

## Zusammenfassung

Bereits vor dem Erscheinen der PISA-Ergebnisse hat die TIMS-Studie (Baumert et al. 1997) ab 1997 mit den im internationalen Vergleich als schlecht empfundenen Leistungen deutscher Schülerinnen und Schüler zu vielfältigen Diskussionen im Bildungsbereich und in der Öffentlichkeit geführt. Ein Ergebnis war die Initiierung des BLK-Programmes „Steigerung der Effizienz des mathematisch naturwissenschaftlichen Unterrichts“ (SINUS), u.a. mit dem Modul 1 zur „Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht“ (BLK-Expertise 1997). Die Aufgabenkultur bildet den Rahmen der zwei voneinander unabhängig durchgeführten empirischen Studien der vorliegenden Arbeit.

Die erste empirische Studie untersucht über einen Fragebogen (N = 1427) den Aufgabeneinsatz im Physikunterricht aus der Sicht von Schülerinnen und Schülern. Ziel war es, einen IST-Zustand etwa 20 Jahre nach der Veröffentlichung der TIMSS-Ergebnisse und der Initiierung des ersten SINUS-Programmes aufzunehmen. Die Items decken dabei das gesamte Spektrum der Aufgabenkultur ab, wie es im Zusammenhang mit der BLK-Expertise diskutiert wurde. Das Fundament des Fragebogens bildete ein Schülerfragebogen von Suckut (2013), der zur Untersuchung von Veränderungen des Aufgabeneinsatzes zwischen 2005 und 2007 eingesetzt wurde. Zentrale Skalen des damaligen Fragebogens konnten repliziert werden, zudem ergaben sich weitere inhaltlich sinnvolle Kategorien. Die Ergebnisse ermöglichen einen Überblick über zentrale Aspekte der Aufgabenkultur, beispielsweise das Kompetenzerleben, die Kontexteinbettung und den methodischen Einsatz.

In der zweiten empirischen Studie wird ein Unterrichtskonzept untersucht, bei dem die Bearbeitung von Aufgaben im Zentrum des Unterrichts steht. Dabei wurden Aufgaben aus einem bisher unbekanntem Themenbereich - in diesem Fall die experimentelle Bearbeitung optischer Blackboxen - von den Schülern nach nur minimalsten Vorabinformationen bearbeitet. Letztlich scheiterten die Schüler weitgehend. Sie generierten aber Lösungsansätze, die in der anschließenden Instruktionsphase gewinnbringend aufgegriffen werden. Dieser Instruktionsansatz wird in der Literatur „Productive Failure Ansatz“ genannt und wurde von Kapur (2008, 2010, 2012) entwickelt. Dem gegenüber steht in der Studie im Parallelklassendesign die direkte Instruktion, bei der die Schüler vor einer Aufgabenbearbeitung ausführliche Instruktionen erhielten. Der Productive Failure Ansatz führt dabei grundsätzlich zu vorteilhaften Lernergebnissen im Vergleich zur direkten Instruktion (Loibl et al. 2016). Durchgeführt wurde die Studie im regulären Physikunterricht der Jahrgangsstufe 6 an acht verschiedenen Gymnasien (N = 494). Dabei ergab sich hinsichtlich des Bearbeitungserfolgs kein entscheidender Vorteil für einen Instruktionsansatz. Dies lässt sich auf nicht optimal entfaltende Wirkmechanismen, die dem Productive Failure Ansatz zugrunde gelegt werden, zurückführen. Es ergaben sich aber Unterschiede im Bereich des Cognitive Loads und affektiver Konstrukte zwischen den beiden Ansätzen.

Stichworte: Aufgabenkultur, Productive Failure Ansatz, optische Blackbox

## Abstract

Even before the PISA results were published, the TIMS-Study (Baumert et al. 1997) in 1997 led to a wide range of discussions in the education sector and among the general public about the poor performance of German students in international comparison. Because of this the BLK-Program "Increasing the Efficiency of Mathematical and Science Teaching" (SINUS) was initiated. It included a Module 1 on "Further Developing the Task Culture in Mathematics and Science Teaching" (BLK-Expertise 1997). The Task Culture serves as the framework for two empirical studies conducted independently of each other. Both studies are presented in this thesis.

The first empirical study uses a questionnaire (N = 1427) to examine the usefulness of tasks in physics teaching from the perspective of students. The aim was to determine the current state about 20 years after the publication of the TIMSS results and the initiation of the first SINUS-Program. The items cover the entire spectrum of the Task Culture as discussed in the context of the BLK-Expertise. The questionnaire was based on a student questionnaire from Suckut (2013), which was elaborated to investigate changes in the use of tasks between 2005 and 2007. Some of the key scales of the questionnaire could be replicated, and further categories with meaningful content were found. The results provide an overview of important aspects of the task culture, such as experiencing competence, context embedding and methodical application.

In the second empirical study, an instructional approach is examined in which the processing of tasks is at the centre of teaching. In particular, tasks from a previously unknown subject area - in this case the experimental processing of optical black boxes - were processed by the students who had minimal preliminary information. Ultimately, the students failed to a large extent. However, they generated solution approaches which can be used in the subsequent instruction phase. This instructional approach is called "Productive Failure" and was developed by Kapur (2008, 2010, 2012). In a parallel class design study, the Direct Instruction was given to the students, where by the students received detailed instructions before solving a task. The Productive Failure approach generally leads to more advantageous learning outcomes than the direct instruction (Loibl et al. 2016). The study was carried out in regular physics classes in the sixth grade at eight different schools (N = 494). The investigations do not reveal a decisive advantage for an instructional approach in terms of processing success. This can be traced back to mechanisms of action that do not unfold in the best way, get on which the Productive Failure approach is based. However, there were differences in the area of cognitive load and affective constructs between the two approaches.

Key words: Task Culture, Productive Failure approach, optical black box

# 1 Einleitung

Die Veröffentlichung der TIMSS-Ergebnisse 1997 (Baumert et al. 1997) führte in Deutschland zu zahlreichen Diskussionen im Bildungsbereich und in der Öffentlichkeit, da die Leistungen deutscher Schülerinnen und Schüler im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich im internationalen Vergleich nur zu einer Platzierung im Mittelfeld ausreichten. Dies ist der Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit, die in diesem **Kapitel 1** eingeleitet wird. Gleichzeitig wird hier ein Überblick über den Aufbau der Arbeit gegeben, der zudem am Ende dieses Kapitels in einem Advanced Organizer grafisch dargestellt ist.

Auf Grundlage der TIMSS-Ergebnisse und weiterer didaktischer Studien der Mathematik und Naturwissenschaften formulierte die BLK-Expertise (1997) sechs zusammenfassende Problempunkte. Dies führte letztlich zur Initiierung des BLK-Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch naturwissenschaftlichen Unterrichts“, auch Modellversuch SINUS genannt. Die Maßnahmen zur Entwicklung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts im Rahmen dieses BLK-Programmes wurden in elf verschiedene Module eingeteilt. Dabei beinhaltete das Modul 1 die „Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht“. Dieses Modul wurde von den regionalen Schulsets am häufigsten zur Bearbeitung ausgewählt (Häußler und Lind 2000). Speziell für den Physikunterricht formulierten Häußler und Lind (1998) zentrale Aspekte der Weiterentwicklung der Aufgabenkultur, die unter anderem von Schecker (o. J.) und Leisen (2001, 2006) erweitert wurden. Im **Kapitel 2** werden ausgehend von den Defiziten des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts die Ansätze zur Weiterentwicklung der Aufgabenkultur dargestellt, beispielsweise die verbesserte Einbettung von Aufgaben in den Unterricht. Damit bildet die Weiterentwicklung der Aufgabenkultur die Grundlage für die zwei im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten empirischen Studien.

Die erste empirische Studie ist eine Fragebogenstudie, die einerseits auf den allgemein formulierten Aspekten der Weiterentwicklung der Aufgabenkultur und andererseits auf einem Schülerfragebogen zum Aufgabeneinsatz im Physikunterricht von Suckut (2013) aufbaut. Die Fragebogenstudie wird im **Kapitel 3** dargestellt und dient als Bestandsaufnahme zur Aufgabenkultur etwa 20 Jahre nach Bekanntgabe der TIMSS-Ergebnisse. Suckut (2013) führte ihren Schülerfragebogen zur Veränderung des Aufgabeneinsatzes im Rahmen des Programmes „Physik im Kontext“ in den Jahren 2005 und 2007 durch, also etwa zehn Jahre nach Bekanntgabe der TIMSS-Ergebnisse. Der zeitliche Abstand von jeweils etwa einer Dekade bietet sich nach Klieme et al. (2010) zur Untersuchung „systemischer Veränderungen“ an, da „positive Veränderungen auf der Ebene eines ganzen Systems“ schwierig sind und kürzere Zeiträume dafür nicht ausreichen. Teilgenommen haben in der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Fragebogenstudie 1427 Schüler an verschiedenen Gymnasien in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. Bei der Analyse und Darstellung der Ergebnisse wird regelmäßig ein Bezug zu den Aspekten der Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im Kapitel 2 hergestellt. Darüber hinaus werden Entwicklungen zu den Ergebnissen von Suckut (2013) vorgestellt, denn zentrale Skalen ihrer Studie konnten mit der aktuellen Studie repliziert werden. Insgesamt ergeben sich acht verschiedene Kategorien zum Aufgabeneinsatz im

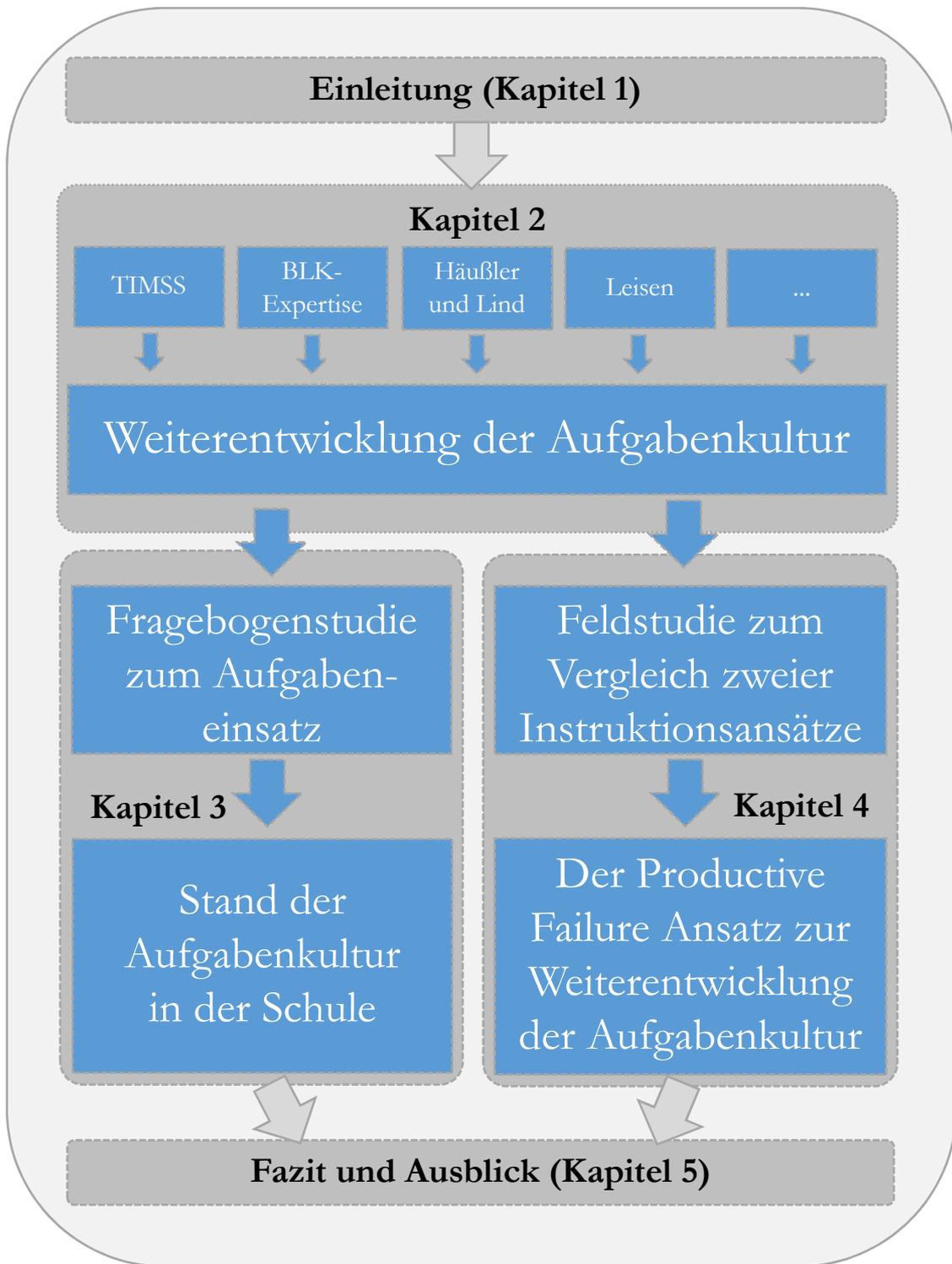
---

Physikunterrichtergänzend werden auszugsweise auch einzelne Items betrachtet. Abschließend erfolgt die Analyse von ausgewählten Kategorien für Teilstichproben, dabei können signifikante Unterschiede in Abhängigkeit vom Geschlecht der Schülerinnen und Schüler und vom Alter (Sekundarbereich 1 bzw. 2) dargestellt werden.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt im **Kapitel 4** bei der zweiten durchgeführten empirischen Studie, einer Feldstudie zum Vergleich von zwei Instruktionsansätzen. Im Parallelklassendesign kommt dabei einerseits der Ansatz der Direkten Instruktion (Wiechmann 2011a) und andererseits der Productive Failure Ansatz nach Kapur (2008, 2010, 2012) zum Einsatz. Im Gegensatz zur Direkten Instruktion bearbeiten die Schüler im Productive Failure Ansatz gleich zu Beginn eine Aufgabe in einem für sie bisher unbekanntem Themenbereich, im Rahmen dieser Studie die experimentelle Bearbeitung einer optischen Blackbox. Damit rückt der Productive Failure Ansatz die Aufgabebearbeitung ins Zentrum des Unterrichts und greift damit einen zentralen Aspekt zur Weiterentwicklung der Aufgabenkultur von Häußler und Lind (1998) auf. Bei dieser frühzeitigen Bearbeitung einer Aufgabe scheitern die Schüler weitgehend. Dies ist im Rahmen des Instruktionsansatzes allerdings beabsichtigt. Denn die Schüler generieren bei dieser anfänglichen Aufgabebearbeitung verschiedene Lösungsansätze, welche in der anschließenden Instruktionsphase der beabsichtigten Lösung kontrastierend gegenübergestellt werden. Dieses Vorgehen führt in den meisten Studien zu vorteilhaften Lernergebnissen und wird über drei zentrale Wirkmechanismen begründet (Loibl et al. 2016). Bisher wurde der Productive Failure Ansatz überwiegend im Mathematikunterricht eingesetzt, eine Übertragung in die experimentelle Physik hat nach Sichtung der Literatur bisher noch nicht stattgefunden. Aufbauend auf dieser Forschungslücke werden Forschungsfragen aufgestellt, die auch affektive Konstrukte und die kognitive Belastung (Cognitive Load) berücksichtigen. Dabei wird weitgehend auf bekannte und bewährte Skalen zurückgegriffen. Im Anschluss werden die Entwicklung der Feldstudie und das Forschungsdesign dargestellt und beschrieben. Durchgeführt wurde die Studie an acht verschiedenen Gymnasien im Großraum Hannover mit insgesamt 494 teilnehmenden Schülern. Es folgen die Darstellungen der verwendeten Messinstrumente mit einer sich anschließenden Analyse der gewonnenen empirischen Daten. Dies wird um eine Post-hoc Analyse zu Genderunterschieden ergänzt. In der abschließenden Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse zeigt sich, dass der Productive Failure Ansatz grundsätzlich in der experimentellen Physik, speziell bei der Bearbeitung optischer Blackboxen, eingesetzt werden kann. Die speziellen Entwicklungen und Ergebnisse unter anderem hinsichtlich des Fachwissens, der Motivation, der kognitiven Belastung und der Verständlichkeit werden ausführlich dargestellt.

Das abschließende **Kapitel 5** beinhaltet ein allgemeines Fazit mit Ausblick hinsichtlich der beiden im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten und dargestellten empirischen Studien. Dabei werden die Ergebnisse aus der Fragebogenstudie zum Aufgabeneinsatz im Physikunterricht und die Ergebnisse aus der Feldstudie zum Vergleich zweier Instruktionsansätze zusammengeführt. Abschließend wird der Productive Failure Ansatz hinsichtlich eines geeigneten Beitrages zur Weiterentwicklung der Aufgabenkultur im Physikunterricht bewertet.

Der soeben dargestellte grundlegende Aufbau dieser Arbeit ist in der folgenden Abbildung 1 mit Hilfe eines Advance Organizer dargestellt.



**Abb. 1:** Advance Organizer zum Aufbau der vorliegenden Arbeit

## 2 Aufgabenkultur

Ausgangspunkt dieses Kapitels bilden die durch die TIMS-Studie 1997 festgestellten Defizite des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts in Deutschland (Baumert et al. 1997) und das anschließend durchgeführte BLK-Programm „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“ (BLK-Expertise 1997). Ein spezieller Punkt dieses Programmes betraf den als nicht optimal angesehenen Einsatz von Aufgaben im Unterricht. Ansätze zur Weiterentwicklung der Aufgabenkultur werden dargestellt, welche die Grundlage für eine Fragebogenstudie (Kapitel 3) bilden.

### 2.1 Defizite des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts

Das als schlecht empfundene Abschneiden von Deutschland im Rahmen der internationalen Vergleichsstudie TIMSS (Third International Mathematics and Science Study) führte mit der Veröffentlichung erster Ergebnisse 1997 zu umfassenden Diskussionen über die Defizite des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts in Deutschland. Getestet wurden in TIMSS die Leistungen in Mathematik und Naturwissenschaften in den so genannten Schlüsseljahrgängen der Grundschule (nicht in Deutschland) und den Sekundarstufen I und II. Im Jahrgang 7 und 8 nahmen in Deutschland etwa 7000 Schüler aller Schulformen aus 15 Bundesländern teil. Damit lagen erstmals seit gut 25 Jahren zuverlässige Daten über das deutsche Bildungssystem in Bezug auf die mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer vor (Baumert et al. 1997).

Insgesamt erreichten die deutschen Schüler bei dieser TIMS-Studie im internationalen Vergleich bei mathematischen und naturwissenschaftlichen Leistungen nur eine Platzierung im Mittelfeld der Rangliste. Dabei liegen die Defizite weniger bei der Beherrschung von Routineverfahren sondern vielmehr im konzeptuellen Verständnis. Im Vergleich zu den angelsächsischen Ländern hängen die Schüler im 7. und 8. Jahrgang mehr als ein Schuljahr hinterher. Zudem ist die Heterogenität hoch, selbst innerhalb der einzelnen Schulformen treten Leistungsstreuungen von gut zwei Schuljahren auf. Diese sind in den Naturwissenschaften noch größer als in Mathematik. Auch sind die Leistungsfortschritte der Schüler in Deutschland im internationalen Vergleich vom 7. zum 8. Jahrgang eher gering. Hinsichtlich der Motivation bleibt eine vom Geschlecht und der Schulform unabhängige allgemeine Schulunlust auf mittlerem Niveau erhalten. Wie in anderen Fächern auch, ist ein allgemeiner Rückgang des Interesses an Mathematik und Naturwissenschaften von der 7. zur 8. Klasse festzustellen. Diese Abnahme ist in Bezug auf die Physik besonders stark. Im Vergleich mit der Mathematik sind den Schülern in Deutschland die Leistungen in den Naturwissenschaften weniger wichtig. Schülerinnen geben im Vergleich zu Schülern ein geringeres Selbstvertrauen in die eigenen Leistungen an und leiden vermehrt an Selbstzweifel. Dadurch ergeben sich Unterschiede zwischen Schülerinnen und Schülern im Bereich des Interesses und des Selbstkonzeptes, aber auch im Bereich der Leistungen, speziell in den Fächern Mathematik und Physik

(Baumert et al. 1997; Baumert und Köller 1998; Baumert et al. 1998; Lehrke 1999; Prenzel 2000; Schecker und Klieme 2001).

War man bis zur Veröffentlichung der TIMSS-Ergebnisse „von den besonderen mathematisch-naturwissenschaftlichen Stärken der ohnehin guten deutschen Schule“ (Prenzel 2000) überzeugt, so änderte sich dies schlagartig. Durch die Globalisierung und die schwindende wirtschaftliche Kraft Deutschlands führten die Ergebnisse von TIMSS zu einer vergleichsweise starken Beachtung nicht nur in der Bildungspolitik (Schecker und Klieme 2001). Das Ziel von Schulleistungsstudien ist immer „die Frage, wie gut ein Schul- bzw. Bildungssystem seinen Aufgaben gerecht wird“ (Drechsel et al. 2009). Dabei sollen solche Studien einerseits über den Zustand des eigenen Bildungssystems im (internationalen) Vergleich Auskunft geben, bei mehrmaligem Durchlauf auch über die Veränderungen. Aufgrund der alarmierenden Ergebnisse wurden von der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung Sofortmaßnahmen eingeleitet. Zur Vorbereitung eines bundesweiten Modellversuchsprogramms wurde unter der Leitung von Prof. Dr. Jürgen Baumert (Direktor des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung in Berlin) eine Expertengruppe eingesetzt, die Grundkonzeptionen für das Programm zur „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“, auch Modellversuch SINUS genannt, erarbeitete (BLK-Expertise 1997; Prenzel 2000). In den Vorbemerkungen zum Gutachten der Expertengruppe heißt es: „Ziel des Programms ist es, zu einer möglichst breit wirksamen Sicherung und Verbesserung der Qualität des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts und langfristig der mathematisch-naturwissenschaftlichen Bildung beizutragen. Dafür soll vorhandenes Wissen systematisch genutzt und der Optimierungsprozess durch geeignete Hilfen und infrastrukturelle Maßnahmen unterstützt werden.“ (BLK-Expertise 1997).

Dabei werden auch die Stärken des Unterrichts in Deutschland benannt: „Sie liegen in der unterstützenden Rahmung durch eine insgesamt solide Lehrplanarbeit, in der fachlichen Gediegenheit des Unterrichts, die durch die TIMSS-Video-Studie noch einmal gut belegt wird, und in der Erfahrung und den bewährten Handlungsmustern der Lehrkräfte.“ (BLK-Expertise 1997). Aufgrund dieser Stärken sieht die BLK-Expertise gute Voraussetzungen zur Weiterentwicklung und Optimierung des Unterrichts. Dabei sollen innerhalb von Schulsets durch die Zusammenarbeit von Lehrkräften Ansätze getestet und entwickelt werden, die dann anschließend im gesamten Netzwerk verbreitet werden. Auf Grundlage der oben dargestellten Ergebnisse der TIMS-Studie und weiterer didaktischer Studien der Mathematik und Naturwissenschaften gibt die BLK-Expertise letztlich die folgenden sechs zusammenfassenden Problempunkte des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts an (BLK-Expertise 1997):

- Eine geringe Akzeptanz und Wertschätzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer als unverzichtbarer Teil der Allgemeinbildung.
- Grundsätzliche Performanzprobleme mit einer Leistungsdifferenz zur internationalen Spitzengruppe von bis zu zwei Schuljahren, verbunden mit einer Leistungsstreuung von bis zu zweieinhalb Schuljahren innerhalb einer Schulform. Dazu kommen