

Marcus Hammann/Thi Thanh Ho Phan/Horst Bayrhuber

## Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen?

### Zusammenfassung

Auf Grundlage des „Scientific Discovery as Dual Search“-Modells (SDDS) wurde ein Test zur Messung von Kompetenzen beim Experimentieren entwickelt, um zu überprüfen, ob sich die drei Dimensionen des Experimentierens anhand von Multiple-Choice-Aufgaben in reliable Skalen überführen lassen. Da dies mit zufriedenstellender Reliabilität gelang, wurde die Binnenstruktur des Konstrukts „Experimentieren als Problemlösen“ untersucht. Dies geschah faktorenanalytisch und korrelationsstatistisch sowie mit multivariaten Methoden. Die konfirmatorische faktorenanalytische Überprüfung des Testdesigns lieferte Hinweise auf die Existenz zweier Dimensionen des eingesetzten Tests. Zwischen den Dimensionen wurden mittlere bis hohe Interkorrelationen ermittelt, wobei die erwarteten Ähnlichkeiten zwischen denjenigen Dimensionen bestätigt wurden, welche stärker vom bereichsspezifischen inhaltlichen Vorwissen bestimmt werden, ebenso wie die Unterschiede dieser Dimensionen zur Dimension „Testen von Hypothesen“, die stärker vom methodischen Wissen über Ziele und Vorgehensweisen beim Experimentieren bestimmt wird. Die ermittelten Korrelationen zwischen dem bereichsspezifischen Vorwissen und den Dimensionen des Experimentierens liegen auf einem wesentlich geringeren Niveau als die Interkorrelationskoeffizienten.

*Schlüsselwörter:* Experimentieren; Kompetenzen; Diagnostik

### Summary

*Experimentation as Problem-Solving: Can the SDDS-model be used to measure different dimensions of experimentation*

Based on the “Scientific Discovery as Dual Search” model (SDDS), a paper-and-pencil test was developed to assess competencies in experimentation. We investigated whether the three dimensions of experimentation form reliable scales when multiple-choice-items are used. Since the reliability of the scales was found to be satisfactory, it was possible to investigate the inner structure of the construct “experimenting as problem-solving”. For this, factor analysis, correlation statistics and multivariate methods were used. A confirmatory factor analysis revealed two dimensions of the test used. Medium to high intercorrelations were found between the dimensions, and correlation statistics confirmed the expected similarities between those dimensions that are dependent upon the domain-specific content knowledge as well as the differences between these dimensions and the dimension “testing hypotheses” which is dependent upon methodological knowledge about the aims and processes of experimentation. The correlations between the domain-specific prior-knowledge and the three dimensions of experimentation were considerably lower than the intercorrelations between the dimensions.

*Keywords:* experimentation; competencies; diagnostics

## 1 Hintergründe

Die Vermittlung von Kompetenzen beim Experimentieren wird als wichtiges Bildungsziel der naturwissenschaftlichen Fächer angesehen. Die Messung von Kompetenzen beim Experimentieren findet zudem Berücksichtigung in internationalen Schulleistungsstudien (OECD 2003, 2006; ROST et al. 2004). Begründet wird diese Schwerpunktsetzung mit der erkenntnistheoretisch zentralen Stellung des Experiments, denn das Experiment stellt neben der Beobachtung und dem Vergleich eine wesentliche Methode der Gewinnung naturwissenschaftlichen Wissens dar (PUTHZ 1988). Die Schulung von Kompetenzen beim Experimentieren findet zunehmend Berücksichtigung in der Praxis der naturwissenschaftlichen Fächer (HAMMANN 2004; HAMMANN et al. 2006). Basierend auf der Unterscheidung zwischen „hands-on“ und „minds-on“ Experimenten, wurden beispielsweise im Rahmen des BLK-Modellversuchs „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ (vgl. PRENZEL 2000) Alternativen zum vorwiegend mechanischen Abarbeiten experimenteller Arbeitsanleitungen entwickelt, um die Schülerinnen und Schüler stärker gedanklich einzubinden in die wesentlichen Schritte des Experimentierens, nämlich die Formulierung von Fragestellung und Hypothesen, die Planung und Durchführung eines Experiments, die Analyse der Daten vor dem Hintergrund der gebildeten Hypothesen sowie die Anwendung der gewonnenen Ergebnisse.

Bildungspolitisch fand diese Schwerpunktsetzung jüngst ihren Niederschlag in der Formulierung der KMK-Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss der Fächer Biologie, Chemie und Physik. Sie weisen übereinstimmend den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung aus, in dem auch diejenigen Bildungsstandards verortet sind, welche auf die experimentelle Methode bezogen sind. Exemplarisch seien einige Bildungsstandards des Faches Biologie genannt, die Kompetenzen beim Experimentieren in den Mittelpunkt stellen: Schülerinnen und Schüler führen „Untersuchungen mit geeigneten qualifizierenden und quantifizierenden Verfahren durch“ (E 5), „planen einfache Experimente, führen diese durch und / oder werten sie aus“ (E 6), „wenden Schritte aus dem experimentellen Weg der Erkenntnisgewinnung zur Erklärung an“ (E7) und „erörtern Tragweite und Grenzen von Untersuchungsanlage, -schritten und -ergebnissen“ (E 8) (Konferenz der Kultusminister 2005).

## 2 Messung von Kompetenzen beim Experimentieren

Die Messung derartig breit gefächerter Kompetenzen beim Experimentieren stellt eine Herausforderung für die Entwicklung aussagekräftiger Testverfahren dar. Grundsätzlich zu unterscheiden sind einerseits Testverfahren, bei denen Schülerinnen und Schüler praktisch arbeiten – die sogenannten praktischen Tests („practical test“ oder „laboratory performance test“) – und andererseits die sogenannten „paper-and-pencil“ Tests, bei denen nicht praktisch gearbeitet wird. Auf die praktischen Tests soll im Rahmen dieses Beitrags nicht weiter eingegangen werden, obwohl nachgewiesen wurde, dass Schülerleistungen in praktischen und nicht-praktischen Tests lediglich schwach korrelieren (BEN-ZVI et al. 1977; COMBER/KEEVES 1973; ROBINSON 1969; TAMIR 1972, 1974). Typische Vertreter der paper-and-pencil Tests sind beispielsweise der „Test of Science Processes“, der aus 96 Multiple-Choice-Aufgaben besteht, in dem das Experimentieren eine von 8 Unterskalen bildet (TANNENBAUM 1971). Die Reliabilität der Skala „Experimentieren“ (10 Items) betrug allerdings je nach Klassenstufe (Klassen 7-9) und Einzugsgebiet lediglich .45 bis .55 und die Korrelationskoeffizienten dieser Skala zu den anderen Skalen (Beobachten, Vergleichen, Klassifizieren, Quantifizieren, Messen, Schlussfolgern, Vorhersagen) betrugen .353 – .557. Ein anderes Beispiel dieser Testart ist der „Test of Enquiry Skills, (TOES)“ (FRASER 1980). Dieser besteht aus neun Skalen, von denen insbesondere Skala 8: „Design experimenteller Ver-

fahren“ (Reliabilität: .50 bis .60 in den Klassen 7-10) und Skala 9: „Schlussfolgern und Verallgemeinern“ (Reliabilität .62 – .75 in den Klassen 7-10) hervorgehoben werden sollen, die mit dem Experimentieren in direkter Verbindung stehen. Die Interkorrelationen der neun Skalen dieses Tests betrugen im Mittel 0,47. Eine historische Besonderheit dieses Testansatzes besteht darin, dass die Aufgaben des TOES derart konzipiert wurden, dass sie inhaltsfrei sind, d. h. ohne Vorwissen über die zugrundeliegenden naturwissenschaftlichen Inhalte gelöst werden können. Hiermit wurde der Versuch unternommen, allgemeine Denkfähigkeiten zu erheben. Im Gegensatz hierzu wird in der vorliegenden Studie der Einfluss des bereichsspezifischen Wissens auf Kompetenzen beim Experimentieren zu einem der Untersuchungsgegenstände gemacht.

### 3 Fragestellungen und Hypothesen

Die vorliegende Studie stellt einen Beitrag zur Messung von Kompetenzen beim Experimentieren dar. Auf der Grundlage des SDDS-Modells (KLAHR 2000) kann das Experimentieren als Problemlösen begriffen werden. Als Teildimensionen des Experimentierens werden hier benannt: „Suche im Hypothesenraum“, „Testen von Hypothesen“ und „Analyse von Evidenzen“. Auf dieser Grundlage wurden ein Kompetenztest und ein unabhängiger Wissenstest zu biologischen Inhalten konzipiert, um die folgenden drei Fragestellungen zu untersuchen:

(1) Lassen sich die drei Dimensionen des Konstrukts „Experimentieren als Problemlösen“ (SDDS Modell) anhand von Multiple-Choice-Items operationalisieren und in reliable Skalen überführen? Diese Forschungsfrage richtet sich grundsätzlich auf die Testbarkeit des Konstrukts, wobei hier zunächst nur nach der Reliabilität gefragt wird. Hintergrund dieser Schwerpunktsetzung ist die oben beschriebene Tatsache, dass ältere Skalen zum Experimentieren häufig eine geringe Reliabilität aufweisen.

(2) Welche korrelativen Zusammenhänge bestehen zwischen den drei Dimensionen des Experimentierens und welche Kompetenzprofile lassen sich ermitteln? Im Unterschied zu den oben genannten älteren Testansätzen zum Experimentieren wird das Konstrukt in dieser Studie theoriegeleitet in Teildimensionen untergliedert und in separaten Skalen gemessen. Hintergrund der Frage nach den Interkorrelationen der Dimensionen ist die begründete Vermutung, dass diese von unterschiedlichen Wissensarten abhängig sein dürften. Die Dimension „Testen von Hypothesen“ dürfte u. a. von methodischem Wissen über Ziele und Vorgehensweisen beim Experimentieren abhängen. Es konnte nämlich gezeigt werden, dass Schülerinnen und Schüler mit umfangreicherem methodischem Vorwissen bei der Planung von Experimenten systematischer vorgehen als Personen mit eingeschränkterem methodischem Vorwissen (CAREY et al. 1989; SCHAU- BLE et al. 1991). Im Gegensatz hierzu dürften die Dimensionen „Suche im Hypothesenraum“ und „Analyse von Evidenzen“ stärker abhängig vom bereichsspezifischen Vorwissen sein. Je nach Umfang des Vorwissens über das zu erklärende Phänomen unterschieden sich nämlich Personen bezüglich der Suche im Hypothesenraum (DUNBAR/KLAHR 1989). Gut belegt sind auch die Einflüsse inhaltlicher Überzeugungen auf die Interpretation experimenteller Ergebnisse, beispielsweise die Wirkung von Schülervorstellungen auf die Analyse nicht-bestätigender Daten (CHINN/ BREWER 1998). Mit multivariaten Methoden wird anschließend überprüft, ob unterschiedliche Kompetenzprofile bei Schülerinnen und Schülern bestehen, und ob es deshalb vorteilhaft sein könnte, Aussagen über die einzelnen Dimensionen beim Experimentieren anhand separater Scores – anstatt eines Gesamtscores – zu treffen.

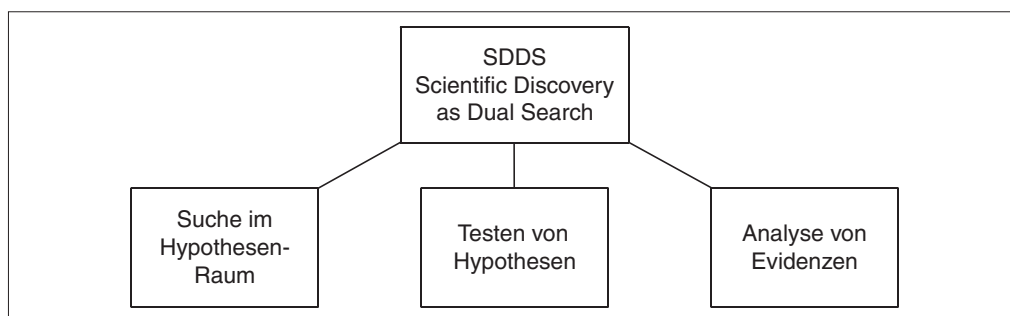
(3) Welche korrelativen Zusammenhänge bestehen zwischen dem biologischen Vorwissen und den drei Dimensionen beim Experimentieren? Diese Frage richtet sich auf die Bereichsspezifität

der Dimensionen der Kompetenz. Hintergrund dieses Erkenntnisinteresses ist die Überzeugung, dass Kompetenzentwicklung eng an die Bewältigung bereichsspezifischer Aufgaben gebunden ist, so dass ein wichtiges Anliegen fachdidaktischer Forschung darin besteht, bei der Erstellung von Kompetenzentwicklungsmodellen zwischen bereichsspezifischen und bereichsübergreifenden Aspekten einer Kompetenz zu unterscheiden (HAMMANN 2004). Aus dem unter der zweiten Forschungsfrage ausgeführten Darstellungen lassen sich für diese Fragestellung die Hypothesen bilden, dass die Dimensionen „Suche im Hypothesenraum“ und „Testen von Hypothesen“ stärker an das bereichsspezifische Vorwissen gebunden sein dürften als die Dimension „Hypothesen testen“, da es unabhängig von dem zu erklärenden Phänomen bei der Planung von Experimenten notwendig ist, beispielsweise zwischen verschiedenen Variablentypen unterscheiden oder einen Kontrollansatz planen zu können.

#### 4 Das SDDS-Modell

Im SDDS-Modell (KLAHR 2000) werden die verschiedenen Teilaspekte des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses aus Sicht der Problemlöseforschung modelliert. Das Akronym SDDS steht für „Scientific Discovery as Dual Search“, wobei die beiden Problemräume, in denen nach Problemlösungen gesucht werden muss, der Hypothesenraum und der Experimentraum sind. Hauptkomponenten des SDDS-Modells sind die „Suche im Hypothesen-Raum“, das „Testen von Hypothesen“ und die „Analyse von Evidenzen“ (siehe Abbildung 1). Mit der Suche im Hypothesen-Raum beginnt das Lösen eines naturwissenschaftlichen Problems, da zunächst auf der Grundlage eingeschränkten bereichsspezifischen Wissens eine überprüfbare Hypothese gebildet werden muss, mit der das vorliegende Phänomen erklärt werden kann. Der anschließende Prozess ist das „Testen von Hypothesen“. Hierfür müssen Experimente geplant werden, mit denen Evidenzen hervorgebracht werden können, welche für bzw. gegen die vorliegende Hypothese sprechen. Wichtiger Teilaspekt der Komponente „Testen von Hypothesen“ ist die „Suche im Experiment-Raum“, denn aus dem Experiment-Suchraum stammen diejenigen experimentellen Ergebnisse, welche benötigt werden, um Hypothesen zu bewerten. Schließlich folgt die „Analyse von Evidenzen“, wo entschieden wird, ob die vorliegende Hypothese akzeptiert, zurückgewiesen oder weiter geprüft werden muss.

Abbildung 1: Die drei übergeordneten Komponenten des SDDS-Modells



## 5 Testentwicklung

Die Entwicklung des Tests folgte einer Reihe dokumentierter Schritte (PHAN 2007) vom anfänglichen Kognitiven Laboratorium ( $n = 6$ ) im Mai 2004 zur ersten Erprobung zweier unterschiedlich komplexer Fassungen des Kompetenztests im Februar 2005 ( $n = 799$ ). Zwei weitere kleinere Vortests ( $n = 122$ ,  $n = 77$ ) schlossen sich im September 2005 und Juli 2006 an, um das Antwortformat des Wissenstests zu optimieren. Berichtet wird an dieser Stelle über die Ergebnisse der Hauptstudie ( $n = 1006$ ), die im März 2007 durchgeführt wurde.

*Tabelle 1:* Testdesign: Zu den vier biologischen Themen „Brot backen“, „Kleine Küken“, „Samenkeimung“ und „Apfelwein“ wurden ein Wissenstest und ein Kompetenztest entwickelt (SMC = Simple Multiple-Choice).

|                                                              | Einheit<br>„Brot backen“ | Einheit<br>„Kleine Küken“ | Einheit<br>„Samenkeimung“ | Einheit<br>„Apfelwein“ |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|
| Wissens-Test                                                 | 8 Items (SMC)            | 8 Items (SMC)             | 7 Items (SMC)             | 8 Items (SMC)          |
| Kompetenz-Test<br>Dimension<br>„Suche im<br>Hypothesen-Raum“ | 2 Items (SMC)            | 2 Items (SMC)             | 2 Items (SMC)             | 2 Items (SMC)          |
| Kompetenz-Test<br>Dimension<br>„Testen von<br>Hypothesen“    | 2 Items (SMC)            | 2 Items (SMC)             | 2 Items (SMC)             | 2 Items (SMC)          |
| Kompetenz-Test<br>Dimension<br>„Analyse von<br>Evidenzen“    | 2 Items (SMC)            | 2 Items (SMC)             | 2 Items (SMC)             | 2 Items (SMC)          |

Das Testdesign (siehe Tabelle 1) ist gekennzeichnet durch zwei unabhängige Tests, einen Wissenstest mit 31 Items und einen Kompetenztest mit 24 Items (je 8 Items in den drei Dimensionen des Experimentierens), die von allen Teilnehmern innerhalb einer Schulstunde (45 Minuten) bearbeitet wurden. Es handelt sich um ein Facetten-Design, bei dem alltagsnahe biologische Inhalte (Brot backen, Kleine Küken, Samenkeimung und Apfelwein) mit Kompetenzen gekreuzt wurden. Die Beispielitems (Abbildungen 2-5) verdeutlichen, dass sich sowohl die Wissens-Items als auch die Kompetenz-Items auf denselben biologischen Gegenstand beziehen. Das Antwortformat der Items ist ein einfaches Multiple-Choice mit einer richtigen Antwort und drei Distraktoren.

*Abbildung 2:* Beispiel-Item: Wissen über Samenkeimung (richtige Lösung D)

|                                                    |                          |
|----------------------------------------------------|--------------------------|
| <b>Welche Aussage ist richtig?</b>                 |                          |
| A Samen brauchen Erde, um zu keimen.               | <input type="checkbox"/> |
| B Samen müssen Nährstoffe aufnehmen, um zu keimen. | <input type="checkbox"/> |
| C Samen keimen schneller, wenn sie gedüngt werden. | <input type="checkbox"/> |
| D Samen können im Dunkeln keimen.                  | <input type="checkbox"/> |

Abbildung 3: Beispiel-Item des Kompetenztests  
(Skala: „Suche im Hypothesenraum“, richtige Antwort: D)

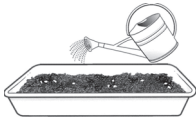
| <b>Samenkeimung</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                         |                                                           |                          |                                                                              |                          |                                                                           |                          |                                                                     |                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <p>Andreas macht ein Experiment zur Samenkeimung. Er verwendet dafür zwei Töpfe mit Erde. Er sät Bohnensamen in die Töpfe aus und sorgt dafür, dass beide Töpfe im Licht bei einer Temperatur von 22°C stehen. Topf 2 erhält kein Wasser (siehe Abbildungen).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                         |                                                           |                          |                                                                              |                          |                                                                           |                          |                                                                     |                          |
| <p><b>Topf 1</b></p>  <p><b>Erde / Wasser / Licht / 22°C</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p><b>Topf 2</b></p>  <p><b>Erde / kein Wasser / Licht / 22°C</b></p> |                                                           |                          |                                                                              |                          |                                                                           |                          |                                                                     |                          |
| <p><b>Warum macht Andreas dieses Experiment? Kreuze die richtige Antwort an.</b></p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding: 5px;">A Weil er Samen dazu bringen will, schneller auszukeimen.</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">B Weil er vermutet, dass Licht und Erde für die Samenkeimung notwendig sind.</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">C Weil er vermutet, dass Wasser und Wärme für die Keimung notwendig sind.</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">D Weil er vermutet, dass Wasser für die Samenkeimung notwendig ist.</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> |                                                                                                                                                         | A Weil er Samen dazu bringen will, schneller auszukeimen. | <input type="checkbox"/> | B Weil er vermutet, dass Licht und Erde für die Samenkeimung notwendig sind. | <input type="checkbox"/> | C Weil er vermutet, dass Wasser und Wärme für die Keimung notwendig sind. | <input type="checkbox"/> | D Weil er vermutet, dass Wasser für die Samenkeimung notwendig ist. | <input type="checkbox"/> |
| A Weil er Samen dazu bringen will, schneller auszukeimen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                |                                                           |                          |                                                                              |                          |                                                                           |                          |                                                                     |                          |
| B Weil er vermutet, dass Licht und Erde für die Samenkeimung notwendig sind.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                |                                                           |                          |                                                                              |                          |                                                                           |                          |                                                                     |                          |
| C Weil er vermutet, dass Wasser und Wärme für die Keimung notwendig sind.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                |                                                           |                          |                                                                              |                          |                                                                           |                          |                                                                     |                          |
| D Weil er vermutet, dass Wasser für die Samenkeimung notwendig ist.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                |                                                           |                          |                                                                              |                          |                                                                           |                          |                                                                     |                          |

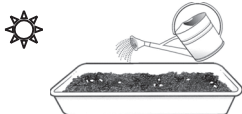
Abbildung 4: Beispiel-Item des Kompetenztests  
(Skala: „Analyse von Evidenzen“, richtige Antwort: B)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                           |                                                                         |                          |                                                                    |                          |                                                                                |                          |                                                                              |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| <p>Nach einigen Tagen konnte Andreas Folgendes feststellen: Die Samen im Topf 1 waren gekeimt. Im Topf 2 waren die Samen nicht gekeimt (siehe Abbildung).</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                           |                                                                         |                          |                                                                    |                          |                                                                                |                          |                                                                              |                          |
| <p><b>Topf 1</b></p>  <p><b>Erde / Wasser / Licht / 22°C</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <p><b>Topf 2</b></p>  <p><b>Erde / kein Wasser / Licht / 22°C</b></p> |                                                                         |                          |                                                                    |                          |                                                                                |                          |                                                                              |                          |
| <p><b>Wie lautet die beste Erklärung für das Ergebnis?</b></p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding: 5px;">A Das Experiment klappte nicht, weil die Samen im Topf 2 nicht keimten.</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">B Das Experiment zeigte, dass Samen Wasser brauchen, um zu keimen.</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">C Das Experiment zeigte, dass die Samen Licht und Erde brauchen, um zu keimen.</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">D Das Experiment zeigte, dass Samen Wasser und Wärme brauchen, um zu keimen.</td> <td style="text-align: right; padding: 5px;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </table> |                                                                                                                                                           | A Das Experiment klappte nicht, weil die Samen im Topf 2 nicht keimten. | <input type="checkbox"/> | B Das Experiment zeigte, dass Samen Wasser brauchen, um zu keimen. | <input type="checkbox"/> | C Das Experiment zeigte, dass die Samen Licht und Erde brauchen, um zu keimen. | <input type="checkbox"/> | D Das Experiment zeigte, dass Samen Wasser und Wärme brauchen, um zu keimen. | <input type="checkbox"/> |
| A Das Experiment klappte nicht, weil die Samen im Topf 2 nicht keimten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                  |                                                                         |                          |                                                                    |                          |                                                                                |                          |                                                                              |                          |
| B Das Experiment zeigte, dass Samen Wasser brauchen, um zu keimen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                  |                                                                         |                          |                                                                    |                          |                                                                                |                          |                                                                              |                          |
| C Das Experiment zeigte, dass die Samen Licht und Erde brauchen, um zu keimen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                  |                                                                         |                          |                                                                    |                          |                                                                                |                          |                                                                              |                          |
| D Das Experiment zeigte, dass Samen Wasser und Wärme brauchen, um zu keimen.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                  |                                                                         |                          |                                                                    |                          |                                                                                |                          |                                                                              |                          |

Abbildung 5: Beispiel-Item des Kompetenztests  
(Skala: „Testen von Hypothesen“, richtige Antwort: D)

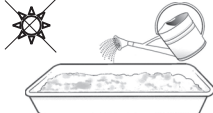
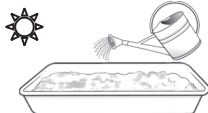
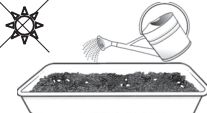
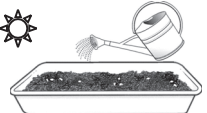
Anna vermutet, **dass Samen schneller keimen, wenn sie in die Wärme gestellt werden**.  
Sie plant ein Experiment, um diese Vermutung zu überprüfen.  
Sie legt Bohnensamen in einen Topf mit Erde, hält die Erde feucht, stellt ihn ins Licht bei einer Temperatur von 22°C.  
Anna braucht aber noch einen zweiten Topf (Topf 2), um diesen mit Topf 1 zu vergleichen.

**Topf 1**



**Erde / Licht / 22°C**

**Welchen Topf sollte Anna wählen, damit sie ihre Vermutung überprüfen kann?**

|                                                                                    |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Topf A</b>                                                                      | <b>Topf B</b>                                                                      | <b>Topf C</b>                                                                       | <b>Topf D</b>                                                                        |
|  |  |  |  |
| <b>keine Erde /<br/>kein Licht / 10°C</b>                                          | <b>keine Erde /<br/>Licht / 10°C</b>                                               | <b>Erde /<br/>kein Licht / 10°C</b>                                                 | <b>Erde /<br/>Licht / 10°C</b>                                                       |

**Kreuze die richtige Antwort an!**

|           |                          |
|-----------|--------------------------|
| A: Topf A | <input type="checkbox"/> |
| B: Topf B | <input type="checkbox"/> |
| C: Topf C | <input type="checkbox"/> |
| D: Topf D | <input type="checkbox"/> |

## 6 Stichprobe

Der Test richtet sich an Schülerinnen und Schüler der Klassenstufe 5-6. Es handelt sich um eine opportunistische Stichprobe, da Lehrerinnen und Lehrer, die den Autoren dieser Studie aus verschiedenen Projekten (z. B. GLOBE, Biologie im Kontext – BIK) bekannt waren, gebeten wurde, den Test in ihren eigenen Klassen einzusetzen und in ihrer Schule um Mitwirkung weiterer Kollegen zu werben. Diese Altersstufe wurde gewählt, da bei der Testentwicklung der Versuch unternommen wurde, Distraktoren auf der Basis evidenzbasierter Beschreibungen von Kompetenzstufen beim Experimentieren zu entwickeln, die bereits für diesen Lernabschnitt vorgenommen wurden (HAMMANN 2004). Dies geschah, um die Möglichkeiten zu untersuchen, Kompetenzstufen zu testen. Über die Ergebnisse dieses Teilaspektes der Studie wird an anderer Stelle berichtet. An der Hauptstudie, über deren Ergebnisse hier berichtet wird, nahmen 1006 Schülerinnen und Schüler teil (511 weiblich, 495 männlich). 753 Schülerinnen und Schüler waren in der Klassenstufe 6, 253 in der Klassenstufe 5. Das mittlere Alter der Schülerinnen und Schüler be-

*Tabelle 2:* Verteilung der Schülerinnen und Schüler der Stichprobe auf die unterschiedlichen Schularten und Klassenstufen

|              | Klasse 5 | Klasse 6 |
|--------------|----------|----------|
| Hauptschule  | 24       | 28       |
| Realschule   | 100      | 219      |
| Gesamtschule | 44       | 73       |
| Gymnasium    | 85       | 433      |

trug 11 Jahre und 8 Monate (STD 8 Monate, 7 Tage). Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Verteilung der Schülerinnen und Schüler auf die unterschiedlichen Schularten.

**Ergebnisse zu Fragestellung 1: Lassen sich die drei Dimensionen des Konstrukts „Experimentieren als Problemlösen“ (SDDS Modell) anhand von Multiple-Choice-Items operationalisieren und in reliable Skalen überführen?**

Bei der Auswertung des Tests wurden die Verfahren der traditionellen Itemanalyse eingesetzt. Die mittleren Lösungswahrscheinlichkeiten der Items des Kompetenztests lagen je nach Einheit und Klassenstufe zwischen 46,5% und 72,3% (siehe Tabelle 3). Dabei unterschieden sich die Lösungswahrscheinlichkeiten der Klassenstufen 5 und 6 erwartungsgemäß, da die Items für die Klassenstufe 5 geringfügig schwieriger waren als für die Klassenstufe 6. Die Lösungswahrscheinlichkeiten der Items der drei Skalen „Suche im Hypothesenraum“, „Analyse von Evidenzen“ und „Testen von Hypothesen“ unterschieden sich lediglich geringfügig, wobei die Items der Skala „Testen von Hypothesen“ gegenüber den anderen beiden Skalen für die untersuchte Stichprobe etwas schwerer zu lösen waren (siehe Tabelle 4).

*Tabelle 3:* Mittlere Lösungswahrscheinlichkeiten (in %) für die Items der vier Einheiten des Kompetenztests

|                                | Einheit<br>„Samenkeimung“<br>(6 Items) | Einheit<br>„Kleine Küken“<br>(6 Items) | Einheit<br>„Apfelwein“<br>(6 Items) | Einheit<br>„Brot backen“<br>(6 Items) |
|--------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Klassenstufe 5<br>(n = 253)    | 52.0                                   | 46.5                                   | 53.8                                | 61.6                                  |
| Klassenstufe 6<br>(n = 753)    | 64.2                                   | 57.3                                   | 67.0                                | 72.3                                  |
| Gesamtstichprobe<br>(n = 1006) | 61.2                                   | 54.6                                   | 63.7                                | 69.7                                  |

Die Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse des Kompetenztests werden in den Tabellen 5 und 6 dargestellt. Die Items weisen durchgängig Trennschärfenoeffizienten größer 0,2 auf und der Test besitzt akzeptable Skaleneigenschaften mit Reliabilitätskoeffizienten um 0,70. Dies gilt insbesondere für die Klassenstufe 6, da die Reliabilitäten der Einzelskalen und des Gesamttests für die Klassenstufe 5 durchgängig niedriger liegen als diejenigen der Klassenstufe 6. Insbesondere weist für die Klassenstufe 5 die Skala „Testen von Hypothesen“ einen nicht akzeptablen niedrigen Cronbach's Alpha auf. Hingegen lässt sich der Test selbst in der Klassenstufe 5 einsetzen, wenn über die Gesamtskala berichtet wird.

Eine faktorenanalytische Überprüfung der Grundannahmen der Testkonstruktion erfolgte bei vorgegebener Anzahl von drei Faktoren (VariMax Rotation), wobei 37,06% der Varianz erklärt

*Tabelle 4:* Mittlere Lösungswahrscheinlichkeiten (in %) für die Items der drei Skalen sowie die Items des gesamten Kompetenztests

|                                | Skala<br>„Suche im<br>Hypothesenraum“<br>(8 Items) | Skala<br>„Analyse von<br>Evidenzen“<br>(8 Items) | Skala<br>„Testen von<br>Hypothesen“<br>(8 Items) | Gesamttest<br>(24 Items) |
|--------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------|
| Klassenstufe 5<br>(n = 253)    | 54.2                                               | 57.5                                             | 48.7                                             | 53.5                     |
| Klassenstufe 6<br>(n = 753)    | 68.1                                               | 66.7                                             | 60.9                                             | 65.2                     |
| Gesamtstichprobe<br>(n = 1006) | 64.6                                               | 64.4                                             | 57.8                                             | 62.3                     |

*Tabelle 5:* Trennschärfeffizienten der Items sowie Reliabilitätkoeffizienten (Cronbach's Alpha) für die Skalen „Suche im Hypothesenraum“, „Evidenzen analysieren“ und „Hypothesen testen“ bezogen auf die Gesamtstichprobe (n = 1006)

| Einheit          | Item | Skala „Suche im<br>Hypothesenraum“ | Skala „Analyse von<br>Evidenzen“ | Skala „Testen von<br>Hypothesen“ |
|------------------|------|------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Samenkeimung     | 1    | .46                                | .34                              | .34                              |
|                  | 2    | .44                                | .33                              | .41                              |
| Kleine Küken     | 1    | .37                                | .32                              | .41                              |
|                  | 2    | .50                                | .25                              | .41                              |
| Apfelwein        | 1    | .57                                | .48                              | .44                              |
|                  | 2    | .51                                | .49                              | .41                              |
| Brot backen      | 1    | .52                                | .43                              | .36                              |
|                  | 2    | .54                                | .44                              | .44                              |
| Cronbach's alpha |      | 0.78                               | 0.69                             | 0.71                             |

*Tabelle 6:* Reliabilitätkoeffizienten (Cronbach's Alpha) für die Skalen „Suche im Hypothesenraum“, „Evidenzen analysieren“ und „Hypothesen testen“ sowie für den gesamten Kompetenztest

|                                | Skala<br>„Suche im<br>Hypothesenraum“<br>(8 Items) | Skala<br>„Analyse von<br>Evidenzen“<br>(8 Items) | Skala<br>„Testen von<br>Hypothesen“<br>(8 Items) | Gesamtskala<br>des<br>Kompetenztests<br>(24 Items) |
|--------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Klassenstufe 5<br>(n = 253)    | .76                                                | .63                                              | .56                                              | .84                                                |
| Klassenstufe 6<br>(n = 753)    | .78                                                | .70                                              | .74                                              | .89                                                |
| Gesamtstichprobe<br>(n = 1006) | .78                                                | .69                                              | .71                                              | .88                                                |

Tabelle 7: Interkorrelationen zwischen den drei Dimensionen des Experimentierens

|                                    | Skala<br>„Suche im<br>Hypothesenraum“ | Skala<br>„Analyse von<br>Evidenzen“                | Skala<br>„Testen von<br>Hypothesen“                |
|------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Skala „Suche im<br>Hypothesenraum“ | 1,00                                  | 0,78** (Klassenstufe 6)<br>0,74** (Klassenstufe 5) | 0,64** (Klassenstufe 6)<br>0,38** (Klassenstufe 5) |
| Skala „Analyse<br>von Evidenzen“   | –                                     | 1,00                                               | 0,66** (Klassenstufe 6)<br>0,38** (Klassenstufe 5) |
| Skala „Testen von<br>Hypothesen“   | –                                     | –                                                  | 1,00                                               |

Tabelle 8: Ergebnisse der konfirmatorischen Faktorenanalyse des Kompetenztests (VariMax Rotation, Anzahl der Faktoren vorgegeben). Die Hauptladung wird durch graue Schattierung gekennzeichnet. Mit einem Stern wird die Tendenz eines Items markiert, auf zwei Faktoren zu laden.

| Items (Name der Dimension,<br>Nummer des Items_Einheit) | Faktoren |       |       |
|---------------------------------------------------------|----------|-------|-------|
|                                                         | 1        | 2     | 3     |
| Suche im Hypothesenraum 1_Apfelwein                     | .643     | .137  | .207  |
| Suche im Hypothesenraum 2_Brot backen                   | .632     | .090  | .152  |
| Analyse von Evidenzen 4_Apfelwein                       | .620     | .185  | .175  |
| Suche im Hypothesenraum 1_Brot backen                   | .608     | .079  | .153  |
| Analyse von Evidenzen 3_Apfelwein                       | .597     | .059  | .153  |
| Suche im Hypothesenraum 2_Apfelwein                     | .554     | .115  | .260  |
| Analyse von Evidenzen 4_Brot backen                     | .538     | .134  | .132  |
| Analyse von Evidenzen 3_Brot backen                     | .495     | .144  | .131  |
| Suche im Hypothesenraum 2_Kleine Küken                  | .474     | .211  | .304  |
| Hypothesen testen 5_Apfelwein                           | .431*    | .389* | .118  |
| Analyse von Evidenzen 4_Kleine Küken                    | .409     | .188  | .017  |
| Analyse von Evidenzen 3_Kleine Küken                    | .357     | .238  | .118  |
| Suche im Hypothesenraum 1_Kleine Küken                  | .337     | .184  | .126  |
| Hypothesen testen 6_Samenkeimung                        | –.014    | .716  | .141  |
| Hypothesen testen 5_Kleine Küken                        | .228     | .572  | .011  |
| Hypothesen testen 6_Kleine Küken                        | .324     | .544  | –.082 |
| Hypothesen testen 6_Brot backen                         | .170     | .486  | .226  |
| Hypothesen testen 5_Brot backen                         | .166     | .475  | .191  |
| Hypothesen testen 5_Samenkeimung                        | –.063    | .461  | .451  |
| Hypothesen testen 6_Apfelwein                           | .355*    | .428* | .047  |
| Suche im Hypothesenraum 2_Samenkeimung                  | .219     | .085  | .660  |
| Analyse von Evidenzen 3_Samenkeimung                    | .190     | .174  | .660  |
| Suche im Hypothesenraum 1_Samenkeimung                  | .345     | .145  | .586  |
| Analyse von Evidenzen 4_Samenkeimung                    | .243     | .024  | .538  |

wurden. Die Faktorenloadungen werden in Tabelle 8 dargestellt. Es zeigte sich, dass die Items der Dimensionen „Suche im Hypothesenraum“ und „Analyse von Evidenzen“ gemeinsam in einem Faktor auftraten. Die Items der Dimension „Testen von Hypothesen“ luden auf einen zweiten Faktor. Der dritte Faktor bestand aus vier Items der Einheit Samenkeimung, wobei hier wiederum nur Items der Dimensionen „Suche im Hypothesenraum und „Analyse von Evidenzen“ zusammengefasst wurden. Bei einer Wiederholung der Faktorenanalyse mit vorgegebenen zwei Faktoren, zeigten sich die beschriebenen beiden ersten Faktoren wieder, wobei auf den ersten

Faktor alle Items der Dimensionen „Suche im Hypothesenraum“ und „Analyse von Evidenzen“ luden, während der zweite Faktor durch alle Items der Dimension „Testen von Hypothesen“ gebildet wurde.

## 7 Diskussion der Ergebnisse zu Fragestellung 1

Gemessen an älteren Ansätzen, bei denen Kompetenzen beim Experimentieren ebenfalls anhand von Multiple-Choice-Aufgaben gemessen wurden (TANNENBAUM 1971; FRASER 1980), ist es als Erfolg zu bewerten, dass es in dieser Studie gelang, reliable Skalen zu den drei Dimensionen des Experimentierens zu entwickeln. Die höhere Reliabilität des vorliegenden Tests ist dabei nicht ausschließlich auf die größere Skalenlänge zurückzuführen, da die eingesetzten Einzelskalen mit einer Skalenlänge von 8 Items durchaus vergleichbar mit der Skalenlänge des „Test of Science Processes“ (TANNENBAUM 1971) sind. Zudem gelang die Entwicklung von reliablen Skalen zu Teildimensionen des Experimentierens, die aus dem SDDS-Modell abgeleitet wurden.

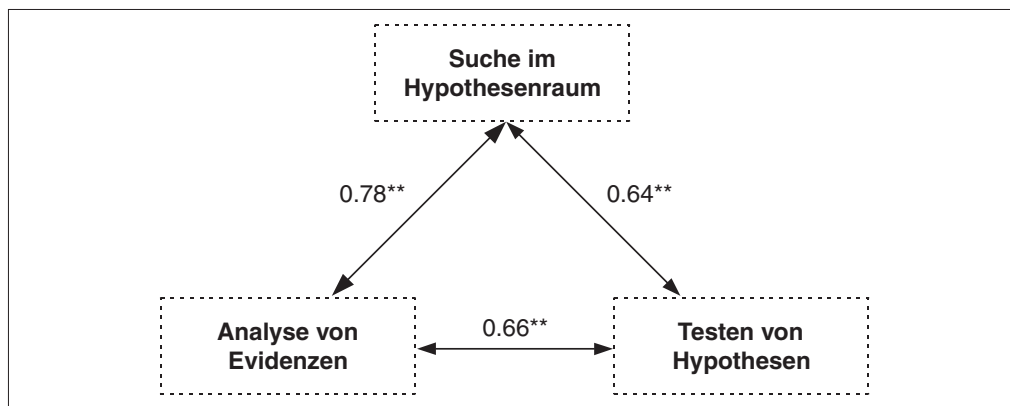
Über die Gründe für die vorliegenden besseren Skalenqualitäten können keine gesicherten Aussagen getroffen werden. Allerdings soll an dieser Stelle herausgehoben werden, dass die Items innerhalb einer Skala wenig Variationen aufwiesen. Die Items der Skala „Suche im Hypothesenraum“ folgen dem Muster, dass anhand eines vorgegebenen Experiments die Hypothese zu identifizieren ist, die getestet werden kann. Diese Möglichkeit der Operationalisierung ist nach dem SDDS Modell gegeben, da der Experimentraum zur Hypothesenbildung durchsucht werden kann, wie dies bei den sogenannten „Experimentatoren“ der Fall ist (DUNBAR/KLAHR 1989). Items der Skala „Analyse von Evidenzen“ präsentieren die experimentellen Ergebnisse des bereits dargestellten Experiments. Die Anforderung beim Lösen dieses Itemtyps besteht darin, experimentelle Ergebnisse auf vorgegebene Erklärungen zu beziehen. Items der Dimension „Testen von Hypothesen“ erfordern die Unterscheidung zwischen der Testvariable und den zu kontrollierenden Variablen, um ein unkonfundiertes Experiment auszuwählen, mit dem eine vorgegebene Hypothese getestet werden kann (vgl. Abbildungen 3-5). Die Homogenität der Items innerhalb einer Dimension stellt zwar eine Erklärungsmöglichkeit für die gegebene Skalengüte dar. Interessanterweise weist auch die Kombination der verschiedenen Itemtypen zu einer Gesamtskala eine hohe Reliabilität (0,84 für Klassenstufe 5, 0,89 Klassenstufe 6) auf, was als ein Hinweis auf hohe Interkorrelationskoeffizienten zwischen den Skalen gedeutet werden kann. Diese werden im folgenden Auswertungsteil genauer untersucht.

Die Ergebnisse der konfirmatorischen Faktorenanalyse lassen sich dahingehend interpretieren, dass entgegen der Annahme dreier Dimensionen beim Experimentieren mit dem vorliegenden Test wohl eher zwei Dimensionen des Experimentierens erhoben werden. Auffälligerweise traten diejenigen Items der beiden Dimensionen in Kombination auf, von denen erwartet wurde, dass sie stärker vom inhaltlichen Vorwissen abhängen als vom methodischen Vorwissen, nämlich die Items der Dimensionen „Suche im Hypothesenraum“ und „Analyse von Evidenzen“. Zur Lösung der Items dieser Dimensionen muss ein vorgegebenes experimentelles Design verstanden werden, um entweder eine Hypothese zu identifizieren, die getestet werden kann („Suche im Hypothesenraum“), oder um experimentelle Befunde zu interpretieren („Analyse von Evidenzen“). Ein gemeinsames Merkmal dieser beiden Itemtypen besteht somit darin, dass in den Items ein experimentelles Design vorgegeben wird, das interpretiert werden muss. Im Gegensatz hierzu wird bei den Items der Dimension „Testen von Hypothesen“ kein experimentelles Design vorgegeben, sondern eine zu testende Hypothese. Die Lösung des Items erfordert es, ein Experiment im Rahmen der Möglichkeiten dieses Itemformats zu gestalten. Die ermittelten faktorenanalytischen Befunde lassen sich somit auf Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen den Dimensionen bzw. eingesetzten Itemtypen zurückführen.

## 8 Ergebnisse zu Fragestellung 2: Welche korrelativen Zusammenhänge bestehen zwischen den drei Dimensionen des Experimentierens? Welche Kompetenzprofile lassen sich ermitteln?

In Tabelle 7 werden die Interkorrelationen der Dimensionen des Experimentierens getrennt für die beiden Klassenstufen 5 und 6 aufgeführt, da einige der Skalen des Kompetenztests für die Klassenstufe 5 keine genügend hohe Reliabilität aufwiesen. Für die Klassenstufe 6 konnten Interkorrelationen mit Koeffizienten von 0,64 bis 0,78 ermittelt werden, so dass sich diese auf einem mittleren bis hohen Niveau bewegen (siehe Abbildung 6). Ähnlich hohe Korrelationen wurden auch in zwei Vorstudien ermittelt, über die an anderer Stelle berichtet wird (PHAN 2007). Die Unterschiede zwischen den Interkorrelationskoeffizienten für die Klassenstufen 5 und 6 sind auf die nicht reliablen Skalen des Kompetenztests für die Klassenstufe 5 zurückzuführen und finden keine weitere Beachtung.

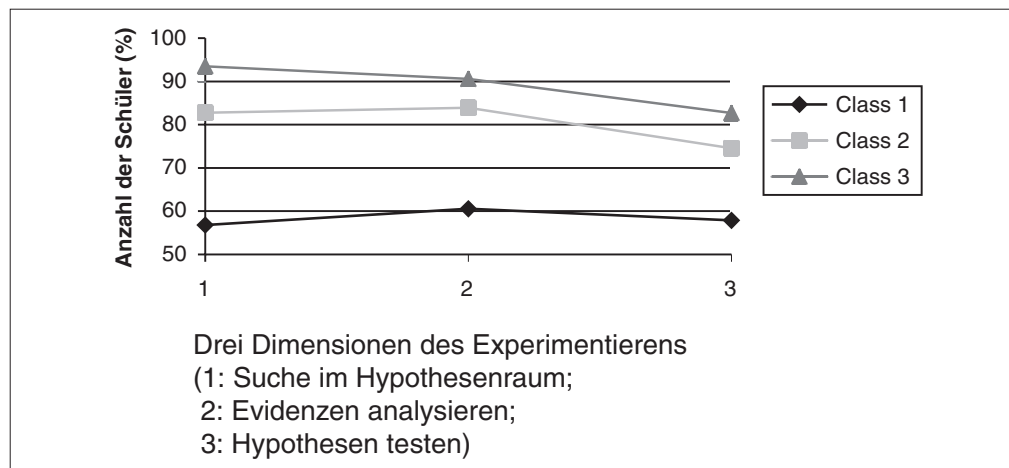
Abbildung 6: Interkorrelationen zwischen den Dimensionen des Experimentierens (Klassenstufe 6,  $n = 753$ )



Anhand von Z-Tests wurde überprüft, ob die Unterschiede der ermittelten Interkorrelationskoeffizienten für die Klassenstufe 6 signifikant sind. Der Korrelationskoeffizient 0,73 für die Variablen „Suche im Hypothesenraum“ und „Analyse von Evidenzen“ unterscheidet sich signifikant von den Korrelationskoeffizienten der anderen beiden Variablenpaarungen, nämlich „Testen von Hypothesen“ und „Suche im Hypothesenraum“ ( $r = 0,64$ ) sowie „Testen von Hypothesen“ und „Analyse von Evidenzen“ ( $r = 0,67$ ). In ähnlicher Weise wie bei den Ergebnissen der konfirmatorischen Faktorenanalyse zeigen sich hier korrelationsanalytisch größere Ähnlichkeiten zwischen den Dimensionen „Suche im Hypothesenraum“ und „Analyse von Evidenzen“ als zwischen den Dimensionen „Testen von Hypothesen“ und „Analyse von Evidenzen“ bzw. „Testen von Hypothesen“ und „Suche im Hypothesenraum“.

In Ergänzung zu den korrelationsstatistischen Methoden wurden die Daten dieser Studie mithilfe probabilistischer Testmodelle analysiert, um zu ermitteln, ob in der gesamten Stichprobe qualitative Personenunterschiede im Hinblick auf die drei Dimensionen des Experimentierens über das Profil der Itemantworten beschrieben werden können. Durchgeführt wurde eine Analyse latenter Klassen (LCA) mit dem Programm WINMIRA (VON DAVIER 1997, 2001). Aufgrund des BIC und CAIC-Index wurde eine 3-Klassen Lösung gewählt (siehe Abbildung 7). Die Itemprofile der drei Klassen zeigen keine Überschneidungen bezüglich der drei Dimensionen, so dass

Abbildung 7: Itemprofile der drei latenten Klassen des klassifizierenden Testmodells



keine qualitativ unterschiedlichen Antwortmuster vorliegen, sondern die Staffelung der Itemprofile als Hinweis auf unterschiedliche Leistungsniveaus angesehen werden muss.

## 9 Diskussion der Ergebnisse zur Fragestellung 2

Die mittleren bis hohen Interkorrelationen, die zwischen den drei getesteten Dimensionen des Experimentierens ermittelt wurden, und die gestaffelten Itemprofile, die keine Überkreuzungen aufweisen, sprechen für eine Eindimensionalität des Konstrukts. Allerdings zeigten sich auf diesem recht hohen Korrelationsniveau signifikante Unterschiede zwischen den Korrelationskoeffizienten der verschiedenen Variablenpaarungen, welche die eingangs formulierten Erwartungen unterstützen. Es wurde nämlich vermutet, dass für die Planung von Experimenten (Dimension: „Testen von Hypothesen“) hauptsächlich methodisches Wissen über die Vorgehensweise beim Experimentieren benötigt wird. Die Korrelationen dieser Dimension mit den anderen beiden Dimensionen unterschied sich signifikant von dem Korrelationskoeffizient der Variablenpaarung „Analyse von Evidenzen“ und „Suche im Hypothesenraum“. Items dieser beiden zuletzt genannten Dimensionen erfordern die Analyse von Daten und die Bildung von Hypothesen. Hierfür dürfte in der Hauptsache inhaltliches Wissen über die biologischen Zusammenhänge notwendig sein, die dem Experiment zugrunde liegen. Somit scheint es gerechtfertigt, in dem vorliegenden Test zur Messung von Kompetenzen beim Experimentieren zwei Dimensionen anzunehmen, die sich im vorherigen Auswertungsteil auch faktorenanalytisch bestätigen ließen.

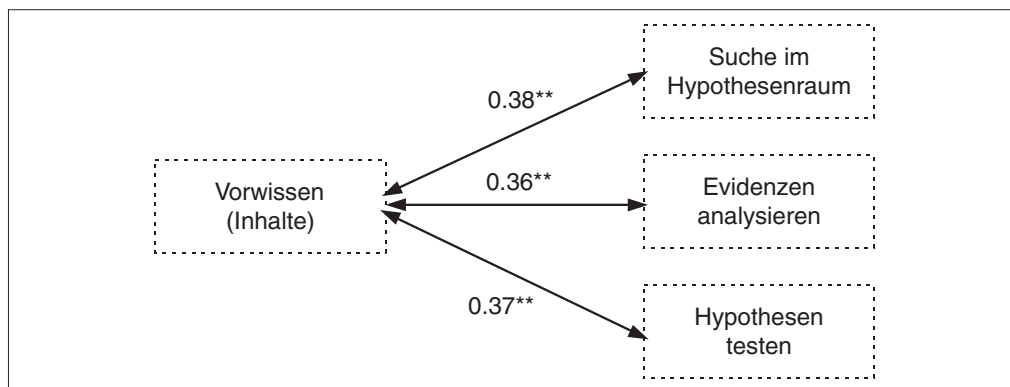
## 10 Ergebnisse zu Fragestellung 3: Welche korrelativen Zusammenhänge bestehen zwischen dem biologischen Vorwissen und den drei Dimensionen beim Experimentieren?

Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurde ein unabhängiger Wissenstest zu den vier biologischen Themen „Samenkeimung“, „Kleine Küken“, „Apfelwein“ und „Brot backen“ entwickelt und mit den Ergebnissen des Kompetenztests korreliert. Der Wissenstest umfasste 31 Items (sie-

he Tabelle 1 und Abbildung 2). Trotz mehrfacher Vortests, bei denen sowohl die Inhalte der Items als auch das Antwortformat optimiert wurde, gestaltete es sich als schwierig, für die gewählten Klassenstufen einen reliablen Wissens-Test zu entwickeln. Zum Einsatz kam schließlich ein Test dessen Gesamtskala bei der vorliegenden Stichprobe eine Reliabilität von 0,65 (Klassenstufe 6) und 0,61 (Klassenstufe 5) aufwies. Dies schränkt die Aussagekraft der nachfolgend aufgeführten Korrelationsanalysen ein. Außerdem wird nur über Ergebnisse der Klassenstufe 6 berichtet. Dies geschieht aus Gründen der bereits erwähnten niedrigen Güte zweier Skalen des Kompetenztests für die Klassenstufe 5. Zudem ist zu berücksichtigen, dass sowohl beim Wissenstest als auch beim Kompetenztest die Skalenbildung über die vier verschiedenen biologischen Themengebiete hinweg erfolgte, so dass nur recht generell die Interaktionen zwischen dem biologischen Vorwissen und Kompetenzen beim Experimentieren beschrieben werden können.

Es bestehen geringe Korrelationen zwischen dem biologischen Vorwissen und den Kompetenzen beim Experimentieren für die Klassenstufe 6 (siehe Abbildung 8). Für die Dimension „Suche im Hypothesenraum“ betrug der Korrelationskoeffizient  $r = 0,38$ , für die Dimension „Analyse von Evidenzen“  $r = 0,36$  und für die Dimension „Testen von Hypothesen“  $r = 0,37$ . Anhand von Z-Tests wurde ermittelt, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Korrelationskoeffizienten bestehen.

Abbildung 8: Korrelationen zwischen dem Vorwissen über biologische Inhalte und den drei untersuchten Dimensionen des Experimentierens (Klassenstufe 6,  $n = 753$ )



## 11 Diskussion der Ergebnisse zu Fragestellung 3

Die Ergebnisse müssen aufgrund der geringen Reliabilität des Wissenstests mit Vorsicht interpretiert werden. Auffällig ist allerdings, dass die Korrelationen zwischen Wissen und Kompetenzen beim Experimentieren auf einem niedrigeren Niveau liegen als die Interkorrelationen zwischen den Dimensionen des Experimentierens, die als mittel bzw. hoch bezeichnet werden können, und dass die erwarteten Unterschiede zwischen den Dimensionen ausblieben, die stärker vom methodischen bzw. inhaltlichen Vorwissen abhängen. Ob dieser Befund die Diskussion der Ergebnisse zu Fragestellung 2 relativiert, kann an dieser Stelle aufgrund der unzureichenden Reliabilität des Wissenstests nicht entschieden werden.

## 12 Zusammenfassung und Gesamtdiskussion

Die vorliegende Studie zeigt, dass es möglich ist, Kompetenzen beim Experimentieren mit Multiple-Choice-Aufgaben zu testen, wobei sich die verwendeten Skalen als reliabler herausstellten als dies in der Vergangenheit der Fall war (TANNENBAUM 1971; FRASER 1980). Zwischen den drei Dimensionen des Tests bestehen mittlere bis hohe Korrelationen, die zudem höher sind als die schwachen Korrelationen zwischen dem bereichsspezifischen Vorwissen und den drei Dimensionen des Experimentierens. Dieses Ergebnis wirft weiterführende Fragen auf, da empirisch gut dokumentiert wurde, dass das bereichsspezifische Wissen einen wichtigen Einfluss auf Problemlösefähigkeiten und Kompetenzen beim Experimentieren hat (CHI/FELTOVICH/GLASER 1981; CAREY 1985). Für die Unterrichtspraxis wurde auf der Grundlage dieser Erkenntnisse die Empfehlung ausgesprochen: [...] school science instruction needs to pay deeper attention to the *interaction* of evolving domain-specific knowledge and evolving scientific methods" (METZ 2003, 87). Bei der Beschreibung eines konzeptuellen Rahmens zur Entwicklung deutscher Bildungsstandards wurde ebenfalls der Tatsache Rechnung getragen, dass Kompetenzen eng an die Bewältigung von Aufgaben gebunden sind, zu deren Bearbeitung bereichsspezifisches Wissen notwendig ist (KLIEME et al. 2003). Im Gegensatz hierzu ließen sich die Items dieses Tests wohl weitgehend ohne umfangreiches Vorwissen über die zugrunde liegenden biologischen Sachverhalte lösen. Mögliche Gründe hierfür liegen einerseits in der Tatsache, dass die Items des Wissenstests auch Aspekte testeten, die nicht zur Lösung der Items des Kompetenztests erforderlich waren. Eine weitere Ursache liegt in der Art und Weise, wie in den Testaufgaben Kompetenzen beim Experimentieren operationalisiert wurden. Dies soll genauer diskutiert werden.

Die Dimension „Suche im Hypothesenraum“ lässt sich grundsätzlich dadurch operationalisieren, dass Hypothesen entweder aus dem Vorwissen oder aus dem Hypothesenraum generiert werden (DUNBAR/KLAHR 1989). In dieser Studie wurde die zweite – weitgehend vorwissensunabhängige – Variante gewählt, so dass eine weiterführende Fragestellung darin besteht, ob bei Verwendung eines anderen Itemtyps die Interaktionen zwischen Vorwissen und Kompetenzen stärker zu Tage getreten wären. Als alternativer Itemtyp bietet es sich an, im Stimulus-Material des Items ein multifaktoriell bedingtes Phänomen darzustellen und anschließend verschiedene Erklärungsmöglichkeiten generieren zu lassen. Es ist vor dem Hintergrund der hier beschriebenen Schwierigkeiten, einen genügend reliablen Wissenstest zu entwickeln, selbstverständlich völlig offen, ob sich mit derartigen Items eine reliable Skala bilden lässt, die sich – im Gegensatz zu den vorliegenden Befunden – faktorenanalytisch von den Items der Dimension „Analyse von Evidenzen“ unterscheidet. Allerdings wäre beim Einsatz derartiger Items ein eigener Faktor für die Bildung von Hypothesen schon deshalb zu erwarten, weil die erfolgreiche Bearbeitung von Items der Dimension „Analyse von Evidenzen“, die hier anscheinend weitgehend unbeeinflusst von inhaltlichen Schülervorstellungen erfolgte, stärker mit logischen Denkfähigkeiten oder mit der Intelligenz zusammenhängen könnte als mit dem Umfang des Vorwissens.

Grundsätzliche Aussagen über die Faktoren, die zu einer erfolgreichen Bearbeitung der vorliegenden Aufgaben beitragen, lassen sich vor dem Hintergrund der eingesetzten Testinstrumente nicht treffen. In diesem Zusammenhang wäre der Einsatz eines Intelligenztests auch deshalb interessant, um die Frage zu klären, ob die Lösung der Items der Dimension „Testen von Hypothesen“ stärker durch logische Denkfähigkeit gesteuert wurde oder durch die Verfügbarkeit methodischen Wissens über das Experimentieren. Diese Frage ist relevant, weil der Besitz methodischen Wissens über Ziele und Vorgehensweisen beim Experimentieren als Voraussetzung für Kompetenzen bei der Planung von Experimenten angesehen wird (SCHAUBLE/KLOPPER/RAGHAVAN 1991). Einige Skalen bestehender NOS-Tests ließen sich eventuell in modifizierter Form nutzen, um Aussagen über das methodische Wissen der Schülerinnen und Schüler zu treffen und mit den Ergebnissen des vorliegenden Kompetenztests in Beziehung zu setzen. Es wäre auch denkbar, dass

Rückschlüsse auf das methodische Wissen der Schülerinnen und Schüler durch Items mit offenem Antwortformat gezogen können, bei denen größere Gestaltungsfreiräume für die Planung von Experimenten bestehen als dies bei Multiple-Choice-Aufgaben der Fall ist.

Abschließend soll die Frage diskutiert werden, die im Titel dieses Beitrags formuliert wurde, nämlich ob sich das SDDS-Modell nutzen lässt, um Kompetenzen beim Experimentieren zu messen. Erprobt wurde eine relativ fein abgestufte Messung von Teilkompetenzen auf der Grundlage des SDDS Modells, da angenommen wurde, dass es vorteilhaft sein könnte, statt eines Gesamtscores zu Kompetenzen beim Experimentieren differenziertere Aussagen über verschiedene Dimensionen zu treffen. Allerdings zeigen die vorliegenden Befunde, dass zu feine Unterscheidungen getroffen wurden und dass der Test aus zwei Dimensionen besteht. Im Gegensatz zu Simulationen, die häufig im Rahmen der Forschungen zum SDDS Modell eingesetzt werden (KLAHR 2000), bietet ein „paper-and-pencil“ Test zudem nicht die Möglichkeiten eines interaktiven Mediums, erfasst also beispielsweise keine Reaktionen auf veränderte Parameter, und die eingesetzten Aufgaben stellen vermutlich geringere Anforderungen als dies beim Lösen komplexer Probleme der Fall wäre. Eine interessante weiterführende Fragestellung besteht deshalb darin, die Kompetenzen von Schülerinnen und Schülerinnen in derartigen computerbasierten Testaufgaben mit den vorliegenden Aufgaben zu vergleichen.

## Literatur

- BEN-ZVI et al. = BEN-ZVI, R./HOFSTEIN, A./SAMUEL, D./KEMPA, R. F. (1977): Modes of instruction in high school chemistry. In: *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 14, pp. 433-439.
- CAREY, S. (1985). Are Children Fundamentally Different Thinkers Than Adults? In: CHIPMAN, S./SEGAL, J./GLASER, R. (Hrsg.), *Thinking and Learning Skills: Volume 2: Research and Open Questions*. – Hillsdale, pp. 485-517.
- CAREY et al. = CAREY, S./EVANS, R./HONDA, M./JAY, E./UNGER, C. (1989): An Experiment Is When You Try It and See If It Works: A Study of Grade 7 Students' Understanding of the Construction of Scientific Knowledge. In: *International Journal of Science Education*, Vol. 11, pp. 514-529.
- CHI, M. T. H./FELTOVICH, P. J./GLASER, R. (1981): Categorization and representation of physics problems by experts and novices. In: *Cognitive Science*, Vol. 5, pp. 121-152.
- CHINN, C. A./BREWER, W. F. (1998): An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in scientific science. In: *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 35(6), pp. 623-654.
- COMBER, L. C./KEEVES, J. P. (1973): *Science Education in Nineteen Countries*. – New York.
- DAVIER, M. VON (1997): WINMIRA – program description and recent enhancements. *Methods of Psychological Research Online*. 2 (2). URL: <http://www.pabst-publishers.de/mptr/> – Download vom 1.2.2007
- DAVIER, M. VON (2001): WINMIRA 2001 [Computersoftware] Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften 2001.
- DUNBAR, K./KLAHR, D. (1989): Developmental differences in scientific discovery processes. In: KLAHR, D./KOTOVSKY, K. V. (Eds.): *Complex information processing: The impact of Herbert SIMON*. – Hillsdale, pp. 109-143.
- FRASER, B. (1980): Development and validation of a test of enquiry skills. In: *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 17(1), pp. 7-16.
- HAMMANN, M. (2004): Kompetenzentwicklungsmodelle: Merkmale und ihre Bedeutung – dargestellt anhand von Kompetenzen beim Experimentieren. In: *MNU* 57(4), S. 196-203.
- HAMMANN, M./PHAN, T. T. H./EHMER, M./BAYRHUBER, H. (2006): Fehlerfrei experimentieren. In: *MNU* 59(5), S. 292-299.
- KLAHR, D. (2000): *Exploring Science: The Cognition and Development of Discovery processes*. – Cambridge.
- KLIEME et al. = KLIEME, E./AVENARIUS, H./BLUM, W./DÖBRICH, P./GRUBER, H./PRENZEL, M./REISS, K./RIQUARTS, K./ROST, J./TENORTH, H.-E./VOLLMER, H. J. (2003): Zur Entwicklung nationaler Bildungsstandards: Eine Expertise. URL: [http://www.bmbf.de/pub/zur\\_entwicklung\\_nationaler\\_bildungsstandards.pdf](http://www.bmbf.de/pub/zur_entwicklung_nationaler_bildungsstandards.pdf) – Download vom 1.2.2007

- Konferenz der Kultusminister (2005): Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss – Biologie, URL: [http://www.kmk.org/schul/Bildungsstandards/Biologie\\_MSA\\_16-12-04.pdf](http://www.kmk.org/schul/Bildungsstandards/Biologie_MSA_16-12-04.pdf) – Download vom 1.2.2007.
- METZ, K. E. (2003). Scientific Inquiry Within Reach of Young Children. In: FRASER, B. J./TOBIN, K. G. (Eds.): International Handbook of Science Education. – Dordrecht, pp. 81-96.
- OECD (2003): The PISA 2003 Assessment Framework – Mathematics, Reading, Science and Problem Solving Knowledge and Skills. – Paris.
- OECD (2006): Assessing Scientific, Reading and Mathematical Literacy: A Framework for PISA 2006. – Paris.
- PHAN, T. T. H. (2007): Testing Levels of Competencies in biological experimentation. Diss. Christian-Albrechts Universität. – Kiel.
- PRENZEL, M. (2000): Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts: Ein Modellversuchsprogramm von Bund und Ländern. In: Unterrichtswissenschaft, 28. Jg., S. 103-126.
- PUTHZ, V. (1988): Experiment oder Beobachtung? Überlegungen zum Erkenntnisgewinn in der Biologie. In: Unterricht Biologie, Bd. 12, S. 11-13.
- ROBINSON, J. (1969): Evaluating laboratory work in high school biology. In: American Biology Teacher, Vol. 31, pp. 236-240.
- ROST u. a. = ROST, J./WALTER, O./CARSTENSEN, C.-H./SENKBEIL, M./PRENZEL, M. (2004): Naturwissenschaftliche Kompetenz. In: PRENZEL, M./BAUMERT, J./BLUM, W./LEHMANN, R./LEUTNER, D./NEUBRAND, M./PEKRUN, R./ROLFF, H.-G./ROST, J./SCHIEFELE, U. (Hrsg.), PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs. – Münster, S. 111-146.
- SCHAUBLE, L./KLOPFER, E. L./RAGHAVAN, K. (1991): Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. In: Journal of Research in Science Teaching, Vol. 28, pp. 859-882.
- TAMIR, P. (1972): The practical mode of performance in biology: A distinct mode. In: Journal of Biology Education, Vol. 6, pp. 175-182.
- TAMIR, P. (1974): An inquiry oriented laboratory examination. In: Journal of Educational Measurement, Vol. 11, pp. 25-33.
- TAMIR, P. (1989): Training teachers to teach effectively in the laboratory. In: Science Education, Vol. 73(1), pp. 59-69.
- TANNENBAUM, R. S. (1971): The Development of the Test of Science Processes. In: Journal of Research in Science Teaching, Vol. 8(2), pp. 123-136.

*Anschriften der Verfasser:* Prof. Dr. Marcus Hammann, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Didaktik der Biologie, Fliegenerstr. 21, 48149 Münster; Tel.: (0251) 83 31362, Fax: (0251) 83 31330, E-Mail: hammann.m@uni-muenster.de; Prof. Dr. Horst Bayrhuber, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Olshausenstr. 61, 24098 Kiel, Tel.: (04346) 7172, E-Mail: bayrhuber@ipn.uni-kiel.de; Dr. Thi Thanh Ho Phan, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften, Olshausenstr. 61, 24098 Kiel, Tel.: (0431) 880-1616, E-Mail: phanthanhhoi@yahoo.de



Kompetenzdiagnostik

Zeitschrift für Erziehungswissenschaft. Sonderheft 8 |  
2007

Prenzel, M.; Gogolin, I.; Krüger, H.-H. (Hrsg.)

2008, IV, 213 S., Softcover

ISBN: 978-3-531-15495-4