

Küstenphysik für außerschulische Lernorte didaktisch rekonstruieren

Das Projekt wurde durch die Deutsche Bundestiftung Umwelt DBU finanziert und war im Promotionsprogramm GINT (<https://uol.de/gint/>) angesiedelt. Es setzt an die Erkenntnisse aus einer Interviewstudie an (Bliesmer, 2016; Roskam, 2016), in der Leitende von Ausstellungshäusern an der Küste nach ihren Bildungsangeboten befragt wurden. Es wurde ermittelt, dass in den Einrichtungen auf biologische Themen fokussiert wird; u. a. weil bei physikalischen Themen Aversionen aufseiten der Besucher:innen befürchtet werden. Die Entwicklung der aufwendigen Exponate wird durch Ausstellungsagenturen und Fachwissenschaftler:innen vorgenommen, die jedoch über keine ausgewiesene fachdidaktische Kompetenz verfügen. Um auf diese Erkenntnisse zu reagieren, ist im vorliegenden Projekt eine Didaktische Rekonstruktion von physikalischen Inhalten im Kontext Küste durchgeführt worden. Ziel war die Formulierung von fachdidaktischen Leitlinien, die als "Bausteine für didaktische Strukturierungen" dienen können (Bliesmer, 2020). Sie werden aktuell eingesetzt, um neue Exponate für die Ausstellungshäuser zu entwickeln.

Ziele sowie korrespondierende Forschungs- und Entwicklungsaufgaben

Die Ausstellungshäuser an der Küste sind non-formale Lernorte. Sie grenzen sich von formalen Lernorten ab, indem Besucher:innen die dortigen Bildungsangebote freiwillig nutzen. Falk und Dierking (2002) bezeichnen dies als free-choice learning. Da der Fokus der Lernorte wegen der befürchteten Physik-Aversionen auf biologischen Themen liegt, besteht die Gefahr einer self-fulfilling prophecy (Merton, 1948): Ohne physikalische Inhalte kann auch keine physikbezogenes free-choice-learning angeregt werden und Besucher:innen können nicht erleben, dass physikalische Inhalte zugänglich sind und über lebensweltlichen Bezug verfügen. Ausgewiesene fachdidaktische Unterstützung stellt bei der Gestaltung neuer Exponate eine Ausnahme dar. Deswegen wurden für das Projekt zwei zentrale Ziele festgelegt: Zum einen soll ein physikalischer Inhalt im Kontext Küste für die Ausstellungshäuser fachdidaktisch aufbereitet werden. Zum anderen soll den Leitenden der Lernorte und den Agenturen der Wert fachdidaktischer Arbeitsweisen verdeutlicht werden. Um beide Ziele zu erreichen, wurde die Didaktische Rekonstruktion (Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek & Parchmann, 2012) als theoretische Rahmung herangezogen. Denn als genuin fachdidaktisches Forschungs- und Entwicklungsmodell bezieht sie die fachliche Sicht und die Sichtweisen von Lernenden explizit ein und strebt an, beide aufeinander zu beziehen.



Abb. 1. F&E-Aufgaben im Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Duit et al., 2012)

Im Folgenden werden die Forschungs- bzw. Entwicklungsarbeiten exemplarisch vorgestellt, die in den drei Aufgabenfeldern der Didaktischen Rekonstruktion (Abb.1) geleistet wurden.

Fachliche Klärung

Es wurde eine Elementarisierung (Bleichroth, 1991) vorgenommen. Dies meint das Herausarbeiten von fachlichen Grundideen (Elementaria) aus der Fachliteratur, die nötig sind, um den zu klärenden Inhaltsbereich zu entschlüsseln. Im vorliegenden Projekt wurde der inhaltliche Fokus auf Strömungen und Strukturbildungen gelegt, weil beide Phänomene die Gestalt sowie Dynamik der Küste charakterisieren und einer direkten Primärerfahrung zugänglich sind. Zur Elementarisierung wurde Fachliteratur aus der Thermodynamik (Blundell & Blundell, 2010), der Kontinuumsmechanik (Spurk & Aksel, 2010; Wilde, 1978) und der Theorie komplexer Systeme (Bar-Yam, 2003; Mainzer, 1999) analysiert. Hinzu kamen wissenschaftliche Journals zu konkreten Strukturbildungsphänomenen (z. B. Rippel, Dünen, Wirbelstürme, Priele etc.). Bei Strömungen wurde mit Blick auf die Navier-Stokes-Gleichungen (Wilde, 1978) die Bedeutung von Unterschieden herausgearbeitet: So führen Temperatur- und Konzentrationsunterschiede in Fluiden zu sogenannten freien Strömungen. Äußere Kräfte bewirken erzwungene Strömungen, wobei die Strömungen das Resultat der durch die Kräfte auf das Fluid hervorgerufenen Impulsdichteunterschiede sind. In allen Fällen bewirkt die resultierende Strömung einen Ausgleichsprozess: Impulsdichte-, Temperatur- und Konzentrationsunterschiede verringern sich. Diese Prozesse laufen ohne äußeren Zwang ab und gehen mit einer Erhöhung der Entropie im System einher. Der Ausgleich von Unterschieden und die hierdurch hervorgerufene Entropieerhöhung sind ein elementares Naturprinzip, das sich in Strömungen phänomenologisch manifestiert.

Das Ausgleichsprinzip darf jedoch nicht übergeneralisiert werden. Es bedeutet nicht, dass die Entropie zu jeder Zeit und an jedem Ort ansteigen muss. Es sind durchaus Entropieverringerungen möglich, solange diese an einer andere Stelle mindestens kompensiert werden, sodass die Entropie im Gesamtsystem stets ansteigt. Selbstorganisierte Strukturbildungen sind die phänomenologische Manifestation einer solchen Entropieverringerung und bedürfen keiner ordnenden Intelligenz. Sie stellen sich von selbst allein durch das Wechselspiel von positiven und negativen Rückkopplungsprozessen (also Selbstverstärkung bzw. Selbstbeschränkung) ein. Rippel (Kampa, 2010; Ayrton, 1910) entstehen bspw. dadurch, dass es zunächst zu einer Selbstverstärkung kommt: Liegt an einer Stelle etwas mehr Sand oder befindet sich ein Hindernis im Sand, dann bleibt dort bevorzugt Sand hängen, wenn dieser durch eine Strömung bewegt wird. Es bildet sich dadurch eine Sandanhäufung, die ihrerseits als noch größeres Hindernis fungiert, sodass noch mehr Sand hängen bleibt (pos. Rückkopplung). Die Anhäufung wächst. Dem Wachstum sind allerdings Grenzen gesetzt. Irgendwann wird eine kritische Steigung erreicht, ab der weiterer Sand von der Anhäufung herunterrutscht bzw. herunterrollt. Außerdem wird durch die Anhäufung die Strömung selbst beeinflusst: Hinter der Anhäufung bilden sich Wirbel aus, was eine Anlagerung von Sand dort verhindert (negative Rückkopplung). Erst in gewissem Abstand zur Anhäufung in Strömungsrichtung kann sich eine erneute Anhäufung bilden, sodass sich insgesamt eine Struktur bildet. In mehreren Journals zu unterschiedlichsten Strukturbildungen finden sich Rückkopplungen als Ursache, um die sich bildenden Strukturbildungen zu erklären (z. B. Luo, Zhou & Gao, 2006; Ooyama, 1982; Smyth & Moum, 2012; Hargreaves, 2003; Stølum, 1996; Ikeda & Apel, 1981). Deshalb sind Rückkopplungsprozesse und deren Wechselspiel Elementaria der selbstorganisierten Strukturbildung.

Sicht der Lernenden erfassen

Mit problemzentrierten Interviews (Witzel, 1985) wurden Lernende nach ihren Begriffsbildungen (Edelmann & Wittmann, 2012) und Erklärungskonzepten (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982) zu Strömungen und Strukturbildungen befragt: Die Interviews wurden unterstützt durch Bilder von Strömungen und Strukturbildungen sowie durch Realexperi-

mente, die während der Interviews durchgeführt wurden. Die Auswertung der Daten erfolgte durch eine kategoriengeleitete qualitative Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018).

Beispielhafte Forschungsergebnisse

Lernende assoziieren Strömungen mit Kollektivität und sehen sie als Gefahr für Leib und Leben. Folglich ordnen sie Strömungen eine Mindestgeschwindigkeit/-menge zu. Die Befragten stufen Strukturbildungen gleichermaßen als regelmäßig und unregelmäßig ein, je nachdem, mit welchem Zustand sie sie gedanklich vergleichen. Die Lernenden ziehen sowohl bei Strömungen als auch bei Strukturbildungen ein Übertragungsprinzip heran, indem sie bezüglich Strömungen erklären, wie kleinere Wasserbewegungen sich zu einer Strömung vereinigen. Bei Strukturbildungen nehmen sie an, dass bspw. eine Wasserwelle schon so strukturiert ist wie ein Rippelmuster und sich dann in den Sand hineindrückt und so das Muster bildet. In beiden Fällen geraten sie an ein 'Henne-Ei-Problem', weil sie in ihrer Argumentation bereits Strömungen bzw. Strukturbildungen voraussetzen, um deren Entstehung zu erklären. Außerdem vermuten sie mit Blick auf Strukturbildungen im Sand, dass die Struktur bereits in den Agenten des Systems (also den Sandkörnern) vorangelegt ist und sich dann schließlich im Gesamtsystem als Rippel widerspiegelt. Sie verkennen daher die emergenten Eigenschaften des Systems aus Wasser und Sand.

Didaktische Strukturierung

Die Elementaria wurden mit den empirisch erhobenen Sichtweisen der Lernenden systematisch verglichen, um Bausteine für didaktische Strukturierungen zu entwickeln. Das sind Vorschläge, wo sich kontinuierliche Lernwege und diskontinuierliche Lernwege anbieten (Duit, 2007). Insgesamt wurden 32 Bausteine formuliert (Bliesmer, 2020).

Beispielhafte Bausteine für eine didaktische Strukturierung

Es empfiehlt sich mit Blick auf Strömungen an die Vorstellungen der Lernenden anzuknüpfen, indem zunächst die Gefährlichkeit von Strömungen im Meer thematisiert wird. Ausgehend hiervon wird dann zu kleinräumigeren Strömungen, z. B. des Bluts im Körper, übergegangen. Gleiches gilt für die Erklärung von Strömungen: Hier böte sich an, mit erzwungenen Strömungen zu beginnen, die durch Pumpen oder Ventilatoren erzeugt werden. Denn diese haben eine große Nähe zum Übertragungsprinzip, das von den Lernenden zur Erklärung herangezogen wird. Im Anschluss ließe sich dann im Kontext von Wasserbewegungen im Meer zu freien Strömungen überleiten, die durch Temperatur- und Konzentrationsunterschiede entstehen, um auf das Ausgleichsprinzip zu sprechen zu kommen. Hinsichtlich der Beschreibung von Strukturbildungen ist angezeigt, Begriffe wie "Regelmäßigkeit" bzw. "Unregelmäßigkeit" zu vermeiden und zu einem Konzept der "Ähnlichkeit" umzudeuten. Denn dies fordert zu einem Vergleich auf und legt den Fokus auf wiederkehrende Elemente innerhalb der Struktur. Bei ihren Erklärungen von Strukturbildungen sind die Lernenden mit dem Henne-Ei-Problem zu konfrontieren, um zu verdeutlichen, dass ihr Übertragungsprinzip nicht in der Lage ist, die Entstehung von Strukturbildungen zu entschlüsseln, sondern einer Erklärung durch Verlagerung lediglich ausweicht.

Einsatz der Bausteine für eine didaktische Strukturierung

Durch die Bausteine für eine didaktische Strukturierung konnte eine Zusammenarbeit im Dreieck "Ausstellungshaus-Lernort-Fachdidaktik" etabliert werden. Aktuell wird in dieser Zusammenarbeit ein Ausstellungsbereich zum Thema Gezeiten in Wilhelmshaven neu gestaltet. Zusätzlich wird eine Broschüre für außerschulische Lernorte entwickelt, die den Prozess der Didaktischen Rekonstruktion mit besonderem Fokus auf die Erfassung der Lernendenperspektiven für die Leitenden außerschulischer Lernorte verdeutlicht.

Literatur

- Ayrton, H. (1910). The Origin and Growth of Ripple-Mark. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 84(571), 285-310.
- Bar-Yam, Y. (2003). *Dynamics of Complex Systems*. Boulder: Westwing Press.
- Bleichroth, W. (1991). Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung. *Naturwissenschaft im Unterricht. Physik*, 39, 4-11.
- Bliesmer, K. (2016). *Fachdidaktische Analyse von Bildungsangeboten norddeutscher Meeresforschungsinstitute*. Masterarbeit: Universität Oldenburg.
- Bliesmer, K. (2020). *Physik der Küste für außerschulische Lernorte. Eine Didaktische Rekonstruktion* (= Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 306). Berlin: Logos Verlag.
- Blundell, S. J. & Blundell, K. M. (2010). *Concepts in Thermal Physics*. Oxford: University Press.
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- Duit, R. (2007). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher, R. Girwitz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (S. 581-606). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a Framework for improving Teaching and learning Science. In: D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe. Retrospective and Prospective* (S. 13-37). Rotterdam, Boston, Taipei: Sense Publishers.
- Edelmann, W. & Wittmann, S. (2012). *Lernpsychologie*. Weinheim: Beltz.
- Falk, J. H. & Dierking, L. D. (2002). *Lessons without limit: How Free-Choice Learning is Transforming Education*. Lanham, MD: AltaMira Press.
- Hargreaves, J. K. (2003). The Solar-Terrestrial Environment. *An Introduction to Geospace – the Science of the Terrestrial Upper Atmosphere, Ionosphere, and Magnetosphere*. Cambridge: University Press.
- Ikeda, M. & Apel, J. R. (1981). Mesoscale Eddies Detached from Spatially Growing Meanders in an Eastward-Flowing Oceanic jet Using a Two-Layer Quasi-Geo-strophic Model. *Journal of Physical Oceanography*, 11(12), 1638-1661.
- Kampa, I. (2010). *Warum bilden sich Wellenmuster im Sand?* Welt der Physik. Online verfügbar unter: <https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/wellenmuster/> [Zugriff: 15.10.2021].
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Luo, Z., Zhou, X & Gao, S. (2006). Two possible mechanisms for vortex self-organization. *Science in China. Series D. Earth Sciences*, 49(2), 202-211.
- Mainzer, K. (1999). *Komplexe Systeme und Nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Merton, R. K. (1948). The Self-Fulfilling Prophecy. *The Antioch Review*, 8(2), 193-210.
- Ooyama, K. V. (1982). Conceptual Evolution of the Theory and Modeling of the Tropical Cyclone. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 60(1), 369-380.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227
- Roskam, A. (2016). *Fachdidaktische Analyse außerschulischer Repräsentationen der (geo-)physikalischen Dynamik im Wattenmeer und an der Küste*. Masterarbeit: Universität Oldenburg.
- Smyth, W. D. & Moum, J. N. (2012). Ocean Mixing by Kelvin-Helmholtz Instability. *Oceanography*, 25(2), 140-149.
- Spurk, J. & Aksel, N. (2010). *Strömungslehre. Einführung in die Theorie der Strömungen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Stølum, H. H. (1996). River Meandering as a Self-Organization Process. *Science*, 271(5256), 1710-1713.
- Wilde, K. (1978). *Wärme- und Stoffübergang in Strömungen*. Darmstadt: Steinkopff.
- Witzel, A. (1985). Das problemzentrierte Interview. In G. Jüttemann (Hrsg.), *Qualitative Forschung in der Psychologie* (S. 227-255). Weinheim: Beltz.