



UNIVERSITÄT
PADERBORN

Prof. Dr. Christoph Kulgemeyer

AG Didaktik der Physik

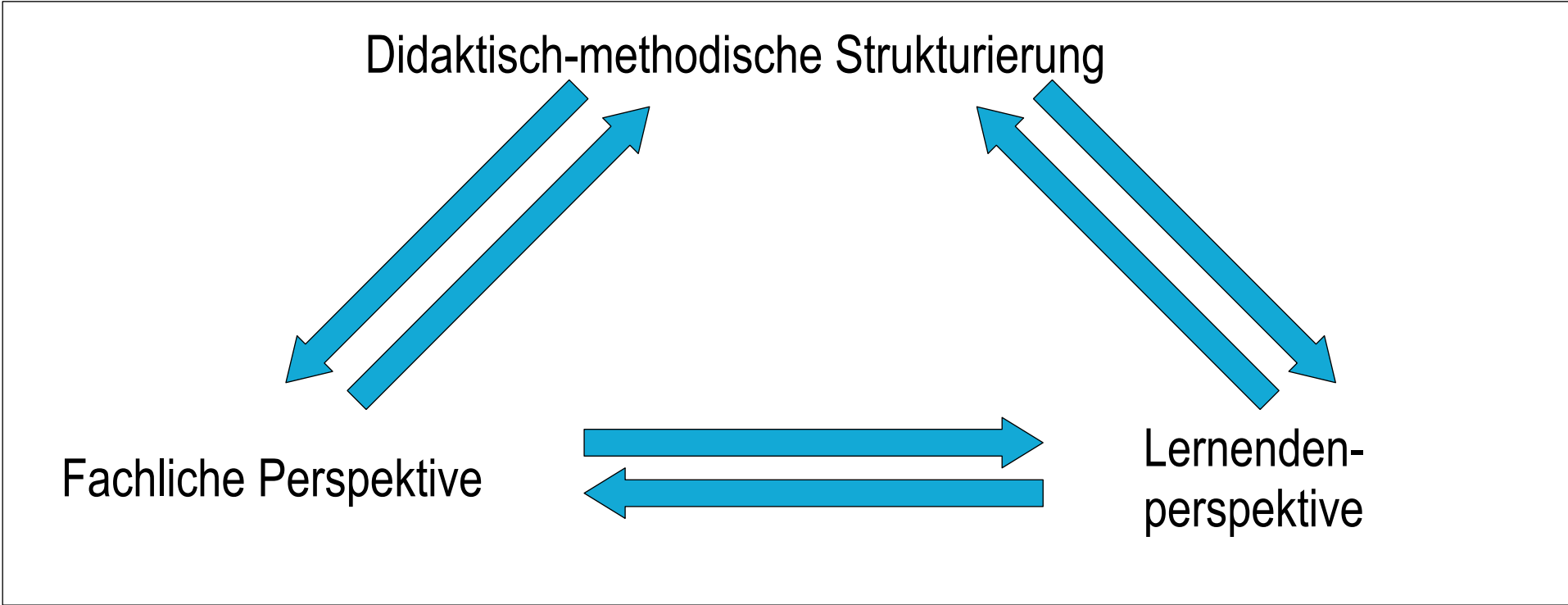
Fakultät für Naturwissenschaften

Quantenphysik schülervorstellungsorientiert unterrichten

Curricula zur Quantenmechanik

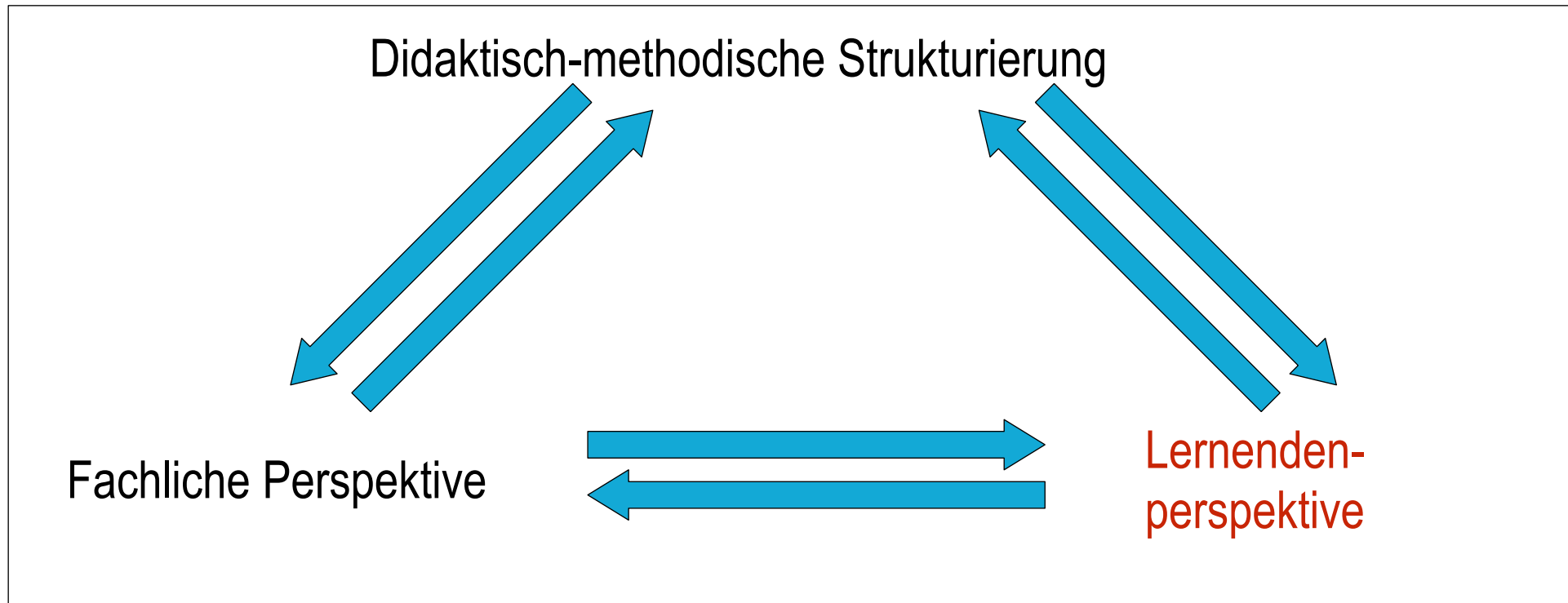
- Die Quantenphysik gilt als unanschaulich und schwierig zu unterrichten - warum unterrichtet man sie dennoch?
- Mögliche Ziele
 - Quantenphysik ist technisch relevant, z.B. für das Verständnis von Halbleitern
 - Quantenphysik hat das Weltbild der Physik tiefgreifend verändert („Physik ist abgeschlossen“)
 - Quantenphysik ist im Studium der Physik wichtig (Studienvorbereitung)
 - ... Quantenphysik ist ein wichtiger Prüfungsgegenstand

Didaktische Rekonstruktion



Nach: Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek (1997); Reinfried, Mathis & Kattmann (2009)

Didaktische Rekonstruktion



Nach: Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek (1997); Reinfried, Mathis & Kattmann (2009)

Determinismus

- Gesetze in der Quantenphysik sind statistischer Natur - und das ist für Lernende sehr schwer zu akzeptieren („Gott würfelt nicht“).
- Bell'sches Theorem: wenn man keine Fernwirkung will (lokale Theorien), dann kann es keine verborgenen Parameter geben - und somit „objektiven Zufall“.
- SuS deuten Wahrscheinlichkeit häufig als ein Zeichen von Ungenauigkeit - dabei ist das Gegenteil hier der Fall.

Welle und Teilchen

- Quanten sind weder Teilchen noch Welle, sondern etwas Drittes.
- Schrödingergleichung sagt Wellenverhalten voraus. Teilchenverhalten tritt auf, wenn man eine Ortsmessung durchführt.
- Aber die Verteilung vieler Messungen wird durch das Betragsquadrat der Wellenfunktion gegeben. Wellen- und Teilchencharakter sind also gleichermaßen notwendig.

Photon und Elektron

- Bei Licht akzeptieren SuS sehr schnell eine Teilchenvorstellung und reaktivieren die Wellenvorstellung nur unwillig wieder - Teilchen liegen einem einfach näher als Wellen.
- Viel schwieriger: dem Elektron Welleneigenschaften zuschreiben („reitet auf Wellenfunktion“).
- Potentialtopf: Elektronen „schwappen hin und her“

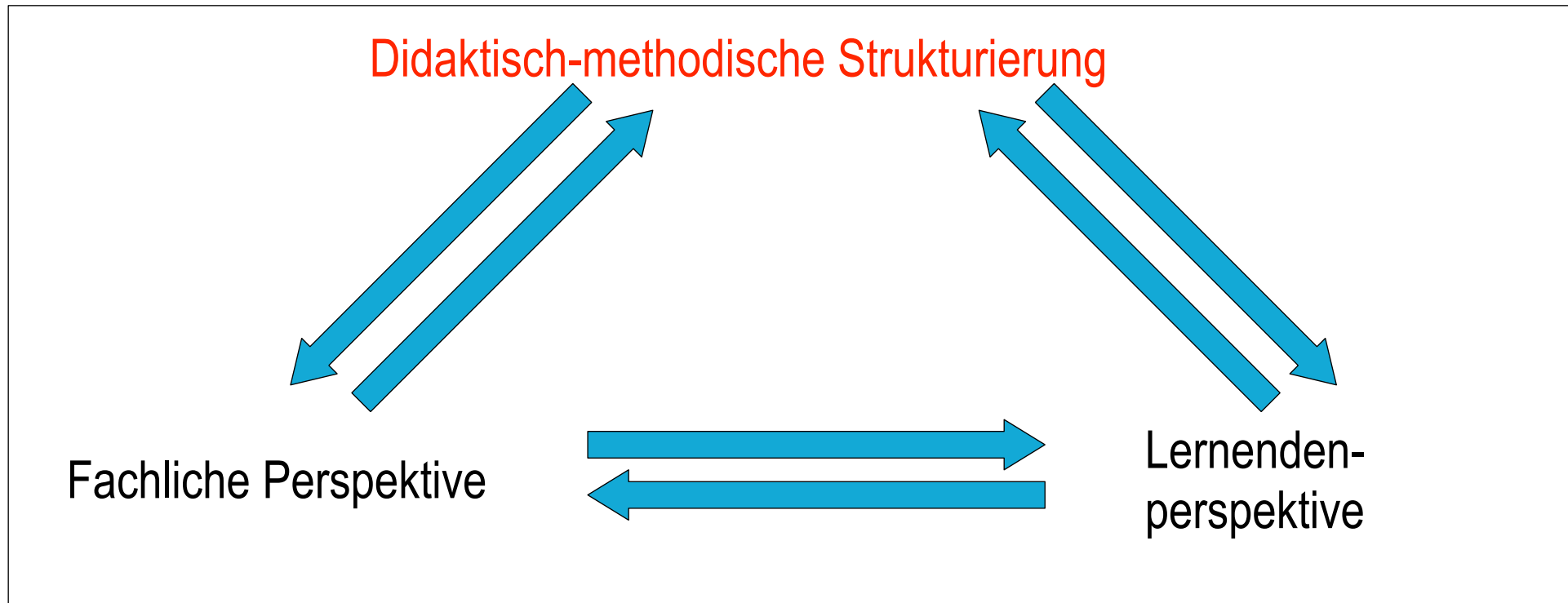
Unschärferelation

- „Delta x ist eine Art Messfehler“ (Ort kann eben nur nicht genau *gemessen* werden)
- Statistische Interpretation: Delta x und Delta p sind Standardabweichungen. Die Unschärferelation gibt die Grenze für die gleichzeitige Präparierbarkeit von Ort und Impuls bei Ensembles von Quantenobjekten an. (Statistik bei Einzelfällen ist eben sinnfrei und verwirrt)

Schülervorstellungen zur Quantenmechanik

- Mechanistische Vorstellungen sind schwierig zu ändern
 - Bahnbegriff
 - Bohrsches Atommodell
 - Teilchencharakter
- Das „Neue“ der Quantenphysik passt nicht zum Bekannten und wird deshalb nicht erkannt
- D.h. dass der Welle-Teilchen-Dualismus hingenommen wird, es existiert eine Mischform von Erklärungen, die zu unklaren Voraussagen führen
- Folgerungen für das Curriculum
 - Von der klassischen Physik ausgehen
 - Welle-Teilchen-Dualismus vermeiden
 - Bohrsches Atommodell vermeiden

Didaktische Rekonstruktion



Nach: Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek (1997); Reinfried, Mathis & Kattmann (2009)

Ziele

- Grundlegende Einsichten vermitteln, da die Quantenphysik sehr relevant für die Weltsicht ist
- Den SuS soll die Gelegenheit gegeben werden, das Weltbild der modernen Physik kennenzulernen
- Das Neue der Quantenphysik gegenüber der klassischen Physik soll betont werden
- Es soll weniger um die philosophische Deutung der Ergebnisse gehen, als um begriffliche Klarheit
- Geringes Maß an Mathematik

„Wesenszüge der Quantenphysik“

1. Statistisches Verhalten
 - Die Quantenmechanik lässt nur statistische Voraussagen zu
2. Fähigkeit zur Interferenz
 - Einzelne Quanten können zu einem Interferenzmuster beitragen, wenn es für ein Versuchsergebnis mehr als nur eine klassisch denkbare Möglichkeit gibt. Keine der Möglichkeiten wird im klassischen Sinne realisiert.
3. Eindeutige Messergebnisse
 - Zwar haben Quanten in einem Zustand keinen festen Wert, Messungen lassen sich aber reproduzieren
4. Komplementarität
 - „Welcher-Weg-Information“ und Interferenzmuster schließen sich gegenseitig aus

Münchener Konzept zur Quantenmechanik

- Entwickelt von Rainer Müller & Hartmut Wiesner
- Zwei Teile: qualitativer Basiskurs & quantitativer Aufbaukurs
- Weiterentwicklung für die Sekundarstufe I (Klasse 10)
- Beide Konzepte wurden evaluiert
- Online-Lehrerfortbildung (<http://milq.tu-bs.de>)

13 Themengebiete mit Infotexten, Skript, Simulationsprogrammen, Selbstkontrolle und Zusammenfassung.

Qualitativer Basiskurs

Erster Teil (Photonen)

1. Photoeffekt
2. Präparation von Eigenschaften
3. Mach-Zehnder-Interferometer
 - Wellen- & Teilcheneigenschaften
 - Eigenschaften „Ort“
4. Wahrscheinlichkeitsinterpretation

Zweiter Teil (Elektronen)

1. Elektronenbeugung
2. Doppelspalt
 - Wellenfunktion (ohne Formel)
 - Eigenschaft „Ort“
 - Messprozess
 - Schrödingers Katze
3. Unbestimmtheitsrelation

Unterrichtskonzept für die Oberstufe:

- Elektronen und Photonen
- Quanteninterferenz
- Wegentscheid und Messprozess

Empirische Untersuchungen

Es wurden bislang untersucht:

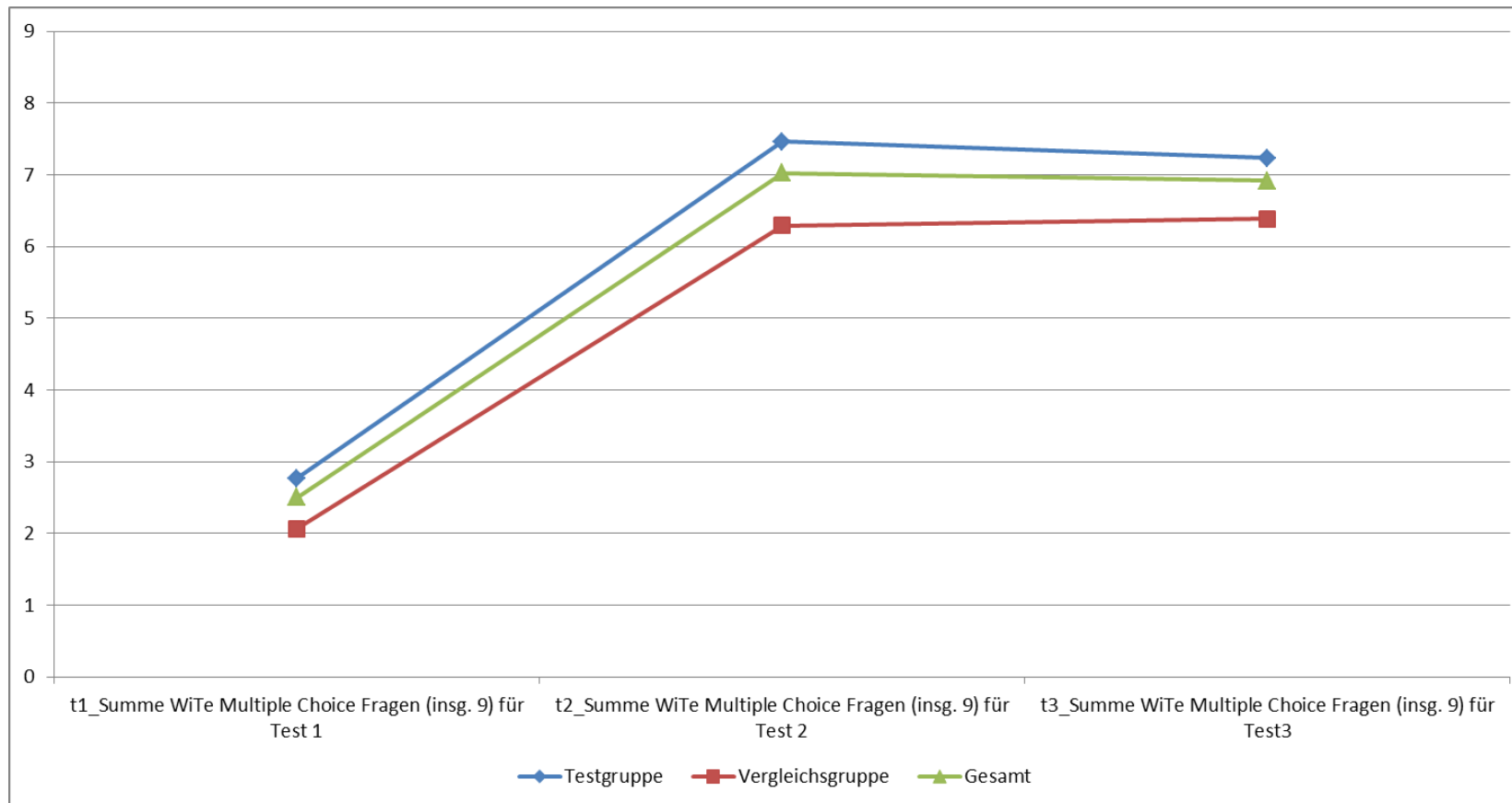
- die „milq-Originalversion“ (Müller, 1999-2001)
- Fassung für die Jahrgangsstufe 10 (Schorn, 2007-2008)
- SPQR: „traditionellere“ Fassung mit starker methodischer Komponente (Dammachke, 2010)

Forschungsansatz

- Forschungsansatz: Design-Based Research:
„Entwicklung und Forschung finden zusammen in einem kontinuierlichen Kreislauf von Gestaltung, Umsetzung/Durchführung, Überprüfung und Überarbeitung statt.“
- Pilotphase: 6 GKs und LKs, danach Überarbeitung der Materialien
- 1. Evaluation: 6 Kurse, insgesamt 110 SuS

Ergebnisse zu SPQR

- Ergebnisse:
 - Keine signifikanten Unterschiede zwischen Versuchs und Kontrollgruppe im Wissenszuwachs, der Motivation oder der Selbstwirksamkeitserwartung



Ergebnisse zu SPQR

- Aber es zeichnet sich ab:
 - höheres Maß an eigenständiger Arbeit
 - Entlastung von Lehrkräften
 - Förderung prozessbezogener Kompetenzen