

### Systemkompetenz durch Einsatz analoger vs. digitaler Modelle fördern

Die Herausforderungen im Kontext des globalen Klimawandels und der planetaren Grenzen des Systems Erde lassen die grundlegende Bedeutung von Systemkompetenz zur Analyse und Bewältigung komplexer dynamischer Probleme deutlich werden. Die notwendigen Schritte zur Erreichung der globalen Nachhaltigkeitsziele setzen eine raumbezogene Handlungskompetenz aller beteiligten Akteure voraus, die maßgeblich auf einer vernetzten Einsicht in die Zusammenhänge von natürlichen und gesellschaftlichen Systemen beruht. Aus didaktischer Sicht steht in der vorliegenden Studie daher die Forschungsfrage im Vordergrund, auf welche Weise die Systemkompetenz von Schülerinnen und Schülern (SuS) im Kontext raumwirksamer Mensch-Umwelt-Beziehungen bestmöglich gefördert werden kann. Den thematischen Rahmen bildet das Phänomen der Bodenerosion im Kontext des Klimawandels. Neben den bereits heute gegebenen Risiken und Gefährdungen ist hierbei durch die im Klimawandel zu erwartende Häufung von Starkniederschlagsereignissen und die jahreszeitliche Veränderung der Bodenfeuchteverhältnisse eine Verschärfung des Gefährdungspotenzials für landwirtschaftlich genutzte Böden wahrscheinlich. Das in Bezug auf das lebensweltliche Umfeld der SuS erarbeitete Phänomen steht daher stellvertretend für komplexe und dynamische Mensch-Umwelt-Systeme.

#### Forschungsfrage und Studiendesign

Ausgehend von einem naturwissenschaftlich geprägten Systemverständnis und dem Bestreben der Systemwissenschaft, komplexe Systeme modellhaft zu erfassen, rückt die Modellbildung auch in der Frage nach gewinnbringenden methodisch-didaktischen Ansätzen zur Förderung des systemischen Denkens in den Mittelpunkt des Interesses. Aus dem Nebeneinander von konkret-gegenständlichen Modellen und Computersimulationen als rechnergestützten Verfahren der Modellierung leitet sich für die vorliegende Studie (vgl. Brockmüller, 2019) die zentrale Forschungsfrage ab, welches Potenzial diese Methoden einzeln oder in Kombination zur Förderung der Systemkompetenz von SuS aufweisen.



Abb. 1: Treatmentgruppen - (1) analoges Modell, (2) digitales Modell und (3) Kombination

Zur Lernwirksamkeit unterschiedlicher methodisch-medialer Settings liegen dabei verschiedene, in ihren Ergebnissen heterogene und zum Teil widersprüchliche Forschungsarbeiten vor. Bei vielen Studien wurden analoge und digitale Medien und Methoden einander einzeln gegenübergestellt, jedoch nicht kombiniert (z.B. Edsall & Wentz, 2007), bei anderen wies die kombinierte Intervention eine längere Zeitdauer auf als die vergleichend eingesetzte Computersimulation (z.B. Rieß & Mischo, 2008). Vor dem Hintergrund dieses Forschungsstandes untersucht die hier vorgestellte empirische Vergleichsstudie (Brockmüller, 2019) im experimentellen Prä-Post-Test-Design die

Veränderung der kontextuellen Systemkompetenz von SuS durch Einsatz (1) eines analogen Bodenerosionsmodells, (2) eines digitalen Bodenerosionsmodells bzw. (3) einer Kombination beider Zugänge, bei jeweils gleicher Zeitdauer der Interventionen (Abb. 1).

### **Struktur und Messung des Konstrukts Systemkompetenz**

Zur Frage der Dimensionalität und Messung des Konstruktes „Systemkompetenz“ liegen im Kontext raumwirksamer Mensch-Umwelt-Beziehung eine Reihe theoretischer wie auch evidenzbasierter Erkenntnisse vor, die sich jedoch in Teilen kontrovers gegenüberstehen. Den konzeptionellen Bezugsrahmen der Forschungsarbeit bildet hierbei das von Rieß, Schuler & Hörsch (2015) entwickelte heuristische „Freiburger Kompetenzstrukturmodell zum systemischen Denken“ mit besonderer Schwerpunktsetzung auf der Systemmodellierung. Für die vier in diesem Kompetenzmodell ausgewiesenen Dimensionen A: „Systemtheoretisches Grundwissen“, B: „Systemelemente und Wechselwirkungen identifizieren, abbilden und interpretieren“, C: „Mittels Systemmodellen Erklärungen geben, Prognosen treffen und Strategien entwerfen“ sowie D: „Gültigkeit und Vorhersageunsicherheit von Systemmodellen bestimmen“ werden Testitems mit Bezug zum Themenfeld Bodenerosion entwickelt. Aufbauend auf den Erkenntnissen der Pilotierungsstudie (n = 78 SuS, vgl. Brockmüller et al., 2016) kann in der Hauptstudie (n = 203 SuS der gymnasialen Klassenstufen 10 bis 12) die Validität des überarbeiteten Systemkompetenztests durch eine substanzielle Übereinstimmung der inhaltlichen Expertenratings (Fleiss'  $\kappa$  0,79) sowie eine akzeptable interne Konsistenz der vier Skalen (Cronbachs  $\alpha$  A: 0,54, B: 0,78, C: 0,70, D: 0,78) belegt werden. Strukturentdeckende statistische Verfahren (exploratorische Faktorenanalyse) lassen im Ergebnis auf vier zugrunde liegende Faktoren schließen. Auch bei Anwendung der strukturbestätigenden konfirmatorischen Faktorenanalyse kann die Modellpassung des vierdimensionalen Modells anhand von akzeptablen statistischen Modellgütekriterien bestätigt werden. Auf Grundlage eines Strukturgleichungsmodells (konfirmatorische Faktorenanalyse zweiter Ordnung) können schließlich die Korrelationen zwischen den Kompetenzdimensionen auf ein übergeordnetes Gesamtkonstrukt im Sinne von Systemkompetenz zurückgeführt werden. Die heuristischen Annahmen einer vierdimensionalen Kompetenzstruktur zum systemischen Denken nach Rieß et al. (2015) können somit auf Grundlage des Datensatzes der vorliegenden Studie empirisch fundiert werden. Ein von Mehren, Rempfler, Ulrich-Riedhammer, Buchholz & Hartig (2015, 2016, 2018) theoretisch hergeleitetes und empirisch überprüftes Kompetenzstruktur- und -stufenmodell umfasst zwei Dimensionen, die als „Systemorganisation und Systemverhalten“ sowie „Systemadäquate Handlungsintention“ ausgewiesen sind. Im Abgleich wird zunächst deutlich, dass diese beiden mit den o.g. Dimensionen B und C des Freiburger Modells große inhaltliche Ähnlichkeit aufweisen. Die in der vorgestellten Studie (Brockmüller, 2019) erreichten Modellgütemaße machen die darüber hinausgehende inhaltliche Bedeutung der Theorie- sowie der Reflexionsebene (Dimensionen A und D; Rieß et al., 2015) für das Konstrukt Systemkompetenz deutlich.

### **Systemkompetenzförderung durch analoge und/oder digitale Modelle**

Zur Untersuchung des Potenzials eines Einsatzes von analogen und digitalen Modellen und einer Kombination beider Methoden zur Förderung der auf diese Weise ausdifferenzierten Systemkompetenz wird die Stichprobe der Hauptstudie varianzanalytisch analysiert, um so u.a. der Forschungsfrage nachzugehen, ob statistisch bedeutsame Gruppenunterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten vor bzw. nach der Intervention bestehen. Der Mittelwert der über alle vier Dimensionen hinweg mit einem Gesamtscore erfassten Systemkompetenz liegt in der Gruppe, die eine kombinierte analoge und digitale Intervention durchlaufen hat, signifikant höher als in der Gruppe mit reiner Computersimulation ( $p = 0,024$ , bei kleiner Effektgröße Cohens  $f$  von 0,1; Abb. 2).

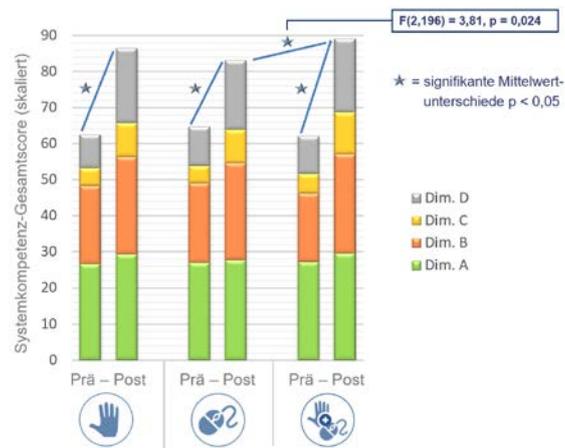


Abb. 2: Mittelwertvergleich der skalierten Systemkompetenz-Scores (Prä-Post) gesamt und nach Systemkompetenz-Dimensionen A - D für die drei Treatmentgruppen (rm-ANOVA)

Im Vergleich der vier einzelnen Systemkompetenz-Dimensionen zeigt sich, dass dieser Effekt in der Dimension B statistisch bedeutsam ausgeprägt ist. In den Dimensionen A und D führt der Systemkompetenzzugewinn durch unterrichtlichen Einsatz der Modell-Kombination nicht über das durch rein analogen Modelleinsatz erreichte Maß heraus, während in den Dim. B und C ein spezifischer didaktischer Mehrwert durch den verknüpften Einsatz von analogen und digitalen Bodenerosionsmodellen entsteht (Abb. 3).

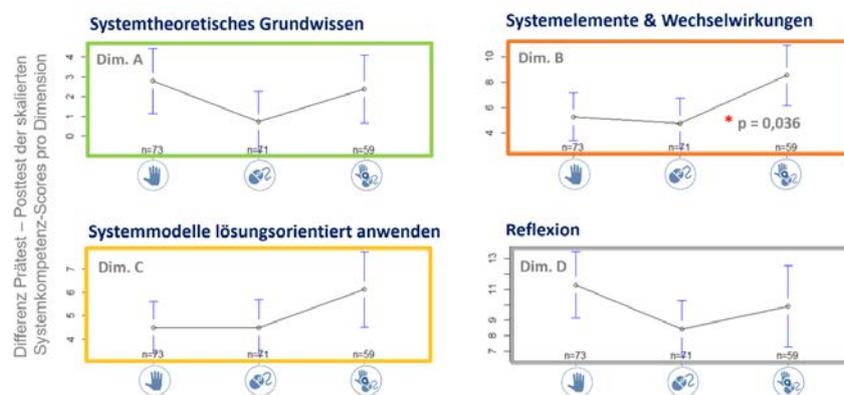


Abb. 3: Varianzanalyse ohne Messwiederholung zum Vergleich der Systemkompetenzveränderung (=Differenz Prä-Post) in den Dim. A - D für die drei Treatmentgruppen

### Fazit

In der Gesamtschau liefern die Ergebnisse der vorliegenden Studie neben einem theoretischen Beitrag zur Aufdeckung der Struktur von Systemkompetenz im Kontext raumwirksamer Mensch-Umwelt-Beziehungen insbesondere auch evidenzbasierte unterrichtspraktische Hinweise zur Kompetenzentwicklung. Der am Beispiel Bodenerosion exemplarisch untersuchte kombinierte Einsatz analoger und digitaler Modelle zur Erarbeitung der komplexen Dynamik von Bodenerosion führt, verglichen mit dem alleinigen Einsatz digitaler Modelle, bei gleichem Zeitaufwand zu einer signifikant besseren Förderung der Systemkompetenz von SuS.

**Literatur**

- Brockmüller, S., K. Viehrig, C. Schuler, J. Mrazek, D. Volz & A. Siegmund (2016). Enhancement of Geographical Systems Thinking through the Use of Models. In J. Lavonen, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto & K. Hahl (Eds.), Part 1: Learning Science: Conceptual Understanding. Electronic Proceedings of the ESERA 2015 Conference. Science Education Research: Engaging Learners for a Sustainable Future. Helsinki, Finland: University of Helsinki, 158–168
- Brockmüller, S. (2019). Erfassung und Entwicklung von Systemkompetenz – Empirische Befunde zu Kompetenzstruktur und Förderbarkeit durch den Einsatz analoger und digitaler Modelle im Kontext raumwirksamer Mensch-Umwelt-Beziehungen. Dissertation. Heidelberg: Pädagogische Hochschule Heidelberg. URL: <https://opus.ph-heidelberg.de/frontdoor/index/index/docId/340>
- Edsall, R. & E. Wentz (2007). Comparing Strategies for Presenting Concepts in Introductory Undergraduate Geography. In *Journal of Geography in Higher Education*, 31 (3), 427–444
- Mehren, R., A. Rempfler, E.-M. Ulrich-Riedhammer, J. Buchholz & J. Hartig (2015). Wie lässt sich Systemdenken messen? Darstellung eines empirisch validierten Kompetenzmodells zur Erfassung geographischer Systemkompetenz. In *Geographie aktuell und Schule*, 37 (215), 4–15
- Mehren, R., A. Rempfler, E.-M. Ulrich-Riedhammer, J. Buchholz & J. Hartig (2016). Systemkompetenz im Geographieunterricht. In *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22 (1), 147–163
- Mehren, R., A. Rempfler, J. Buchholz, J. Hartig & E. M. Ulrich-Riedhammer (2018). System Competence Modelling: Theoretical Foundation and Empirical Validation of a Model Involving Natural, Social and Human-Environment Systems. In *Journal of Research in Science Teaching*, 55 (5), 685–711
- Rieß, W. & C. Mischo (2008). Wirkungen variierten Unterrichts auf systemisches Denken“. In U. Frischknecht-Tobler, U. Nagel & H. J. Seybold (Eds.), *Systemdenken – Wie Kinder und Jugendliche komplexe Systeme verstehen lernen*. Zürich: Pestalozzianum, 135–147
- Rieß, W., S. Schuler & C. Hörsch (2015). Wie lässt sich systemisches Denken vermitteln und fördern? In *Geographie aktuell und Schule*, 37 (215), 16–29