

# Experimentieren versus Lernen?

## Faktoren und Mechanismen kognitiver Belastung in Experimentiersituationen

Nico Wiersig, Rainer Müller  
Technische Universität Braunschweig | Institut für Fachdidaktik der Naturwissenschaften  
Abteilung Physik und Physikdidaktik  
n.wiersig@tu-braunschweig.de | Telefon +49 (0) 531 391-8685

### Problemstellung

Das eigenständige Experimentieren von Lernenden spielt im naturwissenschaftlichen Unterricht in Deutschland eine große Rolle [10], erzielt allerdings in wissenschaftlichen Untersuchungen zumeist nicht den erwarteten inhaltlichen Lernerfolg [1][2][6][11]. Aufgrund der Fülle der beim Experimentieren zu verarbeitenden Informationen und zu koordinierenden Handlungen liegt die Vermutung nahe, dass geringer Lernerfolg auf ungünstige kognitive Belastung zurückzuführen ist. Die Mechanismen kognitiver Belastung beim Problemlösen werden im Allgemeinen im Rahmen der Cognitive Load Theory [7][8][9] erforscht. Es ist jedoch zunächst nicht klar, wie weit sich die Erkenntnisse dieser Theorie auf ausgedehnte und komplexe Problemlöseprozesse wie das Experimentieren übertragen lassen.

### Fragestellungen

- Welche Typen kognitiver Belastung (extrinsische/intrinsische Belastung [7][8][9]) treten in welchen Situationen/Phasen des Experimentierens auf? Wie wirken sie sich auf das Lernen aus?
- Welche Ursachen für kognitive Belastung beim Experimentieren lassen sich finden? Welche Ursachen kognitiver Belastung zeichnen ggf. speziell das Experimentieren aus?
- Welche Empfehlungen lassen sich auf Basis der Erkenntnisse für Instruktionsmaterialien zum Experimentieren aussprechen?

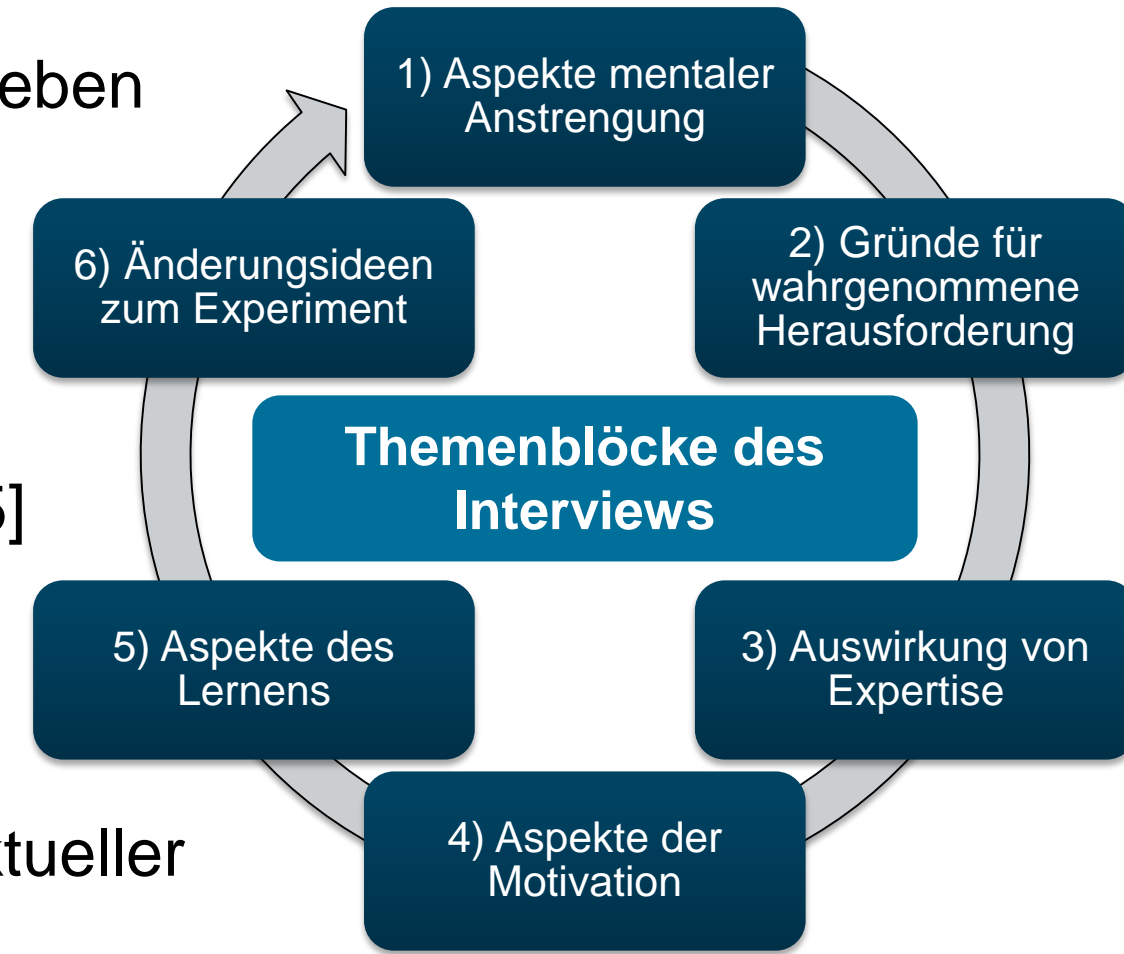
### Stichprobe und Experimente

- Stichprobe**
- Lehramtsstudierende der Physik (N=17)
  - Akquise aus einheitlich besuchter Lehrveranstaltung
  - Unterschiede in Studiengang, -fortschritt und Zweifach, d.h. anzunehmende Variation in der individuellen Expertise
- Experimente**
- Zwei Varianten desselben Experiments zur Abkühlung und Mischung von Flüssigkeiten (Thermodynamik).

	Traditionelles Experiment	Problemlöseexperiment
<b>Instruktionsgrad</b>	Starke, detaillierte Anleitung	Knappe Einführung, sonst keine Anleitung
<b>Gestaltungsfreiheit</b>	Gering, überwiegend vorgeschrieben	Hoch, freie Wahl des Lösungsweges
<b>Unterschiede in den Inhalten</b>	Zusätzlicher Text zum Vorwissen, Hilfen Auswertungsprogramm	Hypothesen Aufstellen und Versuch Plänen sind Aufgaben der Teilnehmenden
<b>Teilnehmende</b>	N=8	N=9

### Methode

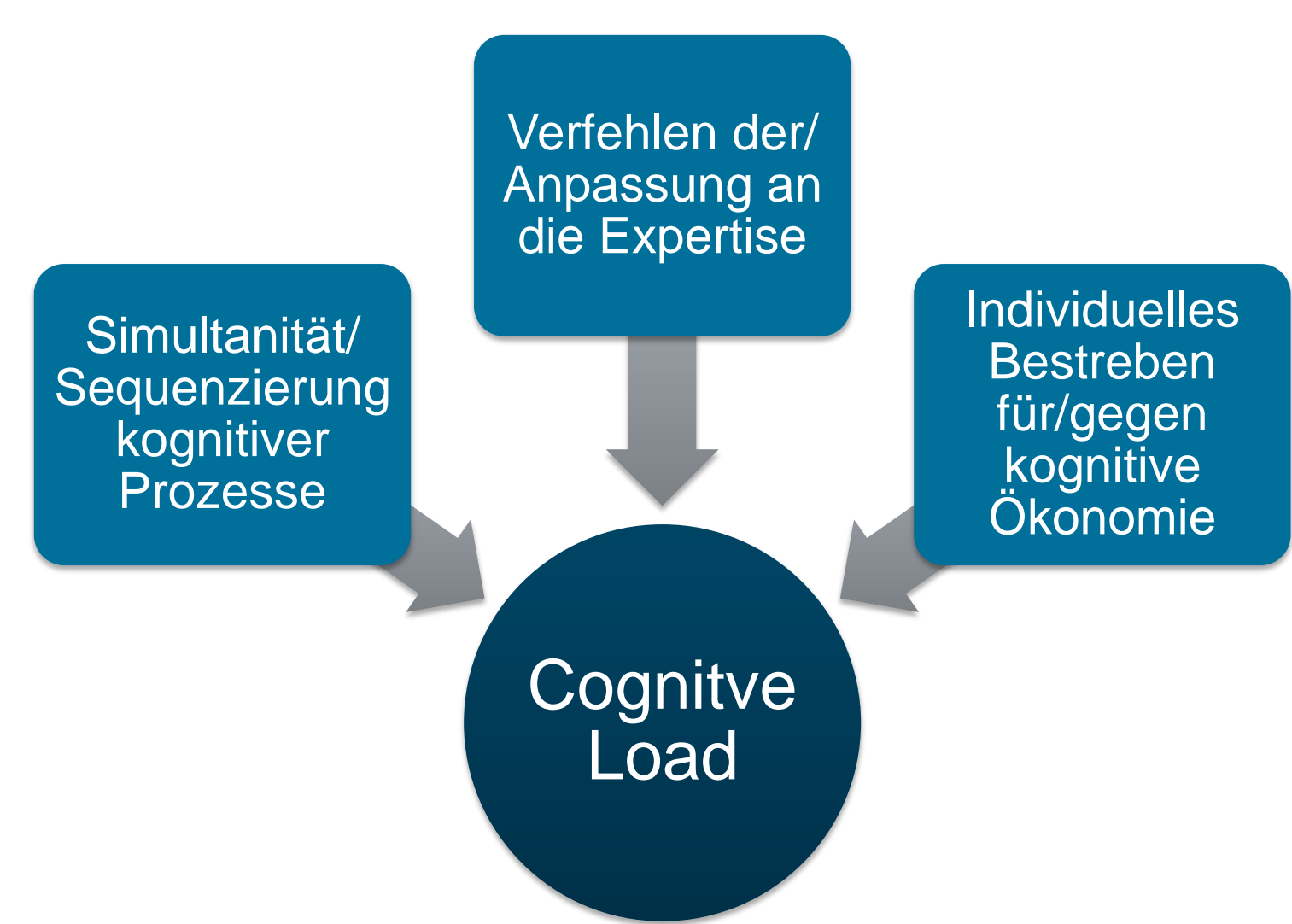
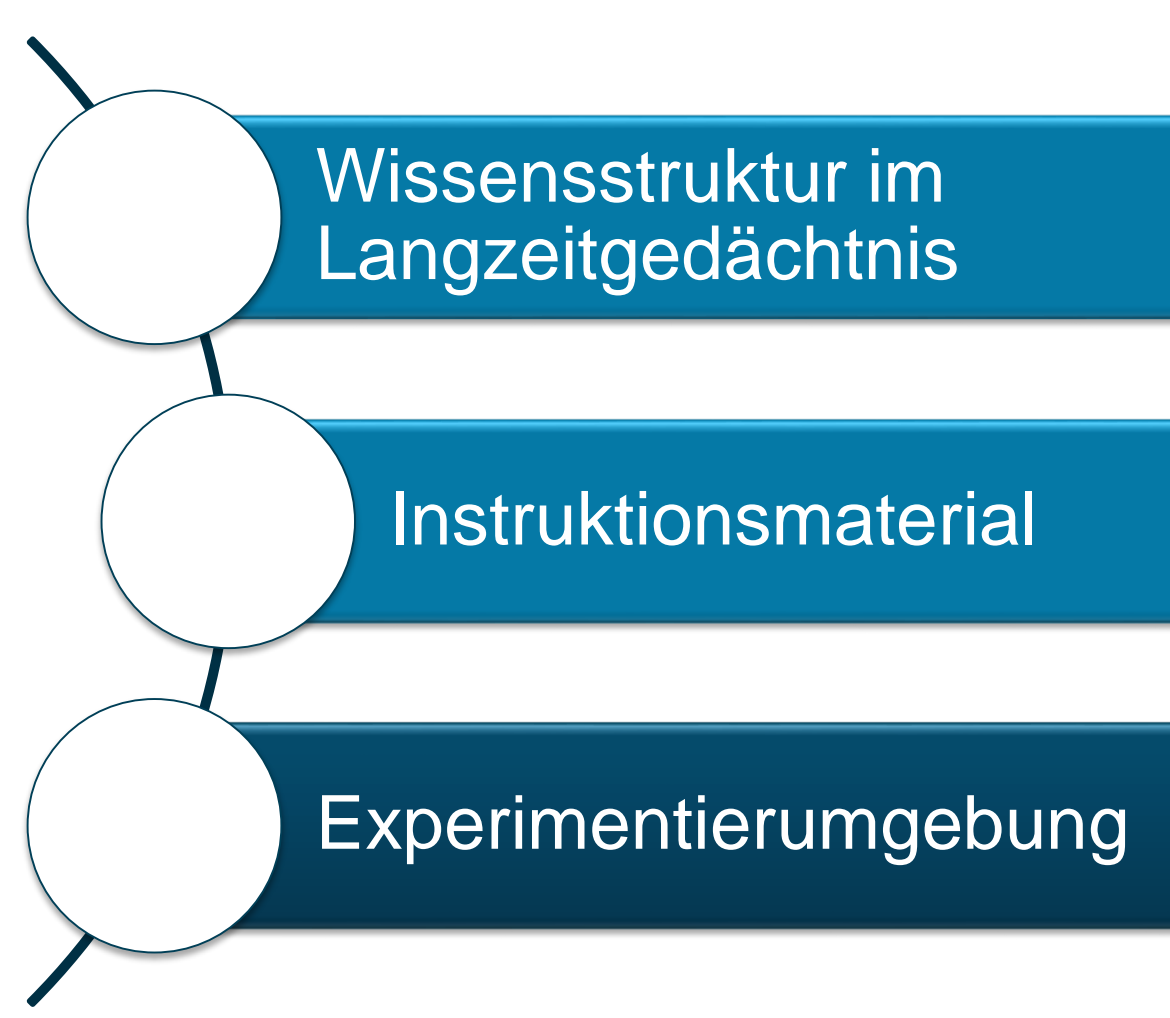
- Explorative qualitative Untersuchung zum Erleben kognitiver Belastung, Lernen und Motivation beim Experimentieren
- Erhebung der Daten mittels eines Leitfadens-interviews. Theoriegeleitete Konzeption des Leitfadens nach Niebert und Gropengießer [5]
- Ergänzende Erhebung quantitativer Daten: diverse Personenvariablen, Vorerfahrungen und Selbsteinschätzungen zur Expertise vorab, Fragebögen zu Cognitive Load und aktueller Motivation nach dem Experiment
- Inhaltlich strukturierende qualitative Inhaltsanalyse der Interviewdaten mit induktiver Kategorienbildung nach Kuckartz [4]. Prüfung der Interraterreliabilität vor weiterer Auswertung.



Codierung zum Themenblock...	1	2	3	4	5	6
Cohens K (20% Materialauswahl)	0,71	0,78	0,66	0,91	0,95	1,00

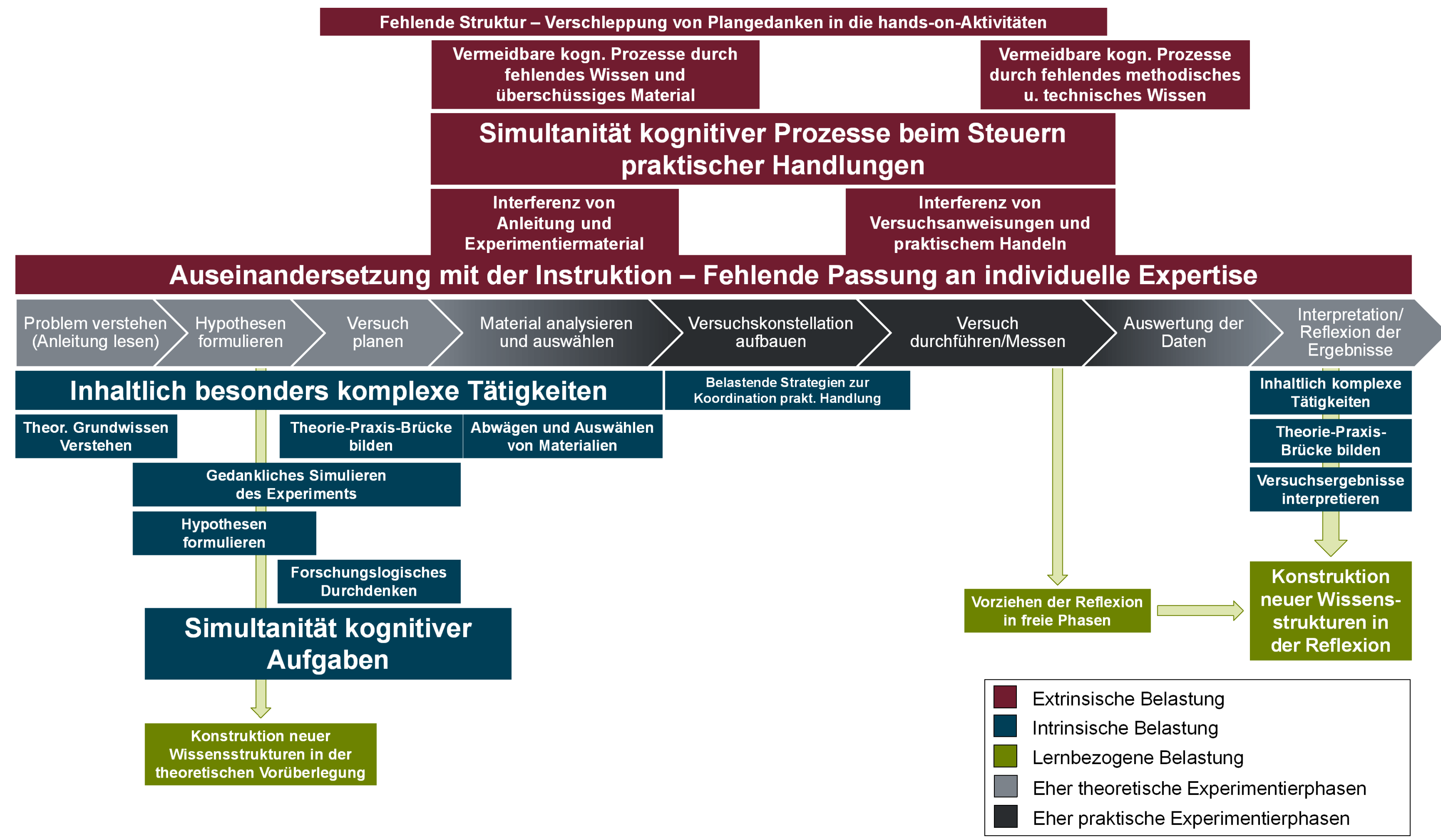
### Ergebnisse - Ausgewählte Beobachtungen

**Besonderheiten des Experimentierens**  
Etliche berichtete Belastungsfaktoren gehen auf experimentelle Tätigkeiten zurück, zu deren Bewältigung Informationen aus der realen Umgebung (Material, Verhalten des Aufbaus, Messbeobachtungen, etc.) verarbeitet werden müssen. Zusätzlich zu den in der Cognitive Load Theory erforschten Informationsquellen tritt beim Experimentieren somit die Umgebung als Informationsquelle auf, was dessen Komplexität und Anfälligkeit für Split-Attention-Effekte [9] steigert.



- Wesentliche Belastungsgründe**
- Simultaneität/Sequenzierung sind bekannte Mechanismen der Cognitive Load Theory und treten nun auch bei nicht instruktionsbedingten Belastungen auf.
  - Der Einfluss der Expertise entspricht überwiegend einem Expertise-Reversal-Effekt [3].
  - Individuelles Bestreben bedeutet einen Einfluss affektiver Variablen wie z.B. Motivation und individueller Einstellungen auf den Arbeitsprozess und Cognitive Load.

### Ergebnisse - Modellierung der Belastungsfaktoren im experimentellen Arbeitsprozess



### Schlussfolgerungen

- Instruktionsmaterial zum Experimentieren kann Cognitive Load sinnvoll steuern und potentiell den Lernerfolg steigern, indem es...
- ... Split-Attention zwischen Experimentierumgebung und anderen Informationsquellen minimiert
  - ... den Arbeitsprozess strukturiert und simultane kognitive Tätigkeiten unterbindet
  - ... den Hilfegrad variabel an die Expertise des Individuums anpasst
  - ... Motivation steigert, um zu verhindern, dass kognitiver Ökonomie nachgegeben wird.
  - ... extrinsische Belastung in den praktischen Experimentierphasen reduziert
  - ... lernbezogene Belastung durch Anregung zur inhaltlichen Auseinandersetzung steigert

### Literatur

[1] Hofstein, A., Lunetta, V. N. (2004): *The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First-Century*. Science Education 88 (1), 28-54.  
 [2] Hopf, M. (2007): *Problemorientierte Schülerexperimente*. Dissertation. Berlin: Logos-Verlag.  
 [3] Kalyuga, S. (2007): *Expertise Reversal Effect and Its Implications for Learner-Tailored Instruction*. Educational Psychology Review, 19, 506-539.  
 [4] Kuckartz, U. (2018): *Qualitative Inhaltsanalyse, Methoden, Praxis, Computerstützung*, 4. Auflage, Weinheim/Basel: Beltz Verlag.  
 [5] Niebert, K., Gropengießer, H. (2014) – *Leitfadengestützte Interviews*. In: Krüger, D., Parchmann, I., Schaefer, H.: *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin: Springer.  
 [6] Singer, S. R., Hilton, M. L., Schweingruber, H. A. (2005): *America's Lab Report: Investigations in High School Science*. Washington: National Academic Press.  
 [7] Sweller, J. (2010): *Element interactivity and intrinsic, extraneous and germane cognitive load*. Educational Psychology Review 22 (2), 123-138.  
 [8] Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga, S. (2011): *Cognitive Load Theory*. New York: Springer.  
 [9] Sweller, J., Van Merriënboer, J. J. G., Paas, F. (1998): *Cognitive Architecture and Instructional Design*. Educational Psychology Review 10 (4), 251-296.  
 [10] Tesch, M., Duit, R. (2004): *Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie*. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 10, 51-69.  
 [11] Trumper, R. (2003): *The Physics Laboratory - A Historical Overview and Future Perspectives*. Science&Education, 12, 645-670.