

Nutzung von metakognitiven Strategien beim Transfer von physikalischen Konzepten – Entwicklung und Anwendung eines Messinstrumentes für Transferstrategien

Daniel Gysin¹, Andreas Müller², Dorothee Brovelli¹

Received: July 2021 / Accepted: September 2022

Structured Abstract

Hintergrund: Der Transfer von physikalischem Wissen auf eine neue (Aufgaben-)Situation stellt Schüler*innen vor Herausforderungen (Chi & VanLehn, 2012). Aus früheren Studien ist nur wenig bekannt, wie Lernende bei der Anwendung gelernter physikalischer Konzepte auf einer metakognitiven Ebene vorgehen. Moderne Transfertheorien wie der Akteur*innen-orientierte Transfer (AOT, Lobato, 2012) heben die Wichtigkeit der Untersuchung der Vorgehensweise beim Transfer, sprich die Nutzung von Transferstrategien, hervor. Dabei spielen auch Kontextmerkmale der Transferaufgabe, die nicht direkt mit der Lösung des Transferproblems verbunden sind, eine bedeutende Rolle. Gysin und Brovelli (2021) entwickelten ausgehend von diesen Grundlagen ein Framework zur Analyse von Transferprozessen.

Zweck der Studie: Messinstrumente zur quantitativen Erhebung von Transferstrategien liegen im Bereich der Physikdidaktik kaum vor. Auf der Basis des o.g. Frameworks wird ein solches Instrument im Bereich der Physik entwickelt und validiert. Zudem wird die Häufigkeit des Einsatzes der Strategien verglichen.

Stichprobe/Setting: Schulklassen der Sekundarstufe, des Kurzzeit- und Langzeitgymnasiums nahmen an der schriftlichen Befragung teil. In einer Pilotstudie mit $N = 120$ Schüler*innen (ausschliesslich aus Klassen der Sekundarstufe) wurde das Messinstrument getestet. Die anschliessend überarbeiteten Skalen wurden in einer zweiten Studie mit $N = 456$ Schüler*innen (aus allen Schulstufen) eingesetzt und ausgewertet.

Design und Methode: Alle Teilnehmenden lösten eine physikalische Transferaufgabe zum Energiekonzept und füllten daraufhin den entwickelten Fragebogen zu den eingesetzten Transferstrategien aus. Die Daten aus der Pilotstudie wurden mit einer explorativen Faktorenanalyse ausgewertet, um die Anzahl vorhandener Subskalen bezüglich Transferstrategien zu bestimmen. Nach einer Anpassung des entwickelten Messinstrumentes wurde mit den Daten der Hauptstudie die Skalenstruktur konfirmatorisch untersucht. Dazu erfolgte ein Vergleich der Skalenmittelwerte, um die Einsatzhäufigkeiten der verschiedenen Transferstrategien zu überprüfen.

Ergebnisse: Ein fünffaktorielles Modell, das verschiedene beim Transfer eingesetzte metakognitive Strategien enthält, repräsentiert die erhobenen Daten am besten. Eine Strategie („Analogien Freizeit“) wird dabei signifikant häufiger eingesetzt als die anderen Transferstrategien.

Schlussfolgerung: Mit dem entwickelten Messinstrument lassen sich Strategien beim Transfer von physikalischen Konzepten untersuchen. Dies entspricht den Anforderungen eines modernen Transferbegriffs. Darüber hinaus zeigte sich, dass Schüler*innen beim Lösen von Transferaufgaben häufig Analogien zu ihren Erfahrungen aus der Freizeit ziehen.

Schlüsselwörter: *Transfer, Kontext, Transferstrategien, Energiekonzept, Physik, Messinstrument*

¹Pädagogische Hochschule Luzern, ²Universität Genf
✉ daniel.gysin@phlu.ch

1 Einleitung

Die Anwendbarkeit von physikalischem Wissen in einer neuen Situation oder Aufgabenstellung gilt als eines der Hauptziele des Physikunterrichts¹. Gleichzeitig stellt dieser Transfer von Wissen eine grosse Herausforderung dar. Lernende können Schwierigkeiten haben, überhaupt zu erkennen, dass sie ihre bestehenden Konzepte in einer bestimmten Situation anwenden können (Chi & VanLehn, 2012). Weiter kann „träges Wissen“ (Renkl et al., 1996) einen erfolgreichen Transfer verhindern. Damit ist gemeint, dass Wissen oft kontextgebunden ist und sich nur schwer auf andere Kontextsituationen übertragen lässt. Dies gilt insbesondere für Lernende, die in ihrem Gebiet noch über kein Expert*innenwissen verfügen. Auch für Fortus et al. (2019) spielt die Anwendbarkeit von Wissen eine zentrale Rolle: So wird in ihrer Studie statt dem (trägen) Wissen das „Knowledge in Use“ erhoben. Damit ist das Wissen, das gebraucht wird, um reale Phänomene zu erschliessen, gemeint.

Aus der Literatur zu Transfer-Forschung im Bereich der Fachdidaktik Physik und etwas weiter gefasst auch im Bereich der Psychologie geht hervor, dass je nach Definition des Begriffs „Transfer“ sowie der Methodik einer Studie unterschiedliche Aspekte der Wissensanwendung beleuchtet werden. Frühere Studien konnten zeigen, dass Schüler*innen selten ein sogenannter „weiter Transfer“ gelingt (Detterman, 1993). Das heisst, dass Lernende häufig nur zur Wissensanwendung in der Lage sind, wenn die Transfersituation respektive -aufgabe der ursprünglichen Lernsituation stark ähnelt. Barnett und Ceci (2002) kritisieren, dass ältere Studien unterschiedliche Definitionen in Bezug auf die Dimensionen von Transfer haben und deshalb viele Widersprüche bestehen. In ihrer Taxonomie definieren die Autor*innen deshalb Aspekte, die die Weite eines Transfers fassbarer machen. Die Unterscheidung von Inhalt und Kontext eines Transfers macht dabei deutlich, dass nicht nur die Frage, was, sondern auch wie und warum etwas transferiert wird, von Bedeutung ist. Auf dieser Grundlage entstanden in den letzten beiden Jahrzehnten zahlreiche neue Ansätze, Transfer zu definieren und zu erforschen. Wie Lobato (2012) anmerkt, sind die zahlreichen Forschungsansätze in diese Richtung nicht als gegensätzlich, sondern als sich in ihrer Perspektive auf die Prozesse beim Transfer unterscheidend, zu betrachten. In der vorliegenden Studie beschränken wir uns auf Transfertheorien, die zum Ziel der Studie passen: Es soll ein Messinstrument zur quantitativen Erhebung von Transferstrategien im Bereich der Physik entwickelt und die Häufigkeit des Einsatzes dieser Strategien verglichen werden. Zentral für dieses Vorhaben sind die Akteur*innen, sprich die Lernenden, sowie die kognitiven Transferprozesse. Im Folgenden wird dementsprechend Bezug auf den Akteur*innen-orientierten Transfer (Lobato, 2003, 2006, 2012) und die „Coordination Class Theory“ und deren Zusammenhang mit dem als „dynamisch“ bezeichneten, modernen Transferbegriff (diSessa & Wagner, 2005) genommen. Die vorliegende Studie stützt sich weiter auf das Framework zur Analyse von Transferprozessen von Gysin und Brovelli (2021) und soll die darin beschriebenen Strategien von Lernenden beim Transfer von physikalischen Konzepten in einer quantitativen Erhebung untersuchen. Dazu werden Skalen entwickelt und getestet, mit denen die Nutzung von verschiedenen Transferstrategien bei der Bearbeitung einer Anwendungsaufgabe aus dem Bereich des physikalischen Energiebegriffs erhoben werden kann.

2 Forschungshintergrund

In den folgenden Abschnitten wird auf bekannte Mechanismen, Modelle und Frameworks aus dem Bereich der Transfertheorien eingegangen. Zuerst soll aber der Transferbegriff näher definiert und die Abgrenzung des klassischen zum „modernen“ respektive „dynamischen“ Transfer aufgezeigt werden. Dabei ist anzumerken, dass die Bezeichnung „moderner Transfer“ aus dem Englischen übersetzt wurde und nicht zwingend mit einer besseren oder innovativeren Theorie im Vergleich zu klassischen Transferansätzen einhergeht (auch wenn dies einige im Folgenden genannte Autor*innen von Transferstudien so implizieren).

2.1 Der traditionelle Transferbegriff

Transfer im traditionellen Sinn meint die Anwendung von bestehendem Wissen in einer neuen, aber in Bezug auf die Tiefenstruktur gleichen Situation (Day & Goldstone, 2012). Dazu müssen die Gemeinsamkeiten der neuen Situation mit einer bekannten in einem ersten Schritt erkannt werden, was Schwierigkeiten bereiten kann, sollten sich die oberflächlichen Merkmale („Surface Structure“) der beiden Situationen wesentlich voneinander unterscheiden. Frühe Transfertheorien gehen von den Elementen der Lern- und Transferaufgaben aus, um die Wissensanwendung zu beschreiben. So begründeten Woodworth und Thorndike (1901) die „Identical Elements Theory“, die das Mass von sich überlappenden Merkmalen von Lern- und Transferaufgaben als Prädiktor für erfolgreichen Transfer hervorhebt. Später bezeichnete der Analogietransfer respektive das „Analogical Reasoning“ (Gick & Holyoak, 1983) den Prozess des Erkennens der gemeinsamen Tiefenstruktur zweier Problemstellungen, was ebenfalls zu erfolgreichem Transfer führen kann. Viele weitere Theorien zum Transfer knüpfen an diesen auf die Aufgaben- respektive Problemstellung fokussierten Ansätzen an und unterscheiden die Weite des Transfers hinsichtlich eines ausgewählten Faktors wie der Anzahl gemeinsamer Elemente in der Tiefenstruktur (Haskell, 2001).

¹ Viele der Aussagen zum Thema Transfer im Physikunterricht gelten ähnlich auch für verwandte Fächer (Mathematik, andere Naturwissenschaften, Ingenieurwesen) oder sie stützen sich auf Forschungsarbeiten dazu.

Neuere Ansätze aus der Forschung zum Transfer kritisieren an der traditionellen Sichtweise die Fokussierung auf die Tiefenstruktur und die damit verbundene Vernachlässigung der Oberflächenstruktur und des Kontexts der Transfer-situation (Royer et al., 2005, Day & Goldstone, 2012). Lobato (2003, 2006) und Lobato et al. (2012) beanstanden zudem das methodische Vorgehen bei Studien zum traditionellen Transfer. Solche Studien sind oft nach dem „Zwei-Probleme“-Design zur Messung der Transferleistung konzipiert (Day & Goldstone, 2012) und erfassen ausschliesslich die spezifisch inhaltliche Ebene, sprich das transferierte Wissen. Bei diesem methodischen Vorgehen wird nach einem initialen Training anhand einer einzigen Aufgabenstellung die Transferfähigkeit mit einer weiteren, konstruierten Transferaufgabe gemessen. Es wird erhoben, inwiefern Lernende ein Prinzip auf die neue Situation übertragen können. Problematisch bei diesem Vorgehen ist, dass damit Transfer nicht in allen Facetten erhoben werden kann (Lobato, 2006). Das Interpretieren der neuen Situation durch die Lernenden, das Anwenden von individuellem Vorwissen, das vielleicht nicht auf die fachlich korrekte Lösung des Transferproblems passt, sowie die Berücksichtigung des sozialen und kulturellen Kontextes der Transfersituation werden bei Studien zum traditionellen Transferbegriff nur lückenhaft oder gar nicht erhoben.

2.2 Der dynamische Transfer

Day und Goldstone (2012) fassen zusammen, dass traditionelle Transferforschung überwiegend das Assimilieren neuer Informationen an das vorhandene, statische Wissen, nicht aber das Akkommodieren (Piaget, 1972), sprich das dynamische Anpassen des existierenden Wissens an neue Situationen, miteinschliesst. DiSessa und Wagner (2005), Wagner (2006, 2010) wie auch bereits Bransford et al. (2000) nehmen sich dieser Kritik an und erklären das Phänomen Transfer mit Ansätzen der Wissenskonstruktion in neuen Situationen. Bransford et al. (2000) erläutern in ihrer als „Preparing for Future Learning“ (PFL) genannten Theorie, dass ein wesentlicher Bestandteil einer Lernsituation darin besteht, Schüler*innen dazu zu befähigen, in zukünftigen Situationen ihr Wissen zu gebrauchen, um selbstständig mithilfe der gegebenen Umstände wiederum lernen zu können.

DiSessa und Wagner (2005) integrieren die „Coordination Class Theory“ (nach diSessa, 1993) in die Transferforschung und erklären grundlegende Mechanismen der Konstruktion von Konzepten in Transfersituationen unter der Berücksichtigung von Kontextmerkmalen. Wissen respektive Konzepte bestehen aus Wissens-elementen, die in jeder Situation neu verbunden werden. Dabei verfügen in einem bestimmten Bereich erfahrene Personen über viele unterschiedliche Wissens-elemente und über Strategien („Readout Strategies“), um aus Kontextsituationen bedeutsame Merkmale herauszulesen. Der Prozess der Koordination der eigenen Wissens-elemente mit Kontextmerkmalen wird von den Autoren „Alignment“ genannt. Wagner (2006, 2010) führt diesen Ansatz weiter und begründet den „Transfer in Pieces“, wonach Wissens-elemente („Knowledge Pieces“) beim Transferprozess aktiviert und danach Konzepte, die für die Bearbeitung von Transferaufgaben nützlich (oder weniger nützlich) sind, aus diesen Elementen jeweils neu konstruiert werden. Dabei können auch fachlich inkorrekte („naive“) Wissens-elemente mit einbezogen werden, was einen Transfer verunmöglichen kann. Diese Sichtweise auf Transfer kann als dynamisch bezeichnet werden, da die Konstruktion der Konzepte aus Wissens-elementen in jeder Situation anders abläuft (Rebello et al., 2005).

2.3 Der Akteur*innen-orientierte Transfer

Die Strategien, mit denen eine Koordination der Wissens-elemente und das „Alignment“ gelingen kann, haben in der vorliegenden Studie eine zentrale Bedeutung. Um den gesamten Prozess des Transfers zu verstehen, müssen die Überlegungen und Handlungen der transferierenden Person und die Einflussfaktoren darauf berücksichtigt werden. Lobato (2003, 2006) stellt mit ihrem Ansatz des Akteur*innen-orientierten Transfers (AOT) die Perspektive des Individuums in den Mittelpunkt. So sind nach dieser Transfertheorie die Oberflächenmerkmale einer Aufgabenstellung respektive Transfersituation von grosser Relevanz, um die individuelle Konstruktion der Konzepte nachvollziehen zu können. Die Frage, ob Transfer gelingt oder nicht, rückt zugunsten der Untersuchung des „Wie“ in den Hintergrund. Transfer wird demnach definiert als die Generalisierung des Lernens, die den Einfluss der früheren (Lern-)Erfahrung auf die Handlungen und Überlegungen in neuen Situationen miteinschliesst (Lobato, 2006). Eine gewichtige Rolle dabei spielt der Kontext der Transferaufgabe. Nach dem AOT-Ansatz wie auch nach der „Coordination Class Theory“ ist der Umgang der transferierenden Person mit den Kontextmerkmalen zentral.

2.4 Transferprozesse und -strategien

Um die Vorgehensweise, sprich die Nutzung von Strategien beim Transfer in zukünftigen Studien untersuchen zu können, entwickelten und validierten Gysin und Brovelli (2021) ein Framework zur Analyse und Kategorisierung von Transferprozessen und -strategien (Tab. 1). Die im Framework aufgeführten Kategorien können bestimmten Aussagen von Schüler*innen, die sie beim Lösen von physikalischen Transferaufgaben (beispielsweise in einer Interview-Situation) äussern, zugeordnet werden. Aus der Abfolge der Kategorisierungen lässt sich so ein Überblick über den gesamten Transferprozess gewinnen.

Das Framework enthält nebst metakognitiven Strategien auch Kategorien, die Beschreibungen und Analysen von Kontextmerkmalen des Aufgabenkontexts (1), der Nennung von bestehenden Wissens-elementen (2) wie auch der Ver-

knüpfung von Kontextmerkmalen und Wissensselementen (3) zugeordnet werden können. Diese Aufteilung ist angelehnt an den „Transfer in Pieces“ (Wagner, 2006, 2010) respektive an die „Coordination Class Theory“ (DiSessa & Wagner, 2005). Gysin und Brovelli (2021) zeigen auf, dass von Schüler*innen erwähnte Kontextmerkmale (1) auf den fachlichen Hintergrund der Aufgabe bezogen werden können oder aber keinen Zusammenhang mit diesem aufweisen. Weiter kann die Nennung und Vernetzung von einzelnen Wissensselementen auf verschiedenen Komplexitätsstufen beobachtet werden (beispielsweise in Form einer Nennung von Begriffen oder einer Erklärung von komplexeren Zusammenhängen). Diese Erkenntnis führte zur induktiven Entwicklung der Subkategorien zu den Hauptkategorien des Frameworks.

Die Transferstrategien respektive die im Framework beschriebenen und für die vorliegende Studie relevanten metakognitiven Strategien (4) wurden von Gysin und Brovelli (2021) in ihrer qualitativen Studie teils induktiv aus den Interviewdaten und teils aus theoriebasierten Überlegungen hergeleitet. Sie zeigen Vorgehensweisen von Schüler*innen bei der Bearbeitung einer Transferaufgabe zum physikalischen Energiekonzept.

Tab. 1. Framework zur Analyse und Kategorisierung von Transferprozessen und -strategien (Gysin & Brovelli, 2021).

(1) Kontextmerkmale beschreiben und analysieren	(2) Wissensselemente nennen und vernetzen	(3) „Alignment“ von Wissensselementen und Kontextmerkmalen	(4) Metakognitive Strategien
1a: Beschreiben von Fachinhalts(FI)-bezogenen Kontextmerkmalen	2a: Nennen von FI-fernen Wissensselementen	3a: Koordination eines oder mehrerer FI-fernen Wissensselemente mit FI-bezogenen Kontextmerkmalen	4a: Vermutungen oder Fragen formulieren
1b: Beschreiben von FI-fernen Kontextmerkmalen	2b: Nennen oder Beschreiben von FI-bezogenen Fakten oder Begriffen	3b: Koordination eines oder mehrerer FI-fernen Wissensselemente mit FI-fernen Kontextmerkmalen	4b: Einnehmen einer Subjektperspektive
	2c: Nennen oder Beschreiben von FI-bezogenen Zusammenhängen oder Konzepten	3c: Koordination von Fakten/Begriffen mit FI-bezogenen Kontextmerkmalen	4c: Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen
	2d: Nennen oder Erklären von physikalischen Formeln	3d: Koordination von Fakten/Begriffen mit FI-fernen Kontextmerkmalen	4d: Reflektieren und Schlüsse ziehen
		3e: Koordination eines Zusammenhangs/Konzepts mit FI-bezogenen Kontextmerkmalen	
		3f: Koordination eines Zusammenhangs/Konzepts mit FI-fernen Kontextmerkmalen	
		3g: Koordination einer Formel mit FI-bezogenen Kontextmerkmalen	
		3h: Koordination einer Formel mit FI-fernen Kontextmerkmalen	
FI: Fachinhalt			

Auf die Bedeutung der vier im Framework beschriebenen Transferstrategien („metakognitive Strategien“) soll an dieser Stelle genauer eingegangen werden:

- **Vermutungen oder Fragen formulieren (4a):** Schüler*innen äussern beim Bearbeiten der Transferaufgabe bewusst Fragen oder stellen Vermutungen auf, um ihre Unsicherheit bezüglich des Vorgehens oder der Lösung auszudrücken. Dabei können potenzielle Lösungsansätze formuliert und (mit sich selbst oder in der Gruppe) diskutiert werden.
- **Einnehmen einer Subjektperspektive (4b):** Schüler*innen beschreiben (hypothetische) Aktionen von Personen aus dem Aufgabenkontext. Sie versetzen sich in diese Subjekte hinein und durchdenken mögliche Abläufe, die sich aus dem Aufgabenkontext ergeben. Diese Vorgehensweise kann dabei helfen, die Lösung der Aufgabe strukturierter respektive Schritt für Schritt anzugehen.
- **Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen (4c):** Schüler*innen nutzen ihre Erfahrungen aus dem Alltag und dem Unterricht, um Gemeinsamkeiten zwischen der Transferaufgabe und bekannten Situationen zu erkennen. Diese bestehenden Erfahrungen können genutzt werden, um sich mögliche Lösungswege zur Transferaufgabe zu erschliessen.
- **Reflektieren und Schlüsse ziehen (4d):** Schüler*innen reflektieren über die vorzufindende Transfersituation und leiten aus diesen Überlegungen Erkenntnisse ab, die ihnen beim Lösen der Aufgabe helfen. Die dazu gewonnenen Wissensselemente können in bestehende Konzepte eingeordnet werden.

Das Framework von Gysin und Brovelli (2021) spezifiziert insbesondere in Bezug auf die metakognitiven Strategien bekannte Transfermechanismen aus traditionellen und modernen Transfertheorien. In einem modernen Verständnis von Transfer spielen die individuelle Konstruktion von Konzepten in Transfersituationen eine bedeutende Rolle. Durch die Beschreibung von metakognitiven Strategien, die Lernende beim Transfer einsetzen (können), ergeben sich neben den fachinhaltlichen und kontextorientierten Aspekten von Transfer, die mit den ersten drei Kategorien des Frameworks (Tab. 1) erfasst werden, konkrete Hinweise auf das Vorgehen und die Gedankengänge bei der Anwendung von Konzepten.

Die Auflistung der metakognitiven Strategien im Framework von Gysin und Brovelli (2021) erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die restlichen Kategorien des Frameworks werden an dieser Stelle nicht im Detail diskutiert, da sie für die hier vorgestellte Studie nicht relevant sind.

Nebst dem Framework von Gysin und Brovelli (2021) finden sich in der Literatur weitere Ansätze, um das Vorgehen bei einem Transfer zu beschreiben. So stellen beispielsweise Nokes-Malach und Mestre (2013) ein zweistufiges Modell zum Transferprozess vor. In einem ersten Schritt konstruieren Lernende nach diesem Modell eine Repräsentation des Kontexts der Transfersituation, daraufhin generieren sie eine (mögliche, vielleicht auch unzureichende) Lösung des Problems. Bestandteil des Modells sind aus traditionellen Transferstudien bekannte Mechanismen (beispielsweise das Erkennen von identischen Elementen oder die Nutzung von Analogien). Weiter sind Prozesse auf der Ebene der individuellen Gedankengänge im Modell zu finden, die Nokes-Malach und Mestre (2013, S. 189ff.) als „Sinnerschliessen“ („Sense-making“) und „Zufriedenstellen“ („Satisficing“) umschreiben. Diese Prozesse laufen auf beiden Stufen des Modells ab und haben einen Bezug zum Akteur*innen-orientierten Transfer (Lobato, 2003, 2006): Lernende, die ihre Konzepte anwenden, müssen sowohl bei der Repräsentation des Kontexts wie auch bei der Generierung einer Lösung den Sinn respektive das Ziel hinter der Problemstellung erschliessen können. Sind die Kontextrepräsentation und später eine Lösung des Problems vorhanden, überprüfen Lernende, ob diese zufriedenstellend sind (in einem subjektiven Sinne) und führen danach den nächsten Schritt aus, schliessen den Transferprozess ab oder evaluieren die Problemstellung erneut.

Die vier von Gysin und Brovelli (2021) definierten metakognitiven Strategien weisen gewisse Gemeinsamkeiten mit den Mechanismen und Prozessen aus dem Modell von Nokes-Malach und Mestre (2013) auf, lassen sich in die Stufen ebendieses Modells einordnen und differenzieren es zugleich aus. So kann die Strategie „Vermutungen und Fragen formulieren“ (4a) als Teil des Sinnerschliessens auf der ersten Stufe des Transferprozesses interpretiert werden. Auch die zweite Strategie, das „Einnehmen einer Subjektperspektive“ (4b) ist Teil des Sinnerschliessens. Hierbei werden Abläufe in der Kontextsituation wie auch die Problemstellung an sich erschlossen. Die Transferstrategie „Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen“ (4c), bei der Lernende auf ihnen aus der Schule oder der Freizeit Bekanntes verweisen, decken sich wiederum mit dem in traditionellen Transferstudien beschriebenen Mechanismus des „Analogical Reasoning“ (Gick & Holyoak, 1983), das auch im Modell von Nokes-Malach und Mestre (2013) aufgegriffen wird. Das „Reflektieren und Schlüsse ziehen“ (4d) kann abschliessend als Bestandteil des „Zufriedenstellens“ (Nokes-Malach & Mestre, 2013) und, gleichzeitig, der Konstruktion von neuen Konzepten während des Transfers (diSessa & Wagner, 2005) interpretiert werden.

2.5 Forschungslücke

Studien zum Transfer aus dem Bereich der Physikdidaktik nach einem modernen, dynamischen Verständnis von Transfer (Dufresne et al., 2005) sind selten und vorwiegend qualitativer Art in Form von inhaltlichen Analysen von Interviewdaten (Rebello et al., 2005) oder theoretischen Abhandlungen über den Begriff des Transfers (Royer et al., 2005). Studien wie die von Lobato et al. (2012) untersuchen einen bestimmten Aspekt des Transferprozesses (in diesem Fall das „Noticing“ während einer Transfersituation, das die Wahrnehmung von Situationen beschreibt, in der vorhandenes Wissen angewandt respektive transferiert werden kann). Die letztgenannte Studie stammt aus der Mathematikdidaktik und beinhaltet ebenfalls qualitative Interviewanalysen. Andere Forschungsarbeiten interpretieren vorhandene qualitative Daten mit einem nach einem modernen Transferansatz entwickelten Framework neu. So beziehen sich beispielsweise Nokes-Malach und Mestre (2013) auf frühere Interviewdaten von Mestre et al. (2005) und Carraher und Schliemann (2002) und erklären Aussagen daraus mit ihrem theoretisch hergeleiteten Modell für Transferprozesse und -mechanismen.

Quantitative Untersuchungen im Rahmen einer multiperspektivischen Perspektive auf der Basis der aktuellen Literatur finden sich nahezu keine. Nokes (2009) untersuchte in einer quantitativen Erhebung grundlegende Mechanismen beim Transfer und konnte zeigen, dass die angewandten Transfermechanismen vom Vorwissen der Proband*innen und der Charakteristik der Transferaufgabe abhängen. Die Studie enthielt jedoch Problemlöseaufgaben mit Buchstabenfolgen und keine physikalischen Aufgabenstellungen.

Messinstrumente, die über die spezifischen inhaltlichen Aspekte von Transferleistungen hinaus auch metakognitive Strategien von Schüler*innen abdecken, fehlen somit weitgehend. Die hier vorgestellte Studie soll mit der Entwicklung von Skalen für die Erhebung von Transferstrategien diese Forschungslücke ein Stück weit schliessen. Dadurch ergibt sich für zukünftige Studien die Möglichkeit, Einflussfaktoren auf den Einsatz von Transferstrategien zu überprüfen respektive zu vergleichen.

2.6 Ziel der Studie und Hypothesen

Wie aufgezeigt, bestehen noch keine Messinstrumente zur Erfassung der Häufigkeit der eingesetzten Transferstrategien in einer quantitativen Studie. Um in zukünftigen Erhebungen die Nutzung von Transferstrategien systematisch erfassen zu können, braucht es validierte Skalen zu bekannten metakognitiven Strategien. Deshalb wird im Rahmen der vorliegenden Studie auf das Framework von Gysin und Brovelli (2021) zurückgegriffen, um ein solches Messinstrument für quantitative Studien zu entwickeln.

Gysin und Brovelli (2021) führten zur Entwicklung der Kategorien des Frameworks eine qualitative Inhaltsanalyse durch. Zur Validierung ordneten unabhängige Codierer*innen die Aussagen der Schüler*innen den entwickelten Kategorien zu. Die Übereinstimmung der Codierungen war dabei substanziell, weshalb für die vorliegende Studie davon ausgegangen werden kann, dass das Framework eine fundierte Basis für die Entwicklung des Messinstruments bildet. Zu jeder der vier metakognitiven Strategien aus dem Framework von Gysin und Brovelli (2021) werden für die vorliegende Studie Items entwickelt und getestet. Ziel ist die Entwicklung eines Messinstruments, das sich zur Erfassung von Transferstrategien im Rahmen einer Selbsteinschätzung der Proband*innen eignet. Lernende sollen nach dem Lösen einer physikalischen Transferaufgabe anhand der entwickelten Skalen angeben können, welche Strategien sie in welchem Umfang bei der Bearbeitung der Problemstellung genutzt haben.

Es stellt sich die Frage, ob die in der vorliegenden Studie eingesetzten Items auf verschiedene Faktoren laden. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die vier Transferstrategien (metakognitiven Strategien) wie bei der qualitativen Studie von Gysin und Brovelli (2021) unterscheiden lassen und sich dies auch bei der Untersuchung der Faktorenstruktur zeigt, wobei Nebenladungen bei einer ersten, explorativen Faktorenanalyse zugelassen werden.

Nebst der Faktorenstruktur des entwickelten Messinstruments sollen auch Unterschiede in der Häufigkeit der Anwendung der Transferstrategien untersucht werden. Aus dieser Zielformulierung ergeben sich folgende Hypothesen, die im Rahmen der vorliegenden Studie überprüft werden sollen und an dieser Stelle auch kurz begründet sind:

- **H1:** Es ergeben sich signifikante Unterschiede bei der Häufigkeit der Anwendung zwischen den untersuchten Transferstrategien.

Es wird vermutet, dass nicht alle Transferstrategien gleich häufig angewandt werden, was den Ergebnissen der genannten Interview-Studie von Gysin und Brovelli (2021) entsprechen würde.

- **H2:** Die in Studien zum traditionellen Transfer bereits vielfach nachgewiesene Strategie „Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen“ wird signifikant häufiger angewandt als die restlichen Strategien.

Nach der ursprünglichen Definition von Transfer beinhaltet der Prozess des Transferierens die Anwendung von Bekanntem auf etwas Neues (Dufresne et al., 2005). Deshalb und aufgrund zahlreicher Beschreibungen des analogen Begründens („Analogical Reasoning“) in bisherigen Studien (Gick & Holyoak, 1983) wird davon ausgegangen, dass die Strategie „Analogien zur Erfahrung herstellen“ häufiger vorkommt als andere Transferstrategien.

3 Stichprobe und Methoden

3.1 Stichprobe

Die Skalen des entwickelten Messinstruments wurden in einem ersten Schritt mit $N = 120$ Schüler*innen aus insgesamt sieben Klassen der Sekundarstufe 1 (8. und 9. Schuljahr) erprobt und anschliessend überarbeitet. Das durchschnittliche Alter der Schüler*innen betrug 14 Jahre ($M = 14.09$ Jahre, $SD = 1.01$). 54% der Schüler*innen sind weiblich, 46% männlich.

Die nach der Pilotstudie überarbeiteten Items wurden an einer neuen Stichprobe (Hauptstudie) mit $N = 456$ Schüler*innen aus insgesamt 27 Klassen der Sekundarstufe 1 und 2 getestet (Abbildung 1). Klassen aus allen Schulniveaus (alle Niveaus der Sekundarstufe 1, Kurzzeitgymnasium und Langzeitgymnasium) nahmen an der Studie teil. Der Altersdurchschnitt betrug 15 Jahre ($M = 14.86$, $SD = 4.95$). Von den Proband*innen sind 50% männlich und 50% weiblich).

3.2 Durchführung und empirisches Vorgehen

3.2.1 Rahmen und zeitlicher Ablauf der Untersuchung

In Anlehnung an die Studie von Gysin und Brovelli (2021) wurde für die Erhebungen dieser Untersuchung das Thema „Energie“ im Fachbereich Physik gewählt. Als Voraussetzung zur Teilnahme an beiden empirischen Erhebungen wurde festgelegt, dass das Thema „Energie“ im Natur- und Technikunterricht respektive im Physikunterricht, orientiert an den Themenbereichen des Lehrplans, zeitnah unterrichtet und abgeschlossen wurde. So konnte gewährleistet werden, dass alle teilnehmenden Schüler*innen über ein Vorwissen im Bereich Energieformen, Energieumwandlungen und -erhaltung verfügen. Die Klassen wurden unmittelbar nach Abschluss des Themenbereichs „Energie“ zum erlebten Unterricht und zu ihrem Energiekonzept befragt (es wird hier nicht weiter auf diesen Teil der Erhebung eingegangen, da der Fokus der vorliegenden Studie auf der Entwicklung eines Messinstruments für Transferstrategien liegt). Zwei bis maximal drei Wochen später folgte eine Transferaufgabe zum Thema Energie, eingebettet in den Kontext eines in der Region bekannten Kletter- und Seilparks (Appendix 1). Es handelt sich dabei um die (leicht angepasste) Aufgabenstellung, die Gysin und Brovelli (2021) in ihrer qualitativen Studie bei „Laut Denken“-Interviews eingesetzt hatten. Schüler*innen verschiedenen Alters lösten in dieser Erhebung Aufgaben zum Energiekonzept und äusserten ihre Gedanken über ihr Vorgehen. Die codierten Transkripte der insgesamt zwölf Interviews aus Gysin und Brovelli

(2021) beinhalten Aussagen, die auf den Einsatz von metakognitiven Strategien beim Transfer („Transferstrategien“) schliessen lassen. Ebendiese codierten die Transkripte mit dem oben erwähnten Framework. Die Transkripte dienten als Ausgangspunkt für die Entwicklung der Items für das Instrument zur Messung des Einsatzes von Transferstrategien, die im Rahmen der hier vorgestellten Studie entwickelt, getestet und überarbeitet wurden.

Die in der hier dargestellten Pilot- und Hauptstudie eingesetzte, schriftliche Transferaufgabe (Appendix 1) wurde unter Berücksichtigung der Kritik an Transferaufgaben früherer Studien entwickelt. Eine solche Kritik betrifft beispielsweise das geschlossene Antwortformat beim „Zwei-Probleme-Design“, bei dem meist eine einzige Transferaufgabe mit nur einer richtigen Lösung eingesetzt wird, die sich auf eine zuvor gelöste, analoge Lernaufgabe bezieht (Day & Goldstone, 2012). Mehrere Teilaufgaben (z.B. zu Energieformen und der Energieerhaltung) decken einen Grossteil der im Lehrplan für die Sekundarstufe aufgeführten Kompetenzen zum Energiekonzept ab. Zudem lassen die Teilaufgabenstellungen verschiedene Lösungswege und Lösungen zu und beziehen sich auf eine von den Proband*innen ausgewählte Situation auf dem zur Aufgabe gehörenden Übersichtsplan des Seilparks. Das im vorgängigen Unterricht angeeignete Wissen kann so in unterschiedlicher Ausführlichkeit und angeknüpft an verschiedene, realitätsnahe Situationen transferiert werden. Die offene Form der Aufgabenstellung soll auch die Anwendung von Transferstrategien begünstigen respektive einfacher erfassbar machen.

Das Format der in der Studie von Gysin und Brovelli (2021) eingesetzten Transferaufgabe wurde für die vorliegende Studie angepasst, damit die Schüler*innen die Fragen nun schriftlich beantworten konnten. Zur angepassten Transferaufgabe gehörte eine anschliessende, ebenfalls schriftliche Befragung der Schüler*innen zur Vorgehensweise und ihren Überlegungen während des Lösungsprozesses, sprich zur Nutzung von metakognitiven Strategien beim Transfer (Abbildung 1 sowie Appendix 2 und 3).

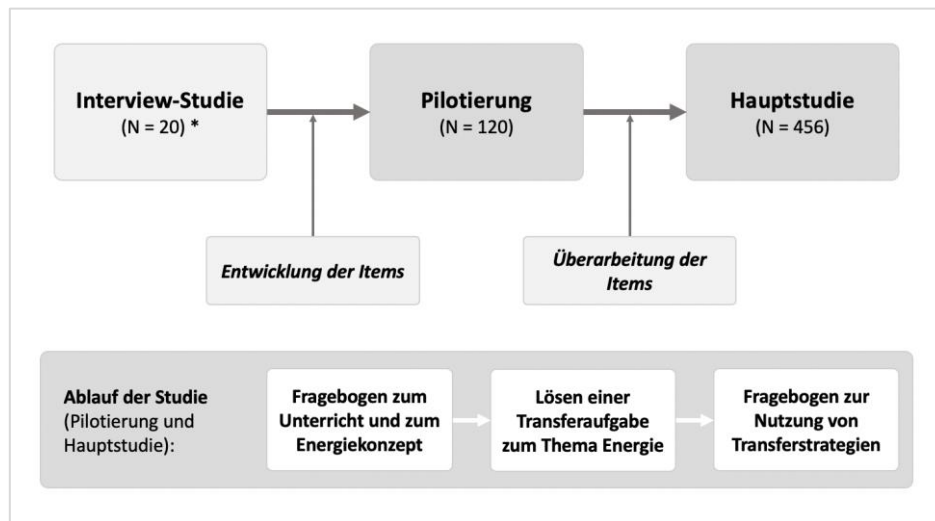


Abb. 1. Übersicht zum Vorgehen und zum Ablauf der Pilotierung und der Hauptstudie (* die Interview-Studie ist in Gysin und Brovelli (2021) beschrieben).

Zu beiden Testzeitpunkten leitete die Lehrperson der Klasse die Befragung nach einem zuvor besprochenen, standardisierten Leitfaden. Die Fragebogen wurden im regulären Unterricht online am Laptop oder Tablet ausgefüllt (mit Ausnahme der Transferaufgabe, die handschriftlich auf Papier gelöst wurde). Die Transferaufgabe und die anschliessende Befragung beim zweiten Testzeitpunkt nahmen je rund 15 Minuten in Anspruch. Das Vorgehen war bei der Pilotstudie und der Hauptstudie gleich.

3.2.2 Item-Entwicklung

Aus den Antworten der Proband*innen in der Interview-Studie von Gysin und Brovelli (2021) lassen sich Formulierungen für Items ableiten, die später in einem Selbsteinschätzungsfragebogen zum Einsatz kommen können. Die Items beziehen sich dabei immer auf eine kurz zuvor gelöste Transferaufgabe.

Die Äusserungen der Schüler*innen und Studierenden, die an den Interviews im Rahmen der erwähnten Studie teilnahmen, lassen Rückschlüsse auf Gedankengänge und damit auf das Vorgehen beim Lösen von Transferaufgaben zu. Für jede der vier im Framework beschriebenen Transferstrategien konnten fünf respektive sechs Items formuliert werden (Appendix 2). Die Entwicklung basiert sowohl auf Aussagen aus den Interviews als auch auf der sinngemässen Formulierung von Items, die weitere Aspekte des jeweiligen Konstrukts abdecken sollen. Beispiele von Aussagen und daraus abgeleiteten Items sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die Formulierungen wurden so gehalten, dass der Bezug zur Transferaufgabe direkt erkennbar ist (jedes Item beginnt mit „Beim Lösen der Aufgaben...“). Die Skalen zur Messung der Anwendung der Transferstrategien sind in Form einer Selbsteinschätzung der transferierenden Person gehalten. Proband*innen können in einem fünfstufigen Antwortformat dem Einsatz der metakognitiven Strategie mehr oder

weniger zustimmen („stimmt gar nicht“, „stimmt eher nicht“, „stimmt teilweise“, „stimmt eher“, „stimmt vollkommen“).

Um die Validität der entwickelten Skalen in einem breiteren Rahmen zu beleuchten, wurde ergänzend zu den statistischen Analysen (Kapitel 3.2.3 Statistische Analysen) in Form einer Interpretations-Nutzungs-Argumentation überprüft, wie valide sich die Testscores als Mass für die Verfügung von Transferstrategien beim Lösen von Physikaufgaben interpretieren lassen. Das Vorgehen folgte dem bei Binder, Schmiemann und Theysen (2019) beschriebenen Verfahren zur Validitätsprüfung nach dem argumentbasierten Ansatz von Kane (2006). Dieses beinhaltet die Überprüfung von Annahmen zur Übersetzung der Zieldomäne in die Aufgabe, dann von der Aufgabe in die Performanz der Studienteilnehmenden und schliesslich von dieser in Testwerte. Das Verfahren wurde im Rahmen eines Diskurses zwischen den Autor*innen und Fachexpert*innen angewandt.

Tab. 2. Item-Entwicklung aus Interviewdaten aus Gysin und Brovelli (2021).

Metakognitive Strategien (Transferstrategien)	Skala (Abk.)	Interviewaussagen (Auswahl)	Items
<i>Vermutungen oder Fragen formulieren</i>	Ver	„Bei diesem Feuer wäre es doch noch Wärmeenergie, oder nicht? Gehört Feuer nicht auch zu Wärmeenergie?“	Beim Lösen der Aufgaben habe ich mich gefragt, ob meine Gedanken und Antworten stimmen. (Ver1)
<i>Einnehmen einer Subjektperspektive</i>	Sub	„Ich stelle mir rasch vor, wenn ich vom Boden auf den Baum steige und quasi da mit der Treppe auf die erste Plattform [zeigt auf die Karte], dann verändert sich ja meine Energie mit jedem Schritt und ich merke das erst, wenn ich herunterspring.“	Beim Lösen der Aufgaben habe ich mir vorgestellt, dass ich selbst gerade an diesem Ort bin. (Sub1)
<i>Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen</i>	Ana	„Das ist doch, das ist doch, ja. Das ist das Beispiel, wenn du auf das Trampolin springst. Also ja, beim Trampolin gehst du einfach wieder nach oben, aber hier fällst du einfach wieder herunter.“	Beim Lösen der Aufgaben habe ich eine Situation auf dem Bild erkannt, die ich auch schon erlebt habe. (Ana6)
<i>Reflektieren und Schlüsse ziehen</i>	Ref	„Aber jetzt habe ich mehr mit den Seilen und mit den ... ja, das ist mir eigentlich zuerst in den Sinn gekommen. Aber eigentlich hat es viel, viel mehr Energieformen, jetzt wo man so anfängt nachzudenken, es sind so überall eigentlich, in allem [lacht].“	Beim Lösen der Aufgaben ergab plötzlich etwas Sinn, das ich vor dem Lösen der Aufgaben noch nicht verstanden habe. (Ref4)

3.2.3 Statistische Analysen

Um das aus den Daten der qualitativen Interviewstudie von Gysin und Brovelli (2021) entwickelte Testinstrument zu validieren, wurden nach der Pilotierung mit explorativen Faktorenanalysen (EFA) die Anzahl Faktoren bestimmt (Bortz & Schuster, 2010) und die Items anschliessend überarbeitet. Die Daten aus der Pilotierung ($N=120$) lassen eine Analyse der Faktoren durch eine EFA zu: Dies zeigt sowohl der Kaiser-Meyer-Olkin-Test (KMO) mit einem gesamten $MSA=0.74$ wie auch das Ergebnis des Bartlett-Tests auf Sphärizität ($\chi^2=972.59$, $p<0.01$).

Nach der Durchführung der explorativen Faktorenanalysen wurden einige Items neu formuliert oder ersetzt. Der überarbeitete Fragebogen konnte anschliessend in der Hauptstudie mit grösserer Stichprobe ($N=456$) eingesetzt werden. Mit einer konfirmatorischen Faktorenanalyse (CFA) wurde die Faktorenstruktur des Messinstruments überprüft. Alle Items erwiesen sich als nicht normalverteilt, was in der Auswertung mit der Verwendung des Schätzers „maximum likelihood estimation with robust (Huber-White) standard errors“ („MLR“, Rosseel, 2012, Huber, 1967) entsprechend berücksichtigt wurde.

Die Vergleiche der Häufigkeit bei der Anwendung der Transferstrategien wurden wegen der nicht gegebenen Normalverteilung der Items mit einem nicht-parametrischen Verfahren durchgeführt (Mann-Whitney-U-Test; Eid et al., 2011). Alle Berechnungen erfolgten mit der Statistiksoftware R, wobei die Pakete „psych“ (Revelle, 2020) und „lavaan“ (Rosseel, 2012) zum Einsatz kamen.

4 Ergebnisse

4.1 Item- und Faktorenanalyse des ursprünglichen Messinstruments

Bevor die Untersuchung der Faktorenstruktur der entwickelten Items dargelegt wird, sind im folgenden Abschnitt die Resultate der Reliabilitäts- und Itemanalyse der ursprünglichen Skalen aus der Pilotstudie ($N=120$) aufgeführt.

4.1.1 Itemanalyse

Für jede der entwickelten Skalen zu den ursprünglich vier metakognitiven Transferstrategien (Appendix 2) wurden Reliabilitäten und Item-Kennwerte ermittelt.

Die Analyse der postulierten Skala zur Transferstrategie „Vermutungen und Fragen formulieren“ (Ver) zeigt, dass einzig das invers zu den anderen Items formulierte Item Ver3 („Beim Lösen der Aufgaben dachte ich, dass meine Gedanken und Antworten richtig sind.“) eine geringe Trennschärfe ($r_{it}=0.10$) aufweist (gerechnet wurde aufgrund der eher geringen Anzahl an Items pro Skala jeweils die part-whole-korrigierte Trennschärfe, Kelava & Moosbrugger, 2020, S. 154). Cronbachs Alpha der Skala erhöht sich deutlich, wenn das Item weggelassen wird (von $\alpha=0.77$ auf $\alpha=0.84$, Tab. 3).

Tab. 3. Itemkennwerte zur Skala „Vermutungen oder Fragen formulieren“ (Ver)

Item	M	SD	P	r_{it}	α_C^*
Ver1	3.24	1.13	0.65	0.62	0.70
Ver2	3.28	1.22	0.66	0.68	0.67
Ver3	2.74	0.94	0.55	0.10	0.84
Ver4	2.92	1.26	0.58	0.63	0.69
Ver5	3.24	1.20	0.65	0.67	0.68

Mittlere Interitem-Korrelation = 0.37 Cronbachs α = 0.77
M = Mittelwert, SD = Standardabweichung, P = Itemschwierigkeit, r_{it} = Trennschärfe, α_C^* = Cronbachs α , wenn Item weggelassen

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Transferstrategie „Einnehmen einer Subjektperspektive“ (Sub). Hier weist das Item Sub3 („Beim Lösen der Aufgaben habe ich mehr auf die Gegenstände geachtet (z.B. Seilbahn, Kletterparcours) als auf die abgebildeten Personen.“) eine geringere Trennschärfe ($r_{it}=0.33$) als die restlichen vier Items ($0.49 \leq r_{it} \leq 0.61$) auf. Cronbachs Alpha der Gesamtskala wird leicht verbessert, wenn das Item weggelassen wird (von $\alpha=0.73$ auf $\alpha=0.75$, Tab. 4).

Tab. 4. Itemkennwerte zur Skala „Einnehmen einer Subjektperspektive“ (Sub)

Item	M	SD	P	r_{it}	α_C^*
Sub1	2.26	1.29	0.45	0.56	0.67
Sub2	3.04	1.31	0.61	0.61	0.64
Sub3	3.19	1.18	0.64	0.33	0.75
Sub4	3.33	1.25	0.67	0.50	0.69
Sub5	2.44	1.28	0.49	0.49	0.69

Mittlere Interitem-Korrelation = 0.35 Cronbachs α = 0.73

Die Items Ana2 („Beim Lösen der Aufgaben erinnerte ich mich nicht daran, dass wir solche Fragen im Unterricht besprochen hatten.“) und Ana5 („Beim Lösen der Aufgaben erinnerte ich mich nicht daran, einmal so etwas wie auf dem Bild in der Realität gesehen zu haben.“) der Skala „Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen“ (Ana) besitzen niedrige Trennschärfen ($r_{it}=0.25$ (Ana2) bzw. $r_{it}=0.17$ (Ana5)). Wiederum sind dies die invers formulierten Items. Jedoch wird nur bei Ana5 die interne Konsistenz verbessert, sollte das Item weggelassen werden (von $\alpha=0.63$ auf $\alpha=0.66$, Tab. 5). Die Skala enthält sechs Items, da die Möglichkeit existiert, dass darin zwei Konstrukte enthalten sind (siehe Diskussion).

Tab. 5. Itemkennwerte zur Skala „Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen“ (Ana)

Item	M	SD	P	r_{it}	α_C^*
Ana1	2.64	1.19	0.53	0.40	0.57
Ana2	2.62	1.02	0.52	0.25	0.62
Ana3	2.84	1.06	0.57	0.40	0.58
Ana4	3.16	1.54	0.63	0.49	0.53
Ana5	2.42	1.40	0.48	0.17	0.66
Ana6	3.34	1.45	0.67	0.49	0.53

Mittlere Interitem-Korrelation = 0.22 Cronbachs α = 0.63

Die Trennschärfen der Items der Skala „Reflektieren und Schlüsse ziehen“ (Ref) sind niedriger als bei den anderen Skalen, jedoch sind keine Ausreisser nach unten vorhanden ($0.31 \leq r_{it} \leq 0.55$, Tab. 6). Die interne Konsistenz kann mit $\alpha=0.65$ gemäss gängigen Richtlinien (COTAN-System, Evers, 2001; darauf beruhend: EFPA, 2013) als ausreichend für Gruppenvergleiche angesehen werden.

Tab. 6. Itemkennwerte zur Skala „Reflektieren und Schlüsse ziehen“ (Ref)

Item	M	SD	P	r_{it}	α_c^*
Ref1	3.02	1.06	0.60	0.32	0.63
Ref2	2.90	1.10	0.58	0.39	0.60
Ref3	2.89	1.04	0.58	0.37	0.61
Ref4	2.30	1.06	0.46	0.55	0.55
Ref5	2.38	1.02	0.48	0.37	0.61
Ref6	3.01	1.21	0.60	0.31	0.64

Mittlere Interitem-Korrelation = 0.24 Cronbachs α = 0.65

Über alle vier Skalen hinweg lässt sich abschliessend feststellen, dass alle Items über eine mittlere Itemschwierigkeit P verfügen ($0.45 \leq P \leq 0.67$) und somit zwischen höheren und niedrigeren Merkmalsausprägungen gut differenzieren können (Kelava & Moosbrugger, 2020).

4.1.2 Explorative Faktorenanalyse

Um die Struktur des Messinstruments zur Erhebung des Einsatzes von Transferstrategien beim Lösen einer Anwendungsaufgabe zu prüfen, wurde eine explorative Faktorenanalyse (EFA) durchgeführt.

Zur empirischen Bestimmung der Anzahl Faktoren wurde eine Parallelanalyse (PA; Horn, 1965) gerechnet, mit einem Resultat von fünf empfohlenen Faktoren (Abbildung 2). Weiter weist die Berechnung des „empirical BIC“ (Schwarz, 1978) auf ein vierfaktorielles Modell hin. Das „empirical BIC“ wurde herangezogen, weil es die Stichprobengrösse miteinbezieht und gleichzeitig die Verletzung des „Sparsamkeitsprinzips“ stärker gewichtet. Moosbrugger und Kelava (2020, S. 561) erwähnen zudem, dass laut Simulationsstudien „das BIC [...] am ehesten geeignet [ist], ein Modell mit der passenden Klassenanzahl zu identifizieren“.

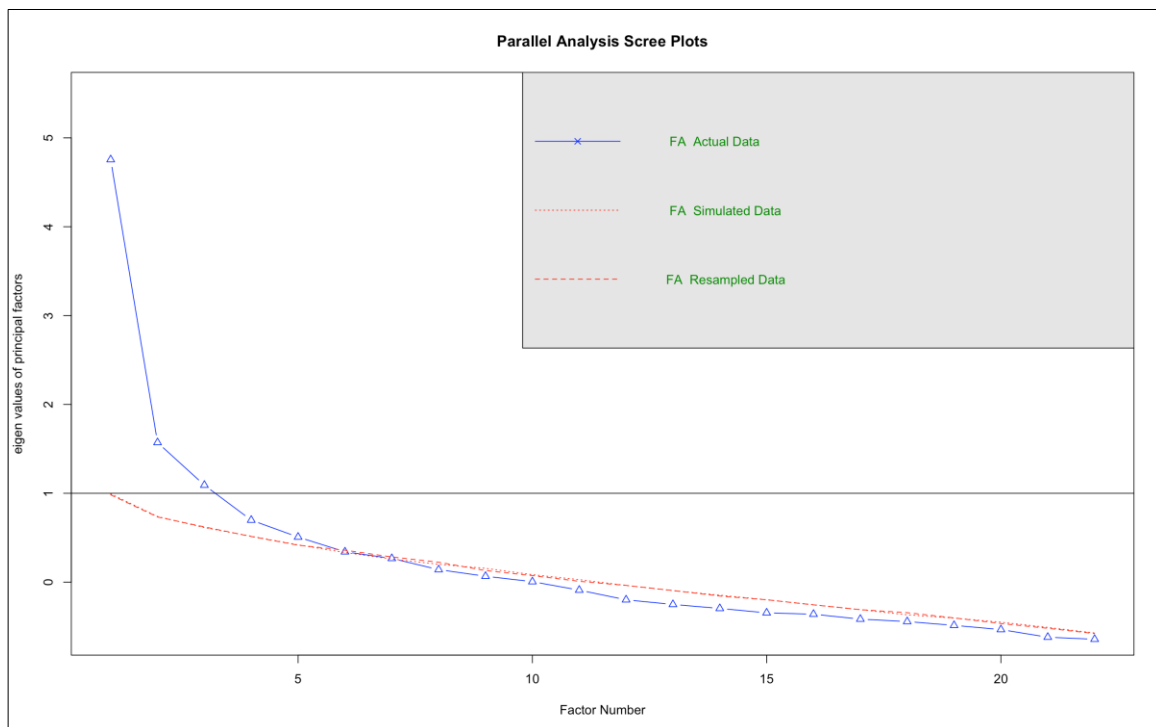


Abb. 2. Ergebnis der Parallelanalyse.

Gestützt auf die Resultate der genannten Tests sowie theoretische Überlegungen wurden die Modelle mit vier (BIC) respektive fünf Faktoren (PA) genauer betrachtet. Für die explorative Faktorenanalyse kam ein schiefwinkliges Rotationsverfahren (Bortz & Schuster, 2010), genauer die „Oblimin“-Rotation, zur Anwendung.

Sowohl beim vier- (Tab. 7) wie auch beim fünffaktoriellen Modell (Tab. 8) liess sich ein Faktor zur Transferstrategie „Vermutungen oder Fragen formulieren“ (Ver) bilden. Bei beiden Modellen lädt einzig Item Ver3 nicht auf diesen Faktor und weist bedeutende Nebenladungen auf. Analog verhält es sich wiederum beim vier- wie fünffaktoriellen Modell für die postulierte Transferstrategie „Einnehmen einer Subjektperspektive“ (Sub). Auch hier kann jeweils ein Faktor gebildet werden. Wiederum lädt das invers formulierte Item Sub3 nur schwach auf den entsprechenden Faktor in beiden Modellen.

Beim fünffaktoriellen Modell ist zudem die Ladung des Items Sub4 mit 0.302 eher schwach. Bei den Items Sub2 und Sub4 treten Nebenladungen auf. Weiter lassen sich nach dem fünffaktoriellen Modell die Items Ana1 und Ana3 zu einem Faktor zusammenfassen.

Tab. 7. Explorative Faktorenanalyse: Vierfaktoren-Modell mit Faktorladungen der Items (hervorgehoben sind alle Ladungen >0.3 nach APA20 (American Psychological Association, 2019)).

Item	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
Ver1	0.664	0.337		
Ver2	0.791			
Ver3		0.444	0.265	0.212
Ver4	0.776	-0.237		
Ver5	0.769			
Sub1			0.569	0.218
Sub2			0.735	
Sub3			0.213	
Sub4		0.348	0.524	
Sub5			0.585	0.233
Ana1		0.511		
Ana2	0.238	0.221		0.255
Ana3		0.586		
Ana4		0.555		
Ana5				
Ana6		0.557		
Ref1	0.398	0.386		
Ref2	0.351	0.373		
Ref3			0.331	0.208
Ref4				0.811
Ref5				0.752
Ref6		0.272	0.226	

Laut dem vierfaktoriellen Modell laden auch die Items Ana4 und Ana6 auf einen Faktor mit den Items Ana1 und Ana3, jedoch weisen in diesem Modell alle Items der Transferstrategie „Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen“ (Ana) nur mässige Ladungen auf.

Abschliessend kann aus den Items Ref4 und Ref5 sowohl beim vier- wie fünffaktoriellen Modell ein Faktor gebildet werden. Die restlichen Items der Skala zur Transferstrategie „Reflektieren und Schlüsse ziehen“ (Ref) laden nicht eindeutig auf einen Faktor.

4.2 Item- und Faktorenanalyse des überarbeiteten Messinstruments

Das nach der explorativen Faktorenanalyse überarbeitete und nun aus fünf Faktoren bestehende Messinstrument (Diskussion, Kapitel 5.1.1) wurde in der umfangreicheren Hauptstudie eingesetzt. Insgesamt füllten $N=432$ Schüler*innen den Fragebogen zu den Transferstrategien vollständig aus (Appendix 3; die Bezeichnungen der Skalen und Items wurden bei der Überarbeitung wo nötig leicht angepasst). Bei der Überarbeitung des Messinstruments wurden die invers formulierten Items entfernt, Items mit bedeutenden Nebenladungen ersetzt oder umformuliert und die Transferstrategie „Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen“ (Ana) in zwei Faktoren aufgeteilt: Ein Faktor bezieht sich nun auf Analogien aus der Schule (AnS), der andere auf Analogien aus der Freizeit (AnF). Diese beiden Skalen wurden um je ein neu entwickeltes Item ergänzt.

Tab. 8. Explorative Faktorenanalyse: Fünffaktoren-Modell mit Faktorladungen der Items (hervorgehoben sind alle Ladungen >0.3 nach APA20 (American Psychological Association, 2019))

Item	Fakt. 1	Fakt. 2	Fakt. 3	Fakt. 4	Fakt. 5
Ver1	0.657	0.389			
Ver2	0.786				
Ver3		0.370	0.254	0.229	
Ver4	0.780				
Ver5	0.790				
Sub1			0.774		
Sub2			0.505	0.419	-0.215
Sub3					
Sub4			0.302	0.489	
Sub5			0.632		
Ana1		0.578			
Ana2	0.215	0.265			0.244
Ana3		0.646			
Ana4		0.308		0.471	
Ana5					
Ana6		0.301		0.505	
Ref1	0.387	0.360			
Ref2	0.361	0.262		0.235	
Ref3				0.349	0.202
Ref4					0.890
Ref5			0.326		0.642
Ref6				0.699	0.214

4.2.1 Konfirmatorische Faktorenanalyse

Mit einer konfirmatorischen Faktorenanalyse (CFA) wurden verschiedene Faktorenmodelle zum überarbeiteten Messinstrument untersucht und verglichen. Es zeigt sich, dass das Modell M1 (Tab. 9) mit fünf unabhängigen Faktoren und dem Weglassen des zur Transferstrategie „Vermutungen und Fragen formulieren“ (Ver) gehörenden Items Ver1 die besten Fit-Masse aufweist. Diese Faktorenstruktur ist dem Modell mit fünf Faktoren inklusive dem Item Ver1 (Modell M2) überlegen.

Die mit Berücksichtigung der nicht normalverteilten Variablen gerechnete konfirmatorische Faktorenanalyse ergab für das Modell M1 gute Fit-Masse ($\chi^2=200.54$, $p<0.01$, robuster CFI=0.96, robuster TLI=0.94, robuster RMSEA=0.055 mit $p=0.400$, SRMR=0.055, Tab. 9). Damit kann von einem „Close Fit“ des Modells mit den vorliegenden Daten ausgegangen werden.

Das Modell M1 zeigt, dass sich die Faktoren zu den fünf Transferstrategien eindeutig trennen lassen. Wird das Item Ver1 wie bei M1 weggelassen, ergibt sich ein Modell mit guten Fit-Massen, das auch dem Modell mit einem einzigen gemeinsamen Faktor aller Items (M3) überlegen ist. Anzumerken ist, dass der p-Wert zum Chi-Quadrat-Test signifikant ausfällt. Da die Stichprobe aber mehr als 400 Proband*innen enthält und der p-Wert so mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei einem gut fittenden Modell signifikant wird, werden andere Fit-Masse wie der (robuste) CFI stärker für die Modellevaluation berücksichtigt. Modell M1 wird auch deshalb als passend beurteilt, da der stichprobenabhängige SRMR mit einem Wert ≤ 0.08 als gut betrachtet werden kann (Döring & Bortz, 2016, S. 967). Dies zeigt sich auch bei weiteren Fit-Massen wie dem stichprobenunabhängigen RMSEA-Wert mit einem Wert ≤ 0.06 . Zudem weist Modell M1 den kleineren AIC-Wert (20'072.76) und BIC-Wert (20'110.35) auf als Modell M2 (AIC=21'318.65, BIC=21'358.03).

Tab. 9. Konfirmatorische Faktorenanalyse (n=432): Modellvergleich.

Modell	ChiSq	df	p	CFI	TLI	RMSEA	SRMR
M1	200.54	94	0	0.96	0.94	0.055	0.055
M2	255.96	109	0	0.94	0.93	0.060	0.066
M3	1532.2	104	0	0.38	0.28	0.196	0.151

Weitere inhaltlich sinnvolle Faktorenmodelle, wie beispielsweise ein Modell mit einem übergeordneten Faktor über den Skalen AnS („Analogien Schule“) und AnF („Analogien Freizeit“, Appendix 3), wurden ebenfalls gerechnet, ergaben aber weniger gute Fit-Masse als die Modelle M1 und M2. Die Ladungen der einzelnen Items auf ihren jeweiligen Faktor sind, bezogen auf Modell M1, im genügenden bis sehr guten Bereich ($0.58 \leq \lambda \leq 0.93$), wie Abbildung 3 zeigt.

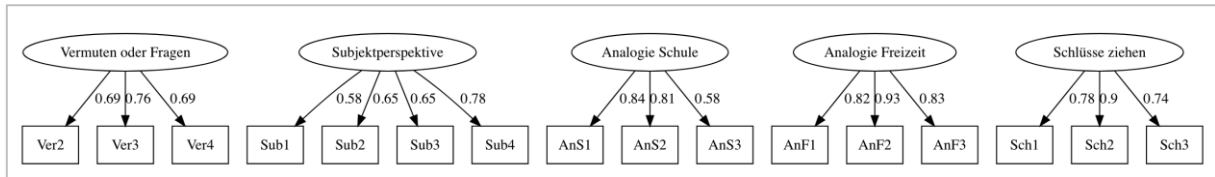


Abb. 3. Fünffaktoren-Modell nach der konfirmatorischen Faktorenanalyse (CFA) mit Ausschluss des Items Ver1.

4.2.2 Itemanalyse zu den überarbeiteten Items

Die Reliabilitäts- und Itemanalyse zum überarbeiteten Messinstrument zeigt, dass bei allen Items der fünf Skalen die Trennschärfen ($0.41 \leq r_{it} \leq 0.84$) als gut (nach Kelava & Moosbrugger, 2020) bezeichnet werden können (Tab. 10). Die Reliabilität der überarbeiteten Skalen ist mit Bezug auf die Omega-Koeffizienten (McDonald’s Omega (McDonald, 1970): $0.79 \leq \omega_t \leq 0.90$, Tab. 10) ebenfalls als gut einzuschätzen. Hier wurden anstelle von Cronbachs Alpha die erwähnten Omega-Koeffizienten berechnet, um der nicht gegebenen tau-Äquivalenz der Messmodelle gerecht zu werden (Döring & Bortz, 2016, S. 468).

4.3 Unterschiede bei der Anwendung der Tranferstrategien

Der im Folgenden aufgeführte Vergleich der Skalenmittelwerte (Tab. 11) bezieht sich auf die Hauptstudie mit den überarbeiteten Skalen ($N=432$). Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die Hypothesen H1 und H2 (Kapitel 2.6). Das Item Ver1 wurde bei den Berechnungen nicht berücksichtigt (Kapitel 4.2.1).

Tab. 10. Itemkennwerte zu den Items der überarbeiteten Skalen (Ver, Sub, AnS, AnF und Sch)

Item	M	SD	P	r_{it}
Ver1	3.5	1.13	0.70	0.41
Ver2	3.34	1.13	0.67	0.61
Ver3	2.96	1.28	0.59	0.56
Ver4	3.33	1.14	0.67	0.58
<i>Mittlere Interitem-Korrelation=0.505 McDonald’s $\omega_t=0.80$</i>				
Sub1	2.5	1.36	0.50	0.48
Sub2	3.21	1.35	0.64	0.57
Sub3	3.5	1.26	0.70	0.57
Sub4	2.99	1.35	0.60	0.63
<i>Mittlere Interitem-Korrelation=0.446 McDonald’s $\omega_t=0.81$</i>				
AnS1	3.16	1.26	0.63	0.68
AnS2	3.15	1.13	0.63	0.66
AnS3	3.14	1.24	0.63	0.49
<i>Mittlere Interitem-Korrelation=0.532 McDonald’s $\omega_t=0.79$</i>				
AnF1	3.58	1.46	0.72	0.77
AnF2	3.64	1.38	0.73	0.84
AnF3	3.62	1.42	0.72	0.77
<i>Mittlere Interitem-Korrelation=0.738 McDonald’s $\omega_t=0.90$</i>				
Sch1	2.56	1.08	0.51	0.69
Sch2	2.54	1.08	0.51	0.77
Sch3	2.43	1.17	0.49	0.67
<i>Mittlere Interitem-Korrelation=0.648 McDonald’s $\omega_t=0.85$</i>				

Am häufigsten wurde die Transferstrategie „Analogien Freizeit“ ($M=3.61$, $SD=1.29$) eingesetzt, gefolgt von „Vermutungen oder Fragen formulieren“ ($M=3.21$, $SD=0.97$), „Analogien Schule“ ($M=3.15$, $SD=1.00$), „Einnehmen einer Subjektperspektive“ ($M=3.05$, $SD=1.02$). Am wenigsten häufig zum Einsatz kam die Strategie „Schlüsse ziehen“ ($M=2.51$, $SD=0.97$). Abbildung 4 zeigt zudem die Mittelwerte und die Standardabweichung der einzelnen Items. Die oben angegebenen Skalenmittelwerte sind in Form von horizontalen gestrichelten Linien erkennbar.

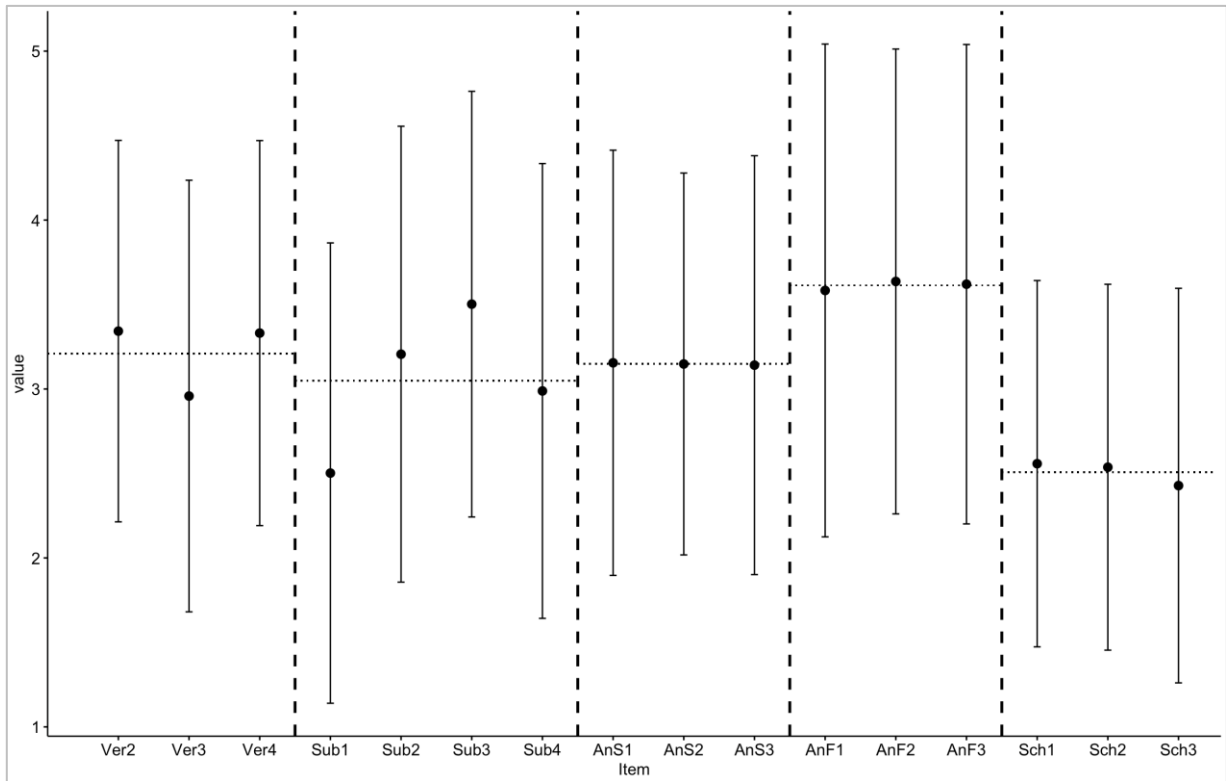


Abb. 4. Item-Mittelwerte mit Standardabweichungen (SD) im Fünffaktoren-Modell nach der konfirmatorischen Faktorenanalyse (CFA) mit Ausschluss des Items Ver1 (die horizontalen gestrichelten Linien geben jeweils den Mittelwert der Skala wieder).

Der aufgrund der nicht gegebenen Normalverteilung der Items gerechnete Mann-Whitney-U-Test (Eid et al., 2011) zeigt unter der Berücksichtigung der Falscherkennungsrate (gerechnet mit der Benjamini-Hochberg-Prozedur, Benjamini & Hochberg (1995)) höchst signifikante Unterschiede zwischen dem Einsatz der Transferstrategie „Schlüsse ziehen“ (Sch) und den jeweils anderen Strategien. „Schlüsse ziehen“ wird dabei höchst signifikant seltener angewendet (Ver und Sch: $W=130'086$, $p=0.00$; Sub und Sch: $W=122'145$, $p=0.00$; AnS und Sch: $W=127'228$, $p=0.00$; AnF und Sch: $W=139'820$, $p=0.00$). Im Gegensatz dazu kommt die Strategie „Analogien Freizeit“ (AnF) höchst signifikant häufiger zum Einsatz als alle anderen Transferstrategien (Ver und AnF: $W=71'748$, $p=0.00$; Sub und AnF: $W=66'036$, $p=0.00$; AnS und AnF: $W=69'981$, $p=0.00$).

Tab. 11. Signifikanzen der Mittelwertunterschiede zwischen den Skalenmittelwerten von Ver, Sub, AnS, AnF und Sch.

	Ver ($M = 3.21$, $SD = 0.97$)	Sub ($M = 3.05$, $SD = 1.02$)	AnS ($M = 3.15$, $SD = 1.00$)	AnF ($M = 3.61$, $SD = 1.29$)	Sch ($M = 2.51$, $SD = 0.97$)
Ver	-	-	-	-	-
Sub	n.s.	-	-	-	-
AnS	n.s.	n.s.	-	-	-
AnF	***	***	***	-	-
Sch	***	***	***	***	-

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

5 Diskussion und Ausblick

5.1 Diskussion mit Blick auf die Hypothesen

5.1.1 Diskussion der Faktorenstruktur

Die explorative Faktorenanalyse zur Pilotstudie ($N=120$) zeigt, dass ein vier- oder fünffaktorielles Modell die Daten am besten repräsentiert. Die auf dem Framework von Gysin und Brovelli (2021) basierenden Items zu den Transferstrategien lassen sich dabei unterschiedlich gut Faktoren zuteilen. Für die Hauptstudie mit einer grösseren Stichprobe ($N=432$) wurde das Messinstrument deshalb überarbeitet. Die Itemanalyse und die explorative Faktorenanalyse zur Pilotstudie zeigten, dass einige Items, darunter auch ein invers formuliertes, sich nicht eindeutig einem Faktor zuordnen liessen. Entsprechend wurden diese Items gestrichen, ersetzt oder neu formuliert. Auch eine erneute inhaltliche Prüfung der nur schwach ladenden Items wurde vorgenommen, was beispielsweise den Ausschluss von Item Sub3 (Abb. 2) unterstützte (der Begriff „Gegenstände“ wurde hierbei nicht als genügend gegenteilig zum Begriff „Subjekt“ erachtet, was die niedrige Ladung dieses Items erklären könnte).

Eine Überarbeitung war auch bei der Transferstrategie „Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen“ (Ana) notwendig. Die explorative Faktorenanalyse zeigte, dass beim vierfaktoriellen Modell vier der sechs Items zur postulierten Skala Ana auf einen gemeinsamen Faktor laden, wenn auch nur mit mässig guten Ladungen (Ana1, Ana3, Ana4, Ana6). Beim fünffaktoriellen Modell können nur Ana1 und Ana3 als auf einen Faktor ladend interpretiert werden. Deshalb wurden alle sechs Items nochmals inhaltlich überprüft. Die ersten drei (Ana1, Ana2, Ana3) beziehen sich auf die Schule respektive die Erfahrungen im Unterricht, wohingegen die anderen drei Items (Ana4, Ana5, Ana6) eher auf die Erfahrung in der Freizeit bezogen sind. Aufgrund dessen und weil die Faktorenanalyse kein eindeutiges Bild zeichnet, wurde entschieden, die Skala in zwei neue Skalen zu trennen („Analogien Schule“ (AnS) und „Analogien Freizeit“ (AnF)). Gestützt wird die Trennung des Faktors auch in Bezug auf das in früheren Studien beschriebene „Analogical Reasoning“. Bereits Gick und Holyoak (1983) merken an, dass das Alltagsverständnis für das Bilden von Analogien eine wichtige Rolle spielt. Demnach ist anzunehmen, dass die Erfahrung aus der Freizeit, nebst der Erfahrung aus dem Schulunterricht, ein bedeutsamer Faktor beim Transfer ist. Der Prozess des Analogien-Bildens kann zudem auf unterschiedlich abstrakten Stufen geschehen (Gick & Holyoak, 1983), was eine Abgrenzung der schulischen und freizeithlichen Erfahrungen aus theoretischer Sicht weiter stützt. Die beiden Items, die nach dem vierfaktoriellen Faktorenmodell eine (mässige) Ladung auf einen Faktor aufzeigten (Ana1, Ana3 bzw. Ana4, Ana6), wurden folgend übernommen und durch je ein neu entwickeltes Item ergänzt (AnS3 bzw. AnF3, Appendix 3). Dabei wurde das Item AnS3 explizit auf den Unterricht und AnF3 auf die Freizeit bezogen, um den Zusammenhang zu den bestehenden Items zu verdeutlichen.

Die Mehrheit der Items zur Skala „Reflektieren und Schlüsse ziehen“ (Ref) weisen laut Faktorenanalysen bedeutende Nebenladungen auf. Einzig die Items Ref4 und Ref5 können als auf einen gemeinsamen Faktor ladend interpretiert werden, dies sowohl beim vierfaktoriellen wie auch beim fünffaktoriellen Modell. Eine inhaltliche Überprüfung legt nahe, dass die ersten drei Items der ursprünglich postulierten Skala (Ref1, Ref2, Ref3) mehr dem Reflektieren zuzuordnen sind und die restlichen drei dem „Schlüsse ziehen“. Mit Einbezug der Faktorenanalysen zeigt sich, dass diese beiden Strategien beim Transfer nicht dasselbe sind. Es ist anzunehmen, dass das Schlüsseziehen (wie auch die anderen Transferstrategien) eine gewisse Reflexion beinhalten muss, das Reflektieren selbst aber ein zu komplexer und vermutlich zu stark im Unterbewussten ablaufender Prozess ist, der mit den entwickelten Items nicht messbar ist. Deshalb wurde entschieden, dass die Items, die eher zum Reflektieren gehören, in der überarbeiteten Fassung des Messinstruments weggelassen werden und die Transferstrategie auf das Schlüsseziehen beschränkt wird. Für die daraus entstandene Skala konnten die beiden Items Ref4 und Ref5 übernommen werden (neu als Sch1 und Sch2 bezeichnet, Appendix 3). Beim Item Ref6 scheint die doppelte Verneinung problematisch zu sein. Da dieses Item sowohl im vier- wie auch im fünffaktoriellen Faktorenmodell bedeutende Nebenladungen aufweist, wurde es gestrichen und durch ein neu entwickeltes Item ersetzt (Sch3: „Beim Lösen der Aufgaben habe ich etwas Neues herausgefunden.“). Alle drei Items dieser neu gebildeten Skala „Schlüsse ziehen“ beziehen sich somit auf den von diSessa und Wagner (2005) beschriebenen Vorgang, bei dem beim Transfer neue Wissens Elemente in das in der Transfersituation gebildete Konzept aufgenommen und entsprechend vernetzt werden können. Mit dieser Skala wird demnach erhoben, ob Schüler*innen beim Transfer dazulernen respektive aus der gegebenen Transfersituation unter Einbezug ihrer bestehenden Wissens Elemente Neues erschliessen.

Das überarbeitete Messinstrument enthält somit fünf Skalen mit je drei oder vier Items. Es orientiert sich primär am vierfaktoriellen Modell der explorativen Faktorenanalyse, enthält aber durch die inhaltlich begründete Aufteilung der Skala Ana neu fünf Faktoren. Der Bezug des Messinstruments zum Framework von Gysin und Brovelli (2021) und damit auch zu den theoretischen Überlegungen hinter diesem Framework ist somit gegeben. Es bildet verschiedene Ansätze von Transfer ab, in dem es beispielsweise die Analogiebildung aus der klassischen Transfertheorie (Gick & Holyoak, 1983) gleichermaßen mitberücksichtigt wie Aspekte von modernen Theorien wie des AOT (Lobato, 2003) in Form von Skalen wie „Vermutungen oder Fragen formulieren“.

Die Frage nach der Faktorenstruktur der Items lässt sich folgendermassen beantworten: Für zwei der vier ursprünglich hergeleiteten Transferstrategien konnten Faktoren gefunden und für den Faktor „Analogien zur eigenen Erfahrung

herstellen“ zwei neue Skalen gebildet werden. Der Faktor „Schlüsse ziehen“ wurde zudem überarbeitet. Die im Anschluss mit den Daten der Hauptstudie durchgeführte konfirmatorische Faktorenanalyse bestätigt dieses Ergebnis. Es lassen sich beim überarbeiteten Messinstrument fünf Faktoren trennen. Der Ausschluss eines einzigen Items (Ver1: „Beim Lösen der Aufgaben habe ich mich gefragt, ob meine Gedanken und Antworten stimmen.“) ist inhaltlich vertretbar, da die Formulierung wiederum als Aufforderung zur Reflexion verstanden werden kann. Dass dies problematisch ist, zeigte sich bereits bei der explorativen Faktorenanalyse.

5.1.2 Diskussion der Hypothesen H1 und H2

Es wurde angenommen, dass die bereits breit erforschte Transferstrategie „Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen“ häufiger vorkommt als andere Strategien. Grund für diese Annahme ist, dass das Bilden von Analogien zumindest nach traditionellem Verständnis den Kern des Transferierens ausmacht: Bekanntes wird auf Neues angewendet (Dufresne et al., 2005). Das überarbeitete und anschließend validierte Messinstrument enthält Skalen zu zwei Arten von Analogien, eine mit Bezug auf den Unterricht und eine mit Bezug auf die Freizeit der Schüler*innen. Die Daten zeigen, dass die Transferstrategie „Analogien Freizeit“ ($M=3.61$, $SD=1.29$) tatsächlich höchst signifikant häufiger zur Anwendung kommt als die restlichen Strategien. Schüler*innen beziehen somit ihre Erfahrungen aus der Freizeit bei der Lösung einer Transferaufgabe stark mit ein. Zumindest war dies beim Bearbeiten der in der Studie eingesetzten Aufgabe zum physikalischen Energiekonzept der Fall. Dabei spielt vermutlich der Kontext der Aufgabe eine entscheidende Rolle (die Items sind auf die in der Studie eingesetzte Aufgabenstellung angepasst, Appendix 3). Auch die zweite Transferstrategie zum Thema Analogien, „Analogien Schule“ ($M=3.15$, $SD=1.00$), wird von den Proband*innen angewendet, allerdings nicht häufiger als die restlichen Strategien (abgesehen von der Strategie „Schlüsse ziehen“) und damit in einem geringeren Ausmass als erwartet. Dass die Strategie „Schlüsse ziehen“ ($M=2.51$, $SD=0.97$) im Vergleich zu den anderen vier Strategien höchst signifikant am seltensten zur Anwendung kommt, kann mit der höheren Komplexität dieser Transferstrategie begründet werden. Frühere Studien zeigten, dass während einer Transfersituation Erkenntnisse gewonnen, Schlüsse gezogen und damit Neues gelernt werden kann (Bransford et al., 2000). Der Prozess scheint aber schwieriger zu sein als die Anwendung der restlichen Transferstrategien, vermutlich weil ein Grossteil der kognitiven Leistung für das Bilden von Konzepten aus bekannten Wissensselementen und das Beziehen dieser auf die Kontextsituation („Alignment“) aufgebracht werden muss (diSessa & Wagner, 2005).

Somit kann die Hypothese H1 teilweise angenommen werden: Die Transferstrategien unterscheiden sich in der Häufigkeit ihrer Anwendung signifikant bis höchst signifikant voneinander, mit Ausnahme der Transferstrategie „Analogien Schule“, bei der im Vergleich zur Anwendung der Strategien „Vermutungen oder Fragen formulieren“ und „Einnehmen einer Subjektperspektive“ kein Unterschied besteht. Ebenfalls kein signifikanter Unterschied ist zwischen den Strategien „Vermutungen oder Fragen formulieren“ und „Einnehmen einer Subjektperspektive“ zu erkennen.

Die Hypothese H2 kann insofern bestätigt werden, als die Analogien, die zur Erfahrung aus der Freizeit gezogen werden, höchst signifikant häufiger miteinbezogen werden, als die Anwendung anderer Strategien vorkommt. Bei der Strategie „Analogien Schule“ ist dies jedoch nur im Vergleich zu „Schlüsse ziehen“ der Fall. Anzumerken ist, dass die Strategien „Analogien Schule“ und „Analogien Freizeit“ im ursprünglichen Messinstrument unter der Transferstrategie „Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen“ zusammengefasst waren und erst bei der Überarbeitung als eigene, sich unterscheidende Strategien definiert wurden.

5.1.3 Validitätsargumentation

In Form einer Interpretations-Nutzungs-Argumentation wurde die Validität der Skalen des Messinstruments in einem breiteren Rahmen betrachtet. Nach Kane (2006) ist dabei zu klären, auf was sich die Interpretation des Testscores bezieht. Das hier beschriebene Messinstrument wurde zur Erfassung der Häufigkeit von Transferstrategien beim Lösen von Physikaufgaben entwickelt. Dabei spielt die Transferaufgabe, zu deren Lösung Strategien eingesetzt werden, eine bedeutende Rolle. Es wurde hinsichtlich dieser Aufgabe darauf geachtet, dass die darin enthaltenen physikalischen Konzepte zum Thema Energie dem aktuellen Lehrplan entsprechen und die Aufgabe an das erwartbare Vorwissen der Lernenden anknüpft. Die für das Messinstrument entwickelten Items haben einen direkten Bezug zu Aussagen aus der erwähnten Interviewstudie, die nach der Methode des Lauten Denkens durchgeführt wurde (Gysin & Brovelli, 2021). Es wird deshalb argumentiert, dass sich aus den Testscores Rückschlüsse auf die kognitiven Prozesse der Proband*innen ziehen lassen. Abschliessend sei erwähnt, dass die Testscores zwischen anzunehmenden Graden der Anwendung von Transferstrategien differenzieren können (Kapitel 4.1.1).

5.2 Limitationen und Ausblick

Bei der hier vorgelegten Studie liegt der Fokus auf der Entwicklung und Validierung eines Messinstruments zur Erhebung von Transferstrategien in der Physik. Dabei werden keine Zusammenhänge aufgezeigt, die mögliche Einflussfaktoren auf den Einsatz von Transferstrategien, wie beispielsweise den vorangegangenen Unterricht, beinhalten. Die gerechneten Mittelwertvergleiche dienen hier lediglich dazu, beurteilen zu können, ob aus der früheren Forschung bekannte Transferstrategien (Gysin und Brovelli, 2021 und dort genannte Literatur) auch von Schüler*innen, die nicht an diesen Interviews teilgenommen haben, eingesetzt werden und wie oft diese Strategien im Vergleich zur Anwendung

kommen. Über die Gründe der Mittelwertunterschiede kann lediglich spekuliert werden, da bisher nur wenig aussagekräftige Daten aus früheren Studien zu Einflussfaktoren auf Transferstrategien in der Physik bekannt sind. Es scheint naheliegend, die bekannten Prädiktoren auf den Transfer von (physikalischem) Wissen (für eine Übersicht vgl. Schmid, 2006) wie das Interesse (z.B. Renkl, 1996) oder das „Hintergrundwissen“ (Gick & Holyoak, 1987) auch in Bezug auf metakognitive Strategien beim Transfer zu untersuchen. Es ist geplant, weitere Daten der oben beschriebenen Hauptstudie auszuwerten, um kausale Abhängigkeiten in der Verwendung von Transferstrategien zu analysieren.

Naheliegend ist dabei, dass allein die Untersuchung der Mittelwertunterschiede der Transferstrategien noch nicht alle Anforderungen des Akteur*innen-orientierten Transfer-Ansatzes abdeckt. So fehlen beispielsweise wichtige Einflussfaktoren wie das Interesse und die Motivation der Schüler*innen, ihr physikbezogenes Selbstkonzept, die Gegebenheiten der Transfersituation oder nicht zuletzt auch die inhaltlichen Konzepte, die transferiert werden.

Es kann ausserdem davon ausgegangen werden, dass weitere Transferstrategien existieren, die im entwickelten Messinstrument nicht enthalten sind. Die hier präsentierten Skalen decken die ursprünglich vier metakognitiven Strategien aus dem Framework von Gysin und Brovelli (2021) ab und entwickeln diese weiter. Es besteht aber kein Anspruch auf Vollständigkeit. Zudem liegt die Vermutung nahe, dass Transferstrategien je nach Fachgebiet, Thema und Aufgabenstellung anders beschrieben werden müssen. Die entwickelten Items stellen damit primär einen Ansatz dar, der kontinuierlich weiterentwickelt und um neue, themenspezifische Strategien ergänzt werden soll. So könnten in zukünftigen Studien weitere Transferstrategien quantitativ erfasst und untersucht werden. Dies ist insofern wichtig, als in der vorliegenden Studie Transferstrategien nur anhand einer einzigen Aufgabenstellung (wenn auch mit mehreren Teilaufgaben) erhoben wurden. Ob sich die Ergebnisse wiederum auf andere Themengebiete und Transferaufgaben transferieren lassen, muss in weiteren Erhebungen geklärt werden. Es kann aber angenommen werden, dass zumindest metakognitive Strategien, deren Mechanismen schon in früheren Studien (Gick & Holyoak, 1983, Nokes-Malach & Mestre, 2013) beschrieben wurden (wie beispielsweise die Strategie „Analogien Schule“) auch beim Lösen anderer Transferaufgaben angewandt werden. Dies sollte auch für Aufgaben aus anderen Bereichen der Naturwissenschaften gelten. Die in der vorliegenden Studie gewählte Transferaufgabe aus dem Themenbereich Energie beinhaltet auch Aspekte aus anderen Naturwissenschaften (beispielsweise der Chemie). Dies zeigte sich schon bei der Studie von Gysin und Brovelli (2021), als der gleiche Aufgabenkontext für eine Interviewstudie genutzt wurde und Schüler*innen bei der Beschreibung von Situationen, in denen Energie vorkommt, auf chemische Aspekte (beispielsweise bei der auf dem Bild zur Aufgabe abgebildeten Feuerstelle) eingingen.

Schliesslich bringt die Form des Fragebogens mit Aussagen zur Selbsteinschätzung Limitationen mit sich. Die Erfassung von metakognitiven Prozessen kann schwierig sein, da sie zumindest teilweise unbewusst ablaufen. Somit kann die Person, die ihre Konzepte transferiert, auch nur begrenzt Auskunft über ihre Strategien beim Transfer geben. Die hier entwickelten Items basieren auf den „Laut Denken“-Interviews von Gysin und Brovelli (2021). Die genannte Methode gilt als zuverlässige Art, um kognitive Prozesse während des Lösen einer Aufgabe zu erfassen (Ericsson & Simon, 1993). Mit den Selbsteinschätzungs-Skalen des nun entwickelten Messinstruments wird derselbe Effekt beabsichtigt: Schüler*innen können am besten selbst beurteilen, wie sie während des Transfers gedacht haben. Dennoch ist hier mit einer gewissen Ungenauigkeit bei Rückschlüssen auf Gedankengänge und vor allem auf im Unterbewussten ablaufende Prozesse zu rechnen. Es braucht für eine Selbsteinschätzung ein gewisses Mass an Reflexionsvermögen seitens der Schüler*innen. Dass dies schwierig sein kann, zeigte sich an den im ursprünglichen Messinstrument beinhalteten Items zur Reflexion während des Transfers.

6 Zusammenfassung

Das entwickelte und überarbeitete Messinstrument zur Erhebung von Transferstrategien beim Transfer von physikalischen Konzepten kann als Beitrag zur Weiterentwicklung der Theorie des Akteur*innen-orientierten Transfers (Lobato, 2003, 2006, 2012) gesehen werden. Die bisher rein qualitativ durchgeführten Studien zu diesem und weiteren modernen Transferansätzen können mithilfe der entwickelten Skalen um quantitative Erhebungen erweitert werden (vgl. auch Ausblick).

Durch die Fokussierung auf das individuelle Vorgehen in Form der metakognitiven Strategien beim Transfer wird mit den entwickelten Skalen das „Wie“ beim Transfer miteingefasst. Es ist damit eine Abkehr vom klassischen und oft kritisierten „Zwei-Probleme-Design“ bei Studien zum Transfer (Day & Goldstone, 2012) möglich. Es geht bei der Erfassung der Transferleistung nicht mehr wie in Studien zum traditionellen Transferbegriff ausschliesslich um den inhaltlichen Aspekt, der zuvor anhand einer anderen (Lern-)Aufgabe geübt wurde, sondern auch um die Überlegungen der transferierenden Person. Insbesondere der Umgang mit Kontextmerkmalen einer Aufgabenstellung (Löffler et al., 2018) und die Verknüpfung dieser mit den individuellen Wissens-elementen (diSessa & Wagner, 2005) sind von Bedeutung. Die Items des hier entwickelten Selbsteinschätzungsfragebogens zielen explizit darauf ab. So können Schüler*innen in Retrospektive ihr Vorgehen beim Transfer reflektieren und beispielsweise angeben, ob ihnen ähnliche Aufgaben aus dem vorangegangenen Unterricht in den Sinn gekommen sind (Item AnS1, Appendix 3), oder ob sie sich vorgestellt haben, gerade an dem Ort zu sein, der in der Transferaufgabe beschrieben wird (Item Sub1). Die Items sind so formuliert, dass sie auf eine neue Transferaufgabe aus der Physik leicht adaptiert werden können, sofern die Aufgabe „kontextualisiert“ im Sinne einer Einbettung in einen alltäglichen, besonderen oder aktuellen Kontext ist (van Vorst et al, 2015).

Einem weiteren Kritikpunkt an der traditionellen Transferforschung wird ebenfalls begegnet: Aus der neueren Transferforschung ist bekannt, dass Lernende (auch Noviz*innen genannt) aufgrund ihrer geringeren Erfahrung andere

Sichtweisen auf Transferprobleme haben als Expert*innen und dementsprechend Merkmale dieser Aufgabenstellungen auch anders beurteilen (Day & Goldstone, 2012). Die für Expert*innen weniger wichtigen Oberflächenmerkmale, gemeint sind Merkmale, die nicht zur objektiven Lösung des Problems beitragen, werden in traditionellen Transferstudien oft ausgeblendet. Nach dem Akteur*innen-orientierten Transferansatz und nach den Theorien des „Transfer in Pieces“ (Wagner, 2006, 2010) respektive der „Coordination Class Theory“ (diSessa & Wagner, 2005) sind solche oberflächlichen Merkmale des Aufgabenkontexts für Schüler*innen von grosser Bedeutung und der Umgang mit diesen kann massgeblich den Transfer beeinflussen. Die Erhebung der angewandten Transferstrategien lässt Rückschlüsse auf den Umgang mit den Kontextmerkmalen zu, indem beispielsweise die Handlungen von (fiktiven) Personen im Aufgabenkontext thematisiert werden (vgl. Item Sub2, Appendix 3).

7 Fazit

Das im Rahmen der vorliegenden Studie entwickelte Messinstrument ermöglicht Erkenntnisse über von Schüler*innen angewandte Strategien beim Transfer von physikalischen Konzepten. Schon beim Lösen von Aufgaben im vorangegangenen Unterricht können solche Strategien explizit oder implizit geübt respektive eingesetzt werden. In diesem Sinne sehen wir den Beitrag des vorgestellten Instruments auch darin, Rückschlüsse auf die Gestaltung des Physikunterrichts zu erhalten und so Massnahmen ableiten zu können, um der Entstehung von trägem Wissen (Renkl et al., 1996) entgegenzuwirken.

Das Framework von Gysin und Brovelli (2021) bzw. das Modell des Transferprozesses nach Nokes-Malach und Mestre (2013), auf dem dieses aufbaut, werden durch das Messinstrument zur Erhebung von Transferstrategien um ausformulierte und in quantitativen Studien einsetzbare Skalen ergänzt. Dabei konnten die ursprünglich vier metakognitiven Transferstrategien empirisch überprüft und nun in Form eines Fragebogens mit fünf Faktoren validiert werden.

Appendix

Appendix 1: Transferaufgabe zum physikalischen Energiekonzept

„Auf dem Bild siehst du den Seilpark und die Umgebung auf der Fräkmüntegg beim Pilatus. Es geht bei diesen Aufgaben um das Thema Energie in der Physik: Beim Klettern im Seilpark und auch in der Umgebung des Seilparks kommt an verschiedenen Orten Energie vor.“

Vorbereitung:

- Schau das Bild genau an. Lass Dir Zeit dafür.
- Suche Dir eine Situation auf dem Bild aus (1, 2, 3 oder 4). Trage die Nummer auf dem Antwortblatt ein.
- Du kannst die folgenden Fragen einzeln oder alle auf einmal beantworten. Du kannst ganze Sätze, aber auch Stichworte aufschreiben.

Fragen:

- Was hat diese Situation mit Energie zu tun?
- Welche Formen von Energie kommen in dieser Situation vor?
- Wird in dieser Situation Energie umgewandelt? Wenn ja, wie genau?
- Beschreibe die Energieerhaltung in der Situation, die du ausgewählt hast.“

Anmerkung: Bei der Hauptstudie wurden nur noch die Situationen 1 und 2 (vgl. Abbildung 4) zur Auswahl gestellt.



Abb. 4. Plan des Seilparks auf der Fräkmüntegg (© Pilaus-Bahnen)

Appendix 2: Ursprünglich entwickelte Items zur Messung des Einsatzes von Transferstrategien

Skalen	Items	Codierung
Vermutungen oder Fragen formulieren (Ver)	Beim Lösen der Aufgaben ...	
	... habe ich mich gefragt, ob meine Gedanken und Antworten stimmen.	Ver1
	... habe ich mich gefragt, was ich eigentlich aufschreiben soll.	Ver2
	... dachte ich, dass meine Gedanken und Antworten richtig sind.	Ver3
	... hätte ich am liebsten jemanden um Hilfe gefragt.	Ver4
	... habe ich Sachen gedacht oder aufgeschrieben, bei denen ich unsicher war, ob sie korrekt sind.	Ver5
Einnehmen einer Subjektperspektive (Sub)	Beim Lösen der Aufgaben ...	
	... habe ich mir vorgestellt, dass ich selbst gerade an diesem Ort bin.	Sub1
	... habe ich mir überlegt, was eine bestimmte Person auf dem Bild gerade macht.	Sub2
	... habe ich mehr auf die Gegenstände (z.B. Seilbahn, Kletterparcours) geachtet als auf die abgebildeten Personen.	Sub3
	... habe ich mir überlegt, welche Energieform eine Person auf dem Bild gerade haben könnte.	Sub4
	... habe ich versucht, mich in eine Person auf dem Bild hineinzuversetzen.	Sub5
Analogien zur eigenen Erfahrung herstellen (Ana)	Beim Lösen der Aufgaben ...	
	... kamen mir ähnliche Aufgaben in den Sinn, die wir in der Schule gelöst haben.	Ana1
	... erinnerte ich mich nicht daran, dass wir solche Fragen im Unterricht besprochen hatten.	Ana2
	... habe ich etwas sehr Ähnliches aufgeschrieben oder gedacht wie bei einer Aufgabe im Unterricht.	Ana3
	... ist mir in den Sinn gekommen, dass ich auch schon einmal an so einem Ort wie auf dem Bild war.	Ana4
	... erinnerte ich mich nicht daran, einmal so etwas wie auf dem Bild in der Realität gesehen zu haben.	Ana5
	... habe ich eine Situation auf dem Bild erkannt, die ich auch schon erlebt habe.	Ana6
Reflektieren und Schlüsse ziehen (Ref)	Beim Lösen der Aufgaben ...	
	... habe ich mir Gedanken gemacht, wie ich dabei vorgehen könnte.	Ref1
	... dachte ich darüber nach, wie gut ich mich beim Thema Energie auskenne.	Ref2
	... habe ich nicht darüber nachgedacht, wie schwierig diese Aufgaben sind.	Ref3
	... ergab plötzlich etwas Sinn, das ich vor dem Lösen der Aufgaben noch nicht verstanden habe.	Ref4
	... konnte ich etwas herleiten, das mir bisher nicht bewusst war.	Ref5
	... habe ich nichts herausgefunden, das ich nicht schon gewusst hatte.	Ref6

Appendix 3: Überarbeitete Items zur Messung des Einsatzes von Transferstrategien

Variablenname	Items	Codierung alt	Codierung neu
Vermutungen oder Fragen formulieren (Ver)	Beim Lösen der Aufgaben ...		
	... habe ich mich gefragt, ob meine Gedanken und Antworten stimmen.	Ver1	Ver1
	... habe ich mich gefragt, was ich eigentlich aufschreiben soll.	Ver2	Ver2
	... hätte ich am liebsten jemanden um Hilfe gefragt.	Ver4	Ver3
	... habe ich Sachen gedacht oder aufgeschrieben, bei denen ich unsicher war, ob sie korrekt sind.	Ver5	Ver4
Einnehmen einer Subjektperspektive (Sub)	Beim Lösen der Aufgaben ...		
	... habe ich mir vorgestellt, dass ich selbst gerade an diesem Ort bin.	Sub1	Sub1
	... habe ich mir überlegt, was eine bestimmte Person auf dem Bild gerade macht.	Sub2	Sub2
	... habe ich mir überlegt, welche Energieform eine Person auf dem Bild gerade haben könnte.	Sub4	Sub3
	... habe ich versucht, mir die Situation aus der Sicht einer Person auf dem Bild vorzustellen.	Sub5	Sub4 *
Analogien Schule (AnS)	Beim Lösen der Aufgaben ...		
	... kamen mir ähnliche Aufgaben in den Sinn, die wir in der Schule gelöst haben.	Ana1	AnS1
	... habe ich etwas sehr Ähnliches aufgeschrieben oder gedacht wie bei einer Aufgabe im Unterricht.	Ana3	AnS2
	... habe ich mir Gedanken gemacht, ob wir im Unterricht schon einmal eine solche Aufgabe bearbeitet haben.	-	AnS3 **
Analogien Freizeit (AnF)	Beim Lösen der Aufgaben ...		
	... ist mir in den Sinn gekommen, dass ich auch schon einmal an so einem Ort wie auf dem Bild war.	Ana4	AnF1
	... habe ich eine Situation auf dem Bild erkannt, die ich auch schon erlebt habe.	Ana6	AnF2
	... sah ich etwas auf dem Bild, das ich in meiner Freizeit auch einmal gemacht habe.	-	AnF3 **
Schlüsse ziehen (Sch)	Beim Lösen der Aufgaben ...		
	... ergab plötzlich etwas Sinn, das ich vor dem Lösen der Aufgaben noch nicht verstanden habe.	Ref4	Sch1
	... konnte ich etwas herleiten, das mir bisher nicht bewusst war.	Ref5	Sch2
	... habe ich etwas Neues herausgefunden.	-	Sch3 **

* überarbeitetes Item, ** neues Item

Referenzen

- American Psychological Association (2019). *Publication Manual of the American Psychological Association* (7e). Washington, DC: American Psychological Association.
- Barnett, S. M., & Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn? A taxonomy for far transfer. *Psychological bulletin*, 128(4), 612–637.
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal statistical society: series B (Methodological)*, 57(1), 289–300.
- Bortz J., & Schuster C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. Auflage). Springer.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. National Academy Press.
- Carraher, D., & Schliemann, A. (2002). The transfer dilemma. *The Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 1–24.
- Chi, M. T. H., & VanLehn, K. A. (2012). Seeing Deep Structure From the Interactions of Surface Features. *Educational Psychologist*, 47(3), 177–188.
- Day, S. B., & Goldstone, R. L. (2012). The Import of Knowledge Export: Connecting Findings and Theories of Transfer of Learning. *Educational Psychologist*, 47(3), 153–176.
- Detterman, D. (1993). The case for the prosecution: Transfer as an epiphenomenon. In D. Detterman & R. Sternberg (Hrsg.), *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction* (S. 1–24). Ablex.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10(2–3), 105–225.
- diSessa, A. A., & Wagner, J. F. (2005). What coordination has to say about transfer: Chapter 4. In J. P. Mestre (Hrsg.), *Transfer of learning* (S. 121–154). Information Age Publishing.
- Döring, N., & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humantwissenschaften* (5. Auflage). Springer.

- Dufresne, R. J., Mestre, J. P., Thaden-Koch, T., Gerace, W., & Leonard, W. (2005). Knowledge representation and coordination in the transfer process: Chapter 5. In J. P. Mestre (Hrsg.), *Transfer of learning* (S. 155–215). Information Age Publishing.
- EFPA (2013). *EFPA Review Model for the description and evaluation of psychological and educational tests*. Brussels: European Federation of Psychology Associations.
- Eid, M., Gollwitzer, M., & Schmitt, M. (2011). *Statistik und Forschungsmethoden*. Weinheim [u.a.]: Beltz.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis: Verbal Reports as Data: Revised Edition*. MIT Press.
- Evers, A. (2001). Improving Test Quality in the Netherlands: Results of 18 years of Test Ratings. *International Journal of Testing*, 1, 137–153.
- Fortus, D., Kubsch, M., Bielik, T., Krajcik, J., Lehavi, Y., Neumann, K., Nordine, J., Opitz, S., & Touitou, I. (2019). Systems, transfer, and fields: Evaluating a new approach to energy instruction. *Journal of research in science teaching*, 56(10), 1341–1361.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1–38.
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1987). The cognitive basis of knowledge transfer. In S. M. Cormier & J. D. Hagman (Hrsg.), *Transfer of learning* (S. 9–46). Academic Press.
- Gysin, D., & Brovelli, D. (2021). Use of knowledge pieces and context features during the transfer process in physics tasks. *International Journal of Science Education*, 43(13), 2108–2126.
- Haskell, R. E. (2001). *Transfer of Learning: Cognition, Instruction, and Reasoning*. Academic Press.
- Horn, J. L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, 30, 179–185.
- Kelava, A., & Moosbrugger, H. (2020). Deskriptivstatistische Itemanalyse und Testwertbestimmung. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 143–158). Springer.
- Lobato, J. (2003). How Design Experiments Can Inform a Rethinking of Transfer and Vice Versa. *Educational Researcher*, 32(1), 17–20.
- Lobato, J. (2006). Alternative Perspectives on the Transfer of Learning: History, Issues, and Challenges for Future Research. *Journal of the Learning Sciences*, 15(4), 431–449.
- Lobato, J. (2012). The Actor-Oriented Transfer Perspective and Its Contributions to Educational Research and Practice. *Educational Psychologist*, 47(3), 232–247.
- Lobato, J., Rhodamel, B., & Hohensee, C. (2012). “Noticing” as an Alternative Transfer of Learning Process. *Journal of the Learning Sciences*, 21(3), 433–482.
- Löffler, P., Pozas, M., & Kauertz, A. (2018). How do students coordinate context-based information and elements of their own knowledge? An analysis of students’ context-based problem-solving in thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 40(16), 1935–1956.
- McDonald, R. P. (1970). The theoretical foundations of principal factor analysis, canonical factor analysis, and alpha factor analysis. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 23(1), 1–21.
- Mestre, J. P. (Hrsg.). (2005). *Transfer of learning: From a modern multidisciplinary perspective*. Information Age Publishing.
- Nokes, T. J. (2009). Mechanisms of knowledge transfer. *Thinking & Reasoning*, 15(1), 1–36.
- Nokes-Malach, T. J., & Mestre, J. P. (2013). Toward a Model of Transfer as Sense-Making. *Educational Psychologist*, 48(3), 184–207.
- Piaget, J. (1972). *The psychology of intelligence*. Totowa, NJ: Littlefield Adams.
- Rebello, N. S., Cui, L., Bennett, A. G., Zollmann, D. A., & Ozinek, D. J. (2007). Transfer of Learning in Problem Solving in the Context of Mathematics and Physics. In D. H. Jonassen (Hrsg.), *Learning to solve complex scientific problems* (S. 223–246). Erlbaum.
- Rebello, N. S., Zollmann, D. A., Allbaugh, A. R., Engelhardt, Paula, V., Gray, K. E., Hrepic, Z., & Itza-Ortiz, S. F. (2005). Dynamic Transfer: A Perspective from Physics Education Research: Chapter 6. In J. P. Mestre (Hrsg.), *Transfer of learning* (S. 217–250). Information Age Publishing.
- Renkl, A., Mandl, H., & Gruber, H. (1996). Inert Knowledge: Analyses and Remedies. *Educational Psychologist*, 31(2), 115–121.
- Renkl, A. (1996). Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau*, 47, 78–92.
- Revelle, W. (2020). *psych: Procedures for Personality and Psychological Research*. R package version 2.0.12. <https://CRAN.R-project.org/package=psych>
- Revelle, W., & Rocklin, T. (1979). Very simple structure: An alternative procedure for estimating the optimal number of interpretable factors. *Multivariate Behavioral Research*, 14(4), 403–414.
- Rosseel, Y. (2012). lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling. *Journal of Statistical Software*, 48(2), 1–36. <http://www.jstatsoft.org/v48/i02/>
- Royer, J. M., Mestre, J. P., & Dufresne, R. J. (2005). Framing The Transfer Problem: Introduction. In J. P. Mestre (Hrsg.), *Transfer of learning* (S. vii–xxvi). Information Age Publishing.
- Sandmann, A. (2014). Lautes Denken—Die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 179–188). Springer.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *Annals of statistics*, 6(2), 461–464.
- van Vorst, H., Dorsch, A., Fechner, S., Kauertz, A., Krabbe, H., & Sumfleth, E. (2015). Charakterisierung und Strukturierung von Kontexten im naturwissenschaftlichen Unterricht – Vorschlag einer theoretischen Modellierung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 29–39.

- Velicer, W. F. (1976). Determining the number of components from the matrix of partial correlations. *Psychometrika*, 41(3), 321–327.
- Wagner, J. F. (2006). Transfer in Pieces. *Cognition and Instruction*, 24(1), 1–71.
- Wagner, J. F. (2010). A Transfer-in-Pieces Consideration of the Perception of Structure in the Transfer of Learning. *The Journal of the Learning Sciences*, 19, 443–479.
- Woodworth, R. S., & Thorndike, E. L. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions. (I). *Psychological review*, 8(3), 247.