

MATTHIAS EISENMANN (Karlsruher Institut für Technologie, KIT)

IRIS HANSJOSTEN (Karlsruher Institut für Technologie, KIT)

SVEN MATTHIESEN (Karlsruher Institut für Technologie, KIT)

**Praxisbericht: Methoden der Produktentwicklung und
Problemlösung – Ein Ansatz zur Vernetzung technikdidaktischer
Perspektiven**

Herausgeber

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>

MATTHIAS EISENMANN / IRIS HANSJOSTEN / SVEN MATTHIESEN

Praxisbericht: Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung – Ein Ansatz zur Vernetzung technikdidaktischer Perspektiven

ZUSAMMENFASSUNG: Für die Umsetzung von Unterricht im Fach Naturwissenschaft und Technik unter Berücksichtigung verschiedener technikdidaktischer Perspektiven fehlt es an übertragbaren Lehr-/Lernkonzepten. Mit Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung wurde ein Ansatz entwickelt, um diese Herausforderung zu adressieren. Dazu wurden drei Schritte unternommen: (1) in einer Pilotstudie wurde die prinzipielle Machbarkeit untersucht. (2) Anschließend wurden innerhalb einer Lehrkräftefortbildung weitere Methoden ausgewählt und diese (3) in Lehreinheiten an Karlsruher Gymnasien erprobt und evaluiert. Die Einzelmaßnahmen wurden in Bezug auf Anwendbarkeit und Nutzen mittels strukturierter Fragebögen und Freitextfragen evaluiert. Die Ergebnisse zeigen einen subjektiven Mehrwert aus Sicht der Schüler/-innen.

Schlüsselwörter: Problemlösung, Produktentwicklung, Methoden, Naturwissenschaft und Technik (NwT), Unterrichtskonzepte

Practice report: Methods of Product Development and Problem Solving - An Approach to connecting Perspectives in Didactics of Technology

ABSTRACT: Sustainable teaching/learning concepts are required for the implementation of technology teaching in the subject science and technology, taking into account different perspectives. With methods of product development and problem solving, an approach has been developed to address this challenge. Three steps were taken to test this approach: (1) A pilot study was conducted to examine the principle feasibility. (2) Suitable methods were selected within an in-service teacher training course and these (3) were tested and evaluated in teaching units at Karlsruhe secondary schools. The individual measures were evaluated in terms of applicability and usefulness using structured questionnaires and free-text questions. The results show a subjective added value from the pupils' perspective.

Keywords: problem solving, product development, methods, science and technology, teaching concepts

1 Einleitung

Die Konzeption eines allgemeinbildenden Technikunterrichts stellt Lehrende vor große Herausforderungen. Bereits in der Strukturierung und inhaltlichen Zusammensetzung ergeben sich durch die an der Technik beteiligten Fachdisziplinen aus Natur- und Ingenieurwissenschaften vielfältige Möglichkeiten und Perspektiven, die Lernziele eines solchen Unterrichts umzusetzen. Prozessbezogene Kompetenzen spielen dabei eine wichtige Rolle, da sie den inhaltlichen Kompetenzerwerb strukturieren. Im Kontext allgemeinbildenden Technikunterrichts stellt sich die Frage, welche Ansätze zur Entwicklung prozessbezogener Kompetenzen in dieser Hinsicht verfolgt werden können. Dieser Praxisbericht beschreibt die Entwicklung und Erprobung eines solchen Ansatzes zur Vermittlung prozessbezogener Kompetenzen unter Nutzung von Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung, da sich diese Methoden sowohl auf verschiedene inhaltliche Kontexte anwenden lassen wie auch verschiedene technikdidaktische Perspektiven adressieren können. Der Ansatz soll künftig als Hilfestellung für die Konzeption von allgemeinbildendem Technikunterricht genutzt werden können.

1.1 Technikdidaktische Perspektiven und deren Bedeutung für den gymnasialen Unterricht

In der Technikdidaktik wird zwischen verschiedenen Ansätzen der Ausrichtung des Technikunterrichts unterschieden: (1) Der Allgemeintechnologische Ansatz (AtA), (2) der Mehrperspektivische Ansatz (MpA) und (3) der Arbeitsorientierte Ansatz (AoA) (vgl. Schmayl 2013). Sie spiegeln verschiedene Sichtweisen auf die Technik wider, wobei der AtA die Technik als Betrachtung technischer Artefakte und der AoA ihre gesellschaftliche Komponente fokussiert. Eine Eingrenzung der Aspekte von Technik auf eine der beiden Dimensionen Gesellschaft oder Fachwissenschaft ermöglicht zwar eine fokussiertere Betrachtung, stellt aber eine Verkürzung der Betrachtungsweise dar. Für einen allgemeinbildenden Technikunterricht bietet sich daher aus Sicht der Autoren ein MpA an, da dieser die Sichtweisen der beiden anderen Ansätze kombiniert und so eine ganzheitliche Technikbetrachtung ermöglicht. Dies ist insbesondere für die gymnasiale Bildung relevant.

Innerhalb des MpA können für die Ausrichtung des Unterrichts verschiedene Ziele herangezogen werden. Sachs (1981) unterscheidet dabei vier Richtziele in Form von Perspektiven:

1. die *Handlungsperspektive*, abgebildet durch technische Handlungsformen
2. die *Kenntnis- und Strukturperspektive*, beschreibt Inhalte der technischen Sachdisziplinen
3. die *Bedeutungs- und Bewertungsperspektive*, beinhaltet die für eine Beurteilung relevanten Zusammenhänge der Technik
4. die *vorberufliche Orientierungsperspektive*, zeigt Anforderungen und spezifische Merkmale technischer Berufe auf.

Diese Betrachtung in Form verschiedener Perspektiven erlaubt eine Zuordnung zu verschiedenen Lernzieldimensionen technischen Unterrichts. Beispielsweise bieten die Perspektiven 1, 3 und 4 die Möglichkeit, auch losgelöst von einer konkreten Fachdisziplin, ganzheitliche prozessbezogene Kompetenzen, wie beispielsweise Vorgehensweisen zur Problemlösung, zur Analyse oder Entwicklung technischer Produkte zu fokussieren. Des Weiteren können die Richtziele sowohl auf ein Individuum (wie z. B. die *vorberufliche Orientierung*) als auch auf Belange der Gesellschaft (z. B. durch *Bedeutung und Bewertung*) bezogen werden. Eine Verortung der Richtziele in den verschiedenen Lernzieldimensionen ist in Abbildung 1 dargestellt.

Wie technische Allgemeinbildung im gymnasialen Unterricht verwirklicht wird, ist jedoch abhängig vom jeweiligen Bundesland. In vielen Bundesländern existieren im gymnasialen Bereich Fächer mit technischen Bildungsinhalten. Länderübergreifende Bildungsstandards für eine technische Grundbildung gibt es jedoch bislang nicht (vgl. Zinn 2014; Zinn, Latzel & Ariali 2017). Der Schwerpunkt des gymnasialen Schulfachs Naturwissenschaft und Technik (NwT) in Baden-Württemberg liegt auf einer interdisziplinären, technikwissenschaftlich inhaltlichen, aber auch methodischen Grundbildung. Die gewonnenen Kompetenzen sollten handlungs- und problemlösungsorientiert in Alltag und Beruf eingesetzt werden können, um zu einer Technikmündigkeit beizutragen. Dies spiegelt in vielerlei Hinsicht den MpA wider, weshalb das Fach NwT als Plattform für das in diesem Praxisbericht vorgestellte Konzept ausgewählt wurde.

1.2 Adressierung technikdidaktischer Perspektiven im Naturwissenschaft und Technik (NwT)-Unterricht

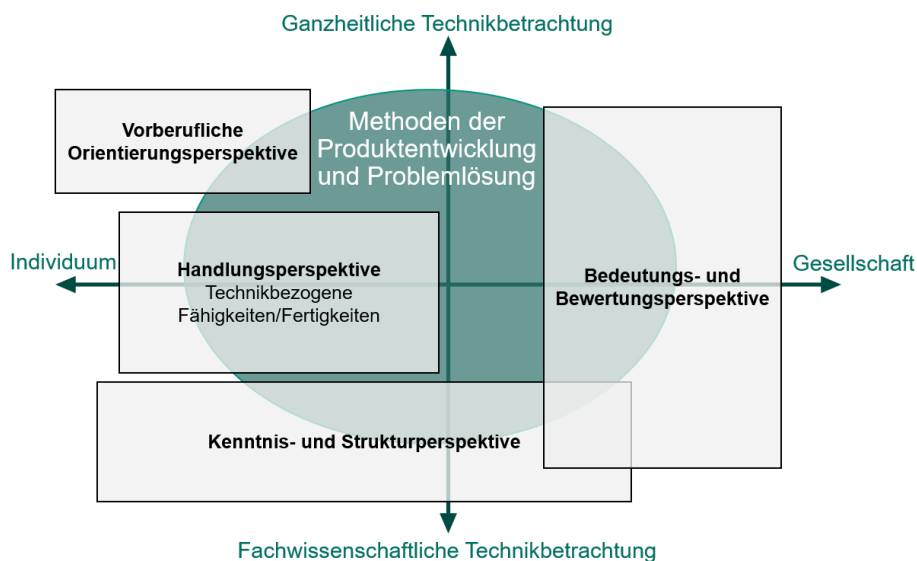
NwT wurde im Schuljahr 2007/2008 an allgemeinbildenden Gymnasien in Baden-Württemberg eingeführt. Als Profulfach des naturwissenschaftlichen Zugs wird NwT in den Klassen 8 bis 10 additiv zu den Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik vierstündig unterrichtet. Die konsekutive Fortführung in der Kursstufe in den Klassen 11 und 12 wird derzeit an Pilot-Schulen erprobt (vgl. Mokhonko, Ștefănică & Nickolaus 2014; Zinn, Latzel & Ariali 2017). Kennzeichnend für das Fach NwT ist dessen Ausrichtung als ein interdisziplinäres Fach, in dem Inhalte verschiedener Natur- und Technikwissenschaften vernetzt und diese mit Fokus auf Handlungs- und Projektorientierung unterrichtet werden (vgl. MKJS 2016, 2020).

Die zu erreichenden Lernziele strukturieren sich in fächerübergreifende Leitgedanken sowie fachspezifische inhalts- und prozessbezogene Kompetenzen. Fachspezifisch umfassen diese inhaltlich die Bereiche „Energie und Mobilität“, „Stoffe und Produkte“, „Informationsaufnahme und -verarbeitung“ sowie „Denk- und Arbeitsweisen in Naturwissenschaft und Technik: Systeme und Prozesse“. Dadurch werden verschiedene Inhalte aus *Kenntnis- und Strukturperspektive* bereits definiert, die den vier Strukturbereichen *Produktions-, Bau- und Informationstechnik*, sowie *Maschinen- und Energietechnik* (vgl. Binder 2020) zugeordnet werden können. Ergänzt werden die Inhalte auf prozessbezogener Ebene durch die Kompetenzfelder „Erkenntnisgewinnung und Forschen“, „Entwicklung und Konstruktion“, „Kommunikation und Organisation“ sowie „Bedeutung und Bewertung“. Diese spiegeln sowohl Aspekte der *Handlungsperspektive* als auch der *Bedeutungs- und Bewertungsperspektive* wider. Gerade aus Sicht dieser beiden Perspektiven sind jedoch im Bildungsplan keine konkreten Inhalte für den Unterricht definiert. Vielmehr sollen diese prozessbezogenen Kompetenzen begleitend zur Projektarbeit von den Schüler/-innen aufgebaut werden. Vor dem Hintergrund des vielerorts beklagten Fachkräftemangels in MINT-Berufen und deren Rolle für den Wissenschafts- und Technologiestandort Deutschland erlangt das Fach NwT auch hinsichtlich der *vorberuflichen Orientierung* eine große Bedeutung. Ein Ziel des NwT-Unterrichts ist die frühe Auseinandersetzung mit u. a. ingenieurwissenschaftlichen Berufsbildern, da Schulen als Ort der Techniksozialisation eine immer stärkere Bedeutung zukommt (vgl. acatech 2009; Matthiesen, Hölz & Eisenmann 2018).

NwT stellt Lehrende, Schulen und Lehrkräfte vor Herausforderungen in der Umsetzung, da nicht auf tradierte Lehr- und Lernkonzepte zurückgegriffen werden kann und das Fach aktuell überwiegend von rein naturwissenschaftlich ausgebildeten Lehrkräften unterrichtet wird (vgl. Mokhonko, Ștefănică & Nickolaus 2014; Zinn 2014). Es ist somit gleichermaßen für Schulpraxis wie auch für die Lehrkräftebildung von großer Bedeutung Lehr-/Lernkonzepte bereitzustellen, die

dem Anspruch des Schulfachs NwT gerecht werden. Obwohl vergleichbare Konzepte bereits vorhanden sind, fehlen den Lehrkräften in der Schulpraxis bisher häufig Konzepte, welche die prozessbezogenen Kompetenzen und *vorberufliche Orientierung* gezielt adressieren. Potenzial für derartige Konzepte können Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung aufweisen, da sie in der Berufspraxis eingesetzt werden, um die Entwicklung zu strukturieren. Zusätzlich besteht durch die Methoden ein Potential zur Förderung einer multiperspektivischen Sicht.

Abb. 1: Verortung der Richtziele des Technikunterrichts nach Sachs (1981) im Kontext von Technikbetrachtung zwischen Individuum und Gesellschaft.



1.3 Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung als Ansatz zur Vernetzung technikdidaktischer Perspektiven

In der Produktentwicklung werden etablierte und erfolgreiche Vorgehensweisen in Form von Methoden und Richtlinien dokumentiert, um die Verfügbarkeit für Entwickler/-innen sicherzustellen. Methoden können als expliziertes Erfahrungswissen von Expert/-innen zum Vorgehen in der Produktentwicklung und Problemlösung gesehen werden. Dadurch beinhalten sie die Teilaspekte *Tätigkeitsmerkmale und Anforderungen* sowie das *Erkennen und Einschätzen eigener Fertigkeiten beim Entwerfen* in den Erfahrungsbereichen zur Perspektive der *vorberuflichen Orientierung* (vgl. Binder 2020). Einen wichtigen Anteil bilden hier Problemlösungsmethoden wie SPALTEN (vgl. Albers, Burkhardt & Meboldt 2005) als Grundlage der VDI2221 (vgl. VDI 2019), DMAIC (vgl. Shankar 2009) oder 8D-Report (vgl. Kaplík et al. 2013), die ein strukturiertes Vorgehen (vgl. *Handlungsperspektive*) vorgeben, indem *Kenntnisse und Strukturen* analysiert und bewertet (vgl. *Bedeutung und Bewertung*) werden, um eine Entscheidung über das weitere Vorgehen zu treffen. Innerhalb der strukturierten Problemlösung können *Kenntnisse* durch Analysemethoden erweitert und durch *Bewertungsmethoden* wie die Nutzwertanalyse (vgl. Zangenmeister 1974) auf die relevanten Aspekte eingegrenzt werden. Methoden wie die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA; vgl. Hering & Schloske 2019) oder die SWOT-Analyse (vgl. Learned 1969) beziehen zusätzlich mögliche Risiken einer technischen Lösung und deren Eintrittswahrscheinlichkeit mit ein. Dadurch kann die *Bedeutung* je nach Bewertungsgrundlage für Anwender/-in, Gesellschaft oder auch für die Umwelt adressiert werden. Zusätzlich entsteht bei passender Einführung und

Reflexion eine Vernetzung zur *beruflichen Orientierung*, da Aspekte wie die Verantwortung für die Funktionstüchtigkeit und Sicherheit des entwickelten Produkts zum Alltag im Ingenieurberuf gehören.

Methoden der Produktentwicklung und des Problemlösens adressieren im berufsbezogenen Umfeld anteilig verschiedene Perspektiven der Technikdidaktik und ermöglichen bei passender Auswahl eine Vernetzung (siehe Abbildung 1). Wenn es gelingt, diese Methoden auf den Kontext des NwT-Unterrichts zu übertragen, können sie dazu beitragen, Kompetenzen innerhalb verschiedener Perspektiven der Technikdidaktik zu vermitteln und diese Perspektiven miteinander zu vernetzen. Hierdurch könnten die in den Bildungsplänen NwT formulierten prozessbezogenen Kompetenzen expliziter adressiert werden. Daraus leitet sich die Zielsetzung dieses Praxisberichts ab, Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung für den NwT-Unterricht verfügbar zu machen.

2 Vorgehen zur Integration von Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung in den NwT-Unterricht

Um Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung für den NwT-Unterricht verfügbar zu machen, wurden drei aufeinander aufbauende Entwicklungsschritte unternommen:

1. Pilotstudie: Zur Abschätzung der Eignung etablierter Methoden aus dem Ingenieurwesen für den schulischen NwT-Unterricht wurde die Problemlösungsmethodik SPALTEN als Ausgangspunkt für den Ansatz ausgewählt und in zwei Karlsruher Gymnasien erprobt.
2. Methodenauswahl: Im zweiten Schritt wurden weitere Methoden für die Erweiterung des Ansatzes ausgewählt. Dazu wurde eine Lehrkräftefortbildung konzipiert, um Feedback von Lehrkräften über die Eignung der Methoden einzuholen.
3. Implementierung: Im dritten Schritt wurden die in Schritt 2 ausgewählten Methoden in weiteren Unterrichtseinheiten an zwei Karlsruher Gymnasien umgesetzt und evaluiert.

Die Schritte zur Umsetzung und die verwendeten Evaluationsinstrumente werden im Folgenden näher erläutert.

2.1 Pilotstudie: Abschätzung der Eignung etablierter Methoden aus dem Ingenieurwesen

Das Konzept, Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung für die Förderung prozessbezogener Kompetenzen im NwT-Unterricht zu nutzen, fußt auf einer durch die Autoren durchgeführten Interviewstudie (vgl. Matthiesen et al. 2018). Die Studie untersucht, welche Erkenntnisse und Erfahrungen Lehramtsstudierende in einer kooperativen Projektarbeit mit Studierenden der Ingenieurwissenschaften erlangen können. Auch wenn die Ergebnisse dieser Untersuchung auf Grundlage subjektiver Bewertung der Studierenden erzielt wurden, zeigen sie, dass vor allem die planmäßige und strukturierte Vorgehensweise aus den Ingenieurberufen als gewinnbringend eingestuft wurde. Ausgehend von den Erkenntnissen dieser Voruntersuchung wurde die Problemlösungsmethodik SPALTEN (vgl. Albers et al. 2005) für die Erprobung in einer Pilotstudie ausgewählt, da sie dieses planmäßige Vorgehen widerspiegelt und als übergeordnete Methodik die Möglichkeit bietet, weitere Methoden einzubinden.

Die Problemlösungsmethodik SPALTEN (siehe Abb. 2) wurde am IPEK - Institut für Produktentwicklung des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelt. Seit 2017 sind die Grundzüge von SPALTEN auch in einer VDI-Richtlinie (vgl. VDI 2019) zur Entwicklung technischer Produkte integriert. Dadurch bildet die Methodik eine passende Basis für die Integration von Vorgehensweisen der Produktentwicklung in den Schulunterricht. Das Ziel von SPALTEN ist es, das natürliche Problemlösungsverhalten des Menschen zu unterstützen und zu strukturieren. Dies wird durch sieben Problemlösungsaktivitäten verwirklicht, die das Akronym „SPALTEN“ bilden. Dabei können eine oder mehrere Aktivitäten auch iterativ durchlaufen werden. Für jede der Problemlösungsaktivitäten lassen sich wiederum spezifische Methoden für z. B. Kreativität (vgl. *Alternative Lösungen*) oder zur Entscheidungsfindung (vgl. *Lösungsauswahl*) einsetzen. Da SPALTEN somit eine Struktur für den gesamten Problemlösungsprozess abbildet, kann es als Methodik gesehen werden, welche die Integration weiterer Methoden ermöglicht.

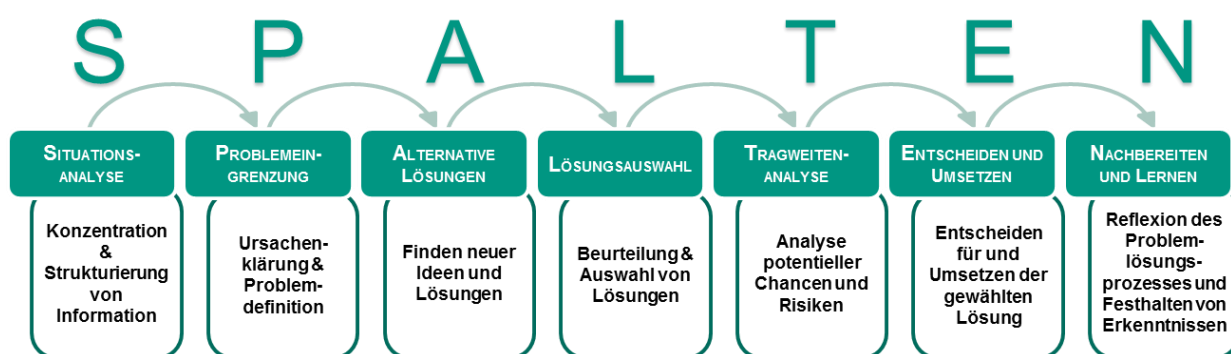


Abb. 2: Die Problemlösungsmethodik SPALTEN im Überblick (angelehnt an Albers et al. 2016, S. 5)

2.1.1 Konzeption und curriculare Einbettung der Pilotstudie

Bei der Konzeption der Unterrichtseinheit zur SPALTEN-Methodik wurde darauf geachtet, dass die Umsetzung für die Klassenstufen 8-10 möglich ist, um die Anwendbarkeit klassenstufenübergreifend im Sinne der prozessbezogenen Kompetenzen des Profulfachs NwT sicherzustellen. Durch die breite Anwendbarkeit von Problemlösungsmethoden kann SPALTEN prinzipiell für jedes Entwicklungsprojekt im NwT-Unterricht eingesetzt werden. Insbesondere der inhaltsbezogene Kompetenzbereich „Entwicklung und Konstruktion“ bietet sich für eine Umsetzung an. Zur Findung eines geeigneten Entwicklungsprojektes wurden folgende Kriterien berücksichtigt: Zeitaufwand, Schülermotivation, Komplexität und benötigtes Vorwissen der Schüler/-innen. Die Aufgabenstellung wurde so gewählt, dass sie in sechs bis acht Doppelstunden zu bewältigen ist. Ein hoher Grad an Schülermotivation sollte durch einen möglichst großen Alltagsbezug erreicht werden. Hierfür wurden Schüler/-innen aus Klasse 8-10 bei der Themenfindung einbezogen. Die resultierende Aufgabenstellung war die Optimierung eines Produkts, das unmittelbar der Lebenswelt der Schüler/-innen entstammt: Eine Aufbewahrungsmöglichkeit für In-Ohr-Kopfhörer sollte so weiterentwickelt werden, dass sich die Kopfhörerkabel nicht mehr verknoten können wie beim Ausgangsprodukt. Die Aufgabenstellung wurde initial durch einen NwT-Studierenden erprobt, um die prinzipielle Machbarkeit sicherzustellen. Für die Anwendung der SPALTEN-Methodik während der Projektarbeit wurde ein Arbeitsblatt erstellt, das die Schüler/-innen zur Dokumentation des Vorgehens in Bezug auf die sieben Problemlösungsaktivitäten nutzen sollten.

2.1.2 Rahmenbedingungen & Durchführung der Pilotstudie

Die Umsetzung der Unterrichtseinheit erfolgte parallel in zwei Klassen unterschiedlicher Karlsruher Gymnasien: einer 8. Klasse mit 16 Schüler/-innen und einer 10. Klasse bestehend aus 15 Schüler/-innen. Die zeitlichen Rahmenbedingungen der Durchführung waren für beide Schulklassen gleich, so wurde die Einheit innerhalb von zwei Schulwochen (acht Unterrichtsstunden) absolviert. Die erste Doppelstunde wurde für die Einführung und Einübung der SPALTEN-Methodik mit Unterstützung eines Arbeitsblatts genutzt. Die verbleibenden Stunden arbeiteten die Schüler/-innen selbstständig an der Entwicklung ihres Produkts und dokumentierten ihre Schritte mittels SPALTEN-Arbeitsblatt.

2.1.3 Evaluation der Pilotstudie

Nach Durchführung der Einheit wurde sie in Bezug zu SPALTEN mit den beteiligten Lehrkräften ($n = 2$) und Schüler/-innen ($n = 31$) im Gruppengespräch mittels offener Fragen qualitativ evaluiert. Dabei wurden die Teilnehmenden befragt (1) welche Aspekte der SPALTEN-Methodik sie als positiv bzw. negativ bewerten, (2) ob sie der Meinung sind, dass sie ohne die SPALTEN-Methodik zum gleichen Projektergebnis gekommen wären und (3) was ihnen konkret geholfen hat. Die Aussagen wurden dokumentiert und anschließend inhaltlich geclustert.

2.2 Methodenauswahl: Lehrkräftefortbildung zur Identifikation geeigneter Methoden

Aufbauend auf den Erfahrungen der Pilotstudie wurde im zweiten Schritt eine eintägige Lehrkräftefortbildung zu Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung konzipiert mit Blick auf deren potenziellen Einsatz im NwT-Unterricht. Ziel war es, die Perspektive und Vorkenntnisse der Lehrkräfte stärker in die Integration des Ansatzes einbeziehen zu können, und ihnen gleichzeitig eine professionelle Handlungsgrundlage zur eigenständigen Umsetzung des Ansatzes in bestehenden Unterrichtseinheiten zu vermitteln.

2.2.1 Konzeption & Bezug der Methoden zum Bildungsplan NwT 2016

Schwerpunkt der Methodenauswahl für die Fortbildung lag auf breiter Anwendbarkeit, um diese nicht von vorneherein an bestehende Unterrichtseinheiten zu koppeln. Hierdurch sollte den Lehrkräften die Nutzbarkeit entlang des kompletten NwT-Bildungsplans verdeutlicht werden. Indem die Methoden im Sinne des im Bildungsplan NwT vorgesehenen Spiralcurriculums (vgl. MKJS 2016, 2020) wiederholt auf unterschiedliche inhaltliche Themenfelder angewandt werden, können die prozessbezogenen Kompetenzen bei den Schüler/-innen kontinuierlich ausgebaut werden. Da es sich um Methoden handelt, die im professionellen Umfeld in der Produktentwicklung angewandt werden, ist der Bezug zum entsprechenden Kompetenzfeld des Bildungsplans „Entwicklung und Konstruktion“ mit den Kompetenzen „planen“, „realisieren“ und „optimieren“ (vgl. MKJS 2016, 2020) am stärksten. Darüber hinaus werden die drei weiteren prozessbezogenen Kompetenzfelder des Bildungsplans durch Methodeneinsatz adressiert und strukturiert: Beispielsweise im Bereich „Bedeutung und Bewertung“, indem die Schüler/-innen „Nutzen und Risiken

abschätzen und bewerten“ oder „recherchieren“, „Modelle nutzen“ und „vernetzt forschen“ (Bereich „Erkenntnisgewinnung und Forschen“), ebenso wie „Fachsprache nutzen“, „projektartig arbeiten“ und „kooperieren“ hinsichtlich des Kompetenzbereichs „Kommunikation und Organisation“.

Da die Abschätzung von Risiken technischer Lösungen eine Kernkompetenz zur Entwicklung einer Technikmündigkeit darstellt und gleichzeitig wesentlicher Bestandteil des Berufsbilds von Ingenieur/-innen ist (vgl. *vorberufliche Orientierung*), wurden neben SPALTEN als strukturierenden Problemlösungsmethodik die Nutzwertanalyse (NWA) und die FMEA als weitere Methoden zur objektiven Bewertung und Risikoabschätzung inkludiert. Zusätzlich wurden das Ishikawa-Diagramm als Möglichkeit der strukturierten Problemeingrenzung und die Kreativitätsmethode 6-3-5 für die Suche nach alternativen Lösungsansätzen integriert. Die genannten Methoden können sowohl innerhalb von SPALTEN wie auch losgelöst davon kontextuell angewandt werden. Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Methoden zueinander.

Tab. 1: Übersicht der ausgewählten Methoden für die Lehrkräftefortbildung (blau hinterlegt) und deren Bezug zum Unterrichtseinsatz

Aktivität	Zusätzliche Methode	Bezug zum Unterrichtseinsatz NwT
S Situationsanalyse	-	Keine zusätzliche Methode vorgestellt, da Situationsanalyse im Unterricht häufig durch die Lehrkraft selbst durchgeführt wird
P Problemeingrenzung	Ishikawa-Diagramm	Unterstützung bei Problemeingrenzung , da als Ursache-Wirkungs-Diagramm einfach und schnell anwendbar, ermöglicht eine Fokussierung des weiteren Vorgehens
A Alternative Lösungen	6-3-5	Strukturierte Kreativitätsmethode zur alternativen Lösungsfindung , auch ohne Moderation einer Lehrkraft (z. B. mit Arbeitsblatt) anwendbar
L Lösungsauswahl	NWA	Bereits teilweise etabliert im Unterricht, einfache Heranführung an Bewertung von Lösungsalternativen mittels z. B. Excel-Vorlage
T Tragweitenanalyse	FMEA	Unterstützung der objektiven Tragweitenanalyse , die einen Kernbaustein der Tätigkeit von Ingenieur/-innen darstellt
E Entscheiden und Umsetzen	-	Keine zusätzliche Methode vorgestellt, da Entscheiden und Umsetzen vorwiegend Projektmanagement adressiert, was bereits gesondert im NwT-Unterricht betrachtet wird
N Nachbereiten und Lernen	-	Keine zusätzliche Methode vorgestellt, da Reflexion i. d. R. gemeinsam mit Lehrkraft innerhalb der Bewertung der Projektarbeit vorgenommen wird

2.2.2 Rahmenbedingungen & Durchführung der Lehrkräftefortbildung

Zur Einführung wurde SPALTEN als übergeordnete Methodik anhand eines Beispiels angewandt, um das systematische Vorgehen zu illustrieren. Die weiteren Methoden wurden den Teilnehmenden eingeordnet in die SPALTEN-Methodik vorgestellt und jeweils anhand eines konkreten Beispiels von den Teilnehmenden angewandt. Dabei wurden mögliche Einsatzszenarien in bestehenden NwT-Unterrichtseinheiten der Teilnehmenden im Plenum diskutiert.

Um ein Feedback auf breiter Basis zu ermöglichen, wurde ein möglichst großes Spektrum an Teilnehmer/-innen eingeladen: erfahrene und unerfahrene Lehrkräfte, Lehrkräfte mit und ohne

NwT-Studium sowie Fachleiter des Fachs NwT. Außerdem wurde die Fortbildung Baden-Württemberg weit ausgeschrieben, um auch Lehrkräfte außerhalb des Regierungspräsidiums Karlsruhe gewinnen zu können. An der eintägigen Fortbildung nahmen 18 Lehrkräfte teil, davon zwei Fachleiter, sowie zusätzlich zu Lehrkräften aus Karlsruhe Teilnehmer aus Freiburg, Mannheim und dem Raum Stuttgart.

2.2.3 Evaluation der Lehrkräftefortbildung

Die vorgestellten Methoden wurden unmittelbar nach der Lehrkräftefortbildung mittels Fragebögen mit 6-stufiger Likert-Skala hinsichtlich folgender Aspekte evaluiert: (1) welche Methoden die Lehrkräfte im Unterricht selbst anwenden werden und (2) bei welchen Methoden sie noch didaktischen Anpassungsbedarf für den Einsatz im NwT-Unterricht sehen. Außerdem wurden sie befragt, welche der vorgestellten Methoden ihnen bereits vor der Fortbildung bekannt waren. Zusätzlich wurden Freitextkommentare zur Nutzbarkeit der Fortbildungsinhalte für den Unterricht auf dem Fragebogen erbeten. Durch die Evaluation sollten identifiziert werden, welche Methoden sich prinzipiell für eine Erweiterung des Ansatzes eignen und welche Methoden zur Nutzung in der nachfolgenden Implementierung noch didaktisch reduziert werden sollten.

2.3 Implementierung: Erprobung & Evaluation von Konzepten für den NwT-Unterricht

Durch die Evaluation in der vorangegangenen Lehrkräftefortbildung wurden neben SPALTEN zwei weitere Methoden für die Implementierung in Unterrichtseinheiten ausgewählt: Die NWA und die FMEA. Für deren Implementierung in den NwT-Unterricht konnten zwei Karlsruher Gymnasien gewonnen werden.

2.3.1 Konzeption & curriculare Einbettung

Zwei Konzepte wurden erarbeitet, die unterschiedliche Methoden beinhalten: (A) SPALTEN als Methodik für die Produktentwicklung mit Integration der NWA als Entscheidungshilfe. (B) Eine didaktisch reduzierte Version der FMEA für eine initiale Erprobung etablierter Methoden der industriellen Produktentwicklung im Schulunterricht.

- **(A) Erweiterung des Ansatzes**

Da SPALTEN nicht nur als Einzelmethode, sondern als strukturierende Methodik für die gesamte Projektarbeit genutzt werden kann, wurde es für die Implementierung mit der Nutzwertanalyse kombiniert. SPALTEN als Leitlinie der Projektarbeit einzusetzen wurde durch die Nutzung von Arbeitsblättern über ein gesamtes Entwicklungsprojekt im NwT-Unterricht umgesetzt. Hierdurch sollte den Schüler/-innen eine Orientierung zum Stand ihres Projekts ermöglicht werden. Zur Erprobung von SPALTEN als Methodik wurde die Nutzwertanalyse als Methode in der *Lösungsauswahl* in die Projektarbeit integriert.

- **(B) didaktische Reduktion**

Eine ausführliche FMEA kann in der Produktentwicklung mehrere Wochen in Anspruch nehmen. Um die zugrundeliegende Vorgehens- und Denkweise für Schüler/-innen verfügbar zu

machen, wurde das Vorgehen der FMEA auf ihren Kern reduziert: In einer vollumfänglichen FMEA werden mehrere Bewertungen vorgenommen, die zu einer Kennzahl (Risikoprioritätszahl RPZ) verrechnet werden. Darauf basierend wird entschieden, ob Maßnahmen zur Risikovermeidung getroffen werden müssen. Der Kerngedanke der Methode ist, Risiken des Produkts abzuschätzen und diese abzustellen, bevor negative Auswirkungen auftreten können. In der Implementierung wurde die FMEA reduziert, indem mögliche Fehler benannt und in Bezug auf *Bedeutung*, *Auftretenswahrscheinlichkeit* bewertet wurden. Die Bewertungen dieser beiden Größen wurden dann zu einer reduzierten RPZ verrechnet. Zusätzlich wurde die Dokumentation der Methode im Verhältnis zur realen Anwendung vereinfacht. Der Kerngedanke der Methode wurde dadurch nicht verändert, da lediglich die Komplexität der Anwendung reduziert wurde, um den Schüler/-innen einen initialen Zugang zum Thema Risikoabschätzung zu ermöglichen.

Für die Implementierung stand die Nutzbarkeit von Methoden im regulären NwT-Unterricht im Vordergrund. Deshalb wurde keine Aufgabenstellungen durch die Autoren eigens für die Erprobung entwickelt, sondern stattdessen gemeinsam mit den kooperierenden Lehrkräften bereits geplante Einheiten für die Implementierung ausgewählt.

2.3.2 Rahmenbedingungen & Durchführung der Implementierung

Für die Implementierung konnten zwei Karlsruher Gymnasien gewonnen werden. Die Variante (A) SPALTEN und NWA wurde in einer 10. Klasse mit 14 Schüler/-innen, die Variante (B) der didaktisch reduzierten FMEA in einer 8. Klasse mit 23 Schüler/-innen erprobt. Für (A) wurde eine sechswöchige Projektarbeit ausgewählt. SPALTEN wurde vergleichbar zur Pilotstudie innerhalb einer Unterrichtsstunde mittels Anwendungsbeispiels eingeführt und eingeübt. In den folgenden Stunden setzten die Schüler/-innen SPALTEN für die Zielsetzung und Projektplanung ein und bewerteten ihre Lösungsideen vor der Umsetzung mit Hilfe einer NWA. Anschließend sollten die Schüler/-innen begleitend zur Projektarbeit kontinuierlich, unterstützt durch Arbeitsblätter, SPALTEN anwenden. Für Variante (B) wurde eine Einheit zur Einführung in die Produktentwicklung ausgewählt. Die FMEA wurde zu Ende der Qualifikationsphase innerhalb einer Doppelstunde eingeführt und in einer weiteren Doppelstunde auf die aktuelle Entwicklungsaufgabe angewendet.

2.3.3 Evaluation der Implementierung

Wie bereits in der Lehrkräftefortbildung wurde auch die Implementierung der Methoden mittels strukturierter Fragebögen mit einer 6-stufigen Likert-Skala summativ evaluiert. Für die Implementierung wurden sowohl die *Anwendbarkeit* der Methoden wie auch deren *subjektiver Nutzen* erfasst (NWA lediglich *Nutzen*, da Methode bereits im NwT-Unterricht Anwendung findet). Ein Hauptziel der Implementierung war, die prozessbezogenen Kompetenzen der Schüler/-innen zu fördern. Deshalb wurden für die Evaluation des Nutzens der Methoden jeweils zwei Items zu dessen Abfrage konstruiert: Ein Item bezog sich auf das *Vorgehen* und inwieweit die Methode dabei unterstützt hatte (z. B. „SPALTEN hat uns eine sinnvolle Struktur für das Vorgehen vorgegeben“). Das jeweils zweite Item bezog sich auf den Einfluss auf das *Ergebnis* in Bezug auf das zu entwickelnde Produkt (z. B. „Die NWA hat uns ermöglicht, eine fundierte Entscheidung zu treffen“). In Variante (A) wurde die NWA einmalig durchgeführt und in Bezug zu ihrem *Nutzen* bewertet. SPALTEN

wurde in Bezug auf *Anwendbarkeit* und *Nutzen* für die gesamte Projektlaufzeit und zusätzlich zu drei Zeitpunkten im Entwicklungsprojekt auf den jeweiligen *Nutzen* in diesen Entwicklungsphasen evaluiert. Für Variante (B) wurde die FMEA zu Ende des Projekts im Hinblick auf *Anwendbarkeit* und *Nutzen* evaluiert.

3 Ergebnisse der Integration von Methoden in den NwT-Unterricht

In diesem Abschnitt werden die aufeinander aufbauenden Ergebnisse der drei unternommenen Entwicklungsschritte vorgestellt. Nach Durchführung der Pilotstudie konnte aus den formativen Evaluationsergebnissen eine prinzipielle Eignung von Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung insbesondere in Bezug auf das systematische Vorgehen identifiziert werden. Darauf aufbauend wurden Methoden für die Erprobung in einer Lehrkräftefortbildung ausgewählt. Gestützt auf die formative und Freitext-Evaluation der Lehrkräfte innerhalb der Fortbildung konnten initial drei Methoden für die Implementierung im NwT-Unterricht ausgewählt, erprobt und summativ mithilfe von Fragebögen evaluiert werden. Im Folgenden werden diese Ergebnisse weiter ausgeführt.

3.1 Ergebnisse der Pilotstudie

Durch die SPALTEN-Methodik wurde den Schüler/-innen vorgegeben im Rahmen der Projektarbeit schrittweise vorzugehen, dies zu dokumentieren und mit den jeweiligen Erkenntnissen zu ergänzen. Die abschließende Befragung der Schüler/-innen zeigte auf einer qualitativen Ebene, dass die SPALTEN-Methodik in dieser Form von beiden Klassen als hilfreich aufgenommen wurde. Dabei wurde hauptsächlich die bessere Strukturierung des Vorgehens durch SPALTEN hervorgehoben. Aber auch die Anregung zur kontinuierlichen Reflexion im Projektverlauf wurde positiv bewertet und mit einem verbesserten Projektergebnis in Verbindung gebracht. Ebenso wird in einer Aussage beschrieben, dass durch das methodische Vorgehen etwas eigentlich Intuitives strukturiert wird (Tabelle 2).

Tab. 2: Ergebnisse der qualitativen Evaluation der Pilotstudie (n = 31).

Strukturierung	Reflexion
SPALTEN gibt dem Entwicklungsprozess Struktur. (7 Nennungen)	Durch SPALTEN werden Ideen/Ansätze kontinuierlich hinterfragt. (6 Nennungen)
„Eigentlich ist SPALTEN intuitiv, aber gibt dennoch zusätzliche Struktur.“	SPALTEN hilft Probleme zu erkennen bzw. zu definieren. (6 Nennungen)
„Ohne SPALTEN würden wir vermutlich zum gleichen Ergebnis kommen, jedoch würden wir dafür vermutlich mehr Zeit benötigen.“	„Durch die Methode wird man daran erinnert, was bereits verbessert wurde und was noch nicht funktioniert.“ Ohne SPALTEN würden immer neue Endprodukte gebaut werden (2 Nennungen)

Die beteiligten Lehrkräfte (in beiden Fällen NwT-Lehrkräfte ohne NwT-Studium) bescheinigten dem Einsatz der SPALTEN-Methodik im NwT-Unterricht im abschließenden Evaluationsgespräch einen Mehrwert hinsichtlich systematischem Vorgehen und der Möglichkeit auch bestehende NwT-Unterrichtseinheiten „technisch prägen zu können“. Sie hoben hervor, dass durch die Unterrichtseinheit auch ihnen der Einstieg in das systematische Denken sowie den Produktentwicklungsprozess ermöglicht wurde, was die inhaltsbezogenen Kompetenzen „Denk- und Arbeitsweisen in Naturwissenschaft und Technik: Systeme und Prozesse“ des Bildungsplans adressiert (vgl. MKJS 2016, 2020). Ferner zeigten die subjektiven Einschätzungen der Lehrkräfte, dass das Vorgehen der Schüler/-innen beim Entwickeln und Fertigen der Prototypen durch das methoden-gestützte Vorgehen deutlich stärker der in den Bildungsstandards geforderten Kompetenz „Konstruieren“ glich und weniger einem unstrukturierten „Basteln“ entsprach. Dies stärkt zusätzlich den Professionsbezug des Unterrichts hinsichtlich *vorberuflicher Orientierung*.

Die Umsetzbarkeit der SPALTEN-Methodik sowohl in Klasse 8 als auch in Klasse 10 deutet darauf hin, dass das vermittelte strukturierte Vorgehen in der Problemlösung für die gesamte Mittelstufe eingesetzt werden kann. Dies ist vermutlich auf die von den Schüler/-innen angesprochene Strukturierung und Reflexion des intuitiven Lösungsvorgehens zurückzuführen. Auch wenn diese Ergebnisse auf verhältnismäßig kleinen Stichproben und individuellen und damit interpretierbaren Aussagen basieren, konnte das Ziel der Pilotstudie erreicht werden. Am Beispiel der SPALTEN-Methodik wurden erste Erfahrungswerte zur Eignung von Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung im NwT-Unterricht gesammelt. Damit bietet sich SPALTEN als mögliche Basis für den Ansatz zur Erweiterung mit zusätzlichen Methoden für weitere Erprobungen an.

3.2 Methodenauswahl: Ergebnisse der Lehrkräftefortbildung

Die Lehrkräfte bewerteten innerhalb des Fragebogens, ob ihnen die vorgestellten Methoden bereits bekannt waren. Die Ergebnisse (Abbildung 3) zeigen, dass die Kreativitätsmethode 6-3-5 mit deutlichem Abstand am bekanntesten war (63%), gefolgt von der Nutzwertanalyse (NWA, 38 %). Die SPALTEN-Methodik und FMEA waren hingegen nur wenig bekannt (19 %), das Ishikawa-Diagramm sogar gänzlich unbekannt.

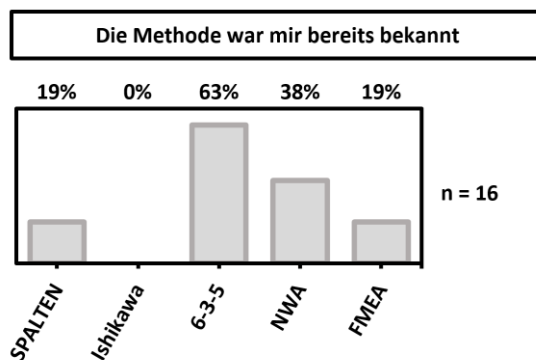


Abb. 3: Evaluationsergebnisse der Lehrkräftefortbildung zur Bekanntheit der Methoden.

Mit Blick auf die Frage, inwiefern die Lehrkräfte die Methoden im NwT-Unterricht anwenden werden (siehe Abbildung 4), zeichnet sich bei der SPALTEN-Methodik, dem Ishikawa-Diagramm und 6-3-5-Methode sowie der NWA eine positive Tendenz ab ($MW > 4$), jedoch variiert die Verteilung der Einschätzungen zwischen den jeweiligen Methoden. Die FMEA wurde mehrheitlich eher nicht in der schulischen Anwendung gesehen ($MW = 3,27$), hier sehen die Lehrkräfte auch mehrheitlich den größten Anpassungsbedarf ($MW = 4,59$) zur weiteren didaktischen Reduktion. Zu erwarten war der geringe Bedarf weiterer didaktischer Anpassungen bei der 6-3-5-Methode ($MW = 2,76$), da diese dem Großteil der Teilnehmenden bekannt war. Bei NWA und SPALTEN-Methodik ist der Wunsch nach Anpassung im Mittel gering. Die breite Streuung zeigt, dass sowohl wenig bis auch hoher Anpassungsbedarf gesehen werden, obwohl die Methoden für den Einsatz im eigenen Unterricht eher überzeugten. Ähnlich verhält es sich beim Ishikawa-Diagramm, das zwar im Mittel am stärksten im schulischen Einsatz gesehen wird, jedoch 44 % der Teilnehmenden noch weiteren Anpassungsbedarf befürworten.

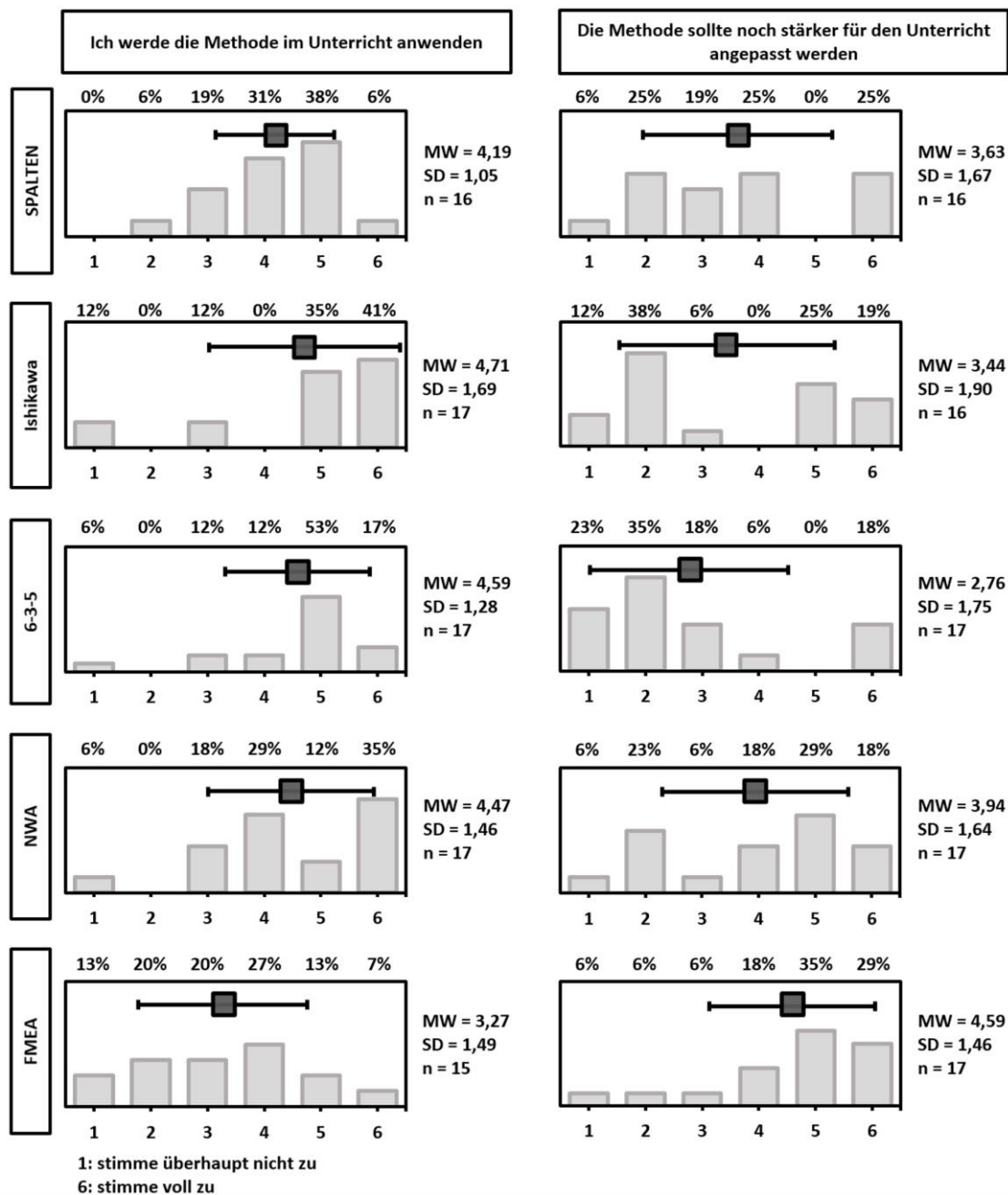


Abb. 4: Evaluationsergebnisse der Lehrkräftefortbildung zur Eignung und Anpassungsbedarf der Methoden. Säulen stellen die prozentualen Ergebnisse dar. Mittelwert und Standardabweichung sind überlagert angegeben.

Qualitative Freitextkommentare zeigen, dass auch von Lehrkräften die intendierte Übertragbarkeit der Methoden auf bestehende NwT-Unterrichtseinheiten erkannt wurde: „Die Inhalte waren überraschend anders als gedacht. Es leiten sich viele Möglichkeiten an sie sinnvoll im Unterricht umzusetzen“.

Auch der thematisierte Aspekt, dass Methoden nur bei kontextueller und didaktischer Anpassung zielführend eingesetzt werden können, wurden in Freitextkommentaren wiedergegeben: „Als durchgängige „Methode“ kann SPALTEN meines Erachtens in der Schule keine Anwendung finden, lediglich einzelne Stücke zu unterschiedlichen Zeitpunkten“

Für die Implementierung im dritten Schritt wurden auf Grundlage der Evaluationsergebnisse alle geschulten Methoden als prinzipiell geeignet für eine weitere Erprobung eingestuft. Der hohe Bekanntheitsgrad der 6-3-5-Methode lässt darauf schließen, dass sie bereits häufiger im Unterricht eingesetzt wird und wurde daher zunächst nicht weiterverfolgt. Für die Implementierung wurden zusätzlich zur bereits in der Pilotstudie untersuchten Basis die NWA zur Unterstützung von Entscheidungssituationen und die FMEA als Ergänzung im Bereich „Bedeutung und Bewertung“ ausgewählt. Aufgrund des hohen Anpassungsbedarfs für die Einführung der Methode aus Sicht der Lehrkräfte wurde die FMEA nicht direkt in den Ansatz integriert, sondern zunächst didaktisch reduziert (siehe 2.3.1). Sie wurde deshalb ausgewählt, um eine etablierte Methode aus dem Standardrepertoire der Industrie in der Schule zu erproben. Aus Sicht der Autoren bietet die Methode das Potential, die Denk- und Arbeitsweise von Ingenieur/-innen in der Praxis für die Schüler/-innen sichtbar zu machen, falls sie passend eingeführt und ihre Anwendung reflektiert wird.

3.3 Implementierung: Ergebnisse der Erprobung & Evaluation von Konzepten für den NwT-Unterricht

Die gewählten drei Methoden wurden von Schüler/-innen im Rahmen entsprechender NwT-Unterrichtseinheiten hinsichtlich ihrer subjektiven Anwendbarkeit und des subjektiv empfundenen Nutzens hinsichtlich Vorgehen und Ergebnis bewertet. Die SPALTEN-Methodik wurde dabei sowohl auf den gesamten Prozess der Projektarbeit sowie auf einzelne Phasen der Projektarbeit bezogen bewertet (Variante A).

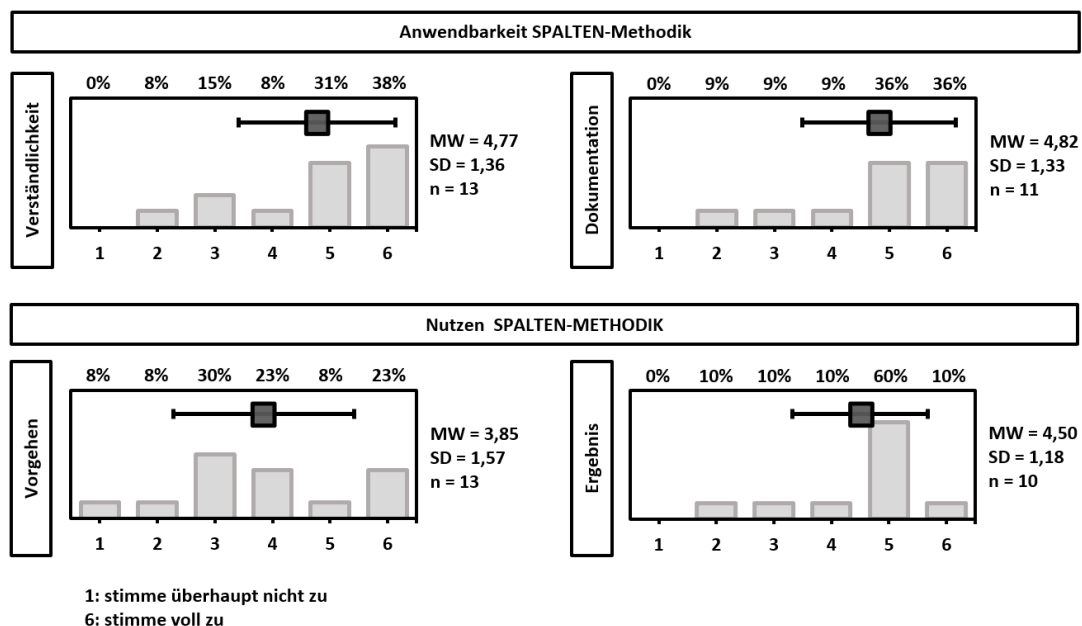


Abb. 5: Ergebnisse der Evaluation zur SPALTEN-Methodik bezogen auf Nutzen für die gesamte Projektarbeit (Variante A).

Bezogen auf den Prozess der gesamten Projektarbeit (Abb. 5) wurde die SPALTEN-Methodik insgesamt hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit im Mittel positiv von den Schüler/-innen bewertet. Bezogen auf Gesamtergebnis und gesamtes Vorgehen sehen die Schüler/-innen mehrheitlich einen

größeren Nutzen für das Ergebnis. Das heterogene Empfinden der Nützlichkeit bezogen auf das Vorgehen spiegeln auch die Freitext-Kommentare der Schüler/-innen wider:

S2: “Das SPALTEN-Prinzip hat die Gruppe bei kleinen Problemen aufgehalten statt weitergeholfen. Bei größeren Problemen ist sie aber durchaus hilfreich. Hier muss man meiner Meinung nach abwägen, ob man sie zwingend braucht.”

S4: “Bei kleinen Problemen behindert SPALTEN eher die Arbeit. Bei großen Problemen ist SPALTEN aber sehr hilfreich.”

S9: “SPALTEN ist dazu da, um die Übersicht zu bewahren. Der Nachteil ist jedoch, dass SPALTEN sehr zeitaufwendig ist [...] Daher muss man nach Komplexität des Projekts entscheiden, ob sich SPALTEN lohnt. [...] Das Prinzip von SPALTEN zu kennen, halte ich für recht wichtig, da man z. B. in Stress-Situationen Struktur einbringen kann.”

S10: “Verbesserungsvorschlag: Den Schülern bei Problemen nicht direkt helfen, sondern erstmal mit SPALTEN [...] konfrontieren.”

S14: “Ich fand das SPALTEN-System hilfreich zum Bearbeiten [der Projektaufgabe] Man hat sich somit mehr Gedanken gemacht und konnte somit teils strukturierter arbeiten.”

Die Kommentare zeigen die Erkenntnis der Schüler/-innen, dass Methoden nicht blind angewandt werden sollten, sondern zielgerichtet und reflektiert. Ebenfalls hervorzuheben ist die Aussage, dass die Schüler/-innen SPALTEN durch die Vorgabe einer strukturierten Vorgehensweise als Mittel zur Selbsthilfe wahrnehmen.

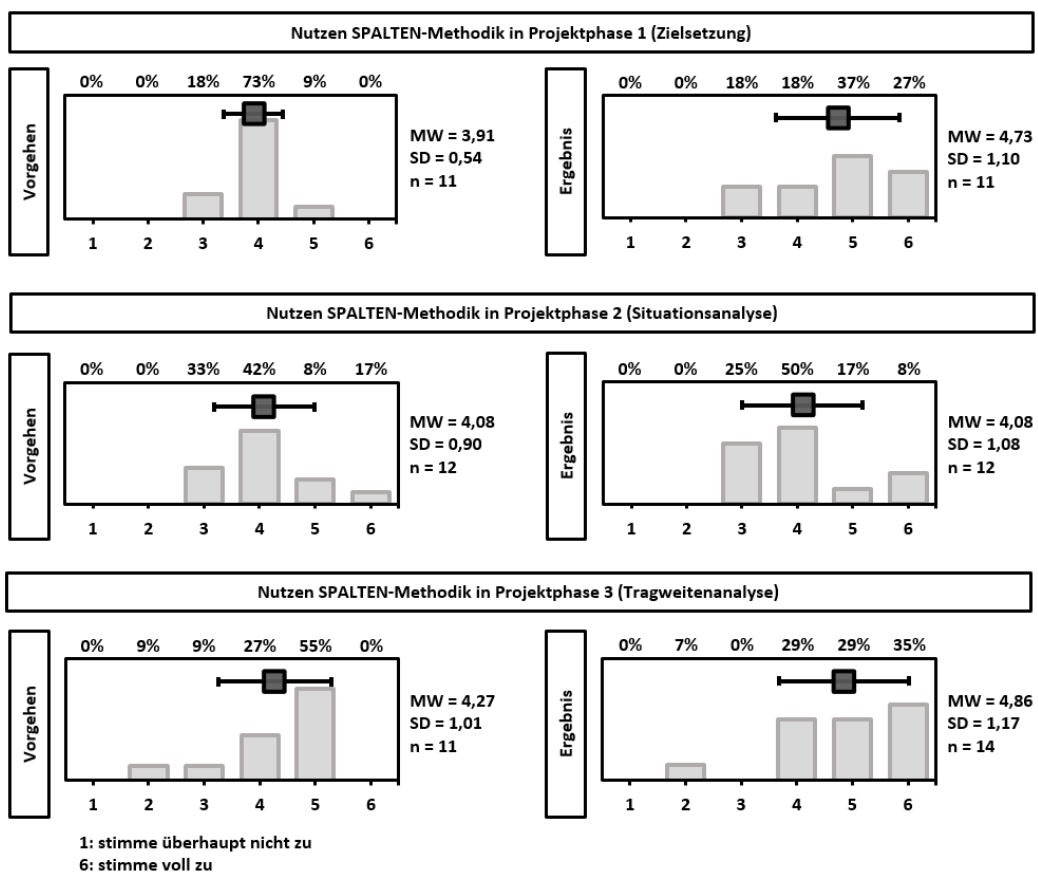


Abb. 6: Ergebnisse der Evaluation zur SPALTEN-Methodik bezogen auf Nutzen für einzelne Phasen der Projektarbeit (Variante A).

Bezogen auf einzelne Phasen der Projektarbeit (Zielsetzung, Situationsanalyse, Tragweitenanalyse des Lösungsansatzes) zeichnet sich im Mittel ein Trend zum subjektiv empfundenen Nutzen der SPALTEN-Methodik ab, sowohl für das *Vorgehen* wie auch das *Ergebnis* der jeweiligen Phase (Abb. 6). Zur objektiven Auswahl eines Lösungsansatzes wurde bei dieser Erprobung (Variante A) die NWA als weitere Methode eingesetzt. Auch hier bewerten die Schüler/-innen den Nutzen für das *Ergebnis* höher als für das *Vorgehen* an sich (Abbildung 7).

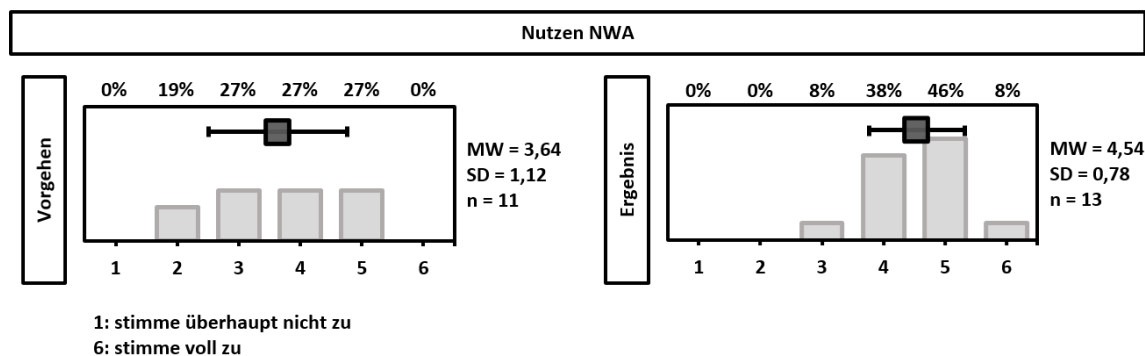


Abb. 7: Ergebnisse zur Evaluation der Implementierung der in den Ansatz integrierten NWA (Variante A).

Da die NwT-Lehrkräfte in der Fortbildung bei der FMEA aufgrund deren Komplexität mehrheitlich den größten didaktischen Anpassungsbedarf sahen, wurde diese Methode nach didaktischer Reduktion separat erprobt (Variante B, siehe 2.3.1) und von den Schüler/-innen neben ihrem Nutzen auch hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit evaluiert (Abbildung 8).

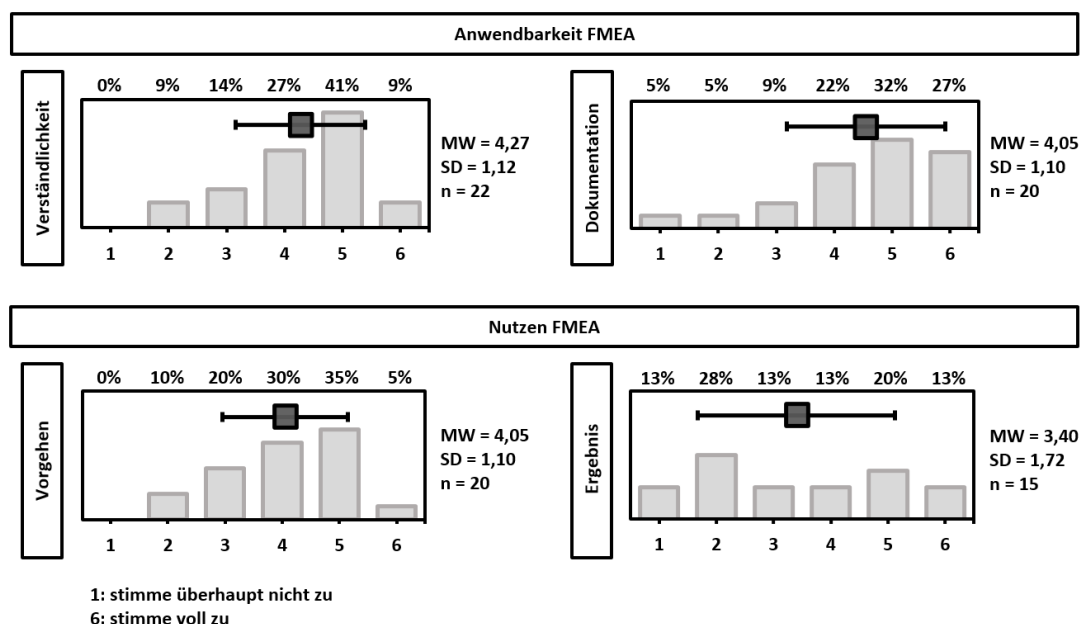


Abb. 8: Ergebnisse zur Evaluation der Implementierung der FMEA (Variante B).

Auch wenn die Evaluation rein subjektiv erfolgte, lässt die Einschätzung eine prinzipielle Anwendbarkeit des Konzepts erkennen. Hinsichtlich des unmittelbaren Nutzens in ihrer Projektarbeit

wird bei dieser Methode jedoch der Nutzen bezogen auf das Vorgehen positiver bewertet als bezogen auf das Ergebnis.

4 Reflexion der Ergebnisse in Bezug auf die Intentionen der Integration

Das Ziel der vorgestellten Schritte war es Methoden der Produktentwicklung und des Problemlösens anhand praktischer Erprobungen beispielhaft in den NwT-Unterricht zu integrieren. Die dabei gewonnenen Erfahrungswerte sollen helfen, langfristig ein Konzept zur Förderung prozessbezogener Kompetenzen zu entwickeln, welches technikdidaktische Perspektiven zu vernetzen vermag. Durch die Erprobung und Evaluation von SPALTEN, NWA und FMEA konnte ein erster Schritt unternommen werden. Die Ergebnisse können in mehreren Dimensionen reflektiert werden: (1) In Bezug auf die prinzipielle Umsetzbarkeit von Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung als Werkzeuge im NwT-Unterricht, (2) den erzielbaren Nutzen für die Förderung prozessbezogener Kompetenzen und (3) die Fähigkeit des Ansatzes, verschiedene Perspektiven der Technikdidaktik zu vernetzen. Dabei sind die Dimensionen als aufeinander aufbauend zu verstehen, da eine Umsetzbarkeit notwendig für die Förderung von Kompetenzen ist, die wiederum für die Vernetzung unterschiedlicher Perspektiven erforderlich ist.

4.1 Umsetzbarkeit von Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung im NwT-Unterricht

Die bisherigen Erfahrungswerte konnten eine prinzipielle Umsetzbarkeit zeigen, die jedoch erwartungsgemäß stark vom Kontext abhängt. Ein kritischer Punkt für das Gelingen liegt hier in der didaktischen Reduktion. Neben Klassenstufe und Vorerfahrungen der Schüler/-innen bildet dabei das Vorwissen der NwT-Lehrkräfte einen wichtigen Faktor. Das Vorwissen ist bedingt durch den noch überwiegend fachfremden Unterricht voraussichtlich heterogener als dies bei vergleichbarer Thematik in anderen Fächern der Fall wäre. Umso wichtiger erscheint die Reduktion der Methoden auf deren wesentliche Bestandteile und Präsentation als Werkzeuge, die es kontextuell zu kombinieren oder anzupassen gilt. Die Tatsache, dass sowohl von beteiligten Lehrkräften wie auch Schüler/-innen dieser Aspekt erkannt und in Freitext-Kommentaren zum Ausdruck gebracht wurde, verdeutlicht, wie wichtig eine entsprechende Einführung der Methoden ist. Dies ist ein kritischer Aspekt für die Eignung des Konzepts: Schüler/-innen sollten nicht den Eindruck bekommen, starre Rezepte zum Vorgehen zu erlernen. Stattdessen sollten Methoden als ein potentielles Werkzeug zur Strukturierung der Projektarbeit gesehen werden. Hier besteht ein Risiko, wenn Lehrkräfte lediglich Methoden einführen, ohne deren Nutzung gemeinsam mit den Schüler/-innen zu reflektieren.

Die, wenn auch durch rein subjektive Bewertung, erfasste Anwendbarkeit der Methoden bei Erprobung in verschiedenen Klassenstufen und anhand verschiedener Unterrichtseinheiten bestätigt, dass Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung prinzipiell so aufbereitet werden können, dass sie für Schüler/-innen der Mittelstufe innerhalb der Projektarbeit genutzt werden können.

4.2 Mehrwert der Methoden-Integration in Bezug auf prozessbezogene Kompetenzen der Schüler/-innen

In der Pilotstudie wurde von den Schüler/-innen auf hoher Flugebene ein subjektiver Mehrwert des Methodeneinsatzes (SPALTEN) insbesondere im Sinne eines strukturierten und reflektierten Vorgehens bei einer Entwicklungsaufgabe gesehen. In der Implementierung wurde der subjektive Nutzen von SPALTEN und NWA auf das Ergebnis bezogen als größer bewertet als auf das Vorgehen. Obwohl Vorgehen und Ergebnis voneinander abhängig sind, erscheint diese Kausalität in der subjektiven Betrachtung der Schüler/-innen weniger ausgeprägt. Eine stärkere Ergebnisfokussierung der Schüler/-innen könnte ursächlich sein, wodurch das Vorgehen in den Hintergrund rückt. Auch hier zeigt sich wieder das im vorherigen Abschnitt beschriebene Risiko, wenn der Methodeneinsatz nicht eingehend reflektiert wird. Erst durch die Reflexion des Vorgehens können die verschiedenen Perspektiven von den Schüler/-innen gedanklich unterschieden werden, was aus der Sicht von Binder (2020) ein zentrales Ziel technischer Bildung darstellt.

Generell gilt es hinsichtlich eines Mehrwerts von Methoden für die Entwicklung prozessbezogener Kompetenzen zu diskutieren, inwiefern der Methodeneinsatz den Prozess expliziter gestalten kann. Anknüpfungspunkte zu den verschiedenen prozessbezogenen Kompetenzfeldern des Bildungsplans NwT bieten sich bei den hier eingesetzten Methoden nicht nur im Bereich „Entwicklung und Konstruktion“, sondern vor allem auch im Bereich „Bedeutung und Bewertung“, insbesondere durch NWA und FMEA. Durch wiederholtes Anwenden von Methoden innerhalb verschiedener Unterrichtseinheiten und über Klassenstufen hinweg, könnten sie zu einer Festigung der prozessbezogenen Kompetenzen beitragen und ein problemlösungsorientiertes Vorgehen der Schüler/-innen, unabhängig des inhaltlichen Kontextes, unterstützen. Die Ergebnisse lassen somit einen ersten Mehrwert in der strukturierten Förderung von prozessbezogenen Kompetenzen der Schüler/-innen erkennen, der jedoch durch objektive Wirksamkeitsanalysen vertieft und bestätigt werden muss.

4.3 Vernetzung technikdidaktischer Perspektiven durch Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung

Interdisziplinäre Unterrichtsfächer wie NwT verfolgen ein integratives Konzept zur Vernetzung verschiedener Fachwissenschaften. Diese Fächer müssen sich der Herausforderung stellen, wie die Integration verschiedener inhaltlicher Ausrichtungen und didaktischer Perspektiven gleichermaßen gelingen kann. Wie können Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung hierbei einen Ansatz darstellen? Ihnen kann als Werkzeugen im Sinne strukturierter Vorgehensbeschreibungen eine wichtige Rolle zukommen, da sie im Ingenieurwesen disziplinübergreifend angewandt werden. Übertragen auf den Unterrichtskontext bedeutet dies, dass sie eine Konstante unabhängig der jeweiligen Unterrichtsinhalte darstellen und dabei potentiell verschiedene technikdidaktische Perspektiven implizit oder explizit adressieren können. Im Kontext der hier beschriebenen Erfahrungswerte zur Integration solcher Methoden in den NwT-Unterricht erscheint vor allem die Perspektive der *vorberuflichen Orientierung* durch Methoden mit den weiteren Perspektiven verknüpfbar. Durch Erlernen einer strukturierter Vorgehensweise zum Lösen immer neuer Probleme und Fragestellungen, wird das Bewusstsein für Denk- und Arbeitsweisen von Ingenieur/-innen geschaffen. Hierdurch werden einzelne Elemente innerhalb *Kenntnis- und Strukturperspektive*, *Handlungsperspektive* sowie *Bewertungs- und Bedeutungsperspektive* mit der Perspektive der *vorberuflichen Orientierung* vernetzt. Zukünftig könnte dies durch geeigneten

Methodeneinsatz adressiert werden, indem die Vernetzung für Schüler/-innen explizit transparent gemacht wird.

Die in diesem Praxisbericht beschriebenen Erfahrungswerte zur Nutzung von Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung im NwT-Unterricht können als Ausgangspunkt für die Gestaltung von Unterrichtseinheiten unter Einbezug von Methoden dienen. Das qualitative Vorgehen dieses Praxisberichts muss dabei jedoch als generelle Einschränkung der Aussagekraft der Ergebnisse betrachtet werden. Für eine objektive Messung des Einflusses der vorgestellten Methoden auf den Erwerb prozessbezogener Kompetenzen und die Vernetzung technikdidaktischer Perspektiven müssten objektive, valide Testinstrumente entwickelt werden.

Hinzu kommt, dass die in diesem Bericht betrachteten Zeiträume nur wenige Unterrichtswochen umfassen. Die Entwicklung prozessbezogener Kompetenzen ist jedoch langfristig zu betrachten, da sich diese über die gesamte Schulzeit erstreckt. Ein wichtiger Baustein in dieser Entwicklung ist die Reflexion über Prozesse. Wie die Freitextkommentare von Schüler/-innen und Lehrkräften (siehe Kapitel 3.3) illustrieren, konnte bereits in der kurzen Zeit ein erster Schritt Richtung durchgehende Reflexion ermöglicht werden.

Mit Blick auf das Intendierte kann dieser Praxisbericht lediglich ein Potenzial der Methoden für die Vernetzung technikdidaktischer Perspektiven aufzeigen. Für eine fundierte Bewertung zur Vernetzung technikdidaktischer Perspektiven durch das hier vorgestellte Konzept sind weitere Untersuchungen notwendig, welche sich explizit mit der Vernetzung der Perspektiven im Rahmen langfristiger Entwicklung befassen.

Danksagung

Die in diesem Praxisbericht vorgestellten Unterrichtseinheiten und deren Implementierung im NwT-Unterricht sind entstanden innerhalb des von der Vector Stiftung geförderten Projekts „Lehr-Lern-Labor NwT: Technik erleben und vermitteln“.

Literatur

- acatech [Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.] (2009). Ergebnisbericht Nachwuchsbarometer Technikwissenschaften. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.).
- Albers, A., Burkhardt, N., Meboldt, M. & Saak, M. (2005). SPALTEN Problem Solving Methodology in the Product Development. In A. Samuel & W. Lewis (Hrsg.), Proceedings ICED'05, the 15th International Conference on Engineering Design. Melbourne: The Design Society.
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N. & Breitschuh, J. (2016). 15 Years of SPALTEN Problem Solving Methodology in Product Development. In C. Boks; J. Sigurjonsson; M. Steinert; C. Vis; A. Wulvik (Hrsg.), Proceedings of the 12th NordDesign 2016, Totterdown: The Design Society.
- Binder, M. (2020): Die Problem- und Handlungsfelder. Eine (überfällige) Klärung. tu: Zeitschrift für Technik im Unterricht 45(176), 16-22.
- Hering, E. & Schloske, A. (2019). Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse – Methode zur vorbeugenden, systematischen Qualitätsplanung unter Risikogesichtspunkten. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Kaplík, P., Pristavka, M., Bujna, M., & Viderňan, J. (2013). Use of 8D Method to Solve Problems. Advanced Materials Research, 801, 95-101.
- Kern, J. (2009). Ishikawa Diagramme – Ursache-Wirkungs-Diagramme. München: Grin Verlag.
- Learned, E.P., Christiansen, C.R., Andrews, K. & Guth, W.D. (1969). Business Policy: Text and Cases Irwin: Homewood.
- MKJS [Ministerium für Kultus, Jugend und Sport] (2020). Bildungsplan 2016 Gymnasium: Naturwissenschaft und Technik (NwT) – Schulversuch Leistungsfach in der Kursstufe. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-

- Württemberg (Hrsg.), http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lsw/export-pdf/BP2016BW/ALLG/GYM/NWTBFO/bildungsplan_BP2016BW_ALLG_GYM_NWTBFO.pdf, Stand vom 08.09.2020.
- MKJS [Ministerium für Kultus, Jugend und Sport] (2016). Bildungsplan 2016: Naturwissenschaft und Technik (NwT) – Profulfach. Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Hrsg.), http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lsw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_GYM_NWT.pdf, Stand vom 08.09.2020.
- Matthiesen, S., Hölz, K., Fox, D., Kollegium des Albertus-Magnus-Gymnasium & Eisenmann, M. (2017). Technikaktivitäten – Herausforderungen in der Ausbildung und vielversprechende Lösungsansätze. 12. Ingenieurpädagogische Regionaltagung 2017 (IPW).
- Matthiesen, S., Eisenmann, M., Hölz, K. & Six, O. (2018). Experiencing and Teaching Technology – Integrating STEM Teaching Students in Interdisciplinary Design Teams. International Conference on Engineering and Product Design Education 2018 (EPDE).
- Matthiesen, S., Hölz, K. & Eisenmann, M. (2018). Junge Menschen für Technikberufe begeistern – Deutschlands Ingenieurstärke sichern. 13. Ingenieurpädagogische Regionaltagung 2018 (IPW).
- Mokhonko, S., Ștefănică, F. & Nickolaus, R. (2014): NwT-Unterricht: Herausforderungen bei der Einführung eines neuen Faches im Spiegel einer aktuellen Bestandsaufnahme. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 2(1), 102-128.
- Schmayl, W. (2013). *Didaktik allgemeinbildenden Technikunterrichts*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Shankar, R. (2009). *Process improvement using six sigma: a DMAIC guide*. Milwaukee, Wisconsin. ASQ Quality Press.
- VDI [VDI-Fachbereich Produktentwicklung und Mechatronik] (2019). VDI 2221, Entwicklung technischer Produkte und Systeme – Modell der Produktentwicklung. VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (Hrsg.)
- Zangenmeister, C. (1970). *Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen*. 4. Auflage 1976, München: Wittmann.
- Zinn, B. (2014): Technische Allgemeinbildung – Bedeutungsspektrum, Bildungsstandards und Forschungsperspektiven. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 2(2), 24-47.
- Zinn, B., Latzel, M. & Ariali, S. (2017). Entwicklung und Erprobung eines Instruments zur Erfassung allgemein technischen Wissens im Fach Naturwissenschaft und Technik. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 5(1), 76-99.

MATTHIAS EISENMANN

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IPEK – Institut für Produktentwicklung, Lehrstuhl für Gerätekonstruktion
Kaiserstr. 10, 76131 Karlsruhe
matthias.eisenmann@kit.edu

DR. IRIS HANSJOSTEN

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), House of Competence (HOC) – Zentrum für Lehrerbildung (ZLB)
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe
iris.hansjosten@kit.edu

UNIV.-PROF. DR.-ING. SVEN MATTHIESEN

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), IPEK – Institut für Produktentwicklung, Lehrstuhl für Gerätekonstruktion
Kaiserstr. 10, 76131 Karlsruhe
sven.matthiesen@kit.edu

Zitieren dieses Beitrags:

Eisenmann, M.; Hansjosten, I. & Matthiesen, S. (2021). Methoden der Produktentwicklung und Problemlösung – Ein Ansatz zur Vernetzung technikdidaktischer Perspektiven. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 9(1), 174–194.