



C

Prozessbezogene Qualitätskriterien für den naturwissenschaftlichen Unterricht – Zehn Kriterien für wirksames didaktisches Handeln im Elementar- und Primarbereich

Jörg Ramseger

- 1 Einführung
- 2 Das Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts
- 3 Lerntheoretische und didaktische Prämissen
- 4 Wissenschaftliches Argumentieren im Grundschulalter
- 5 Qualitätskriterien
- 6 Relevanz und Hierarchie der einzelnen Kriterien
- 7 Ausblick

1. Einführung

Im folgenden Beitrag wird versucht, allgemeine Qualitätskriterien für didaktisches Handeln im naturwissenschaftlichen Unterricht zu bestimmen, anhand derer jeder Pädagoge und jede Pädagogin die Angemessenheit oder Unangemessenheit von unterrichtlichen und unterrichtsergänzenden Bemühungen zur naturwissenschaftlichen Grundbildung im Elementar- und Primarbereich überprüfen kann. Mit Unterricht sind hier alle schulischen, aber auch alle vor- und außerschulischen Bildungsangebote gemeint, durch die naturwissenschaftliche Kompetenzen bei Kindern im Vor- und Grundschulalter angebahnt werden sollen.

Die Bestimmung von Qualitätskriterien für professionelles Handeln im naturwissenschaftlichen Unterricht setzt voraus, zunächst Klarheit über die Zielsetzungen des Unterrichts zu gewinnen (Kap. 1). Anschließend geht es darum, anerkannte Prinzipien effektiven Lehrens und Lernens in der jeweiligen Disziplin zusammenzutragen, die in der allgemeindidaktischen Forschung der letzten 200 Jahre und in der fachdidaktischen Forschung der letzten 20 Jahre herausgearbeitet worden sind, und diese Prinzipien auf die zuvor bestimmten Ziele zu beziehen (Kap. 2 und 3). Diese Prinzipien lassen sich in Form von allgemeinen Erfolgskriterien für das didaktische Handeln ausdrücken (Kap. 4), die ihrerseits Orientierung für die Konstruktion wie auch für die Evaluation von Lehr-Lern-Situationen in unterrichtlichen und unterrichtsergänzenden Bildungsangeboten bieten. Diese Kriterien sind aber nicht alle gleichwertig, sondern lassen sich hinsichtlich ihrer Relevanz für das Gelingen von naturwissenschaftlichen Bildungsprozessen in der genannten Altersstufe hierarchisieren (Kap. 5).

Weiter unten wird somit ein Katalog von zehn Qualitätskriterien „auf mittlerem Abstraktionsniveau“ dargeboten, der teils lerntheoretisch, teils bildungstheoretisch und teils aus der Funktion und dem Auftrag der Bildungseinrichtungen begründet wird. Wenn hier von einem „mittleren Abstraktionsniveau“ gesprochen wird, soll damit angedeutet werden, dass die umfangreichen Studien zur Kompetenzmessung in der naturwissenschaftlichen Bildung, die derzeit an diversen Forschungseinrichtungen betrieben werden und zu sehr komplexen Erkenntnissen führen oder schon geführt haben (vgl. hier in diesem Band: Anders, Hardy, Pauen & Steffensky, 2013(a); Anders, Hardy, Sodian & Steffensky, 2013(b); ferner Doll & Prenzel, 2004), durch diesen Katalog keineswegs ersetzt werden können oder sollen. Allerdings sind die in diesen Forschungsprojekten entwickelten Kompetenztests in aller Regel nicht für die Hand der Pädagoginnen und Pädagogen gedacht, sondern dienen eher dem fachdidaktischen oder erziehungswissenschaftlichen Erkenntnisgewinn oder der Erfolgskontrolle des Bildungssystems. Die diesen Kompetenztests zugrunde liegenden Qualitätskriterien zielen auf nachweisbare *Unterrichtseffekte* auf der Seite der Lernenden und versuchen insoweit, den Unterrichtserfolg bei den Lernenden messbar zu machen.

Die hier nachfolgend entwickelten Qualitätskriterien beziehen sich demgegenüber auf *das didaktische Handeln der Pädagoginnen und Pädagogen*, für das es – neben den Unterrichtseffekten bei den Lernenden – zusätzliche professions-eigene Erfolgsmaßstäbe gibt. Diese Kriterien zielen auf eine qualitative Bewertung der *Prozessstruktur* des Unterrichts ab und nicht auf die „Outcomes“. Mit

Bezug auf die den Kriterien zugrunde liegende allgemeinpädagogische und fachdidaktische Forschung wird allerdings unterstellt, dass durch einen Unterricht, der den nachfolgend beschriebenen fachdidaktischen und allgemeinpädagogischen Kriterien genügt, der gewünschte Kompetenzzuwachs bei den Lernenden eher erreicht werden kann als durch einen Unterricht, der diese Kriterien ignoriert. Ob diese Unterstellung tragfähig ist, bleibt dabei weiterer Forschung vorbehalten.

Aus pragmatischen Erwägungen müssen zehn Kriterien ausreichen, damit jede Pädagogin und jeder Pädagoge diesen Katalog bei der Unterrichtsplanung und jedes Pädagogenteam die Kriterien bei der Selbstevaluation der naturwissenschaftlichen Angebote heranziehen kann, um die didaktische Qualität der eigenen Arbeit einschätzen zu können. Die in den Bildungs- und Lehrplänen genannten *fachspezifischen und prozessgebundenen Kompetenzen*, die im jeweiligen Einzelfall in Abhängigkeit vom konkreten Lerngegenstand erworben werden sollen – dass die Kinder also beispielsweise die Aggregatzustände des Wassers kennenlernen oder lernen, wie man eine einigermaßen exakte Messung durchführt oder was eigentlich Begriffe wie „Auftrieb“ und „Dichte“ bedeuten – kommen natürlich immer noch hinzu. Auf diese gegenstandsspezifischen Einzelziele und kompetenzen wird im Folgenden nicht eingegangen.

2. Das Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts

Es gibt vermutlich nur wenige Schulfächer, bei denen es nahezu weltweit Übereinstimmung hinsichtlich der großen allgemeinen Zielsetzung für den Unterricht gibt. Für die Naturwissenschaften lässt sich dieses behaupten: Hier gehen die meisten Bildungsverwaltungen in Übereinstimmung mit der fachdidaktischen Forschung von einer weltweit weitgehend ähnlichen Zielformel aus, die im angelsächsischen Raum „*scientific literacy*“ oder „*science literacy*“ (Bybee, 1997; Bybee, McCrae & Laurie, 2009) genannt wird und auf Deutsch mit „naturwissenschaftlicher Grundbildung“ umschrieben werden kann. Eine immer wieder zitierte und insoweit wirkungsmächtige Formulierung aus dem „Project 2061 – Science for All Americans“ (AAAS/NSBA, 2008, S. 23) beschreibt naturwissenschaftliche Grundbildung in folgenden Dimensionen:

- „Vertraut sein mit der natürlichen Welt und Respekt empfinden für ihre Einheit;
- ein Bewusstsein davon haben, wie Mathematik, Technik und Naturwissenschaften voneinander abhängen;
- einige Schlüsselkonzepte und wesentliche Prinzipien der Naturwissenschaften verstehen;
- über die Fähigkeit verfügen, naturwissenschaftlich zu denken;
- verstehen, dass Naturwissenschaften, Mathematik und Technik menschliche Erfindungen sind, und die Stärken und die Grenzen einer solchen Sichtweise kennen;
- fähig sein, naturwissenschaftliche Erkenntnisse und Denkweisen für persönliche und soziale Zwecke einzusetzen.“

Gegen diese äußerst populäre Zielbestimmung lassen sich erhebliche Einwände vorbringen: Der Mensch hat z.B., seit es ihn gibt, die vermeintlich

„natürliche Welt“ immer schon bearbeitet. Spätestens seit dem ersten Nukleartest in der Atmosphäre, der Zündung der Trinity-Bombe im Jahre 1945, deren Radionuklide vom Wind über die ganze Welt verteilt wurden und sich heute noch im Polar-Eis nachweisen lassen, gibt es überhaupt keine vom Menschen unberührte Natur mehr. Und eine irgendwie geartete „Einheit“ der Natur hat es auch nie gegeben. Vielmehr sind eine geradezu atemberaubende Artenvielfalt, Konkurrenz und Verdrängungskampf zwischen den Arten sowie beständiger Wandel der Lebensverhältnisse und beständige Anpassung der Arten an diesen Wandel nach Darwin wesentliche Kennzeichen der Natur. „Respekt“ könnte man also lediglich vor der Vielfalt der Natur haben und gerade nicht vor ihrer „Einheit“.

Zu begreifen, das „Naturwissenschaften, Mathematik und Technik menschliche Erfindungen sind“, ist insofern auch nicht so einfach, wie der Zielkatalog der AAAS nahelegt, als ja die Natur selbst keine menschliche Erfindung ist, sondern unabhängig von ihrer Wahrnehmung und Interpretation durch den Menschen existiert. Zwar sind die Gesetzmäßigkeiten, die der Mensch durch Betreiben von Naturwissenschaften in der Natur zu erkennen glaubt, Konstruktionen seines Geistes. Aber sie sind doch zugleich von den Gesetzmäßigkeiten, die in der Natur herrschen, abhängig. Heinrich Hertz hat diese Dialektik von Welt und erkennendem Geist in seiner Einleitung zur „Mechanik“ wie folgt ausgedrückt: „Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände ... von solcher Art, daß die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände“ (Hertz, 1894, S. 1).

Die Forderung schließlich, dass Kinder befähigt werden sollen, „naturwissenschaftliche Erkenntnisse und Denkweisen für persönliche und soziale Zwecke einzusetzen“, verwechselt am Ende gar Naturwissenschaften mit Technik einerseits und Ethik andererseits: Die Schwerkraft oder die Evolution lassen sich schwerlich für „soziale Zwecke“ einsetzen.

Richtig am Konzept der AAAS ist nur die Tendenz, dass „scientific literacy“ nicht primär auf bloßes Fachwissen zielt. Nach Gräber, Nentwig, Koballa und Evans (2002) ist sie vielmehr als ein komplexes „Bündel von Kompetenzen“ zu begreifen (Gräber et al., 2002, S. 137). Es geht weniger um umfassenden Wissenserwerb und auch nicht primär um schlichtes Faktenwissen als um ein „anschlussfähiges, gründliches Erarbeiten und Verstehen einzelner, auch subjektiv bedeutsamer Frage- und Problemstellungen“ (Möller, Jonen, Hardy & Stern, 2002, S. 415), die durch eigenaktive Erkundungen in genuin wissenschaftlichen Diskursen erworben werden.

Duit, Häußler und Prenzel (2001) gehen davon aus, dass die zur naturwissenschaftlichen Grundbildung gehörenden Kompetenzen vier übergeordneten Bereichen zugeordnet werden können (zitiert nach Prenzel, Rost, Senkbeil, Häußler & Klopp, 2001, S. 195):

- „naturwissenschaftliche Begriffe und Prinzipien (Wissen bzw. Verständnis zentraler naturwissenschaftlicher Konzepte),

- naturwissenschaftliche Untersuchungsmethoden und Denkweisen (Verständnis naturwissenschaftlicher Prozesse, grundlegende Fertigkeiten, Denkhaltungen),
- Vorstellungen über die Besonderheit der Naturwissenschaft (Verständnis der *nature of science*, epistemologische Vorstellungen, Wissen über die Grenzen der Naturwissenschaft),
- Vorstellungen über die Beziehungen zwischen Naturwissenschaft, Technik und Gesellschaft (Verständnis des ‚Unternehmens Naturwissenschaft‘ im sozialen, ökonomischen und ökologischen Kontext).“

Diese Liste ist insofern angemessener als die der AAAS, als sie sich einer normativen Indienstnahme der Naturwissenschaften für ethische und soziale Zwecke enthält, sich auf „Vorstellungen“ beschränkt und zugleich die Komplexität des Vorhabens „naturwissenschaftliche Grundbildung“ durchschimmern lässt. Denn es gibt ja nicht *die eine*, z. B. szientifisch-kausale Naturwissenschaft, sondern eine Vielzahl von Betrachtungsarten der und Denkweisen über die Natur, die vom Standpunkt des Fragenden aus und für den Erkenntnisgewinn der Menschheit als Ganzer alle ihre Berechtigung haben. Und die Aneignung dieser vielfältigen Denk- und Betrachtungsweisen unterliegt dazu noch komplexen Wechselverhältnissen von Erfahrung, Denken und Lernen, die schwer in eine einfache Zielbestimmung und einfache Kompetenzkataloge zu fassen sind (vgl. Benner, 2008, 2012).

Dies gilt für alle neueren Bestimmungen der Leitformel „scientific literacy“. Hackling und Prain (2008, S. 7) haben „scientific literacy“ in einem Kontextmodell grafisch dargestellt. Danach umfasst das multi-dimensionale Konstrukt „scientific literacy“ (SL) eine Schnittmenge von konzeptuellem Verstehen, prozessuellem Wissen, spezifischen Haltungen gegenüber der Wirklichkeit und Fachwissen aus den einzelnen Fachdisziplinen – jeweils in Bezug auf einen spezifischen Inhaltskontext (siehe Abbildung 6).

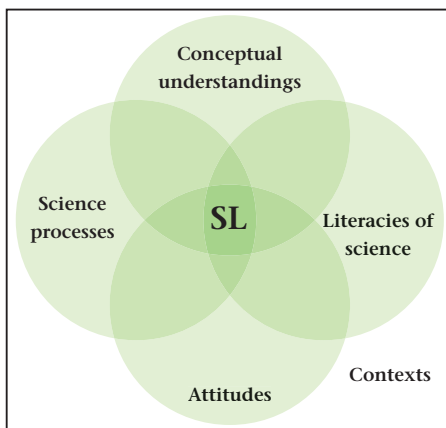


Abbildung 6. Kontextmodell „scientific literacy“ nach Hackling und Prain (2008).

Diese Mehrdimensionalität des Leitziels „scientific literacy“ spiegelt sich auch in den Zieldimensionen für die naturwissenschaftliche Bildung von Anders et al. (2013a, b, vgl. hier in diesem Band Kapitel B 1.2) wieder. Neben den genannten konzeptuellen und epistemologischen Zielen führen die Autorinnen zusätzlich einen Katalog von Basiskompetenzen an, „worunter allgemeine Fähigkeiten wie kognitive, sprachliche, mathematische, und soziale Kompetenzen zusammengefasst sind, von denen angenommen wird, dass sie die Entwicklung naturwissenschaftlicher Kompetenzen moderierend beeinflussen“ (Anders et al., 2013a, S. 23, b, S. 87; im Detail siehe dort jeweils Kapitel 2.4).

„Naturwissenschaftliche Grundbildung“ stellt mithin nicht – wie manche Lehrerinnen und Lehrer bisweilen denken und auch viele Handreichungen für den Unterricht nahelegen – *das Experimentieren* ins Zentrum der Überlegungen, sondern *das Fragen, das Beobachten und das Argumentieren* (siehe hierzu – immer noch wegweisend – Wagenschein 2010; 1. Aufl. 1968). Das Ziel ist dabei ein doppeltes: ein „wirkliches Verstehen“ der Naturgesetze („the sciences of nature“) und gleichzeitig ein Verstehen des Wesens der Naturwissenschaften („the nature of science“). Oder anders gesagt: verstehen, wie die Natur funktioniert, und verstehen, welche Fragen mit naturwissenschaftlichen Methoden und Prozeduren überhaupt nur beantwortet werden können. Beispielsweise können Naturwissenschaftler/innen in der Regel nur die Wie-Frage beantworten, also Aussagen darüber machen, wie sich etwas unter *bestimmten Bedingungen* verhält. Kinder stellen allerdings sehr häufig die Warum-Frage (z.B. „Warum gibt es Schwerkraft?“, „Warum leben die Arbeiterinnen bei den Bienen nur wenige Wochen lang?“) oder die Woher-Frage („Was war vor dem Urknall?“). Diese beiden Arten von Fragen sind allerdings keine naturwissenschaftlich zu klärenden Fragen und die naturwissenschaftlich einzig redliche Antwort auf solche Fragen wäre: „Das weiß kein Mensch!“

Da alle Bildungsprozesse des Jugend- und Erwachsenenalters auf den Bildungsprozessen der frühen Kindheit aufbauen, gilt die Multi-Dimensionalität naturwissenschaftlicher Bildung grundsätzlich auch schon für die Bildungsbemühungen von Eltern und Pädagoginnen und Pädagogen im Kindergarten und in der Grundschule, selbst wenn eine umfassende naturwissenschaftliche Bildung natürlich erst im Durchgang durch das ganze Bildungssystem erlangt werden kann.

3. Lerntheoretische und didaktische Prämissen

3.1 Konstruktivistischer Lernbegriff

Ich schlage vor, Lernen nicht als Reiz-Reaktions-Schema, sondern als „Erfahrungslernen“ in einem klassischen Sinn zu begreifen. Mein Ausgangspunkt ist der Lernbegriff von John Dewey. Durch Erfahrung lernen heißt nach Dewey: „Das, was wir den Dingen antun, und das, was wir von ihnen erleiden, nach rückwärts und vorwärts miteinander in Verbindung bringen“ (Dewey, 1964, S. 187; Erstauflage 1916²²). Lernen erfolgt nach Dewey und später – in anderem Vokabular – auch bei Wygotski, Piaget und Bruner, wenn ein lernendes Subjekt in einer gegebenen Problemsituation die vorhandenen Erfahrungen oder kognitiven Schemata mit den Folgen des eigenen Tuns und die Rückwirkungen der äußeren Wirklichkeit auf das eigenen Tun denkend verarbeitet und – mit Piaget gesprochen – im Sinne einer permanent fortschreitenden Akkomodation (Anpassung) bewährter und Assimilation (Zuordnung) neuer Schemata immer komplexere gedankliche Strukturen aufbaut, die wiederum in komplexeren Handlungsvollzügen ihre Bewährung finden.

Das Denken des Vor- und Grundschulkindes ist diesem Verständnis von Lernen zufolge immer an ein eigenes geistiges Handeln gebunden. Dies entspricht einer Forderung nach *strukturiertem eigenaktivem Handeln* im Lernprozess, wie sie die Allgemeine Didaktik seit Rousseau und die zeitgenössische fachdidaktische Forschung konstruktivistischer Provenienz wenigstens seit Wygotski immer wieder für unerlässlich erklärt hat (für aktuelle Positionen siehe Möller, 2004; Einsiedler, 2005; Hardy, Jonen, Möller & Stern, 2006).

Wenn das Ziel naturwissenschaftlicher Bildung ein „wirkliches Verstehen“ der Naturgesetze und der Naturwissenschaften ist – „the sciences of nature“ und „the nature of science“ – , sind auf der Basis eines solchen Lernbegriffs vier Prinzipien einsichtig:

1. Ein bildender Unterricht beginnt immer mit einer problemhaltigen Situation, die *eine Frage an die Welt* aufwirft. Da den Kindern die (naturwissenschaftlichen) Fragen, die in einer problemhaltigen Situation gegeben sind, meist nicht bewusst sind, ist es die erste Aufgabe der Pädagoginnen und Pädagogen, diese Fragen mit den Kindern herauszuarbeiten, um sie bearbeitbar zu machen. „Didaktik“ heißt „lehren“. Es ist mithin durchaus geboten, den Kindern etwas „aufzuzeigen“, was sie von sich aus nicht sehen und nicht fragen würden.
2. Es geht im naturwissenschaftlichen Unterricht grundsätzlich um Verstehen und nicht primär ums Experimentieren.
3. Experimente sind nur ein Mittel zum Zweck der *Überprüfung einer Frage* an die Natur. Sie sind keineswegs der Hauptzweck des naturwissenschaftlichen Unterrichts, sondern sollen dem Verstehen dienen.

²² Im Original: „To 'learn from experience' is to make a backward and forward connection between what we do to things and what we enjoy or suffer from things in consequence. Under such conditions, doing becomes a trying; an experiment with the world to find out what it is like; the undergoing becomes instruction - discovery of the connection of things.“ (Dewey, 1916, S. 187)

4. Experimente sollten den Kindern nicht vorgegeben, *sondern mit ihnen entwickelt werden*, wenn sie benötigt werden, um eine Frage zu klären.

Die vierte Forderung weckt allerdings Zweifel, ob Kinder im Grundschulalter denn überhaupt schon in der Lage sind, Hypothesen-prüfende Verfahren selber zu entwickeln, selbstverständlich nur im Rahmen von alters- und erfahrungstypischen Fragestellungen. Hierzu liegen widersprüchliche Einschätzungen vor. So haben wir im Programm „prima(r)forscher“ durchaus Situationen erlebt, in denen Grundschulkinder eigene experimentelle Anordnungen selbst entwickelt haben (vgl. Internationale Akademie, 2011, Abschnitt 3.2, S. 30-38). Auch Beate Sodian stellt fest, „dass auf der Zieldimension ‚Kenntnis von Methoden der Hypothesenprüfung‘ erste Kompetenzen bereits im frühen Grundschulalter vorhanden sind und dass der Einsatz adäquater Strategien zur Prüfung von Kausalhypothesen durch gezielte Förderung erreichbar ist“ (Anders et al. 2013b, S. 100 in diesem Band). Andererseits verweist Sodian auch auf die Studien von Bullock und Ziegler (1999), wonach „erst ab der fünften Klassenstufe von etwa einem Drittel der Probanden spontan ein kontrollierter Test produziert [wurde]. Erst im Alter von 17 Jahren produzierten ca. 80% der Probanden spontan ein kontrolliertes Experiment“ (Anders et al., 2013b, S. 99 in diesem Band).

Offenkundig benötigen Grundschulkinder eine gezielte Anleitung bei der Durchführung hypothesentestender Verfahren. Diese Anleitung muss meines Erachtens nach immer auch den Kontextbezug zu der den Experimenten zugrunde liegenden Fragestellung sichern. Wenn Pädagoginnen und Pädagogen nicht darauf warten wollen, dass die Kinder selbst zielführende experimentelle Anordnungen zur Überprüfung ihrer Hypothesen finden werden, oder wenn den Kindern dieses nicht von alleine gelingt, kann es durchaus Sinn machen, den Kindern auch experimentelle Anordnungen darzubieten. Allerdings nur unter einer Voraussetzung, die wir als fünftes Prinzip an die Gruppe der eben genannten Prinzipien anfügen können:

5. Wenn Pädagoginnen und Pädagogen selbst ein Experiment einbringen, muss den Kindern wenigstens bewusst sein oder durch den Unterricht bewusst werden, *auf welche Frage an die Natur dieses Experiment eine Antwort liefern soll*.

Dabei müssen sich die Pädagoginnen und Pädagogen stets des Doppelcharakters des Experimentierens bewusst sein. Denn im Experimentieren erfahren die Kinder etwas auf doppelte Weise: einmal die Auseinandersetzung mit einem Gegenstand und den diesen Gegenstand determinierenden Variablen; zum anderen aber auch das didaktische Arrangement des Experiments als pädagogischem Mittel, mit dem ihnen etwas beigebracht werden soll, was sie ohne das Experiment offenbar nicht erfahren könnten.

3.2 Geeignete Lehr-Lern-Arrangements

Die naturwissenschaftsdidaktische Forschung hat in Deutschland und auch international in den vergangenen Jahren sehr klare Aussagen dazu gemacht, wie Lernsituationen beschaffen sein müssten, die ein wirkliches Verstehen

von Naturgesetzen ermöglichen. Für die deutsche Grundschulforschung sind vor allem die Arbeiten von Kornelia Möller, Beate Sodian, Elsbeth Stern, Ilonca Hardy und Kolleg/inn/en zu nennen, die in richtungsweisenden Forschungsarbeiten identifiziert haben, was einen ‚guten‘ naturwissenschaftlichen Unterricht in der Grundschule ausmacht (vgl. Ewerhardy, Kleickmann & Möller, 2009; Jonen, Möller & Hardy, 2003; Möller, 2004; Möller et al., 2002; 2006; Sodian et al., 2002; Stern & Möller, 2004). Unter Bezugnahme auf die Zielkomponente „scientific literacy“ betont diese Forschung ebenso wie die grundschuldidaktische Forschung die Notwendigkeit von Lehr-Lern-Arrangements, in denen die Kinder eigenaktiv, problemorientiert und lebensweltorientiert an naturwissenschaftlichen Sachverhalten arbeiten können (vgl. Einsiedler, 2009; Fischer, Klemm, Leutner, Sumfleth, Tiemann & Wirth, 2003; Lauterbach, Hartinger, Feige & Cech, 2007; Treagust, Chittleborough & Mamiala, 2002; Tyson, Venville, Harrison & Treagust, 1997). Danach sind Unterrichtsansätze im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht als besonders wirksam einzuschätzen, in denen die Pädagoginnen und Pädagogen den Kindern im Unterricht Gelegenheiten zum selbsttätigen Aufstellen, Erproben, Prüfen und Widerrufen von Hypothesen geben.

Diese Prozesse müssen – und das ist entscheidend! – in aller Regel durch strukturierte Lernbegleitung, aktivierende Gesprächsführung („scaffolding“) sowie eine diesbezüglich anregende (konstruktivistische) Lernumgebung unterstützt werden. Wenn Dewey oben von einem „Erleiden“ der Wirkungen und Rückwirkungen der Natur auf das lernende Subjekt als Grundlage von Lernprozessen spricht, wird zudem deutlich, dass unterrichtlich angeleitete Lernprozesse niemals eine eindeutige Richtung im Sinne der direkten Instruktion haben (zum Lehr-Lern-Kurzschluss in der Didaktik und in der Kompetenzforschung siehe Holzkamp, 1996). „Leiden“ beinhaltet auch Enttäuschung, Irritation, phasenweises Nicht-Verstehen, das weder durch bloßes Handeln des lernenden Subjektes noch durch simples Vordenken und Vormachen seitens der Pädagogin oder des Pädagogen überwunden, sondern nur in gemeinsamen, ko-konstruktiven Denkakten bearbeitet werden kann.

Die Kommunikation über die Tätigkeiten der Schülerinnen und Schüler im Unterrichtshandeln nimmt mithin einen besonderen Stellenwert für den Wissensaufbau bei den Kindern ein. Kornelia Möller (2004) fasst die Erkenntnis der gesamten fachdidaktischen Forschung der letzten 20 Jahre in zwei Sätzen zusammen und setzt damit einen primären Maßstab für die Unterrichtsqualität im naturwissenschaftlichen Unterricht der Grundschule:

„Um anwendungsbereites, integriertes und widerspruchsfreies Wissen aufzubauen, müssen Schüler aktiv und aufgrund eigener Denkprozesse bisherige Konzepte in Frage stellen, [sie] anhand von Erfahrungen überprüfen, alte Ideen verworfen und neue Ideen entwickeln, diese wiederum überprüfen, in verschiedenen Situationen anwenden und in ihrer eigenen Sprache präsentieren. Den gemeinsamen Lern- und Denkprozessen in der Lerngruppe kommt hierbei eine wichtige Bedeutung zu“ (Möller, 2004, S. 153).

Lernen erfolgt in dieser Perspektive als Ko-Konstruktion der Lehrenden und Lernenden sowie der Lernenden untereinander, wobei der Prozess des Lernens in den sozialen Kontext des Unterrichts integriert ist (Widodo & Duit,

2004). Dabei wird angenommen, dass Lernprozesse auch auf kognitiver und motivationaler Ebene insbesondere dann nachhaltig wirksam sind, wenn eine systematische enge Verzahnung von Handlungs- und Verstehensprozessen gegeben ist (Beinbrech, Kleickmann, Tröbst & Möller, 2009; Möller, 2004; Möller et al., 2002, 2006). Der Unterricht sollte demnach bereits in seiner Struktur so gestaltet sein, dass er eine Kombination von eigenaktivem Erproben und Experimentieren und systematischem gemeinsamem Nachdenken über den Sachverhalt darstellt – „sustained shared thinking“, wie es die Angelsachsen nennen. Schwierig erscheint allerdings die Unterstellung der Möglichkeit eines „widerspruchsfreien“ Wissens. Widerspruchsfreies Wissen gibt es nur in bestimmten Wissensformen und – wie die Wissenschaftsgeschichte zeigt – auch immer nur auf Zeit.

Im Idealfall setzt der Unterricht an den Fragen der Kinder zum jeweiligen Gegenstand an, macht diese zum Thema und bearbeitet diese Fragen in einem Zyklus ähnlich einem realen Forschungsverlauf in wissenschaftlichen Projekten: von einer Frage an die Natur über Hypothesenbildung, Hypothesenprüfung, Ergebnisdokumentation bis zur Diskussion der Befunde (vgl. Ramseger, 2010 und 2011; ferner den Forschungskreislauf nach Marquardt-Mau (2011), auf dem auch die Methode „Forschungskreis“ der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ basiert²³.)

Dieser Idealfall wird im Vor- und Grundschulunterricht allerdings nur selten erreicht. Denn ein solcher *Forschungszyklus* setzt erstens voraus, dass die Kinder die in den Naturphänomenen enthaltenen Fragen an die Natur selbstständig formulieren können. In der Regel bedürfen Sie dazu aber der Hilfe des professionellen Pädagogen bzw. der Pädagogin, die ihnen gegenstandsangemessene Fragen erst aufzeigen bzw. bei deren Formulierung helfen. Zum anderen setzt dieses Idealmodell voraus, dass die Pädagoginnen und Pädagogen selbst ein genuines Verständnis von naturwissenschaftlichem Denken und Handeln haben sowie das Fachwissen und den didaktischen Weitblick, Fragen der Kinder in – in der Regel langfristigen und nicht immer stringent ablaufenden – Forschungs- und Denkprozessen zu neuen Erkenntnissen aufzulösen. Kinder sind zunächst keine Naturwissenschaftler und ihre Pädagoginnen und Pädagogen sind es in der Regel auch nicht. Letztere haben bisweilen nicht einmal eine Vorstellung von einem genuin naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess, der immer auf Prozesse des wissenschaftlichen Argumentierens angewiesen ist.

²³ Siehe <http://www.haus-der-kleinen-forscher.de/de/forschen/paedagogik/methode-forschungskreis/>

4. Wissenschaftliches Argumentieren im Grundschulalter

Fragen wir nach den für „scientific literacy“ erforderlichen Kompetenzen, bietet es sich an, auf eine Übersicht von Jürgen Mayer (2007, S. 178) zurückzugreifen, der die in der Literatur zu „scientific literacy“ üblichen Kompetenzkonstrukte wie folgt anordnet (siehe Abbildung 7):

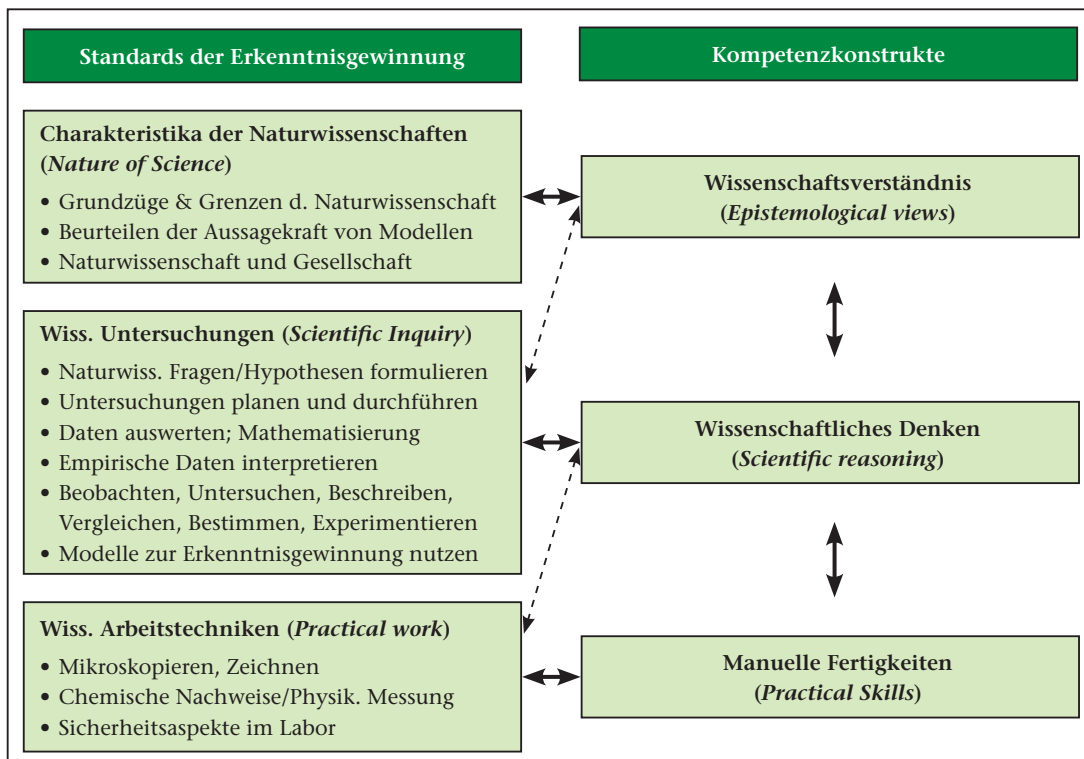


Abbildung 7. Rahmenkonzept wissenschaftlicher Kompetenzen nach Mayer (2007).

Natürlich bezieht sich Mayers Rahmenkonzept auf den ausgebildeten Naturwissenschaftler bzw. die hauptberufliche Forscherin und unterscheidet nicht zwischen lebensweltlichen, historischen, szientifisch-kausalen und ideologiekritischen Wissensformen. Unterstellt man aber, dass jede Kompetenz in einem lebenslangen Lernprozess angebahnt und ausgeformt wird, ist das Raster auch relevant im Hinblick auf die Fragen, welche Kompetenzen denn schon im Vor- und Grundschulalter angebahnt werden können.

Wenn man die Grafik von unten nach oben liest, lässt sich einschätzen, was davon in Vor- und Grundschule erreicht werden kann. Ich behaupte, dass ein Unterricht oder unterrichtsergänzende Arbeitsgemeinschaften, die sich primär auf ein *handlungsorientiertes Laborieren* beschränken – etwa im Sinne zahlreicher populärer Bücher oder der vielen Experimentieranleitungen, die im Internet kursieren – hauptsächlich dazu geeignet sind, manuelle Fertigkeiten im Umgang mit

einfachsten Instrumenten, Geräten und vielleicht einfache naturwissenschaftliche Prozeduren zu vermitteln: Umgang mit Flaschen, Trichtern, Messbechern, Kerzen sowie einfachen Messgeräten wie Zollstock, Windmessern, Thermometern und Ähnlichem. Solche Experimentieraufgaben und -anleitungen, die den Kindern meist ungefragt (!) vorgegeben werden, laufen aber immer Gefahr, das Verstehen der besprochenen Sachverhalte zu vernachlässigen, ja diesem sogar entgegenzuwirken, weil den Kinder Verstehensleistungen abverlangt werden, die in der Kürze der Zeit und in Bezug auf ihre altersgemäßen Vorstellungen von der Natur und deren Gesetzen kaum bewältigt werden können.

Die Anbahnung eines wahrhaften *Wissenschaftsverständnisses* im Sinne von „epistemological views“ stellt meines Erachtens dagegen nicht nur für Kinder im Vor- und Grundschulalter, sondern auch für die meisten Pädagoginnen und Pädagogen eine große Herausforderung dar, es sei denn, sie hätten in ihrer primären Berufsausbildung eine Naturwissenschaft studiert. Der oder die durchschnittliche Sachunterrichtslehrer/in ist dafür meist nicht hinreichend ausgebildet, und die vielen Erzieher/innen oder Sozialpädagog/inn/en, die in Vorschulgruppen oder nachmittags in der Ganztagschule naturwissenschaftliche Experimente anbieten, sind es mehrheitlich auch nicht. Ein Verständnis der „nature of science“ wird im Vor- und Grundschulalter zwar möglicherweise implizit aufgebaut, bedarf jedoch, so die fachdidaktische Forschung der letzten 20 Jahre, des systematischen Nachdenkens und des systematisch angeleiteten Diskurses über Wissenschaft. Dies beinhaltet einen langjährigen Erfahrungsprozess mit wissenschaftlichen Fragestellungen und deren Klärung in genuin wissenschaftlichen Lehr-Lernsituationen. Nach Sodian (2002) ist die Fähigkeit, zwischen einer theoretischen Vermutung und einer Evidenzprüfung zu unterscheiden, kaum von Grundschulkindern zu erwarten, weil sie oft schon Schwierigkeiten haben, „den Sinn und das Ziel von Hypothesenprüfungen zu verstehen“ (Hellmich & Höntges, 2010, S. 75; zum aktuellen Forschungsstand in Bezug auf die Erkenntnismöglichkeiten des Grundschulkindes siehe das Kapitel von Sodian in Anders et al., 2013b, S. 91-105 in diesem Band).

Angemessener Zielbereich für das Vor- und Grundschulalter sind meines Erachtens die in Abbildung 7 als mittlere Ebene eingezeichneten Kompetenz-Konstrukte: das *gemeinsame Nachdenken* über konkrete Fragen an die Natur, deren Beantwortbarkeit und die zu ihrer Beantwortung selbst durchgeführten Beobachtungen und Aktionen, kurzum das, was die Angelsachsen „scientific reasoning“ nennen.

Scientific Reasoning (Wissenschaftliches Argumentieren)

Was ist „scientific reasoning“? Im Folgenden werden vier Definitionen für dieses Konstrukt dargeboten.

In der einfachsten Form wird „wissenschaftliches Argumentieren“ nach Einsiedler wie folgt beschrieben: „...bei Behauptungen nach Gründen und Belegen (...) fragen...“ (Einsiedler, 1992, S. 484; zitiert nach Beinbrech et al., 2009, S. 140).

Tytler, Hubber und Chittleborough (2012, S. 3) definieren „wissenschaftliches Argumentieren“ so: „Abwägendes Denken, welches Entscheidungen beinhal-

tet und zu einer begründeten Behauptung führt. Das Setzen von identifizierbaren und generativen Beziehungen zwischen Einheiten. Es wird oftmals mit komplexem Denken, (...) dem Lösen von ungewöhnlichen Problemen und der Begründung von Behauptungen durch Evidenz in Verbindung gebracht“.²⁴

Shemwell und Furtak (2010; zitiert nach Tytler, 2011, S. 3) unterscheiden:

- „Auf einer *Behauptung* basierendes Argumentieren: eine Erklärung darüber, wie sich etwas in der Zukunft verhalten wird (Vorhersage) oder darüber, was in der Gegenwart geschieht oder in der Vergangenheit geschehen ist (Schlussfolgerung oder Ergebnis).
- Auf *Fakten* basierendes Argumentieren: eine Behauptung, die durch eine einzelne beobachtbare Eigenschaft gestützt wird. Und:
- Durch *Evidenz* gestütztes Argumentieren: eine Behauptung, welche durch Erklärungen über die kontextabhängige Beziehung zwischen zwei beobachtbaren Eigenschaften oder die kontextualisierte Beziehung zwischen einer Eigenschaft und einer beobachtbaren Konsequenz dieser Eigenschaft gestützt wird“.²⁵

Im Projekt „EQUALPRIME“²⁶ werden folgende Indikatoren benutzt, um Situationen zu bestimmen, in denen sich „wissenschaftliches Argumentieren“ ereignet.

„Wissenschaftliches Argumentieren“ ereignet sich demzufolge immer dann, wenn

- Kinder ihr Vorwissen und eigene Vermutungen zum Sachverhalt artikulieren,
- Kinder eigene Hypothesen formulieren und diese gegen Rückfragen verteidigen müssen,
- Kinder auf Grund ihrer Hypothesen eigene Versuchsanordnungen entwickeln und begründen,

²⁴ Im Original: „*Deliberative thinking that involves choices, leading to a justifiable claim. The setting of identifiable and generative relations between entities*“. It is often associated with “high order thinking, (...) solving non-standard problems, claim backing using evidence.”

²⁵ Im Original:

- „*Claim-Based reasoning: a statement of what something will do in the future (prediction), or is happening in the present or past (conclusion or outcome);*
- *Data-Based reasoning: a claim backed up by a single observable property, and*
- *Evidence-Based reasoning: a claim supported or backed up by statements describing a contextualized relationship between two observable properties or a contextualized relationship between a property and an observable consequence of that property*“.

²⁶ EQUALPRIME – Exploring quality primary education in different cultures: A cross-national study of teaching and learning in primary science classrooms. Forschungsprojekt des Australian Research Council 2009-2013. Principal Investigators: Prof. Dr. Russell Tytler, Deakin University, Melbourne; Prof. Dr. Mark Hackling, Edith Cowan University, Perth; Prof. Dr. Hsiao-Lan Sharon Chen, National Taiwan Normal University, Taipei; Prof. Dr. Chao-Ti Hsiung, National Taipei University of Education, Taipei; Prof. Dr. Jörg Ramseger, Freie Universität Berlin.

- Kinder Fehlerquellen, Widersprüche oder erwartungswidrige Ereignisse in ihren Versuchen oder Versuchsanordnungen erkennen und erörtern,
- Kinder eigene Begründungen für beobachtete Phänomene formulieren und/oder erläutern,
- Kinder sich im Diskurs auf eine Beschreibung, Begründung, Interpretation verständigen,
- Kinder einer Erkenntnis folgend handeln (beobachtbare Objektivationen von Erkenntnisgewinn im konkreten Handeln),
- Kinder über ihren eigenen Lernweg nachdenken (Metakognition).

Nur ein Unterricht, der solche argumentativen, dialogischen und metakognitiven Phasen einplant und sicherstellt und das Fragen, das Erleiden, das Handeln und das Denken gezielt kombiniert, kann meines Erachtens im eigentlichen Sinne des Wortes als „bildender Unterricht“ begriffen werden (zur Unterscheidung zwischen einem „bildenden“ und einem bloß „informierenden“ oder gar „belehrenden“ Unterricht siehe Ramseger, 1991).

5. Qualitätskriterien

Im Folgenden werden zehn Kriterien erfolgreichen naturwissenschaftlichen Unterrichtens dargestellt, die auf der Basis des oben dargestellten Lernbegriffs und der Multi-Dimensionalität der Zielformel „naturwissenschaftliche Grundbildung“ entwickelt wurden und die vielfältigen und äußerst differenzierten Befunde der fachdidaktischen Forschung der letzten zwanzig Jahre in einfachen kurzen Behauptungen zusammenfasst (siehe Überblick in Tabelle 8). Es handelt sich um *Kriterien zur qualitativen Einschätzung der Prozessqualität des Unterrichts*. Dabei dient die bereits zitierte Kernthese nach Möller als Leitformel für eine gute Prozess-Struktur der Lehr-Lern-Situationen:

„Um anwendungsbereites, integriertes und widerspruchsfreies Wissen aufzubauen, müssen Schüler aktiv und aufgrund eigener Denkprozesse bisherige Konzepte in Frage stellen, [sie] anhand von Erfahrungen überprüfen, alte Ideen verwerfen und neue Ideen entwickeln, diese wiederum überprüfen, in verschiedenen Situationen anwenden und in ihrer eigenen Sprache präsentieren. Den gemeinsamen Lern- und Denkprozessen in der Lerngruppe kommt hierbei eine wichtige Bedeutung zu“ (Möller, 2004).

Natürlich ist es ein kühnes Unterfangen, die gesamte fachdidaktische Forschung in so knappen Sätzen zusammenzufassen, wie sie im Folgenden dargeboten werden. Die Forschung selbst neigt ja berechtigterweise dazu, stets die Vorläufigkeit der eigenen Aussagen, die Komplexität des Gegenstandsfelds und den enormen Bedarf nach weiterer Forschung zu betonen, bevor überhaupt irgendwelche Praxisempfehlungen geäußert werden dürften. Hier wird unterstellt, dass die Pädagoginnen und Pädagogen in der Praxis genau solche einfach verstehbaren und dennoch sachlich anspruchsvollen Sätze benötigen, um sich ein Bild von der Sinnhaftigkeit der eigenen Bemühungen machen zu können und überhaupt irgendeinen Maßstab für ihr unterrichtliches Handeln zu gewinnen. Sind diese Kriterien erst einmal formuliert, kann man anhand dieses Katalogs möglicherweise viel besser über die wünschenswerte Unterrichtsrealität streiten als ohne solche Kriterien.

Die 10 Kriterien auf einen Blick:

Tabelle 8: Die zehn Qualitätskriterien für naturwissenschaftlichen Unterricht im Überblick.

1. Die Natur frag-würdig machen
Guter naturwissenschaftlicher Unterricht geht von einem Naturphänomen aus, das die Kinder staunen macht, und entwickelt mit den Kindern das Formulieren einer Frage an die Natur dergestalt, dass die Kinder darauf eine sinnvolle Antwort finden können.
2. Vorwissen einbeziehen
Guter naturwissenschaftlicher Unterricht erhebt zunächst die Präkonzepte der Kinder zum jeweiligen Sachverhalt, greift sie auf und konfrontiert die Vorstellungen der Kinder mit neuen Fragen, neuen Beobachtungen und neuen (experimentellen) Erfahrungen.
3. Experimente mit den Kindern entwickeln
Guter naturwissenschaftlicher Unterricht entwickelt die experimentelle Anordnung, die den Kindern eine Antwort auf ihre Frage gibt, nach Möglichkeit mit den Kindern selbst. Wenn die Kinder dazu noch nicht in der Lage sind und die Pädagoginnen und Pädagogen ihnen daher ein Experiment vorgeben, muss den Kindern wenigstens bewusst sein oder durch den Unterricht bewusst werden, auf welche Frage an die Natur dieses Experiment eine Antwort liefern soll.
4. Präzises Arbeiten einüben
Guter naturwissenschaftlicher Unterricht übt mit den Kindern das genaue Hinsehen, das sorgsame Dokumentieren des Erlebten und die Unterscheidung von Fragen, Vermutungen, Behauptungen und Beobachtungen.
5. Den wissenschaftlichen Diskurs pflegen
Guter naturwissenschaftlicher Unterricht übt mit den Kindern den gepflegten Diskurs über die Vermutungen, die Beobachtungen und die Befunde. Er ist, so gesehen, eine spezifische Form von Sprachunterricht.
6. Modelle und Repräsentationen nutzen
Guter naturwissenschaftlicher Unterricht entwickelt mit den Kindern geeignete grafische Darstellungen, Modelle und Repräsentationen.
7. Die historisch-gesellschaftliche Einbettung berücksichtigen
Guter naturwissenschaftlicher Unterricht erweitert den Blick der Kinder für die historische, die kulturelle und die gesellschaftliche Bedeutung des behandelten Phänomens.
8. Die Offenheit der Wissenschaft aufzeigen
Guter naturwissenschaftlicher Unterricht zeigt den Kindern auf, dass unsere Antworten auf unsere Fragen an die Natur immer nur vorläufige sind und die Wissenschaft immer weiter geht.
9. Lernzuwachs sichern
Guter naturwissenschaftlicher Unterricht bewirkt einen Kompetenzzuwachs bei den Kindern.
10. Selbstwirksamkeitserfahrung ermöglichen
Guter naturwissenschaftlicher Unterricht ermöglicht den Kindern die Erfahrung einer durch eigenes Denken gelösten Frage an die Natur.

Die zehn Kriterien werden nachfolgend im Einzelnen erläutert.

5.1 Die Natur frag-würdig machen

1. Kriterium:

Guter naturwissenschaftlicher Unterricht geht von einem Naturphänomen aus, das die Kinder staunen macht, und entwickelt mit den Kindern das Formulieren einer Frage an die Natur dergestalt, dass die Kinder darauf eine sinnvolle Antwort finden können.

Das erste Kriterium folgt der Überzeugung, die schon Rousseau oder Herbart und später – wie schon erwähnt – John Dewey ausformuliert haben und die in aktuelleren Publikationen zum naturwissenschaftlichen Unterricht z. B. von Ansari (2009, 2012) oder Marquardt-Mau (2011) erneut herausgestellt wurde: dass es gar kein Lernen gibt, wenn nicht zuvor ein Problem oder eine Frage unseren Verstand weckt, unser vorhandenes Weltverstehen in Zweifel zieht, unsere schon aufgebauten kognitiven Schemata herausfordert, sich neu zu organisieren. Jegliches Lernen setzt eine Frage an die Welt voraus, und sie muss dem lernenden Subjekt auch bewusst (gemacht) werden (Ramseger, 2011). Dies geschieht in der Regel nicht von allein, sondern setzt ein entsprechendes didaktisches Handeln der Pädagogin bzw. des Pädagogen in einem fragend-entwickelnden Unterricht voraus.

5.2 Vorwissen einbeziehen

2. Kriterium:

Guter naturwissenschaftlicher Unterricht erhebt zunächst die Präkonzepte der Kinder zum jeweiligen Sachverhalt, greift sie auf und konfrontiert die Vorstellungen der Kinder mit neuen Fragen, neuen Beobachtungen und neuen (experimentellen) Erfahrungen.

Wenn, und darüber besteht Konsens in der Fachwelt, Lernen eine Veränderung bestehender Konzepte zum Ziel und zur Folge hat, ist es unabdingbar, die Präkonzepte der Kinder in Bezug auf den zu verhandelnden Gegenstand zunächst zu erfassen, sie auch im Unterricht von den Kindern zur Sprache bringen zu lassen und als „Ausgangsbasis“ für die weiteren Lernbemühungen zu nutzen (Morrison & Lederman, 2003; Lohrmann & Hartinger, 2012). Lernen ereignet sich allerdings nicht in der Wiederholung des je schon Vorhandenen, sondern in der Konfrontation der gegebenen Erfahrung mit neuen Erfahrungen, Gegenbildern und von der eigenen Überzeugung abweichenden Vermutungen, Hypothesen oder Beobachtungen. Daher erhebt guter naturwissenschaftlicher Unterricht zunächst die Präkonzepte der Kinder zum jeweiligen Sachverhalt, greift sie auf und konfrontiert die Vorstellungen der Kinder – ohne sie zu diffamieren – mit neuen Fragen, neuen Beobachtungen und neuen (experimentellen) Erfahrungen.

5.3 Experimente mit den Kindern entwickeln

3. Kriterium:

Guter naturwissenschaftlicher Unterricht entwickelt die experimentelle Anordnung, die den Kindern eine Antwort auf ihre Frage gibt, nach Möglichkeit mit den Kindern selbst. Wenn die Kinder dazu noch nicht in der Lage sind und die Pädagoginnen und Pädagogen ihnen daher ein Experiment vorgeben, muss den Kindern wenigstens bewusst sein oder durch den Unterricht bewusst werden, auf welche Frage an die Natur dieses Experiment eine Antwort liefern soll.



Viele Pädagoginnen und Pädagogen unterliegen dem Trugschluss, dass sich naturwissenschaftliches Arbeiten zuvörderst im Experimentieren äußert, und bieten daher häufig eine Fülle von Experimenten dar, ohne dass den Kindern immer klar ist, wozu dies im jeweiligen Einzelfall eigentlich geschieht. Diese Pädagoginnen und Pädagogen verkennen, dass der wissenschaftliche Prozess vor allem Gedankenarbeit erfordert, das mühevollen Übersetzen einer Frage an die Natur in eine überprüfbare Hypothese, die ihrerseits keinesfalls in jedem Fall experimentell geklärt werden muss, sondern – man denke nur an die Astronomie – oft auch schon durch intensives Beobachten, sorgfältige Dokumentation von Naturerscheinungen und schlussfolgerndes Denken allein geklärt werden kann.

Sicher ist die experimentelle Vorgehensweise die heute am weitesten verbreitete Methode der Hypothesenprüfung in den Naturwissenschaften. Aber sie ist doch immer nur ein Mittel zum Zweck und nicht der eigentliche Zweck der Naturwissenschaften, welcher im Erkenntnisgewinn besteht. Naturwissenschaftsunterricht, der sich vorrangig auf das Experimentieren beschränkt, verkennet mithin häufig die Notwendigkeit, das Experiment als eine Methode unter vielen in den Sinnzusammenhang der durch das Experiment zu klärenden Frage an die Natur zu stellen (vgl. Ramseger, 2010). Dann aber läuft der Unterricht Gefahr, zwar Staunen, aber gerade nicht „Verstehen“ zu produzieren, und verliert am Ende jeglichen bildenden Anspruch. Daher gibt guter naturwissenschaftlicher Unterricht den Kindern im Idealfall keine Experimente vor, sondern entwickelt die experimentelle Anordnung, die den Kindern eine Antwort auf ihre Fragen gibt, – wenn möglich – mit den Kindern selbst.

Allerdings sind Kinder im Vor- und Grundschulalter nur begrenzt in der Lage, eigene experimentelle Anordnungen zur Klärung ihrer Fragen an die Natur zu erfinden, die auch belastbare Ergebnisse produzieren (vgl. oben Abschnitt 2). Daher kann es durchaus Sinn machen, wenn Pädagoginnen und Pädagogen selbst experimentelle Anordnungen einbringen und den Kindern vorstellen. Dabei ist es aber von entscheidender Bedeutung, dass den Kindern bewusst ist oder durch den Unterricht bewusst wird, auf welche Frage an die Natur das betreffende Experiment eine Antwort liefern soll.

5.4 Präzises Arbeiten einüben



4. Kriterium:

Guter naturwissenschaftlicher Unterricht übt mit den Kindern das genaue Hinsehen, das sorgsame Dokumentieren des Erlebten und die Unterscheidung von Fragen, Vermutungen, Behauptungen und Beobachtungen.

Kinder sind zunächst keine Naturwissenschaftler. Kinder sind spontan, lebendig, sprunghaft, und jederzeit bereit, irgendeine Tätigkeit zugunsten einer attraktiveren anderen Sache einfach fallen zulassen. Ihre Disziplin ist beschränkt, ihre Fähigkeit zu kühlem, rationalem, unvoreingenommenem Urteilen, wie es für die szientifisch-kausale

Naturwissenschaft typisch ist, entwickelt sich erst im Durchgang durch das Bildungssystem. Kinder geben sich vielfach mit einer schnellen Antwort und großen Begriffen zufrieden („schwarze Löcher“!), deren Tragweite sie noch gar nicht durchschauen.

Es ist der Auftrag der Schule, Kindern die Ordnungssysteme und Vorgehensweisen, die wir „Wissenschaften“ nennen, allmählich Schritt für Schritt zu erschließen. Guter naturwissenschaftlicher Unterricht übt daher mit den Kindern das genaue Hinsehen, das sorgsame Dokumentieren des Erlebten und die Unterscheidung von Fragen, Vermutungen, Behauptungen und Beobachtungen.

5.5 Den wissenschaftlichen Diskurs pflegen



5. Kriterium:

Guter naturwissenschaftlicher Unterricht übt mit den Kindern den gepflegten Diskurs über die Vermutungen, die Beobachtungen und die Befunde. Er ist, so gesehen, eine spezifische Form von Sprachunterricht.

Wie umfassend Lehr-Lern-Situationen mit Grundschulkindern geplant und gestaltet werden müssen, die „wissenschaftlichen“ Ansprüchen genügen und nachhaltiges Verstehen produzieren sollen, zeigen die umfangreichen Studien von Tytler und Petersen (2004), Hardy, Jonen, Möller

und Stern (2006), Beinbrech (2010) sowie Tröbst, Hardy und Möller (2011). Wissenschaftliches Arbeiten erfordert eine der kindlichen Spontaneität geradezu entgegenlaufende Haltung.

Dazu gehören naturwissenschaftliche „Arbeitstugenden“ wie die genaue Verwendung von Begriffen und der Sprache. „Masse“ und „Gewicht“ eines Körpers sind nicht das gleiche. Unter „Energie“ versteht ein Biologe womöglich etwas anderes als ein Physiker. Überhaupt kommt es im naturwissenschaftlichen Unterricht ganz zentral auf das präzise Sprechen an. Denn ohne eindeu-

tige Versprachlichung der Beobachtungen, der Vermutungen und der Befunde kann kein stimmiges kognitives Schema entwickelt werden. Guter naturwissenschaftlicher Unterricht übt mit den Kindern den gepflegten Diskurs über die Vermutungen, die Beobachtungen und die Befunde. Er ist so gesehen genuiner Sprachunterricht in einer spezifischen Form.

5.6 Modelle und Repräsentationen nutzen

6. Kriterium:

Guter naturwissenschaftlicher Unterricht entwickelt mit den Kindern geeignete grafische Darstellungen, Modelle und Repräsentationen.

Hubber, Tytler und Haslam (2010) haben ebenso wie Hardy, Jonen und Möller (2004) in empirischen Studien herausgestellt, wie bedeutsam die grafische Repräsentation wissenschaftlicher Erklärungen und die Nutzung von Modellen für den Erkenntnisaufbau in den Naturwissenschaften sind. Beispielsweise erfolgt die Darstellung von Kräften in der Mechanik, die man nicht direkt sehen, sondern nur spüren oder in ihren Folgen sehen kann, in aller Regel mit Hilfe von grafischen Repräsentationen, Pfeildarstellungen oder Kräftediagrammen. Auch körperliche Darstellungen, wenn die Kinder beispielsweise im Rollenspiel die doppelte Drehbewegung der Erde um die eigene Achse und um die Sonne nachspielen und dabei fast schwindlig werden, unterstützen den Verstehensprozess. Der Nutzen solcher grafischer Veranschaulichungen, Tabellen, Gesten und körperlichen Darstellungen für den Verständnisaufbau wird im Allgemeinen hoch angesetzt.



„According to the teachers, the explicit negotiation of and discussion of representations of force led to a richer range of classroom discussions and opened up lines of inquiry that were closed in earlier versions of the unit. The requirement on students to generate and coordinate representations led to refinement of ideas in shared classroom discussion“ (Hubber et al., 2010, S. 24).

Als Begründung für die Wirksamkeit von Repräsentationen und Modellen wird angeführt, dass jegliches Lernen eine Abstraktion von Einzelfällen darstelle, die in Zeichen gespeichert wird. Dabei kommt es allerdings nach Hubber et al. entscheidend darauf an, dass die Kinder die passenden Repräsentationen möglichst selber erfinden und im Diskurs in der Lerngemeinschaft erläutern und verteidigen müssen. Dies entspricht dem ko-konstruktiven Gesamtarrangement zeitgemäßen Naturwissenschaftsunterrichts:

“There is a need for a strong sense of student agency in generating, negotiating and refining representations, and this aligns with previous claims by members of the research team [...] that supporting and challenging students to refine and coordinate their representations leads to them achieving increased coherence and flexibility in developing understanding“ (Hubber et al., 2010, S. 24f).

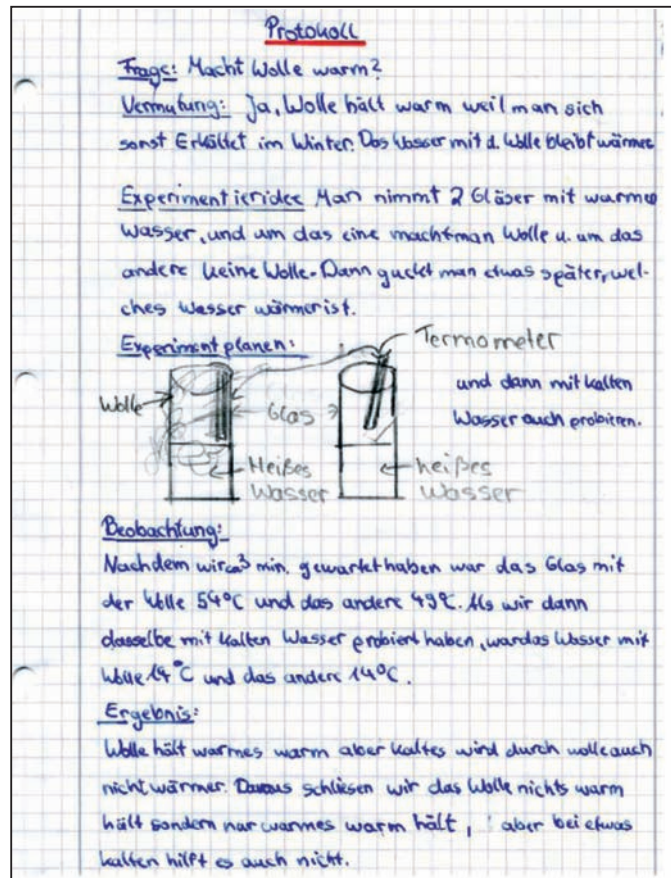


Abbildung 8: Grafische Repräsentation einer Versuchsidee durch eine Gruppe von Schülerinnen und Schülern (nach Wimmer, 2011; Quelle: Deutsche Telekom Stiftung / Deutsche Kinder- und Jugendstiftung (Hg.): Wie gute naturwissenschaftliche Bildung an Grundschulen gelingt. Ergebnisse und Erfahrungen aus prima(r)forscher. Berlin und Bonn, 2011)

Guter naturwissenschaftlicher Unterricht entwickelt daher mit den Kindern geeignete grafische Darstellungen, Modelle und Repräsentationen, die ihr Verstehen fördern (Beispiel in Abbildung 8).

5.7 Die historisch-gesellschaftliche Einbettung berücksichtigen

7. Kriterium:

Guter naturwissenschaftlicher Unterricht erweitert den Blick der Kinder für die historische, die kulturelle und die gesellschaftliche Bedeutung des behandelten Phänomens.

Naturwissenschaft steht nicht für sich allein, sondern ist immer eingebettet in eine historische und gesellschaftliche Situation. Sie verdankt ihr Entste-

hen nicht immer nur der menschlichen Neugier, sondern oft genug auch den Interessen ihrer Förderer. Das können wirtschaftliche, militärische, technische oder auch epistemologische Interessen sein. Oft dienen diese Interessen dem Machterhalt oder der Machterweiterung. Man denke nur an die Förderung der Welterkundung durch die großen Seefahrer zum Zwecke der Eroberung ferner Kolonien im 15. bis 18. Jahrhundert oder den Wettlauf zu den Erdpolen zu Beginn des 20. Jahrhundert, die aus imperialistischen Motiven von der spanischen bzw. britischen Krone massiv unterstützt wurden.

Forschungsförderung dient allerdings nicht immer partikularen Interessen, sondern bisweilen, beispielsweise im Bereich der erneuerbaren Energien oder der Elektromobilität, auch globalen Zwecksetzungen wie dem Erhalt der natürlichen Lebensbedingungen auf unserem Globus für die nachkommenden Generationen. Bildung für eine nachhaltige Entwicklung ist seit der Publikation des Brundlandt-Berichts im Jahre 1987 oder spätestens seit der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung von Rio 1992 zentraler Gegenstand des Schulunterrichts auf allen Jahrgangsstufen und lässt sich, wie die Publikationen zur Agenda 21 zeigen, in unterrichtsergänzenden Bildungsangeboten auch wirksam anbahnen.²⁷ Es ist offenkundig, dass dieses Menschheitsziel nur im Verein von ökonomischen, ökologischen, politischen und naturwissenschaftlich-technischen Bemühungen realisiert werden kann.

Versteht man naturwissenschaftliche Bildung mithin in einem umfassenden, die einzelnen Wissenschaftsdisziplinen übergreifenden Sinne als Beitrag zur „allgemeinen Bildung“, wäre es sicher unzulänglich, beispielsweise den Magnetismus im Sachunterricht auf das Spiel von Anziehung und Abstoßung unterschiedlicher Magnetpole und den Nachweis von Kraftlinien mit Eisenfeilspänen zu beschränken, ohne die historische und gesellschaftliche Nutzung der Entdeckung des Erdmagnetismus ausführlich mit zu behandeln. Denn der Magnetismus ist ja nicht nur in der Technik, beispielsweise in Form von mechanischen Schaltelementen, für uns von höchster Bedeutung.

Fast bedeutsamer ist die historische Dimension: Ohne die Entdeckung, dass sich kleine Magnetsteine, schwimmend gelagert oder drehbar aufgehängt, immer und überall zum Nordpolarstern ausrichten, hätten sich die spanischen Konquistadoren kaum über den großen Ozean



gewagt und ferne Kontinente angesteuert, die anzusteuern ihnen vor der Erfindung des Kompasses zu riskant war. Und ohne diese Erfindung wüssten wir

²⁷ Vgl. z. B. die Materialien aus dem Programm „Transfer 21“ bei <http://www.transfer-21.de/index.php?p=40>

vermutlich bis heute nichts von der Existenz Amerikas. Umgekehrt nutzen wir heute im Alltag satellitengesteuerte elektronische Navigationssysteme, die auf alle jenen Entdeckungen einschließlich der antiken Himmelsgeometrie basieren. Diese Bezüge sollte man mit Grundschulkindern ansprechen, wenn man im Sachunterricht den Magnetismus behandelt und den Kindern zugleich eine umfassende Allgemeinbildung erschließen will (vgl. hierzu auch Misgeld, Ohly, Rühaak & Wiemann, 1994; Rieß 1998).

5.8 Die Offenheit der Wissenschaft aufzeigen

8. Kriterium:

Guter naturwissenschaftlicher Unterricht zeigt den Kindern auf, dass unsere Antworten auf unsere Fragen an die Natur immer nur vorläufige sind und die Wissenschaft immer weiter geht.

Anspruchsvoll wird es, wenn wir den hypothetischen Charakter der Naturgesetze bedenken und uns klar machen, dass wissenschaftliche Aussagen grundsätzlich „vorläufig“ sind und immer und jederzeit durch Erkenntnisse auf komplexerer Erkenntnisebene überholt werden können. Das Atommodell bewährt sich derzeit, um den basalen Aufbau der Materie und die Reaktion von Stoffen mit einander zu erklären. Es bewährt sich bei der Produktion von Strom und von Bomben. Aber Teilchenforscher dringen immer weiter zu immer kleineren Bausteinen der Materie vor. Vielleicht ersetzen sie eines Tages das Atommodell durch ein anderes, komplexeres, die Wirklichkeit besser erklärendes Modell, so wie einst Kepler, Kopernikus und andere das geozentrische Weltbild überwunden haben.

Dieses Meta-Verständnis von Wissenschaft Kindern im Grundschulalter nahezubringen, ist sehr schwer. Sie glauben häufig, dass Forscher alles wissen, alles herausbekommen können und immer Recht haben. Vielleicht kommen Pädagoginnen und Pädagogen hier nicht viel weiter, als hin und wieder bei wissenschaftlichen Erklärungen die Worte „soweit wir heute wissen“ einzuflechten: „Soweit wir heute wissen, starben die Dinosaurier infolge eines gigantischen Kometeneinschlags aus“. Gerade dieses Thema, das Grundschulkindern gemeinhin brennend interessiert, könnte geeignet sein, die Vorläufigkeit, die jeweils begrenzte Reichweite und stetige Erneuerung von wissenschaftlichen Erklärungen wenigstens einmal in der Grundschulzeit zu thematisieren.

5.9 Lernzuwachs sichern

9. Kriterium:

Guter naturwissenschaftlicher Unterricht bewirkt einen Kompetenzzuwachs bei den Kindern.

Das vorletzte Qualitätskriterium, das hier vorgestellt wird, klingt auf den ersten Blick banal und erklärt sich aus dem Zweck von Bildungseinrichtungen. Natürlich sollen alle Bildungsangebote bei den Kindern einen Kompetenzzuwachs bewirken. Allerdings ist dieser Kompetenzzuwachs nicht immer ein-

fach festzustellen. Viele Forschungsarbeiten befassen sich derzeit mit diesem Problem. Die Expertisen von Anders et al. (2013a, b; hier in diesem Band) kommen zu dem Schluss, dass für sehr viele Kompetenzen oder Dimensionen erfolgreichen Unterrichts im Bereich der frühen naturwissenschaftlichen Bildung noch keine validen Tests vorliegen und diese erst noch entwickelt werden müssen. Solche Tests werden vermutlich zunächst eher für die Hand von (Erziehungs-)Wissenschaftler/innen als für die Hand von Pädagoginnen und Pädagogen entwickelt werden.

Pädagoginnen und Pädagogen, die heute unterrichten, werden daher den Erfolg ihrer Unterrichtsbemühungen noch länger mit informellen Tests und selbst gestrickten Lernerfolgskontrollen erheben müssen. Diese genügen in der Regel nicht den testtheoretischen Ansprüchen an exakte Messungen. Dass die Pädagogen überhaupt den Lernerfolg, so gut es ihnen im Alltag eben möglich ist, zu erfassen versuchen ist aber auch ein Baustein und Qualitätskriterium guten Unterrichts – wie fehlerbehaftet und subjektiv diese Lernkontrollen im Einzelfall auch sein mögen. Wer am Ende einer Unterrichtseinheit gar nicht erhebt, was die Kinder real gelernt haben, kann auch nicht erfassen, ob sie überhaupt etwas gelernt haben oder der ganze Unterricht vielleicht völlig unwirksam war. Guter naturwissenschaftlicher Unterricht sollte immer einen spürbaren (und manchmal messbaren) Kompetenzzuwachs bei den Kindern bewirken. So, wie es wichtig ist, zu Beginn einer Unterrichtseinheit die Präkonzepte der Kinder zu erheben, sollte am Ende jedes Forschungsprojektes auch eine Lernerfolgskontrolle stehen. Sie muss nicht benotet werden, aber sie sollte der Pädagogin bzw. dem Pädagogen Auskunft geben, ob und was die Kinder eigentlich verstanden haben.

5.10 Selbstwirksamkeitserfahrung ermöglichen

10. Kriterium:

Guter naturwissenschaftlicher Unterricht ermöglicht den Kindern die Erfahrung einer durch eigenes Denken gelösten Frage an die Natur.

Kommen wir zum letzten und bedeutsamsten Kriterium. Das wichtigste, allem Vorigen übergeordnete und allemal unverzichtbare Kriterium bezieht sich auf den Erkenntnisprozess als Ganzen, der durch den Unterricht in Gang gesetzt werden soll und immer ein individueller Prozess ist. Dieses Kriterium hebt darauf ab, dass jegliches Lernen an eigenständiges Denken gebunden ist, zu dem der Unterricht nur Material und Gelegenheit darbieten, das er aber nicht erzwingen kann. Wenn eingangs die Prämisse formuliert wurde, dass jeglicher Unterricht in den Naturwissenschaften von einer Frage an die Natur seinen Ausgang nehmen muss, umfasst das zehnte Erfolgskriterium den gesamten Unterrichtsprozess wie auch den Zielpunkt der unterrichtlichen Bemühungen: Guter naturwissenschaftlicher Unterricht ermöglicht den Kindern die Erfahrung *einer durch eigenes Denken gelösten Frage an die Natur*.

Dieses Kriterium rekurriert auf die Bedeutsamkeit der *Selbstwirksamkeitserfahrung* beim Lernen, und zwar auf die allgemeine wie auf die fachspezifische Selbstwirksamkeitserfahrung zugleich. Es unterstellt, dass kein Unterricht wirk-

lich wirksam ist, der nicht auch eine Selbstwirksamkeitserfahrung bewirkt. Dies ist in der Forschung gut belegt (zur Bedeutung der Selbstwirksamkeitserfahrung für den Lernerfolg siehe Lange, Kleickmann, Tröbst & Möller, 2012; Lohrmann, Görz & Haag, 2010; Rechter, 2011).

In der Praxis verweist dieses Kriterium auf die Notwendigkeit, im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht nur Handlungsmöglichkeiten für die Kinder bereitzustellen, sondern auch *Denkanlässe*. Im Idealfall – siehe das Zitat von Kornelia Möller (2004) zu Beginn des 4. Kapitels – steht das (gemeinsame) Denken geradezu im Zentrum des gesamten Unterrichts und wird durch das experimentelle Tun und praktische Probieren nur unterstützt und herausgefordert.

„Eigenes Denken“ meint dabei den Austausch eigener Ideen und Gedanken der Kinder zur Sache und nicht den simplen Nachvollzug von der pädagogischen Fachkraft vor-gedachter Gedanken. Der Lehrkraft kommt es zu, Denkprozesse durch geeignete Angebote, Fragen und Provokationen auszulösen und zu strukturieren. Ereignen müssen sich die Denkprozesse bei den Kindern. Dazu benötigen sie in der Regel die Unterstützung der professionellen Lehrkraft, die den Kindern hilft, ihre eigenen Gedanken zu ordnen und immer wieder auch zu überprüfen. In diesen Ordnungsbemühungen besteht vermutlich die anspruchsvollste Leistung, die die Pädagoginnen und Pädagogen in den Lernprozess der Kinder einbringen können. Den Kindern das eigene Lernen abnehmen können sie nicht.

6. Relevanz und Hierarchie der einzelnen Kriterien

Es ist offenkundig, dass die gleichzeitige Berücksichtigung aller zehn Kriterien eine äußerst anspruchsvolle Forderung darstellt, die mit Kindern im Vor- und Grundschulalter sicher nur in extremen Glücksfällen gelingen wird. Vermutlich dürfen sich Pädagoginnen und Pädagogen glücklich schätzen, wenn sie in einem konkreten Unterrichtsvorhaben wenigstens drei oder vier der genannten Kriterien realisieren können.

Doch für einen gelungenen Prozess der naturwissenschaftlichen Bildung reicht es vermutlich, mal das eine, mal das andere Kriterium zu realisieren, da sich Fachkompetenzen und allgemeine Bildung ohnedies nicht in einmaligen Veranstaltungen, sondern immer in einem längerfristigen Prozess im Durchgang durch das ganze Bildungssystem entwickeln. Dieser Prozess setzt zahlreiche unterschiedliche Gegenstandsperspektiven, Iterationen und Übungsmöglichkeiten voraus. Mit Rücksicht auf das Alter der Kinder und in Betrachtung der naturwissenschaftlichen Bildung über die gesamte Bildungskette kommt für einen guten naturwissenschaftlichen Unterricht im Vor- und Grundschulalter den eher basalen Kriterien (1) „die Natur frag-würdig machen“, (2) „die Präkonzepte der Kinder einbeziehen“, (4) „präzises Arbeiten einüben“, (5) „den wissenschaftlichen Diskurs pflegen“, (6) „Modelle und Repräsentationen nutzen“ und (9) „Lernzuwachs sichern“ meines Erachtens mehr Gewicht zu als den doch recht anspruchsvollen Kriterien (3) „Experimente selber entwickeln“ (7) „die historisch-gesellschaftliche Einbettung der naturwissenschaftlichen Erkenntnisse thematisieren“ und (8) „die Offenheit der Wissenschaft aufzeigen“. Die drei zuletzt genannten Qualitätsmerkmale sollten, beginnend in der Primarstufe, vermehrt in der Sekundarstufe besondere Betonung und Beachtung finden.

Dennoch erscheint es für Pädagoginnen und Pädagogen wichtig, alle zehn Kriterien im Blick zu haben, wenn sie Unterricht planen oder evaluieren, um beizeiten reagieren zu können, falls das eine oder andere Kriterium niemals zur Geltung kommen sollte. Und kein Unterricht wird letztlich wirklich „bildend“ genannt werden können, der dem fünften und dem zehnten Kriterium niemals gerecht wird und es permanent versäumt, mit den Kindern *wissenschaftliche Diskurse* zu pflegen und ihnen *die Erfahrung einer durch eigenes Denken gelösten Frage an die Natur* und damit das Gefühl der Selbstwirksamkeit zu ermöglichen.

7. Ausblick

Liest man die genannten Prozesskriterien für den naturwissenschaftlichen Unterricht als Liste und nimmt man dann noch die diesen Kriterien zugrunde liegenden bildungstheoretischen und fachdidaktischen Überlegungen zur Kenntnis, mag manchen Pädagogen und manche Pädagogin im Vor- und Grundschulbereich möglicherweise Mutlosigkeit überkommen: „Das alles soll ich beachten und erreichen? Und das alles, ohne selber Naturwissenschaften studiert zu haben? Da fühle ich mich überfordert!“

Hier kann die Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ unterstützend wirksam werden: nicht, indem sie die Ansprüche herunterschraubt und den Pädagoginnen und Pädagogen die Kriterien vorenthält, sondern umgekehrt, indem sie Erfahrungsberichte, Reportagen und Beispiele gelungenen Unterrichts im Vor- und Grundschulalter systematisch sammelt, kategorisiert und veröffentlicht und in ihren Materialien und Fortbildungen aufzeigt, wie die Pädagoginnen und Pädagogen in diesen Beispielen den genannten Qualitätskriterien bereits genügen, ohne sich dessen vielleicht im Einzelfall immer gewahr zu sein.

Hierzu könnte es sich lohnen, ein Projekt qualitativer Feldforschung auszuloben, dass die vielfältigen Bemühungen um vernünftige und praktikable Kompetenzmessungen im Bereich der naturwissenschaftlichen Bildung ergänzt durch eine Sammlung wegweisender Praxisbeispiele – wegweisend im Sinne des oben entwickelten Kriterienkatalogs. Wer solche Feldforschung bereits einmal gemacht hat, weiß, dass sich solche Beispiele überall im Lande finden lassen. Sie müssen nur gesucht, dokumentiert und verbreitet werden.