzepten sicherer?
2. Ergibt sich für die Lernwirksamkeit des Konzepts eine Abhängigkeit von dem Geschlecht der Lernenden, dem fachspezifischen Prätestergebnis oder dem Interesse an Quantenphysik?
3. Wird das Unterrichtskonzept von Lehrkräften als praxistauglich empfunden?