

Zweistufiges Messinstrument zum konzeptionellen Verständnis von Abbildungsvorgängen an der Sammellinse

Daniel Römer*, Jan Winkelmann*

*Abteilung Physik, Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Oberbettringer Straße 200,
73525 Schwäbisch Gmünd
daniel.roemer@ph-gmuend.de

Kurzfassung

Ein wesentlicher Zugang zu naturwissenschaftlichen Inhalten sind Modelle und Repräsentationen von Phänomenen. Jeglicher naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung liegen bewusst getroffene Idealisierungen zugrunde. Dieses Projekt folgt der Hypothese, dass fehlverstandene Idealisierungen zu alternativen Konzepten führen können und eine explizite Auseinandersetzung mit ihnen lernförderlich sein kann. Zur Analyse der Wirksamkeit eines solchen Ansatzes bedarf es einer verfahrensökonomischen Methode für die Erhebung der vorherrschenden Konzepte der Lernenden. Dafür wurde, aufbauend auf einem bestehenden Instrument von Teichrew & Erb (2019), ein Test zu Schüler:innenvorstellungen zu Abbildungsvorgängen in der geometrischen Optik entwickelt. Anders als bei bestehenden Messinstrumenten, wird hier bewusst von strahlenoptischen Darstellungen Abstand genommen, um den Fokus auf ein konzeptionelles Verständnis zu legen. Der zweistufige Test (Antwort und Begründung) erweitert das bereits bestehende Messinstrument für die Anfangsoptik um Items zu Abbildungen an der Sammellinse. Der Test selbst sowie erste Ergebnisse der Pilotierung werden in diesem Beitrag vorgestellt.

1. Hintergrund und Motivation

Ein Ziel des Physikunterrichtes ist es, den Schüler:innen grundlegende naturwissenschaftliche Konzepte zu vermitteln. Bei der Vermittlung von physikalischen Inhalten ist es hierbei wichtig, dass die Schüler:innen differenziert zwischen der idealisierten Betrachtungsweise beispielsweise im Kontext von Modellen und den realen Phänomenen unterscheiden können (Mikelskis-Seifert, 2002). Wird diese Fähigkeit nicht ausreichend ausgebildet, können Lernschwierigkeiten und alternative Konzepte auftreten. Diese alternativen Konzepte (auch Fehlkonzepte oder Fehlvorstellungen genannt) stellen eine Herausforderung für die Unterrichtsplanung und -durchführung dar (Schecker & Duit, 2018). Für die erste Identifikation von alternativen Konzepten bieten sich umfangreiche qualitative Erhebungen an (Groppengießer & Marohn, 2018). Für die Messung des konzeptionellen Verständnisses sowie von Entwicklungen im Rahmen von Interventionen hingegen werden Messinstrumente benötigt, mit denen eine große Zahl an Personen ressourcenökonomisch getestet werden können.

Der Themenbereich Optik stellt im Physikunterricht eine große Herausforderung dar (Mzoughi et al., 2007). Aufgrund dessen wurden bereits viele Arbeiten zur Identifikation von Vorstellungen in der Optik durchgeführt (Duit, 2009; Goldberg & McDermott, 1987; Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018; Kaltakci-Gurel et al., 2016; Teichrew & Erb, 2019; Hettmannsperger et al., 2020; Wörner et al., 2022). Je abstrakter die Repräsentation eines gegebenen

Phänomens ist, desto schwerer erscheint für Schüler:innen das Lösen einer Aufgabe (Müller et al., 2017). Bestehende Instrumente verwenden häufig abstrakte strahlenoptische Darstellungen oder weisen keine mehrstufige Struktur auf. Vor allem bei gebundenen Antwortformaten bieten sich mehrstufige Items an, um Verfälschungen durch Zufallsantworten zu vermeiden. Gleichzeitig können die Kombinationen aus Antworten und Begründungen auch physikalisch falscher Antworten durch den Informationsgehalt der Begründung besser hinsichtlich alternativer Vorstellungen ausgewertet werden. In diesem Beitrag stellen wir ein Instrument vor, welches keine strahlenoptischen Darstellungen in den Items verwendet, sondern über die zeichnerische Darstellung von realitätsnahen Experimentier-Situationen das konzeptionelle Verständnis bei Abbildungsvorgängen an Sammellinsen adressiert.

2. Struktur des Tests

Teichrew & Erb (2019) haben bereits Skalen entwickelt, die Konzepte zur Anfangsoptik (Licht, Schatten, Farben, Spiegel) adressieren. Die Art der Darstellungen sowie der Aufbau der Items dienen als Vorlage für den in diesem Beitrag vorgestellten Test. Der Test besteht aus geschlossenen Items im Single-Choice Format. Dabei besteht jedes Item zunächst aus der bildlichen und schriftlichen Repräsentation einer gegebenen Situation. Die Situationen variieren in der Konstellation und dem Einsatz von einer Linse, einem Schirm sowie einer bzw. zwei Kerzen als Lichtquelle(n). Anschließend folgt eine Frage zu der

gezeigten Situation mit drei Antwortmöglichkeiten, wobei nur eine davon fachlich adäquat ist. Zusätzlich wird in einer zweiten Stufe nach der Begründung für die gegebene Antwort gefragt, wobei hier vier Optionen zur Verfügung gestellt werden. Das Antwortverhalten soll hierbei in vier Ausgängen strukturiert werden:

A: Physikalische Antwort mit konsistenter Begründung

B: Physikalische Begründung ohne konsistente Antwort

C: Alternative Antwort mit konsistenter Begründung

D: Alternative Antwort ohne konsistente Begründung

Der Fokus liegt bei der Codierung der Ausgänge auf der Begründung der gegebenen Antwort. Die Formulierungen der Begründung sind in der Regel allgemein formuliert. Auf Grund dessen wird der Informationsgehalt zum Verständnis des jeweils gegebenen Phänomens in der Begründung höher vermutet (Teichrew & Erb, 2019). Aus diesem Grund wird nochmals zwischen den Ausgängen B und D unterschieden. Die fehlende inhaltliche Deckung beider Ausgänge ermöglicht keine Interpretation der Ergebnisse auf das konzeptionelle Verständnis. Dennoch kann die Häufigkeit des Ausgangs B auf eine missverständliche Repräsentation der Situation bei vorhandenem Verständnis des Phänomens deuten.

Der bestehende Itempool (Teichrew & Erb, 2019) wurde um Items zu Abbildungsvorgängen an der dünnen Linse erweitert. Dabei ist das Instrument inhaltlich in folgende Kernaspekte von Abbildungsprozessen aufgeteilt.

- Helligkeit des Bildes
- Funktion der Linse und des Schirms
- Abstände zur Linse
- Durchmesser der Linse

Die Auflistung dieser thematischen Aspekte sowie jeweils adäquate und mögliche alternative Aussagen sind in Tabelle 1 dargestellt. Die alternativen Vorstellungen zu den jeweiligen Bereichen finden sich häufig so bereits in der Literatur wieder bzw. bauen darauf auf (Kaltakci-Gurel et al., 2016; Goldberg et al., 1987; Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018; Wörner et al., 2022).

Für den Test wurden zunächst zehn Items entwickelt. Diese erste Version des Tests wurde mit $n=27$ Schüler:innen (online) durchgeführt, wobei Kommentare zu Verständnisproblemen von den Schüler:innen vermerkt werden konnten. Basierend auf den Erkenntnissen aus der ersten Evaluation wurden sprachliche und inhaltliche Anpassungen vorgenommen und Items ergänzt. Es resultierten zwölf Items für die hier vorgestellte Pilotierung. Die inhaltliche Zuordnung der einzelnen Items ist ebenfalls Tabelle 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Übersicht der in den Items adressierten physikalischen Konzepte zu Abbildungsvorgängen an Sammellinsen sowie Beispiele für alternative Konzepte

Themenbereich (Item-Nr.)	Adäquate Konzepte	Alternative Konzepte
Helligkeit des Bildes (3,5,7)	Helligkeit des Bildes ist von der Lichtmenge abhängig, die durch die Linse gelangt.	Linse vermehrt Licht
		Helligkeit des Bildes ist nur vom Gegenstand abhängig.
Abstände (8,9)	Scharfes Bild entsteht bei gegebener Gegenstandsweite nur in einer Ebene hinter der Linse	Bildweite/Gegenstandsweite sind irrelevant
		Scharfes Bild ist immer an dem Ort, an dem der Schirm ist.
Abbildungsprozess (1,10,11,12)	Linse vertauscht Seiten und oben/unten	Linse erzeugt Spiegelbild
	Schirm ermöglicht Wahrnehmung des Bildes	Schirm fängt das scharfe Bild ein
Linsendurchmesser (2,4,6)	Größe des Bildes hängt von den Abständen zur Linse ab	Der Durchmesser der Linse beeinflusst die Größe des Bildes
	Das scharfe Bild besteht aus vielen (scharf) abgebildeten Lichtpunkten	Das Bild wandert als Ganzes durch den Raum.

3. Ergebnisse der Pilotierung

Die im Folgenden genauer vorgestellte zweite Pilotierung der Items wurde mit 225 Schüler:innen eines Gymnasiums durchgeführt. Alle Teilnehmer:innen

stammten von derselben Schule, wurden aber von verschiedenen Lehrkräften unterrichtet. Als Zusatzvariablen wurden außerdem die Klassenstufe, das Geschlecht und die Bekanntheit des Themas abgefragt.

Es wurden nur vollständige Datensätze für die Auswertung des Testes in Betracht gezogen. Die Bearbeitung der Tests fand in der Unterrichtszeit unter Aufsicht der Lehrkraft statt. Um zusätzlich dazu eine aufmerksame Bearbeitung der Fragebögen wahrscheinlicher zu machen, wurden jene Datensätze ausgeschlossen, deren Bearbeitungsdauer sehr kurz war. Als Indikator dafür wurde ein von dem Umfragetool (SoSci-Survey) bereitgestellter Score für das Antwortverhalten der einzelnen Seiten verwendet (Cutoff < 150).

Für die Analyse standen am Ende der Selektion N=199 gültige Datensätze zur Verfügung. Die Stichprobe setzt sich hauptsächlich aus den Klassenstufen 7 bis 10 zusammen (Klasse 7: n=24; Klasse 8: n=67; Klasse 9: n=24; Klasse 10: n=52; andere und n/a: n=33) und teilt sich, sofern bekannt, zu ähnlichen Teilen in männliche und weibliche Teilnehmer:innen auf (w=82, m=73, d=9, n/a=35). Ein Großteil der Befragten gab an, das Thema Abbildungen an Linsen bereits aus der Schule zu kennen (Bekannt: ja=155, nein=31, n/a=13). Die Teilstichprobe der Teilnehmenden, die das Thema als nicht bekannt angegeben haben, gehörten dabei nicht einer bestimmten Klassenstufe an. Die Bearbeitungszeit der 12 Items lag im Durchschnitt bei 9,40 Minuten (SD=2,68 Minuten).

Nur, wenn die Kombination aus Antwort und Begründung korrekt ausgewählt wurde, gilt das Item als richtig gelöst. Im Mittel haben die Schüler:innen mit einem durchschnittlichen Score von 3,58 (SD=2,02) Punkten drei Items richtig bearbeitet. Die Häufigkeitsverteilung der Gesamtscores ist in Abbildung 1 dargestellt. Sechs Teilnehmende konnten kein einziges Item erfolgreich lösen, Bodeneffekte sind demnach nicht vollständig auszuschließen.

Es besteht kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der Gesamtscores der männlichen (M=3,99) und weiblichen (M=3,61)

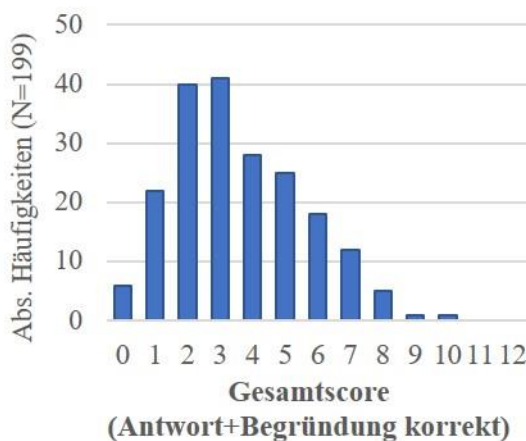


Abb. 1: Absolute Häufigkeit der Anzahlen richtig gelöster Items.

Schüler:innen ($t(153)=-1,142, p=,255$). Im Vergleich der Klassenstufen zeigen Schüler:innen der Klassenstufe 10 (M=4,43) signifikant höhere Werte, als die

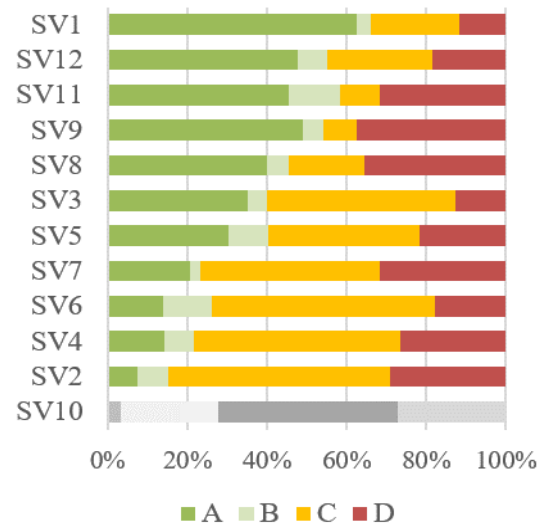
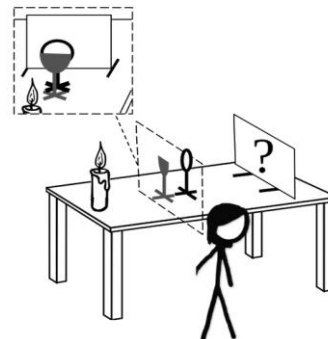


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der codierten Ausgänge in den einzelnen Test-Items.

Schüler:innen der Klassenstufe 8 (M=3,40) im durchschnittlichen Gesamtscore ($t(89,371)=2,816, p<,05$).

Eine genauere Betrachtung zeigt große Unterschiede in den Lösungshäufigkeiten einzelner Items. Die Lösungshäufigkeiten der Items variieren zwischen 3% (Item 10) und 62,4% (Item 1). Die Verteilung der relativen Häufigkeiten der vier Ausgänge (Kombination aus Antwort plus Begründung) ist in Abbildung 2 für jedes Item abgebildet. Die Häufigkeiten für die in sich konsistenten alternativen Antworten (Ausgang



1. Bert bildet eine Kerzenflamme mit einer Linse scharf auf dem Schirm ab. Die untere Hälfte der Linse wird jetzt abgedeckt.

Wie verändert sich die Helligkeit des Bildes?

- Das Bild wird heller.
- Das Bild wird dunkler.
- Das Bild bleibt gleich hell.

Welche Aussage begründet deine Antwort am besten?

- Hinter der Linse ist mehr Licht vorhanden, als vor der Linse.
- Es ist weniger Licht an der Abbildung beteiligt als vorher.
- Die Linse erzeugt ein Spiegelbild der Kerzenflamme.
- Die Größe der Linse hat keinen Einfluss auf die Helligkeit des Bildes.

Abb. 3: Beispielitem (SV4) bestehend aus der Repräsentation einer Situation mit einer dazugehörigen Frage sowie der Aufforderung nach der Begründung der Antwort.

C, gelb) fallen für die Items SV2, SV4 und SV6 besonders hoch aus. Abbildung 3 zeigt beispielhaft das Item SV4, welches zu 14,1% mit dem Ausgang A (grün) und zu 51,8% mit dem Ausgang C (gelb) beantwortet wurde.

4. Diskussion

Die Auswertung der Gesamtscores zeigt, dass der Test mit durchschnittlich drei vollständig gelösten Aufgaben sehr schwer für die untersuchte Stichprobe war. Für die erste Stufe der Items (Antwort ohne Begründung) lag der Mittelwert des Gesamtscores bei $M=5,40$ richtig gelösten Items ($SD=1,702$). Die Aufforderung zur Begründung der gegebenen Antwort führt also wie ursprünglich erwartet zu einer genaueren Selektion der gegebenen Antworten. Das Item mit der geringsten Lösungshäufigkeit von 3% wies zusätzlich eine besonders hohe Häufigkeit des Ausgangs B (nicht adäquate Antwort aber physikalische Begründung) auf und wurde aufgrund der Auffälligkeiten aus dem Test entfernt (ausgegraut in Abb. 2).

Die hohe Schwierigkeit des Tests führt dazu, dass (geringe) Bodeneffekte nicht vollständig auszuschließen sind. Aber selbst, wenn der Test nur bedingt als reiner Leistungstest verwendet werden kann, lassen sich bei der Analyse der alternativen Ausgänge (C, dargestellt in gelben Balkenabschnitten) auch selten gelösten Items näher interpretieren. Im Vergleich mit Tabelle 1, also der inhaltlichen Struktur der Items, finden sich diese Gruppen (auf einer deskriptiven Ebene) in den Ergebnissen wieder.

Abbildung 4 zeigt nochmal deutlicher, wie sich die

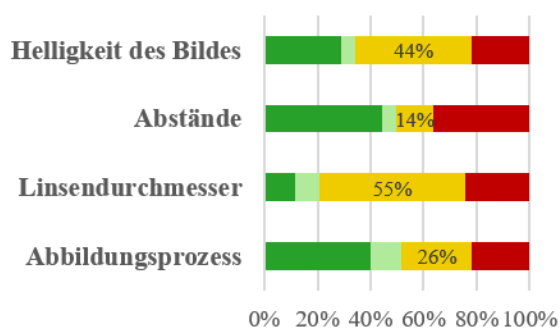


Abb. 4: Inhaltliche Gruppierung der codierten Ausgänge der Items (ohne Item 10). Relative Häufigkeiten der Ausgänge A,B,C und D

Ergebnisse vor allem in zwei Gruppen unterscheiden. Einerseits die Items zur allgemeinen Bedeutung der am Abbildungsprozess beteiligten Komponenten (Linse, Schirm) sowie deren Abstände zueinander und andererseits die Items zur Helligkeit des Bildes bzw. der Rolle des Linsendurchmessers. Die Bereiche „Abstände“ und „Abbildungsprozess“ werden wesentlich häufiger richtig bzw. komplett falsch beantwortet. Die Häufigkeit der alternativen Ausgänge ist mit 14% bzw. 20% sehr gering. Daraus kann die Vermutung abgeleitet werden, dass es hierbei selten zu alternativen Vorstellungen kommt, sondern Schüler:innen oft nur unwissend oder wissend in den

Teilbereichen sind. Die Teilmenge von unaufmerksam (statt unwissend) beantworteten Fragen kann hierbei nicht eindeutig identifiziert werden. Die zwei übrigen Teilbereiche beinhalten immer eine Form von Änderung an der Linse (Abdeckung oder Veränderung des Durchmessers) und adressieren das Wissen über die Gestalt und Helligkeit des Bildes nach den beschriebenen Manipulationen. Hier finden sich sehr häufig konsistente alternative Antworten. Dies deckt sich mit Befunden aus der Literatur, welche die abgedeckte Linse als äußerst herausforderndes Phänomen betrachten. Das vermutete Konzept dahinter ist, dass Schüler:innen das Bild als Ganzes wahrnehmen, welches durch den Raum wandert. Eine Abdeckung vor der Linse führt dazu, dass das Bild dann nicht mehr vollständig durch die Linse gelangt und somit nur teilweise auf dem Schirm zu sehen ist (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2018).

Die Items des hier vorgestellten Tests zu Abbildungen an der Sammellinse wurden häufiger im Ausgang D beantwortet, als die Themenbereiche der Anfangsoptik aus Teichrow & Erb (2019). Es wurde zwar nicht dieselbe Stichprobe untersucht, jedoch zeigen sich dort bei den Antworten, von Schüler:innen vergleichbarer Klassenstufen, vermehrt die Ausgänge A und C. Eine höhere Anzahl an falschen Antworten überrascht bei einem anspruchsvollen Thema wie Abbildungen an Linsen im Vergleich zu den Bereichen Schatten oder Licht nicht. Aufgrund der Tatsache, dass dies auch mit der Güte der Skalen zusammenhängen kann, wird trotzdem eine nochmalige fachliche Analyse der Items durchgeführt werden.

Der Test adressiert vier Teilbereiche beim Thema Abbildungen an Linsen (vgl. Tab. 1). Die konzipierten Themenbereiche werden dementsprechend, wie bereits beschrieben, unterschiedlich angekreuzt. An dieser Stelle muss diskutiert werden, wie aussagekräftig hier die unzufriedenstellende Reliabilität von Cronbachs $\alpha < .6$ für alle Items ist. Obwohl die Items einem übergeordneten Thema (Abbildungen an der Sammellinse) zugeordnet sind, ist die Bewertung aller Items als eine Skala möglicherweise nicht sinnvoll. Unterschiede in den Wissensselementen zwischen der abgedeckten Linse und beispielsweise den Abständen bei der Abbildung können zu einem inkonsistenten Antwortverhalten führen.

5. Fazit und Ausblick

Das vorgestellte Instrument zur Messung des konzeptionellen Verständnisses von Abbildungsvorgängen an der Sammellinse deckt sich mit den Befunden aus der Literatur. Die zwölf entwickelten Items adressieren verschiedene herausfordernde Aspekte von Teilbereichen des Themas. Mit einer kurzen durchschnittlichen Bearbeitungsdauer von weniger als 10 Minuten ist der Test für den angestrebten Einsatz als schnelles Diagnoseinstrument geeignet. Die inhaltliche Weiterentwicklung der nach der Pilotierung elf Items findet derzeit statt.

6. Literatur

- Duit, Reinders. (2009): Bibliography: Students' and Teachers' Conceptions and Science Education.
- Gropengießer, H., & Marohn, A. (2018): Schülervorstellungen und Conceptual Change. In: Krüger, D.; Parchmann, I.; Schecker, H. (Hrsg.): Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. S. 49–67. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_4
- Goldberg, F.M. & McDermott, L.C. (1987): An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. In: Am. J. Phys., 55, S. 108–119. <https://doi.org/10.1119/1.15254>
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (2018): Schülervorstellungen zur geometrischen Optik. In: Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R. (Hrsg.): Schülervorstellungen und Physikunterricht. S. 89–114. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_5
- Hettmannsperger, R.; Müller, A.; Scheid, J.; Kuhn, J.; Vogt, P. (2020): KTSO-A: KONZEPTTEST-STRAHLENOPTIK – ABBILDUNGEN. Entwicklung eines Konzepttests zur Erfassung von Konzepten der Lichtausbreitung, Streuung und der Entstehung reeller Bilder im Bereich der Strahlenoptik. PriSE. 2021. 4, 1. <https://doi.org/10.25321/priSe.2021.1015>
- Kaltakci-Gurel, D.; Eryilmaz, A.; McDermott, L.C. (2016): Identifying pre-service physics teachers' misconceptions and conceptual difficulties about geometrical optics. In: Eur. J. Phys., 37, 045705. DOI: 10.1088/0143-0807/37/4/045705
- Mikelskis-Seifert, S. (2002). Die Entwicklung von Metakzepten zur Teilchenvorstellung bei Schülern - Untersuchung eines Unterrichts über Modelle mithilfe eines Systems multipler Repräsentationsebenen. Logos Verlag Berlin.
- Müller, A.; Hettmannsperger, R.; Scheid, J.; Schnotz, W. (2017): Representational Competence, Understanding of Experiments, Phenomena and Basic Concepts in Geometrical Optics: A Representational Approach. In: Treagust, D.; Duit, R.; Fischer, H. (Hrsg.): Multiple Representations in Physics Education. Models and Modeling in Science Education, vol 10. Springer, Cham. S. 209-229. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58914-5_10
- Mzoughi, T.; Herring, S. D.; Foley, J. T.; Morris, M. J.; Gilbert, P. J. (2007): WebTOP: A 3D interactive system for teaching and learning optics. In: Computers & Education, 49(1), S. 110–129. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.06.008>
- Schecker, H. & Duit, R. (2018): Schülervorstellungen und Physiklernen. In: Schecker, H.; Wilhelm, T.; Hopf, M.; Duit, R. (Hrsg.): Schülervorstellungen und Physikunterricht. S. 89–114. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_1
- Teichrow, A., Erb, R. (2019): Entwicklung und Evaluation eines zweistufigen Testinstruments für Schülervorstellungen zur Anfangsoptik. In: V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.): PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen 2019. Berlin. S. 219-226.
- Wörner, S.; Becker, S.; Küchemann, S.; Scheiter, K.; Kuhn, J. (2022): Development and validation of the ray optics in converging lenses concept inventory. In: Phys. Rev. Phys. Ed. Res. 18, 020131. American Physical Society (APS). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.020131>