



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

DIE VERBESSERUNG DER LEHRAMTSAUSBILDUNG IN DER QUANTENPHYSIK

Matthias Schöne, Gesche Pospiech

Lernen von Quantenphysik

- **Ziele des Physikunterrichts**

- Allgemeinbildung
- Grundlegende physikalische Theorie
- Formung des Weltbildes
 - Kenntnis der Wesenszüge des klassischen Weltbildes
 - Kenntnis der Wesenszüge des quantenphysikalischen Weltbildes

- **Probleme des Unterrichts über Quantenphysik**

- Abstrakte Theorie mit starkem mathematischen Bezug
- Widerspricht Alltagserfahrungen

*“Einstein said that if quantum mechanics were correct then the world would be crazy. Einstein was right - **the world is crazy.**” – Daniel M.*

Greenberger

*“Die Quantentheorie gibt uns ein Beispiel der Tatsache, dass wir einen Zusammenhang vollständig verstehen, obwohl wir davon nur in Bildern und Gleichnissen sprechen können.” - **Werner Heisenberg***

*“The difficulty really is psychological and exists in the perpetual torment that results from your saying to yourself, “But how can it be like that?” which is a reflection of uncontrolled but utterly vain desire to see it in terms of something familiar. I will not describe it in terms of an analogy with something familiar; I will **simply describe it**. ...I am going to tell you what nature behaves like. If you will simply admit that maybe she does behave like this, you will find her a delightful, entrancing thing. Do not keep saying to yourself, if you can possibly avoid it, “But how can it be like that?” because you will get 'down the drain', into a blind alley from which nobody has escaped. Nobody knows how it can be like that.” – **Feynman***

Überblick

- **Anforderungen und Randbedingungen der Lehramtsausbildung in Quantenphysik**
- **Konzeption eines den Anforderungen entsprechenden Zusatzseminars**
- **Evaluation dieses Seminars auf Lernwirksamkeit**



Anforderungen und Randbedingungen der Lehramtsausbildung in Quantenphysik

„Kausalkette“

- **Schüler sollen die aktuellen Entdeckungen und Entwicklungen moderner Physik, darunter der Quantenphysik, kennenlernen**
- **Schüler sollen erfahren, dass die Quantenphysik ein anderes Weltbild erfordert als die klassische Physik**
- **Lehrer sollen in der Lage sein, die Grundlagen der Quantenphysik anregend für die Schüler vermitteln zu können**
- **Lehramtsstudierende sollen hierzu eine gute Grundlage in ihrer Ausbildung erhalten**

Fachlicher Aspekt: Kern der Quantenphysik

- **Superpositionsprinzip:**
 - lineare Kombination von Zustandsvektoren
- **Unbestimmtheit:**
 - Nichtexistenz fester Werte für die physikalischen Eigenschaften
- **Verschränkung:**
 - physikalische Beschreibung eines Systems mit (mindestens) zwei "*Teilen*"

Fachlicher Aspekt: „Quanteninformation“ als Thematik

- **Direkter Zugang in den Kern der Quantenmechanik**
 - Relativ einfach über Zwei-Zustandssysteme
 - Beschreibung über die Zustandsfunktion
- **Einblick in aktuelle Forschung**
- **Interessante Visionen**
- **Philosophische Diskussionen zur Formung eines individuellen Weltbildes**

Perspektive der Lehrenden und Lernenden

Anforderungen von Lehrpersonen

- Onlinefragebogen mit offenen und geschlossenen Fragen
- 27 Dozenten aus dem Bundesgebiet

Anforderungen von Lehramtsstudenten

- Onlinefragebogen mit geschlossenen Fragen
- 26 Studenten aus dem Bundesgebiet
- 7. - 10. Fachsemester

Bekannte Probleme der Lehramtsstudenten

- **Beibehaltung klassischer, realistischer Perspektiven**
- **Verharren im Bohrschen Atommodell**
- **Permanente Lokalisierung/Bahnbegriff**
- **Energieverlust beim Tunneln**
- **Konzeptionelles Verständnis**
- **Interpretationsfragen**
- **Didaktische Möglichkeiten der Vermittlung**
- **Adäquates Reagieren in kritischen Unterrichtssituationen**

Randbedingungen: Begriffe in Lehrplänen

Die häufigsten Nennungen

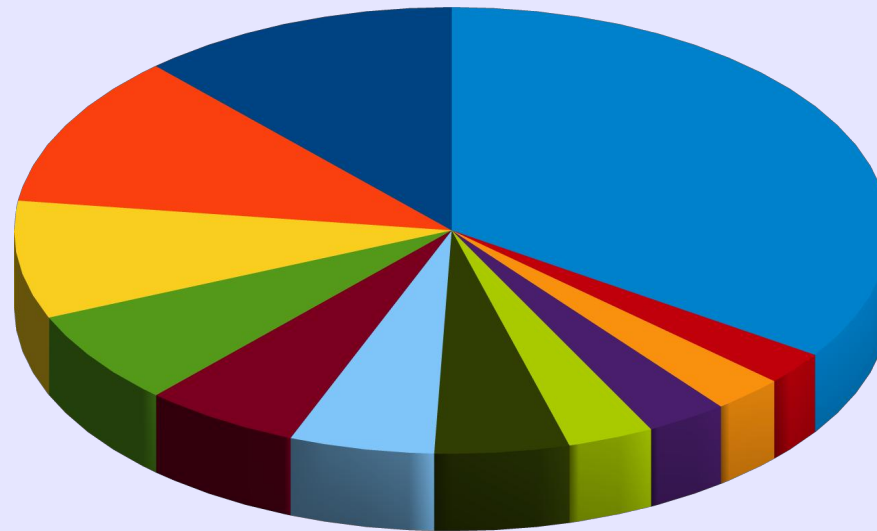
Unbestimmtheitsrelation	14	Interferenz/ Doppelspalt	12
Photoeffekt	14	Linienpektren	11
Elektronenbeugung	13	Qm-Atommodell	9
DeBroglie	12	Wahrscheinlichkeitsaussagen	9

“Most elementary textbooks and popularization works about quantum physics remain plagued by archaic wordings and formulations.”

Inhalte von aktuellen Schulbüchern

	Anzahl der Seiten					
Geschichte	2	-	-	-	-	-
Photoeffekt	2	4	-	4+2	5	3
Comptoneffekt	1	-	-	2	2	1/2
Welle-Teilchen-Dualismus	5	Quanten- objekte: 2	Quanten- objekte: 3	Quanten- objekte: 2+4	1/2	4
Unbestimmtheit	4	2	2	3	3	2
Doppelspalt/ Interferenz	2	2+2+2	1	2	4+4	1
Messprozess	3	1	1/2	1	implizit	-
Verschränkung	1	1	1, Teleporta- tion: 2	implizit		-
Interpretation	3	1	1/2	3	2 (inkl. EPR)	1

Zentrale Begriffe in universitären Lehrbüchern der Quantentheorie



- | | |
|------------------------|--------------------------------------|
| ■ Hilbertraum | ■ Störungstheorie/ Effekte im H-Atom |
| ■ Potentiale | ■ Drehimpuls |
| ■ Spin | ■ Einfache Atome |
| ■ harmonischer Oszi | ■ Schrödingergleichung |
| ■ Statistische Aspekte | ■ Messprozess |
| ■ Unschärferelation | ■ Anderes |



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

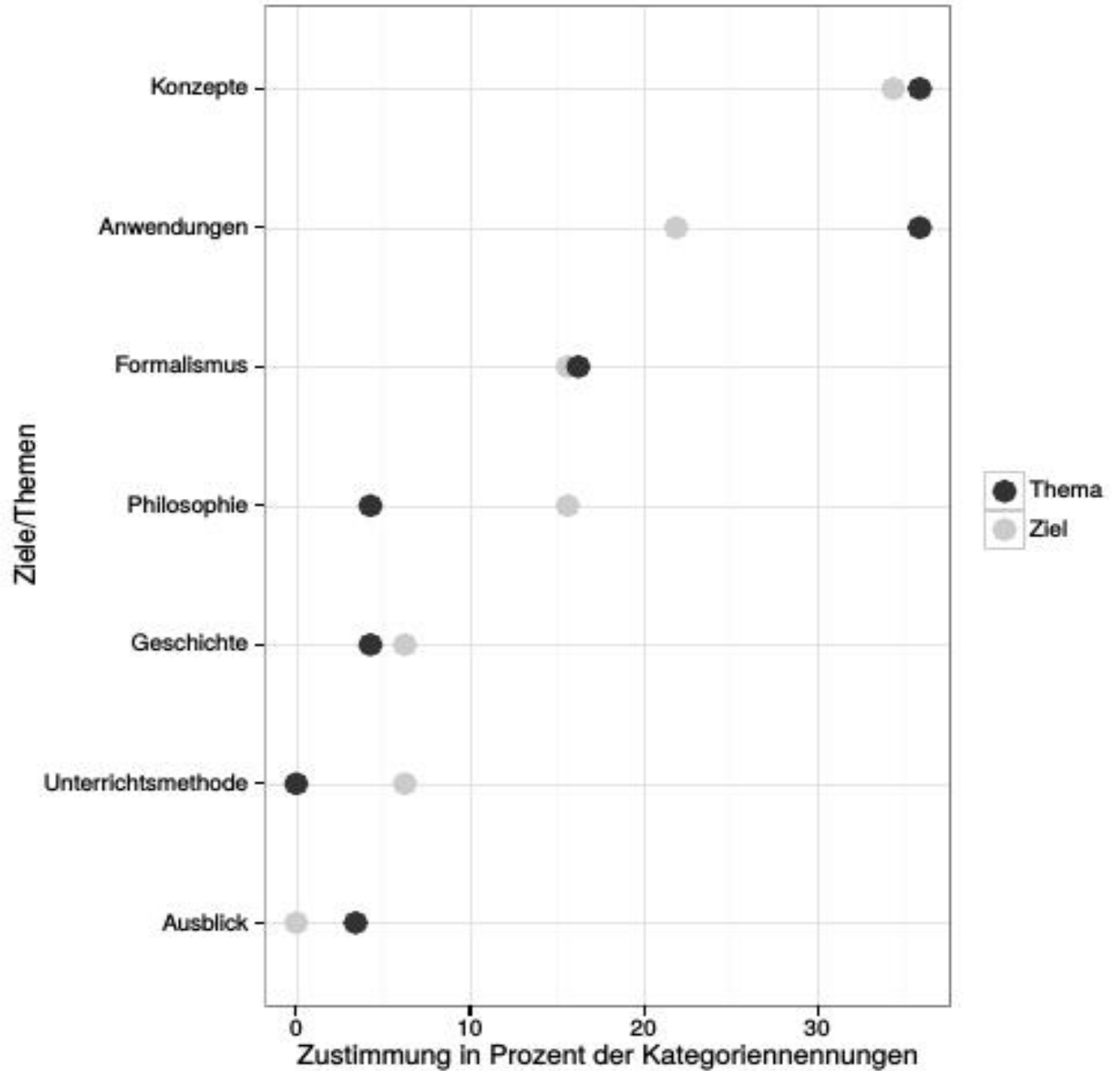
Anforderungen von Dozenten und Studierenden

Gruppierung der Dozenten im Hinblick auf ihre Ziele

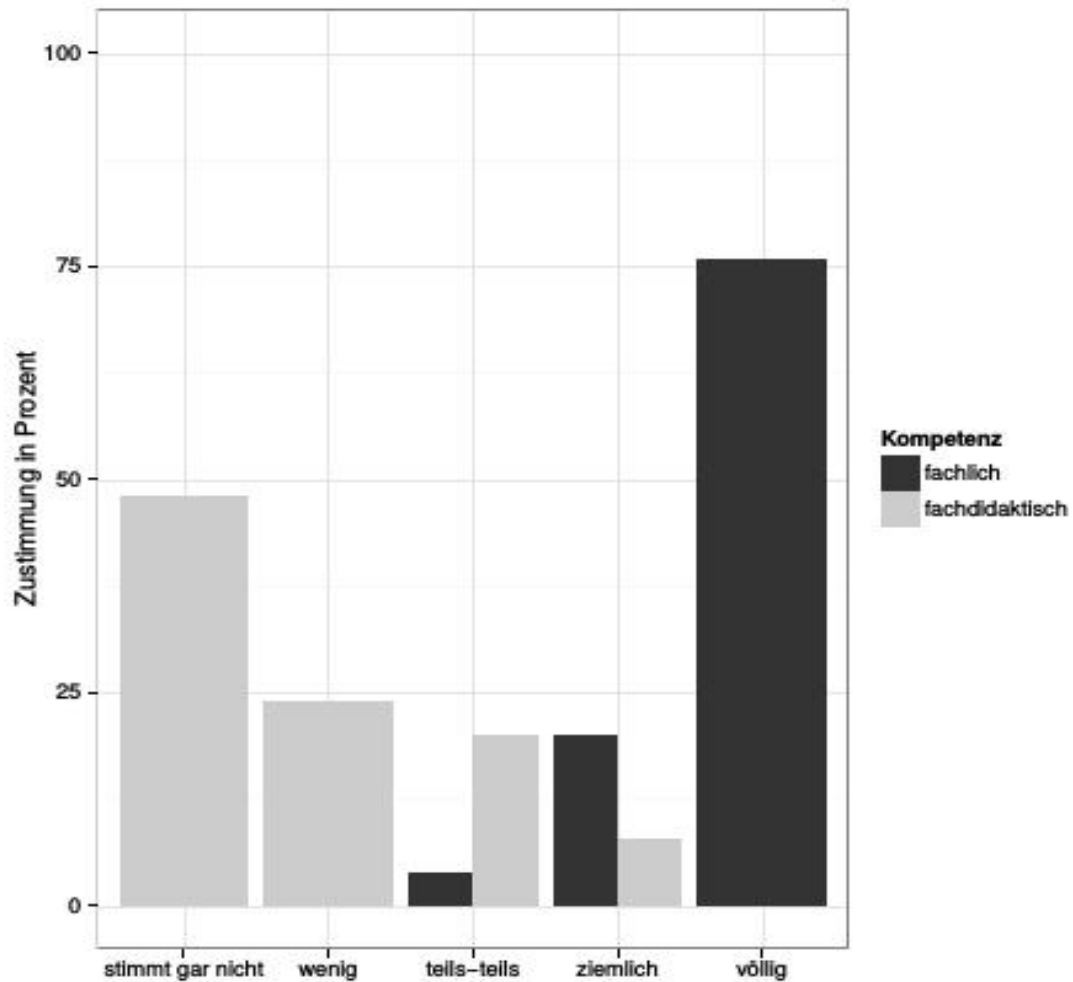
Kompetenz	Gruppe 1 (35%)	Gruppe 2 (29%)	Gruppe 3 (35%)
formal-analytisch	↓	↓	↑
didaktische Methoden	↑	↑	↓
qp. Konzepte	→	→	→
qp. Bsp. & Anw.	→	→	→
Neue Beispiele aus qp. Prinzipien	↓	↑	→

↓ geringe Ausprägung ↑ hohe Ausprägung → durchschnittlich

Dozenten



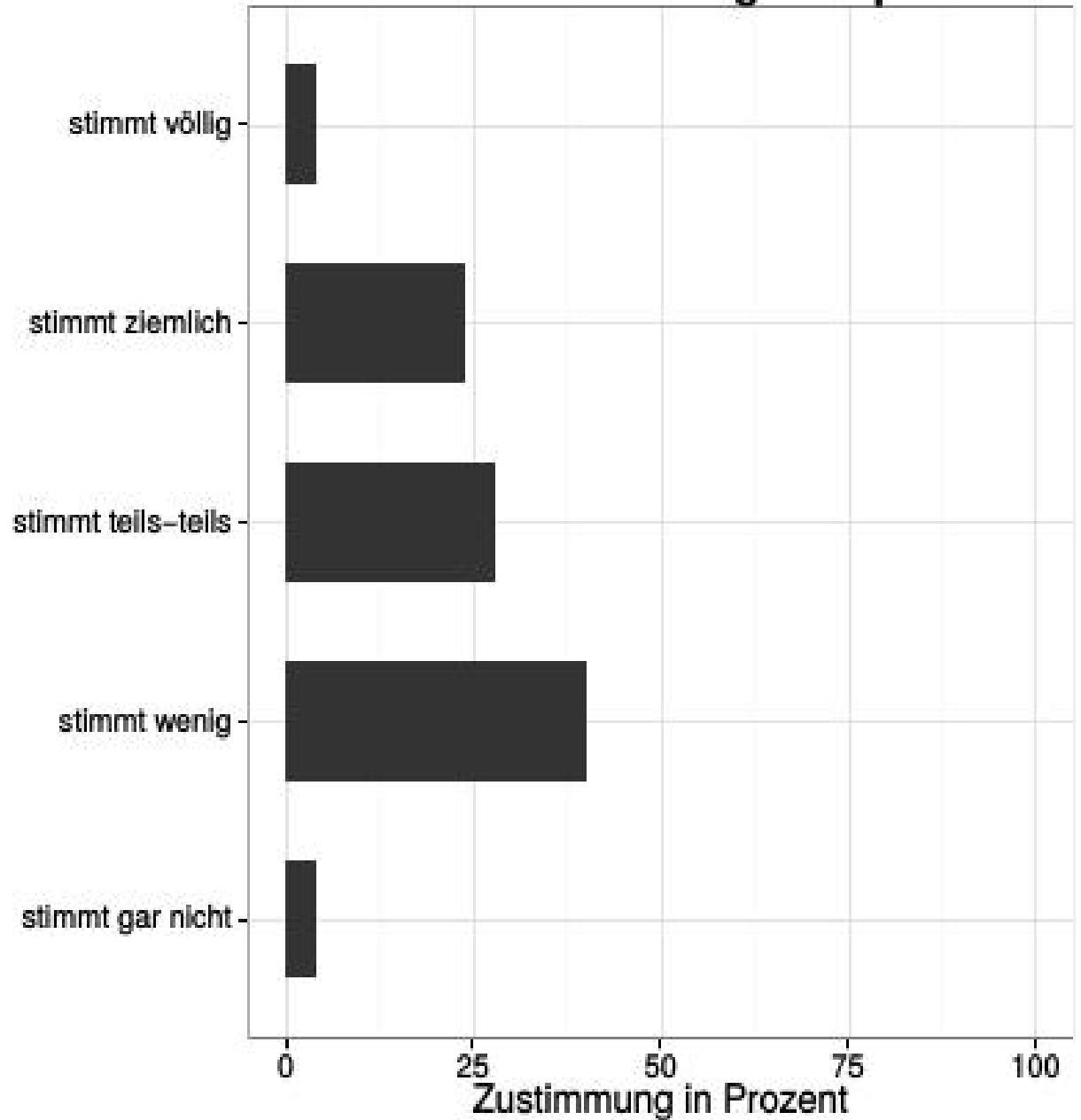
Studentische Selbsteinschätzung



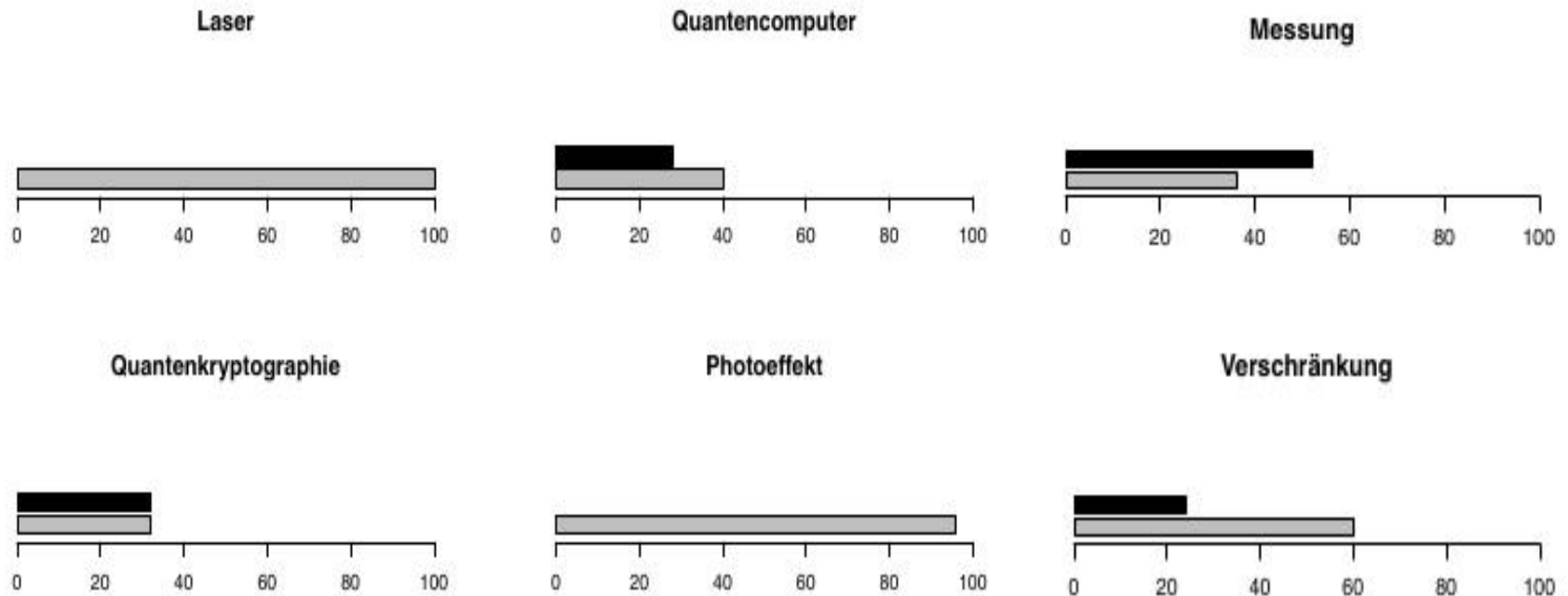


Studenten

Fachliche Vermittlungskompetenz



(Nicht)-Eignung von Inhalten



Einschätzung der Studierenden

Relevante Unterrichtsinhalte aus Sicht der Studierenden

- **Uneingeschränkte Relevanz**
 - Unbestimmtheitsrelation
 - Anwendungen des Lasers
 - Photo- und Comptoneffekt
 - Welle-Teilchen-Dualismus
 - Interferenz
- **Ungeeignet wegen Schwierigkeit**
 - Bose-Einstein-Kondensation
 - Schrödingergleichung
 - ψ -Funktion
 - Strahlungsformeln

Gruppierung der Studierenden hinsichtlich gewünschter Zusatzinhalte

Zusatzinhalte	Verständnis-Orientierte 45%	Pragmatiker 32%	Formalismus-Orientierte 9%	Praxis-Orientierte 14%
Anwendungen/Beispiele	↑	↑	↑	↓
Methoden/Fachdid.Fragen	→	↑	↓	↑
Konzepte	↑	↓	↑	↓
Interpretation	↑	↓	↓	↓
Formalismus	→	↓	↑	↓

Konsequenzen für die Konzeption des Zusatzseminars

- **Formale Aspekte werden in den Theorie-Vorlesungen ausreichend behandelt.**
- **Aspekte der Geschichte der Quantenphysik können, müssen aber nicht ausgebaut werden.**
- **Es muss eine Transformation des Fachwissens in praxisnah verfügbares Wissen geben.**
- **Es besteht ein hoher Bedarf an praxisnahen fachdidaktischem Wissen.**
 - Konzeption von Unterrichtsgängen
 - Umgang mit Schülervorstellungen
- **Es besteht ein mittlerer Bedarf an Beispielen und Anwendungen für die Einbettung quantenphysikalischer Konzepte in den Unterricht.**



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Das Zusatzseminar

Schwerpunkt „Quantenoptik“

- **Zugang über optische Phänomene**
- **Modellexperimente**
 - Nachstellen quantenoptischer Phänomene
- **Behandeln von Zwei-Zustandssystemen**
- **Grundlegende Experimente im Vordergrund**
 - Keine Atomphysik
 - Keine Schrödingergleichung
- **Diskussion zu weltbildformenden Ansätzen**



Messprozess und Interpretationen

Überlagerung

Doppelspalt, Spin
(Polarisation),
Mach-Zehnder-
Interferometer

Unbestimmtheit

Spinmatrizen
Quantenradierer
(Modellexperiment)

Verschränkung

EPR, Bell, GHZ-Spiel
Teleportation

Aspekte der Vermittlung

Unterrichts- Konzepte

Materialien
und Medien

Eigene
Unterrichts-
planung

Charakterisierung der Teilnehmer

Fachwissens- und Fachdidaktiktest

Testitems	Leistungsstarke 16%	Fachdidaktik-Orientierte 52%	Leistungsschwache 16%	Theorie-Orientierte 16%
Erkenntnisse Interferenzexperiment	↑	↓	↑	↑
Did. Funktion Interferenzexperiment	↑	→	↓	↑
Fachwissen 1 ¹	↑	→	↓	↓
Schülervorstellungen	↑	→	↓	↓
Fachwissen 2 ²	↑	↓	↓	↑
Übergang vom Bohrschen Atommodell	↑	→	↓	↓
Definitionen	→	→	↓	↑



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Evaluation des Zusatzseminars

Beispielitems aus Fragebogen

- **Wenn man an einem Elektron eine genaue Ortsmessung durchführt, kann man anschließend nur noch eine ungenaue Impulsmessung durchführen.**
- **Man kann Ort und Impuls von Quantenobjekten nicht gleichzeitig beliebig genau messen.**
- **Die Präparation bestimmt die Wellenfunktion der Elektronen.**
- **In der Quantenmechanik ist es möglich, dass ein Quantenobjekt klassisch wohldefinierte Eigenschaften wie Ort und Impuls nicht besitzt.**

Fragebogen Fachdidaktik

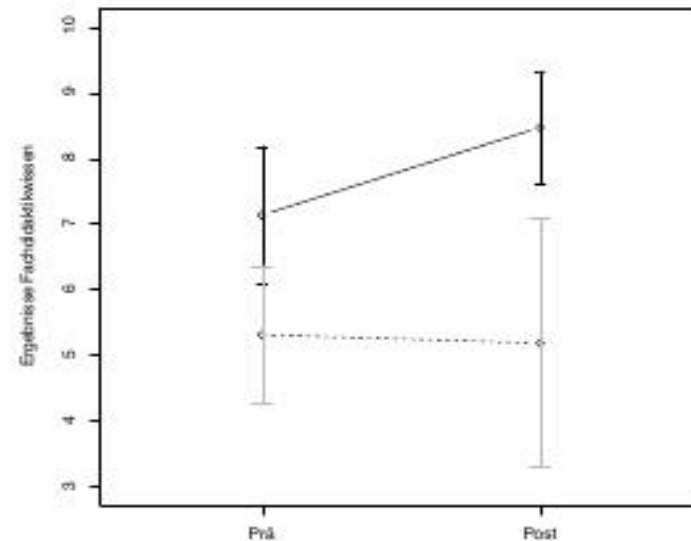
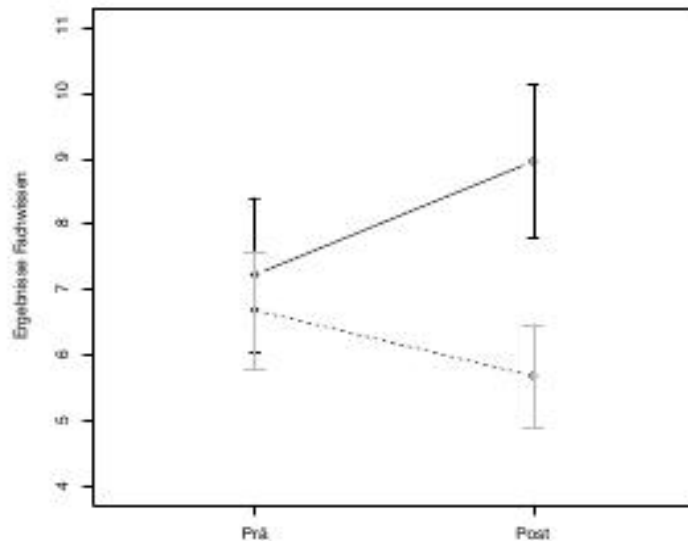
- **Beispielitem:**
 - Nennen Sie didaktische Mittel, um Schülern den Übergang vom Bohrschen Atommodell zu einem differenzierten Quantenmechanischen Modell zu erleichtern.
- **Unterrichtsvignetten zu Schülervorstellungen**

Einschätzung der Studierenden über Kernkonzepte

- **Unbestimmtheit und Dualismus sind relevant und lehrbar**
- **Verschränkung ist nicht so relevant und nicht lehrbar**
 - Studenten, die sie als relevant einschätzen, sehen auch Wege zur Elementarisierung
- **In der Versuchsgruppe nahm die Einschätzung der Lehrbarkeit durchweg zu (n.s.), in der Vergleichsgruppe ab.**

Entwicklung des Wissens

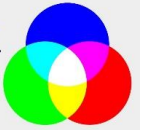
Insgesamt konnten 25 Versuchs- und 11 Vergleichsfragebögen ausgewertet werden.



	Prä/Post	Post >Prä	Post <Prä	Effektstärke	Teststärke
Fachwissen Versuch	*	*	n.s.	0.88	0.98
Fachwissen Vergleich	*	n.s.	*	0.94	0.89
Fachdid. Wissen Versuch	*	*	n.s.	0.66	0.87
Fachdid. Wissen Vergleich	n.s.	n.s.	n.s.	-	-

Fachwissen und Fachdidaktik

- **Studierende mit hohem Ausgangsniveau profitieren nur gering oder gar nicht, Studierende mit geringem Ausgangsniveau sehr stark.**
- **Fachwissen nimmt in der Vergleichsgruppe durchweg ab, das fachdidaktische Wissen nicht.**
- **Fachwissen und Fachdidaktik sind verschiedene Kompetenzbereiche**
- **Entwicklung geht oft Hand in Hand**
 - Auch hier: hoher Zuwachs im Fachwissen ist korreliert mit hohem Zuwachs in fachdidaktischem Wissen



Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit



»Wissen schafft Brücken.«