

# Online-Supplement zu Emden & Colberg (2025) „Die naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen im Lehrplan 21 – Rekonstruktion einer Typologie aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive.“

DOI.10.25321/prise.2025.1574

## 1 Einleitung

In den dreizehn Zellen der Typologie der naturwissenschaftsbezogenen Arbeitsweisen in den DAH des Lehrplan 21 finden sich methodische Zugänge der Erkenntnisgewinnung für den naturwissenschaftlichen Unterricht konkretisiert. Optimalerweise fällt jeder Zelle eine diskrete naturwissenschaftsbezogene Arbeitsweise zu, die sich durch ihre Einordnung in ein dreidimensionales Netz ergibt. Die Einordnung erfolgt nach Massgabe (1) der Invasivität einer Arbeitsweise, d. h. ob der Untersuchungsgegenstand willentlich verändert wird; (2) der Herangehensweise an den Gegenstand, d. h. ob man ihm selektiv oder holistisch gegenübertritt; (3) der kognitiven Belastung beim Umgang mit der Arbeitsweise, d. h. wie stark das Arbeitsgedächtnis belastet oder vorgängig entlastet wird.

Wir wollen in dieser Beilage versuchen, die dreizehn Zellen durch illustrierende Beispiele voneinander zu unterscheiden. Den vier Hauptquadranten der Typologie, die sich durch die Schnittmenge von Invasivität und Herangehensweise ergeben, werden Oberbegriffe zugeschrieben, die sich entlang der Cognitive-Load-Dimension in einzelne naturwissenschaftsbezogene Arbeitsweisen des Lehrplan 21 differenzieren. Dabei kommt es unweigerlich zur Doppelnutzung von Begriffen, die zum Teil durch die Setzung römischer Zahlen aufgefangen werden soll.

Notwendig werden diese Gruppennamen, weil die DAH keine Differenzierungen für nicht-invasive, holistische Arbeitsweisen vorsehen. Die drei Zellen des Quadranten lassen sich jedoch bruchlos mit unterrichtspragmatischen Ausdifferenzierungen, d. h. bewährten Exkursionsmethoden füllen. Gleichermassen ergäbe sich innerhalb des Kontinuums invasiv-selektiver Arbeitsweisen eine ‚Lücke‘ für moderat kognitiv belastende Experimentieransätze – auch solche methodischen Realisierungen lassen sich leicht in der fachdidaktischen Literatur identifizieren. Die gewählten Oberbegriffe nutzen – auch im Interesse eines intuitiven Verständnisses – die Bezeichnung für die prototypischste Arbeitsweise des jeweiligen Quadranten als ‚Label‘. Nichtsdestoweniger anerkennen wir die problematische Normativität dieses Vorschlags.

## **2. Nicht-invasive, holistische Arbeitsweisen (Erkunden I-III)**

Allen Arbeitsweisen ist gemein, dass sie nicht-invasiv vorgehen, sondern ihre Gegenstände unverändert wahrnehmen und beschreiben. Die Nutzung von nicht-zerstörenden Instrumenten wie Längenmessern, Lupen, Mikroskopen o.ä. wird in diesem Zusammenhang als nicht-invasiv verstanden.

Die hier gesammelten holistischen Vorgehensweisen beziehen sich auf die Aufnahme von instrumentell leicht ablesbaren Einzeldaten (Grösse, Lage, Farbe, Anzahl ...). Es geht den holistischen Verfahren um die Aufnahme und Dokumentation ungeordneter Ansammlungen von Untersuchungsgegenständen. Klassische Verfahren der Kartierung fallen unter diese Arbeitsweisen.

### **2.1 Erkunden I – Überblicksexkursion**

Lehrpersonen besuchen mit ihrer Klasse ein Salzbergwerk. An vordefinierten Positionen werden durch die Lehrperson oder Lernendengruppen Kurzreferate zu dieser Position gehalten – z. B. zu den Arbeitsbedingungen, zur Geologie und Erdgeschichte, zu einzelnen Werkzeugen oder zu weiteren Prozessschritten in der Aufarbeitung des Salzes. Die Lernenden folgen Vorträgen von Expert:innen und können die Ausführungen an Realobjekten nachvollziehen. Der aktive Eigenanteil ist gering. Lernende können zum Abschluss den prinzipiellen Weg des Salzes aus dem Bergwerk ‚auf den Tisch‘ skizzieren.

### **2.2 Erkunden II – Arbeitsexkursion**

Lehrpersonen bestimmen mit ihren Lernenden an einem Fliessgewässer dessen Wassergüte mittels Bioindikatoren. Lernende sind instruiert, welche Zeigerorganismen sie wie erkennen können und dokumentieren sollen. Jede Lernendengruppe bearbeitet selbständig einen Beobachtungsquadranten am Fliessgewässer. Die Lehrperson hält Bestimmungsschlüssel und Dokumentationsvorlagen bereit. Die Lernenden können in der Nachbereitung die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsgruppen zu einem Gesamtbild verknüpfen und ein ausgewogenes Urteil zur Wassergüte fällen.

### **2.3 Erkunden III – Spurensuche**

Lehrpersonen besuchen mit ihren Lernenden ein Science Center. Der vorausgehende Unterricht zum Thema Schwingungen hat die Lernenden mit dem Konzept harmonischer Oszillatoren vertraut gemacht. Im Science Center sind sie nun aufgefordert, das Konzept ‚wiederzufinden‘ und für eine Vorstellung im Klassenunterricht mit dem Smartphone zu dokumentieren und auf das Unterrichtsthema zu beziehen.

### **3 Nicht-invasive, selektive Arbeitsweisen (Beobachten I-III)**

Gleich dem Erkunden I-III wird in diesen Arbeitsweisen der Lerngegenstand in seiner Struktur nicht verändert. Jegliche Datenaufnahme wird durch die blossen Sinne oder durch sinnunterstützende Instrumente (Teleskop, Oszilloskop, Mikrophon, Messwertverstärker) gewährleistet.

Die Herangehensweise ist selektiver Natur, d. h. es wird nicht ‚nur‘ eine Listung von Einzeldaten angestrebt, sondern die Auswahl der Beobachtungsobjekte und -kriterien ist theoretisch fokussiert: Das Balzverhalten von Vogel Männchen wird nicht zufällig, sondern im weitesten Sinne theoriegeleitet in den Blick genommen. Ablesbare Muster werden als Zusammenhänge interpretiert („Die verhalten sich seltsam – also anders als sonst –, weil sie vielleicht die Weibchen beeindrucken wollen, damit die sich dann mit ihnen paaren.“).

#### **3.1 Beobachten Ia – Betrachten**

Lernende setzen sich mit dem Zellaufbau von Zwiebelgewebe auseinander. Unter dem Mikroskop können sie beispielsweise Zellwände, intrazellulären Raum und den Zellkern erkennen. Die Begrenzung durch Zellwände lässt auf die strukturelle Integrität von Zwiebeln schliessen (Bausteinanalogie). Der intrazelluläre Raum kann als Wasserreservoir interpretiert werden (Druckelastizität). Der Zellkern ist zunächst bedeutungslos.

#### **3.2 Beobachten Ib – Beobachten i.e.S.**

Lernende beschäftigen sich mit dem ‚Rosinenaufzug‘. An getrockneten Weinbeeren adsorbieren in kohlenensäurehaltiger Lösung Gasblasen. Die Gasblasen wachsen. Mit wachsendem Blasenvolumen steigen die getrockneten Weinbeeren auf, bis die Blasen desorbieren und die Weinbeere wieder absinkt. Das Auf und Ab der Weinbeere wird als Funktion der Gasbelastung gedeutet.

#### **3.3 Beobachten II – Vergleichen**

Statische Gegenstände: Lernende bestimmen qualitativ die Helligkeit von zwei parallel geschalteten Glühlampen mit der Helligkeit zweier seriell geschalteter Glühlampen. Sie stellen fest, dass die seriell geschalteten Lampen weniger hell leuchten als die parallel geschalteten.

Dynamische Phänomene: Lernende lösen Würfelzucker und Puderzucker in Wasser. Selbst bei wenig kontrollierten Bedingungen erkennen sie, dass sich der feinere Zucker (höherer Zerteilungsgrad) schneller löst als der gröber granuliert.

#### **3.4 Beobachten III – Ordnen**

Statische Gegenstände: Lernende setzen die Körpergrösse von Kaiserpinguinen, Magellanpinguinen und Adelpinguinen ins Verhältnis zu ihren Habitaten. Sie stellen fest, dass die Körpergrösse zum Pol hin zunimmt, was maximalem Körpervolumen bei minimaler Körperoberfläche entspricht (Bergmannsche Regel).

Dynamische Phänomene; Lernende untersuchen periodische Eigenschaften der Elemente. Die Heftigkeit der Reaktion von Lithium, Natrium und Kalium mit Wasser unter Bildung von Wasserstoff legt die Schlussfolgerung einer Zunahme der allgemeinen Reaktivität nahe. (Die Reaktion von Kalium mit Wasser wird in einem Video gezeigt.)

## 4 Invasive, holistische Arbeitsweisen (Explorieren I-III)

Unter invasiven Arbeitsweisen werden hier all jene Arbeitsweisen verstanden, bei denen Explorierende aktiv und verändernd in den Gegenstand eingreifen. Hiermit kann gemeint sein, dass Untersuchungsbedingungen (z. B. Temperatur, Luftdruck, Salinität, pH-Wert) verändert werden oder dass die strukturelle Integrität eines Gegenstands aufgehoben wird durch bspw. Auf-, Zerschneiden, Lösen, Aufschrauben Zerschlagen etc. Gleichermassen gilt die Stimulation von Funktionen als Eingriff (Pupillenreflexe, Spannen einer Feder, etc.).

Zur Massgabe der Invasivität wird dementsprechend, ob ein Gegenstand während der Exploration so weiter besteht oder agiert wie vor der Exploration und ob wahrnehmbare Veränderungen auf den Eingriff von Explorierenden zurückzuführen ist. Die Vermessung von Gegenständen durch bspw. Längenmassstäbe, Waagen oder durch den Einsatz von Messwertverstärkern (z. B. Geiger-Müller-Zählrohr, Oszilloskope, Mikroskope und Lupen) wird in diesem Sinne als nicht-invasiv verstanden (s.a.o.). Gleichermassen wird die Aufnahme von Videos, Fotografien, Röntgenbildern oder Magnetresonanz-Bildern als nicht-invasiv betrachtet.

### 4.1 Explorieren I – Versuchen

Lernende setzen sich eng durch die Lehrperson geleitet mit einem Gegenstand auseinander. Sie erschliessen sich bspw. die Funktionsweise eines technischen Gerätes durch schrittweise Dekonstruktion des Geräts. Sie rekonstruieren z. B. die Funktionsweise eines Kepplerfernrohrs mit zwei Linsen. Die Lehrperson macht dabei auch darauf aufmerksam, dass die beiden Linsen unterschiedliche Brennweiten haben müssen.

### 4.2 Explorieren II – Explorieren i.e.S.

Lernende setzen sich weitgehend selbstgeleitet mit einem Gegenstand auseinander. Die Lehrperson gibt eine Problem- oder Fragestellung vor, die für alle Lernenden verbindend ist. Das Herausfinden von Funktionen eines unbekanntes technischen Gerätes stellt ein mögliches Lernsetting dar – im Prinzip ist jegliches Erlernen von Funktionsweisen eines technischen Geräts ohne Zuhilfenahme einer Gebrauchsanleitung unter diese Arbeitsweise zu fassen. Am Beispiel des Keppler-Fernrohrs könnte eine Problemstellung lauten, mit einem bestimmten Materialangebot eine möglichst grosse Vergrößerung zu erzielen. Eine Vielzahl von egg-races für den naturwissenschaftlichen Unterricht fällt in diese Kategorie.

### 4.3 Explorieren III – Untersuchen

Lernende setzen sich frei mit einem Gegenstand auseinander und untersuchen ihn hinsichtlich des Aufbaus. Dies kann sowohl technische Geräte betreffen als auch Gegenstände der Natur. Wesentlich ist, dass die Untersuchung einer gewissen Planmässigkeit folgt und dokumentiert wird. Die Sektion von Tierorganen oder Pflanzenteilen soll nicht in ein Gemetzel ausarten, sondern soll in kleinen Schritten vortastend ein möglichst umfassendes Bild eines Aufbaus liefern. Analog ist die Untersuchung eines technischen Geräts prinzipiell wieder umkehrbar, da Schritte der Dekonstruktion planvoll rückverfolgt und umgekehrt werden können – ein *untersuchtes* Uhrwerk kann im Nachhinein auch wieder zusammengesetzt werden.

## 5 Invasive, selektive Arbeitsweisen (Experimentieren I-III)

Wie bereits bei den invasiven, holistischen Arbeitsweisen wird hier unter Invasivität jeglicher, willentlicher Eingriff der Experimentatoren verstanden. Eingriffe können sich auf Bedingungen des Umfelds (pH-Wert, Salinität, Lichtverhältnisse) beziehen ebenso wie auf direkt in ein System (elektrische Muskelstimulation, Variation von Pendelmassen). Die Eingriffe werden im Zuge der Variablenkontrollstrategie nachvollziehbar gemacht und nach Möglichkeit isoliert (Vermeidung einer Konfundierung). Ziel der invasiven, selektiven Arbeitsweisen ist ultimativ die Ableitung kausaler Wirkzusammenhänge zwischen einer Beeinflussung und einem Effekt.

### 5.1 Experimentieren I – Laborieren / *verification inquiry*

Lernende müssen in Strategien der Variablenkontrolle eingeführt werden. Dies erfolgt pragmatischer Weise in sehr eng geführten Lernsettings, in denen die Strukturierung des Erkenntnisprozesses den Lernenden entlastend vorgegeben ist. In den – zu Unrecht in Verruf geratenen – ‚Kochbuch‘-Experimenten gibt die Lehrperson die Fragestellung eines Experiments ebenso wie die Durchführung und Schlussfolgerung vor. Sie nutzt die engführende Struktur, um die wechselseitige Abhängigkeit der Prozessschritte zu thematisieren.

In einem Experiment zur Gleitreibung führt die Lehrperson beispielsweise Gleitkörper mit unterschiedlichen Oberflächen und unterschiedlichen Massen ein. Gleichermassen stellt sie Gleitflächen mit unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten zur Verfügung sowie gleich dimensionierte Unterlegklötze zum Schiefstellen der Gleitflächen. Die Lehrperson bespricht mit den Lernenden, welche abhängige Variable (wie) zu erheben ist – bspw. die Gleitdauer entlang einer definierten Strecke mithilfe einer Stoppuhr. Dann lässt sie Vermutungen zu unterschiedlichen unabhängigen Variablen sammeln (z. B. Masse des Gleitkörpers, Gleitflächenbeschaffenheit des Gleitkörpers, Neigung der Gleitfläche) und erarbeitet mit den Lernenden die Variablenkontrollstrategie. In der Deutung der Messergebnisse achtet die Lehrperson sorgsam darauf, dass die Schlussfolgerung auf die Fragestellung (Ausgangsvermutung) zurückbezogen wird und dass eine Kausalbeziehung formuliert wird (z. B. „Je steiler ... desto schneller ...“).

### 5.2 Experimentieren II – *guided inquiry / structured inquiry*

Im Rahmen von moderat geöffneten Experimentierarrangements fällt Lernenden die Verantwortung zu, schrittweise einzelne Prozessschritte selbst zu füllen. Traditionelle Verfahren lassen sie zunächst selbständig Schlussfolgerungen ziehen, während Fragestellung und Vorgehen noch vorgegeben sind (*structured inquiry*). In einem weiteren Öffnungsschritt können Lernende selbst auch das Vorgehen während des Experimentierens bestimmen, wobei sie durch eine Vorauswahl von Experimentiermaterialien geleitet werden können (*guided inquiry*). Die Methode der Interaktionsboxen rekuriert auf diese Fassung von geöffnetem Experimentieren: Lernende sollen beispielsweise selbst herausfinden, wie eine Säure unschädlich zu machen ist. Zur Verfügung stehen ihnen mehrere Lösungen bekannten pH-Werts (1, 2, 12 und 13), skalierte Einwegspritzen sowie unterschiedliche Indikatoren (Rotkohllindikator bzw. Universalindikator).

### 5.3 Experimentieren III – Experimentieren i.e.S. / *open inquiry*

Im Prinzip stellt das offene Experimentieren das ultimative Ziel jeglichen Experimentalunterrichts dar. Lernende können in dieser Form den Prozess des zusammenhangklärenden Experimentierens vollständig selbst durchlaufen. Dies umfasst auch das Formulieren einer Forschungsfrage und das Ableiten einer Hypothese (bzw. einer Vermutung oder Idee). Im Rahmen eines Langzeitexperiments können Lernende beispielsweise die Wirksamkeit verschiedener Dünger auf das Pflanzenwachstum untersuchen oder sie entschliessen sich, den Einfluss der Salinität von Giesswasser auf Pflanzenwachstum zu erklären. Als Ausgangspunkt kann jeweils ein Problem formuliert werden, wie die Ernteerträge in erodierten Küstenregionen zu maximieren sind.