

1 Abstract

Skizzieren ist wichtig und relevant für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Es stellt eine Kompetenz dar, wird aber auch als unterstützende Methode beispielweise zur Lernförderung und als Messinstrument zur Erfassung von anderen Kompetenzen genutzt. Das Skizzieren kommt also in unterschiedlichen Kontexten zur Anwendung. Während experimenteller Handlungen sollten Lernende ihre Vorgehensweise sowie ihre Ergebnisse und Beobachtungen verbal-sprachlich protokollieren und skizzierend festhalten können. Das sogenannte „*wissenschaftliche Skizzieren*“ bezeichnet die Kompetenz, während des Experimentierprozesses Skizzen anzufertigen, die die Grundanforderungen der Eindeutigkeit, Idealisierung, Vollständigkeit, Abstraktion und Korrektheit erfüllen. Dadurch können Teilprozesse des experimentellen Handelns, wie die Entwicklung der Fragestellung, die Planung und Durchführung des Experiments, Messungen und Beobachtungen sowie das Ziehen von Schlussfolgerungen, festgehalten und aus diesen *wissenschaftlichen Skizzen* Erkenntnisse gewonnen werden. Da anstelle des Schreibens skizziert wird, sinken die verbal-sprachlichen Anforderungen an Schülerinnen und Schüler. Eine *wissenschaftliche Skizze* ist die förderliche Basis für Austausch und Kommunikation wie auch für die Erkenntnisgewinnung, da durch eine *wissenschaftliche Skizze*, die die Grundanforderungen abdeckt, Wesentliches erkannt und daraus Erkenntnis gewonnen werden kann.

Zum *wissenschaftlichen Skizzieren* als Schülerkompetenz existiert in der Literatur bislang kein spezifisches Modell, das die Struktur oder die Stufung einer entsprechenden Kompetenz beschreibt und somit eine Möglichkeit zur Messbarkeit dieser Kompetenz böte.

Die ersten Forschungsfragen befassen sich mit der inhaltlichen Validierung der Qualitätsmerkmale eines Kompetenzstrukturmodells, mit der ökologischen Validierung und der Überprüfung der Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität sowie außerdem mit der Generalisierbarkeit des Messinstruments, welches auf der Kompetenz des *wissenschaftlichen Skizzierens* entwickelt wurde und die Schülerkompetenz *wissenschaftliches Skizzieren* auf der Basis eines a-priori-Kompetenzmodells misst. Im Fokus steht die Fähigkeit der Lernenden, *wissenschaftliche Skizzen* während der Planungs-, Durchführungs- und Beobachtungsphase des experimentellen Handelns in

der Sekundarstufe I im Fach Chemie anzufertigen. Weitere Forschungsfragen behandeln die externe Validität des Messinstruments.

Im Rahmen dieser Arbeit entstanden ein literaturbasiertes Kompetenzmodell mit Progressionsmodell und ein Messinstrument für die Kompetenz des *wissenschaftlichen Skizzierens*. Das Messinstrument umfasst neun Items, die aus drei Kontexten (Brausetablette, Eis schmelzen, Säuren und Basen) stammen, und aus drei Aufgabentypen (Beobachtung, Vergleich und Experimentieren) bestehen. Die Validität des Kompetenzstrukturmodells und des Tests wurde zum einen inhaltlich und ökologisch mittels Expertenbefragung und zum anderen bezüglich Generalisierbarkeit und Testgüte überprüft. Die erhobenen Daten des *wissenschaftlichen Skizzierens* wurden mit Rasch-Analysen ausgewertet und in Bezug auf die Forschungsfragen analysiert.

Die Daten zur Überprüfung der Messinvarianz des Tests wurden nach Geschlecht, Jahrgangsstufe, Anzahl gesprochener Sprachen und Fähigkeiten im *wissenschaftlichen Skizzieren* mit DIF-Analysen differenziert ausgewertet, sodass generalisierbare Schlüsse gezogen werden konnten. Für die externe Validität wurden die Zusammenhänge für die Faktoren Kognition (KFT), Lesefähigkeit (LGVT), Strategiewissen zum Experimentieren (NAW) sowie Fach- und Methodenwissen mit der Kompetenz des *wissenschaftlichen Skizzierens* untersucht.

Das Progressionsmodell wie auch das Testinstrument zeigten sich inhaltlich und ökologisch valide und lassen Verallgemeinerungen zu. Das Testinstrument weist Testgüte auf und ist reliabel und messinvariant in Bezug auf das Geschlecht, die Jahrgangsstufe, die Anzahl gesprochener Sprachen und die Personenfähigkeiten im *wissenschaftlichen Skizzieren*. Die Items lassen sich auch von schwächeren Lernenden bewältigen. Die Kompetenz des *wissenschaftlichen Skizzierens* kann in vier Niveaus unterteilt werden.

Über Zusammenhänge mit externen Faktoren lassen sich folgende Aussagen machen: Die Kompetenz des *wissenschaftlichen Skizzierens* zeigt einen signifikant positiven, starken Zusammenhang mit der Kognition, einen signifikanten, wenn auch schwächeren Zusammenhang mit dem Strategiewissen zum Experimentieren, und sie ist unabhängig von der Lesefähigkeit. Das Fach- und Methodenwissen zeigt bei den Aufgabentypen „Beobachtung“ und „Vergleich“ einen positiven Zusammenhang zum *wissenschaftlichen Skizzieren*, wohingegen beim Aufgabentyp „Experimentieren“ ein ne-

gativer Zusammenhang zum Methodenwissen der Variablenkontrollstrategie erkannt wurde.

Das neu entwickelte und inhaltlich, ökologisch und extern validierte Messinstrument eignet sich zur Erfassung der Kompetenz des *wissenschaftlichen Skizzierens* in der Sekundarstufe I.

2 Einleitung

Experimentelle Kompetenzen stellen im Rahmen von Bildungsstandards ein zentrales Bildungsziel in der Schweiz und auch in Deutschland dar (EDK Erziehungsdirektoren-Konferenz, 2011; Kultusministerkonferenz, 2005a, 2005b, 2005c). Experimentieren hat in der Schweiz aus zwei Gründen mehr Gewicht erlangt: einerseits durch die interkantonale Vereinbarung über die Harmonisierung der obligatorischen Schule (HarmoS-Konkordat) mit den sogenannten Handlungsaspekten im HarmoS-Kompetenz-Modell der Naturwissenschaften (EDK Erziehungsdirektoren-Konferenz, 2011), andererseits durch die Einführung des neuen schweizweit verbindliche Lehrplans 21 (LP21) (D-EDK Deutsch-Schweizer Erziehungsdirektoren-Konferenz, 2016a) mit ab dem Jahre 2017 geltenden Basisstandards und der damit verbundenen Kompetenzorientierung. Auch in Deutschland hat sich der Stellenwert des Experimentierens durch Setzen von Bildungsstandards vergrößert (Kultusministerkonferenz, 2005c, 2005b, 2005a). Die experimentellen Handlungen erfordern auch Fähigkeiten des Dokumentierens, wodurch dem Dokumentieren eine gewichtige Funktion zukommt. Handlung, Phänomene, Planung und Ergebnisse während des Experimentierens können sowohl verbal-sprachlich protokolliert und als auch zeichnerisch dargestellt werden.

Zur Sicherung der Qualität und der Durchlässigkeit des schweizerischen Bildungssystems innerhalb der Schweiz legte HarmoS verbindliche Grundkompetenzen in den Fächern fest, wie beispielsweise im Handlungsaspekt „Fragen und Untersuchen“ des Bereichs Natur und Technik: Lernenden sollen u. a. „Ergebnisse aus Erkundungen, Untersuchungen und Experimente in verschiedenen Formen - insbesondere als Skizze, Bericht, Tabelle, Diagramm, Plan - einfach darstellen und kommentieren“ (EDK Erziehungsdirektoren-Konferenz, 2011, S. 33) können. Des Weiteren werden für die Handlungsaspekte „Ordnen, Strukturieren und Modellieren“ und „Mitteilen und Austauschen“ explizit Darstellungen in Form von Zeichnungen und Grafiken gefordert. Der Lehrplan 21 postuliert in den didaktischen Hinweisen (NMG/NT), dass Schülerinnen und Schüler „Beobachtungen und Gedanken sprachlich präzise ausdrücken und sie sich anderen mitteilen können.“ (D-EDK Deutsch-Schweizer Erziehungsdirektoren-Konferenz, 2016a, S. 233). Im Kompetenzbereich NT.3 (chemische Reaktionen erforschen) wird gefordert, dass Schülerinnen und Schüler u. a. angeleitet Reaktionen mit Sauerstoff durchführen, protokollieren, Fragen stellen, Vermutungen

formulieren und diese experimentell überprüfen können. Dadurch wird das Dokumentieren bereits umfassend in den Forschungszyklus eingebettet.

In den deutschen Bildungsstandards für das Fach Chemie sind Kommunikation und Erkenntnisgewinnung neben Fachwissen und Bewertung gleichwertige Kompetenzbereiche (Kultusministerkonferenz, 2005b). Beim Vergleich der Standards Kommunikation und Erkenntnisgewinnung sind Überlappungen erkennbar, die Standards sind nicht trennscharf voneinander formuliert (Kobow, 2015). Der Bereich Kommunikation ist in drei Aspekte aufgeteilt: Sprache/Fachsprache, Darstellungsformen und Adressatenbezug/Sachbezug. Zu den Darstellungsformen zählen neben Text auch Bilder, Zeichnungen, Tabellen, Diagramme, Formelzeichen und Gleichungen (Kobow, 2015). Die deutschen Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (Kultusministerkonferenz, 2005b) fordern im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen) unter dem Standard E3, dass Lernende in der Lage sein müssen, experimentelle und andere Untersuchungen zu protokollieren. Im Kompetenzbereich Kommunikation (Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen) ist Dokumentieren in den Standards K4, K6 und K7 aufgeführt, wobei K4 für das Beschreiben, Veranschaulichen oder Erklären chemischer Sachverhalte unter Verwendung der Fachsprache und/oder mit Hilfe von Modellen und Darstellungen. steht, K6 das Protokollieren des Verlaufs und der Ergebnisse von Untersuchungen und Diskussionen in angemessener Form behandelt und K7 sich dem situationsgerechten und adressatenbezogenen Dokumentieren und Präsentieren des Verlaufs und der Arbeitsergebnisse) widmet. Auch in den Bildungszielen der USA wird Dokumentieren in diesem Sinne aufgeführt mit „Integrate quantitative or technical information expressed in words in a text with a version of that information expressed visually (e.g., in a flowchart, diagram, model, graph, or table)“ aufgeführt (NGA Center for Best Practices (NGA Center), Council of Chief State School Officers (CCSSO), 2010).

Protokollieren und Dokumentieren ist nach Süselbeck (2003) unbeliebt: Im Berufsleben allgemein, aber auch im Unterricht, und dies über alle Jahrgangsstufen hinweg (Kraus & Stehlik, 2008). Im naturwissenschaftlichen Unterricht ist das Dokumentieren von Experimenten vor allem wegen fehlender Selbstbestimmung im Dokumentierprozess unbeliebt (Bergeler, 2009). Nach Leisen (2003) führen Lernende lieber Experimente durch, als diese zu dokumentieren.

Die Unbeliebtheit des Dokumentierens, die Forderung der Bildungsstandards verschiedener Länder (D-EDK Deutsch-Schweizer Erziehungsdirektoren-Konferenz, 2016b; EDK Erziehungsdirektoren-Konferenz, 2011; Kultusministerkonferenz, 2005a, 2005b, 2005c; NGA Center for Best Practices (NGA Center), Council of Chief State School Officers (CCSSO), 2010) wie auch die Möglichkeit sprachentlastenden Dokumentierens in Form von Skizzen bilden die Grundlage für die Motivation zu dieser Arbeit. Ebenso zentral für die Stellenwert dieser Arbeit ist, dass *Skizzieren* sowohl aus wissenschaftlicher Sicht, z.B. als Repräsentationsfunktion (Ainsworth, 1999), als auch für die Schulpraxis als Handlungskompetenz relevant ist, da Experimentierprozesse häufig nicht allein verbal dargestellt werden können (Kozma et al., 2000). Außerdem arbeitet man in den Naturwissenschaften oft mit nicht direkt zugänglichen Aspekten und Phänomenen, die zu klein (z.B. Atome) oder zu groß (z.B. Galaxien) sind, weil sie in Zeiteinheiten stattfinden, die schwer wahrnehmbar sind (z.B. sehr schnelle chemische Reaktionen oder sehr langsame Plattentektonik) oder die zu komplex sind (Pande & Chandrasekharan, 2017). Durch Skizzen wird es möglich, diese Phänomene zu verstehen, zu analysieren und daraus Schlüsse zu ziehen. Skizzen bieten dadurch eine förderliche Basis für die Erkenntnisgewinnung. Gerade diesen Erkenntnisgewinnungsprozessen wird im naturwissenschaftlichen Unterricht eine hohe Wichtigkeit beigemessen.

Wissenschaftliches Skizzieren stellt also eine Teilfähigkeit dar, beim Dokumentieren objektive Skizzen eines Experimentierprozesses zu erstellen. Das *wissenschaftliche Skizzieren* erfüllt vielseitige und wichtige Zwecke beim Experimentieren: Schülerinnen und Schüler visualisieren ihre Vorgehensweise beim Experimentieren und halten Phänomene, Ergebnisse von Experimentierplanung, Beobachtungen und die Durchführung der Experimente fest. In *wissenschaftlichen Skizzen* werden Evidenzen dokumentiert. Sie stellen daher eine Repräsentationsform dar, die eine Basis für Kommunikation und Austausch darstellt.

In Bezug auf die Schülerkompetenz *wissenschaftliches Skizzieren* findet sich in der Literatur kein spezifisches Modell, welches die Struktur oder die Stufung einer entsprechenden Kompetenz beschreibt und somit eine Möglichkeit zur Messbarkeit dieser Kompetenz bieten könnte. Ziel dieses Dissertationsprojektes ist es, ein Messinstrument zu entwickeln und validieren, das die Leistung von Schülerinnen und Schülern in der Kompetenz des *wissenschaftlichen Skizzierens* erfasst. Die Entwicklung

und Durchführung Projektes fand in Kooperation der Pädagogischen Hochschule Zürich mit der Uni Duisburg-Essen statt.

3 Theoretischer Hintergrund

Für die Definition und Abgrenzung der Kompetenz des *wissenschaftlichen Skizzierens* bedarf es einer allgemeinen Definition des Begriffs Kompetenz wie auch einer definierten und beschreibenden Umgebung. *Wissenschaftliches Skizzieren* findet in experimentellen Settings statt und kann für die Erkenntnisgewinnung als förderliche Basis dienen. Eine Beleuchtung der experimentellen Kompetenz, wie der Erkenntnisgewinnung ist unabdingbar. Dabei werden die unterschiedlichen Ansätze der Experimentellen Kompetenz (Problemtyp- und Teilprozessansatz) wie auch die experimentelle Kompetenz nach Nehring (2016), bei der *Naturwissenschaftliche Arbeitsweise* und *wissenschaftliches Denken* matrixartig verknüpft sind, betrachtet. Ebenso zentral ist es, die Methoden der Erkenntnisgewinnung im Allgemeinen und spezifisch für die Anwendungsbereiche des *wissenschaftlichen Skizzierens* zu beleuchten. Neben der experimentellen Kompetenz spielt die Kompetenz im Umgang mit Repräsentationen, die *Repräsentationskompetenz RC*, für die theoretische Verordnung des *wissenschaftlichen Skizzierens* eine wichtige Rolle, da es sich bei Skizzen um eine Form von Repräsentationen handelt.

3.1 Kompetenz

3.1.1 Kompetenzbegriff

In der Wissenschaft nutzt man oftmals die Definition von Kompetenz nach Weinert (2001b), die im Auftrag der OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) erstellt wurde. Für die Kompetenzmessung in der Schulpraxis definiert Weinert (2001b) Kompetenzen wie folgt: „[...] Kompetenzen [sind] die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“. Zentrale Aspekte, die erlernt werden müssen, stellen dabei kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten dar (Klieme, 2004).

Kompetenzen sind themenspezifisch, das heißt sie gelten für einen bestimmten Bereich von Kontexten und Situationen. Bei Kompetenzen handelt es sich um erworbene Fähigkeiten und Fertigkeiten, die es ermöglichen, eine spezifische Aufgaben- oder

Problemstellung zu lösen (Hartig & Klieme, 2006). Trotz einer weitgefassten Definition des Kompetenzbegriffs wird oftmals aus pragmatischen Gründen bei der Überprüfung der Kompetenz, eine Beschränkung auf den kognitiven Bereich vollzogen, was eine Eingrenzung zur Folge hat (Klieme, 2004). Deshalb wird im Folgenden der Gegensatz von Kompetenz und Intelligenz thematisiert:

Intelligenz ist eine generalisierbare Eigenschaft, die eine Person unabhängig von Vorwissen und Kontextualisierung dazu qualifiziert, neue Situationen und Problemstellungen erfolgreich zu lösen (Hartig & Klieme, 2006). Für die Intelligenz kann im Gegensatz zur Kompetenz kein Nullpunkt definiert werden, da jedes Individuum kontextunabhängige kognitive Grundfähigkeiten besitzt. Unterschiede in der Intelligenz zwischen den Individuen basieren auf unterschiedlichen kognitiven und biologischen Basiskonzepten (Hartig & Klieme, 2006). Kompetenz und Intelligenz sind Konstrukte, die eng miteinander verknüpft sind und die sich auch inhaltlich überschneiden. Zusätzlich zur Kontextualisierung führen Hartig und Klieme (2006) weitere Kriterien zur Abgrenzung der Begriffe Intelligenz und Kompetenz auf (siehe Tab. 1).

Tab. 1 Gegenüberstellung konzeptueller Charakteristika des Kompetenz- und Intelligenzbegriffs (Hartig & Klieme, 2006)

Kompetenz	Intelligenz
kontextabhängig Fähigkeiten, spezifische Situation und Anforderungen zu bewältigen	generalisierbar Fähigkeit, neue Probleme zu lösen
lernbar wird durch Erfahrung mit spezifischen Anforderungen und Situationen erworben	zeitlich stabil zu bedeutsamen Teilen durch biologische Faktoren determiniert
Leistungsunterschiede bedingt durch Anforderung und Situation	Leistungsunterschiede bedingt durch kognitive Prozesse

In den bundeseinheitlichen Bildungsstandards (Kultusministerkonferenz, 2005a, 2005b, 2005c) sind Kompetenzen domänenspezifisch an die jeweiligen Fächer gebunden und auf bestimmte Kontexte, Situationen und Anforderungen fokussiert. Dadurch ist die Abgrenzung zur Intelligenz möglich (Hartig & Klieme, 2006). Weinert (2001a) schließt die motivationale Orientierung in seiner Definition von Kompetenz ein, plädiert jedoch dafür, kognitive Kompetenzen und motivationale Faktoren getrennt zu erfassen.