

PIA SCHÄFER (TU Kaiserslautern)

FELIX WALKER (TU Kaiserslautern)

**Problemlösen im Bereich der Automatisierungstechnik –
Entwicklung und Evaluation eines Lehrerfortbildungskonzepts**

Herausgeber

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

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

PIA SCHÄFER / FELIX WALKER

Problemlösen im Bereich der Automatisierungstechnik – Entwicklung und Evaluation eines Lehrerfortbildungskonzepts

ZUSAMMENFASSUNG: In diesem Beitrag wird ein Fortbildungskonzept zur Förderung der analytischen Problemlösefähigkeit von Lehrpersonen an berufsbildenden Schulen vorgestellt. Für die Förderung der analytischen Problemlösefähigkeit von Auszubildenden hat sich der Cognitive Apprenticeship Ansatz als wirksam erwiesen. Der Ansatz wurde bisher noch nicht in die Lehrerbildung, in Form von Fortbildungen, überführt. Im Zentrum der entwickelten Lehrerfortbildung steht die Förderung des fachdidaktischen Wissens von Lehrpersonen im Bereich der analytischen Problemlösefähigkeit. Dabei kommen Ansätze, wie der Cognitive Apprenticeship und das informatives tutorielle Feedback, zum Einsatz. Der theoretische Rahmen sowie das Erhebungsinstrument basieren auf dem TPACK-Modell zum Professionswissen von Lehrkräften.

Schlüsselwörter: analytische Problemlösefähigkeit, Cognitive Apprenticeship Ansatz, berufliche Lehrerbildung, TPACK, informatives tutorielles Feedback

Problem Solving in the Field of Automation Technology - Development and Evaluation of a Teacher Training Concept

ABSTRACT: This article presents a training concept to promote the analytical problem-solving ability of vocational teachers. The cognitive apprenticeship approach has proven to be effective in promoting the analytical problem-solving ability of trainees, but has not yet found its way into the field of teacher training. The focus of the advanced training is on promoting the pedagogical content knowledge of teachers in the field of the analytical problem-solving ability. Approaches such as cognitive apprenticeship and informative tutorial feedback are used here. The theoretical framework and the survey instrument are based on the TPACK model for the professional knowledge of teachers.

Keywords: analytical problem-solving ability, vocational teacher education, cognitive apprenticeship approach, TPACK, informative tutorial feedback

1 Ausgangslage

In den vergangenen Jahren haben zahlreiche Studien (vgl. Abele et al. 2016; Schaafstal, Schraagen & van Berlo 2000; Walker et al. 2016) die domänenspezifische Problemlösefähigkeit von Auszubildenden oder Facharbeitern in gewerblich-technischen Berufen (z. B. Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik und KFZ-Mechatroniker/-innen) untersucht. Das domänenspezifische Problemlösen kann für den Bereich der Automatisierungstechnik in die analytische und die konstruktive Problemlösefähigkeit unterteilt werden (vgl. Walker et al. 2016). Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird ausschließlich die analytische Problemlösefähigkeit betrachtet, welche auch als Fehlerdiagnose bezeichnet wird. Die Fehlerdiagnose kann als „the complete process from the identification of symptoms to the taking of appropriate corrective actions“ (Schaafstal et al. 2000, S. 75) bezeichnet werden. Übersetzt wird sie als Tätigkeit beschrieben, welche auf die Ursachenbestimmung fehlerhafter Systeme in Abhängigkeit von auftretenden Fehlersymptomen abzielt. Das defekte System kann erst dann wiederhergestellt werden, wenn die Fehlerursache bekannt ist (vgl. Abele, Walker & Nickolaus 2014). Die analytische Problemlösefähigkeit ist in verschiedenen Ausbildungsberufen, im Bereich der Elektrotechnik und Metalltechnik, ein Bestandteil beruflicher Handlungssituationen. Demnach sollten beispielsweise angehende Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik, aus curricularer Sicht, am Ende ihrer Ausbildung in der Lage sein, begründete Vorgehensweisen für die Inbetriebnahme, Fehlersuche und Beseitigung von Störungen zu entwickeln, sowie aus Fehlerdiagnosen Folgerungen für die Fehlerbeseitigung abzuleiten (vgl. Kultusministerkonferenz 2003).

Schaafstal et al. (2000) konnten feststellen, dass Techniker mit geringer Berufserfahrung das notwendige Fachwissen zur Diagnose von Fehlern aufweisen. Allerdings war die Vorgehensweise in der Fehlerdiagnose zu unsystematisch (ebd., S. 76 f.). Dadurch war es den Technikern nicht möglich Fehlerdiagnosen systematisch und erfolgreich durchzuführen. Die Studie kam zu dem Schluss, dass ein Training zur systematischen Vorgehensweise bei der Fehlersuche, die Leistungen der Probanden mit wenig Berufserfahrung stark verbessern kann. Ein weiteres Ergebnis der Studie von Schaafstal et al. (ebd., S. 85) war, dass das Fachwissen alleine für eine erfolgreiche Fehlerdiagnose unzureichend ist. Ein strategisches Vorgehen ist ebenso wichtig für den Prozess der Diagnose.

Studien von Walker et al. (2016) haben gezeigt, dass Auszubildende Elektroniker/-innen für Automatisierungstechnik am Ende ihrer Ausbildung nicht in der Lage sind die curricularen Vorgaben im Bereich der analytischen Problemlösefähigkeit zu erreichen. Von den getesteten Auszubildenden war ein Drittel nicht in der Lage einfache Symptom-Ursachen-Zusammenhänge zu identifizieren. Zusätzlich zur Problemlösefähigkeit wurde in dieser Studie ebenfalls das Fachwissen der Auszubildenden erhoben. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Auszubildenden über das Fachwissen verfügten, welches für die Lösung der einzelnen Fehlerfälle notwendig war (vgl. Walker et al. 2016). Trotzdem war ein Großteil der Auszubildenden, welche die Fachwissensaufgaben erfolgreich gelöst hatten, nicht in der Lage die Aufgaben zur analytischen Problemlösefähigkeit zu lösen. Die Arbeitsgruppe um Walker konnten zeigen, dass das Fachwissen im Bereich der Automatisierungstechnik nachweislich einen großen Einfluss auf die analytische Problemlösefähigkeit hat (2016, S. 163). Diese und weitere Forschungsergebnisse (vgl. Konradt 1992; Schaafstal et al. 2000) weisen darauf hin, dass neben dem Fachwissen, das strategische Wissen, eine wesentliche Voraussetzung der analytischen Problemlösefähigkeit ist.

Auf Basis ihrer Befunde konstatieren Walker et al. (2016) einen Förderbedarf der analytischen Problemlösefähigkeit bei Auszubildenden des Berufes Elektroniker/-in für Automatisierungstechnik.

Ein möglicher Ansatz diesem Förderbedarf zu begegnen ist es Lehrpersonen an berufsbildenden Schulen sowie den Auszubildenden im Betrieb die Strategien zur Fehlerdiagnose durch Fortbildungsangebote, welche geeignet sind diese Strategien den Auszubildenden zu vermitteln, weiterzubilden. Um einen Überblick darüber zu erhalten, ob solche Hilfen im Rahmen von Fortbildungsangeboten für Lehrpersonen an berufsbildenden Schulen bereits angeboten werden, wurde eine bundesweite Bestandsanalyse von Lehrerfortbildungen durchgeführt (vgl. Schäfer, Huber & Walker, im Druck). Dabei wurde nach Fortbildungen zur Förderung des fachdidaktischen Wissens von Lehrpersonen im Bereich der Automatisierungstechnik gesucht. Mithilfe vordefinierter Schlagwörter erfolgte eine Analyse von Lehrerfortbildungen in den Wissensbereichen Inhaltswissen, pädagogisches Wissen und fachdidaktisches Wissen. Dabei konnten zahlreiche Fortbildungen für Lehrpersonen der berufsbildenden Schulen identifiziert werden.

Die Analysen von Schäfer, Huber und Walker (ebd.) ergaben, dass deutschlandweit im Bereich des pädagogischen Wissens die meisten Fortbildungsangebote zu finden sind. Insgesamt bilden sie rund 95 % der gefundenen Fortbildungen. Für den Bereich des Inhaltswissens, im Bereich der Automatisierungstechnik, wurden weitaus weniger Veranstaltungen gefunden. Die Fortbildungen mit inhaltlichem Fokus bilden 4,5 % der gefundenen Veranstaltungen. Die dritte Wissensfacette bildet das fachdidaktische Wissen. Hierzu zählen lediglich 0,14 % der gefundenen Fortbildungen. Die meisten Fortbildungen, die mithilfe der Schlagwörter aus dem Bereich der Automatisierungstechnik gefunden wurden, legen ihren Schwerpunkt auf die Erweiterung des Fachwissens. Von 530 Fortbildungen, die mit den Schlagwörtern aus dem Bereich der Automatisierungstechnik gefunden wurden, legen 514 ihren Schwerpunkt auf die Erweiterung des Fachwissens. Lediglich 16 Veranstaltungen konnten deutschlandweit identifiziert werden, die im Bereich der Automatisierungstechnik auch die Methoden zur Vermittlung des Fachwissens in den Fokus nehmen und somit zu dem Bereich des fachdidaktischen Wissens gezählt werden können. Dieser Umstand verwundert sehr, bei Betrachtung der Studien, die einen Einfluss des fachdidaktischen Wissens von Lehrpersonen auf die Schülerleistungen belegen (vgl. Hohenstein, Köller & Möller 2015; Kunter et al. 2011).

Seit Shulman (1986, 1987) den Begriff des fachdidaktischen Wissens in den 80er Jahren in die wissenschaftliche Diskussion eingebracht hat, hat sich das fachdidaktische Wissen zu einem wichtigen Aspekt der Forschung zum Professionswissen von Lehrkräften entwickelt. Der Einfluss des fachdidaktischen Wissens einer Lehrperson auf die Leistungen der Lernenden, wurde danach in zahlreichen Forschungsarbeiten überprüft. Die Studien TEDS (vgl. Blömeke, Kaiser & Lehmann 2010) und COACTIV (vgl. Kunter et al. 2011), konnten den Einfluss des fachdidaktischen Wissens auf die Leistungen der Lernenden nachweisen. Je mehr eine Lehrperson über fachdidaktisches Wissen verfügt, desto besser ist sie in der Lage, adaptive Unterstützungen im Unterricht zu integrieren (vgl. Kunter 2013; Neuweg 2014) und Lernende kognitiv zu aktivieren. Neuweg (2014) schlussfolgert, dass das fachdidaktische Können einer Lehrperson einen Unterricht mit anregenden Aufgaben herbeiführt und Lernende von fachdidaktisch kompetenteren Lehrpersonen mehr Erklärungen und Begründungen einfordern.

Vor dem Hintergrund der berichteten Studien scheint es angezeigt dem Desiderat, der fehlenden fachdidaktisch orientierten Lehrerfortbildungen im Bereich der Automatisierungstechnik, zu begegnen. Dazu wurde ein Fortbildungskonzept¹ zur Problemlösefähigkeit im Bereich der Automatisierungstechnik mit fachdidaktischem und -wissenschaftlichem Fokus entwickelt.

1 Das Fortbildungskonzept wurde im Rahmen des Projekts EELBA (Entwicklung und Evaluation eines Lehrerfortbildungskonzepts im Bereich der Automatisierungstechnik) entwickelt. EELBA als Teilprojekt des Vorhabens „U.EDU: Unified Education - Medienbildung entlang der Lehrerbildungskette“ (Förderkennzeichen: 01JA1616) wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.

2 Theoretischer Rahmen der Fortbildung

Das Wissen von Lehrkräften ist ein wesentlicher Bestandteil, der das Berufsfeld einer Lehrperson ausmacht. Zur Modellierung des Professionswissens einer Lehrperson existieren unterschiedliche Ansätze. Ein seit mehreren Jahrzehnten etabliertes Modell zum sogenannten Professionswissen von Lehrkräften kommt von Shulman (1986). Shulman geht davon aus, dass nicht nur das inhaltliche Wissen, sondern auch das pädagogische Wissen für die Qualität von Unterricht von großer Bedeutung ist (ebd., S. 9). Weiterführend beschreibt er eine Wissenskomponente, die als Schnittmenge aus dem inhaltlichen und dem pädagogischen Wissen resultiert, das fachdidaktische Wissen. Unter dem fachdidaktischen Wissen versteht Shulman:

“Within the category of pedagogical content knowledge I include, for the most regularly taught topics in one's subject area, the most useful forms of representation of those ideas, the most powerful analogies, illustrations, examples, explanations, and demonstrations—in a word, the ways of representing and formulating the subject that make it comprehensible to others. [...] Pedagogical content knowledge also includes an understanding of what makes the learning of specific topics easy or difficult: the conceptions and preconceptions that students of different ages and backgrounds bring with them to the learning of those most frequently taught topics and lessons.” (Shulman 1986, S. 9 f.)

Die Annahme, dass neben dem pädagogischen- und dem Inhaltswissen auch eine gemeinsame Wissenskomponente existiert, wird als Grundlage für diverse andere Modelle zum Professionswissen von Lehrkräften genutzt. So findet man das Modell von Shulman in zahlreichen aktuellen Forschungsprojekten, zum Beispiel in der Forschungsarbeit COACTIV (vgl. Baumert & Kunter 2011). Allerdings wird in vielen aktuellen Modellen das Wissen darüber, wie man verschiedene (digitale) Medien und sonstige Hilfsmittel im Unterricht einsetzt, nicht explizit betrachtet (vgl. Bos, Eickelmann & Gerick 2014; Walker et al. 2017). Dabei ist es von Bedeutung, dass Lehrpersonen wissen, welche Technologien für den Unterricht relevant sind und wie diese in den Unterricht eingebunden werden können (vgl. Pierson 2001; Zhao 2003).

Ein Modell, welches auch diese Wissenskomponente betrachtet, ist das sogenannte TPACK Modell nach Mishra und Koehler (2006). TPACK steht für technological-pedagogical and content knowledge, das technologisch-pädagogische Inhaltswissen von Lehrkräften. In diesem Modell werden das pädagogische Wissen (1) und das Inhaltswissen (2) sowie deren Schnittmenge, das fachdidaktische Wissen (3), um die Komponente des technologischen Wissens (4) erweitert. Daraus resultieren drei zusätzliche Wissenskomponenten, das technologisch-pädagogische Wissen (5), das technologische Inhaltswissen (6) sowie das technologisch-pädagogische Inhaltswissen (7). Die Wissensdimensionen des technologisch-pädagogischen Inhaltswissens sind immer an einen situationsspezifischen Kontext gebunden (vgl. Abbildung 1).

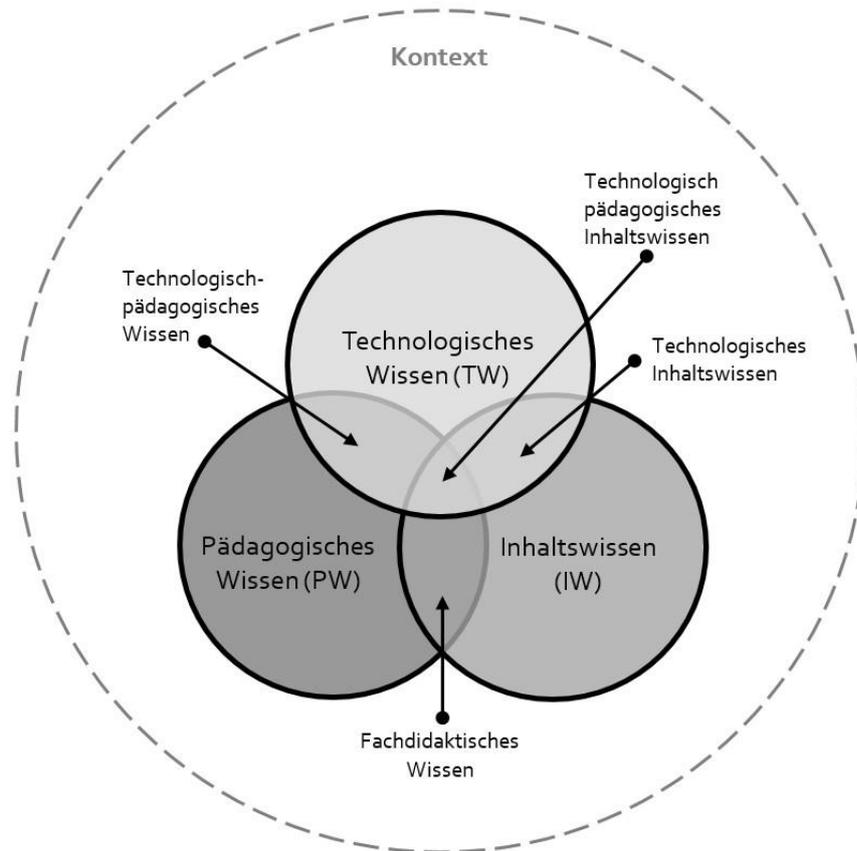


Abb.1: Dimensionen des technologisch-pädagogischen Inhaltswissens nach Mishra und Koehler (2006). Übersetzt von Walker et al. (2017).

Nachfolgend wird beschrieben, in wie fern die einzelnen Wissensdimensionen im Fortbildungskonzept Anwendung finden.

1. **Pädagogisches Wissen:** Diese Wissenskomponente bezieht alle methodischen und didaktischen Überlegungen von Lehrkräften mit ein. So zum Beispiel die Themen der Unterrichtsplanung, des Unterrichtsmanagements und der Leistungserhebung (vgl. Mishra & Koehler 2006). Im Rahmen des Fortbildungskonzepts werden die Ansätze Cognitive Apprenticeship und informatives tutorielles Feedback zu den pädagogischen Wissenskomponenten gezählt, welche nachfolgend in den gleichnamigen Kapiteln vorgestellt werden (vgl. Kapitel 3.1 und 3.2). Eine weitere pädagogische Komponente bilden gestufte Lernhilfen.
2. **Inhaltswissen:** Das Inhalts- oder auch Fachwissen bezieht sich auf alle fachlichen Inhalte, die für den Unterricht relevant sind. Darunter wird nicht nur das Wissen verstanden, welches unterrichtet werden soll, sondern auch die Eigenheiten dieses Faches im Unterschied zu anderen Fachgebieten (vgl. Shulman 1986). Das Grundwissen über die Automatisierungstechnik ist eine Voraussetzung für die Teilnahme an der Fortbildung. Neue Inhalte bilden die Strategien zur Störungsdiagnose (vgl. Konradt 1992), welche im Kapitel Suchstrategien vorgestellt werden (vgl. Kapitel 3.3).
3. **Fachdidaktisches Wissen:** Das fachdidaktische Wissen umfasst das Wissen darüber, wie bestimmte Fachinhalte effektiv und für die Lernenden verständlich unterrichtet werden können

(vgl. Shulman 1986). Im Rahmen der vorgestellten Fortbildung können die fachdidaktischen Komponenten wie folgt beschrieben werden. Auf der einen Seite wird der Cognitive Apprenticeship Ansatz zur Förderung des analytischen Problemlösens genutzt, indem die Strategien zum systematischen Problemlösen, anhand der einzelnen Phasen des Cognitive Apprenticeship Ansatzes, gezeigt werden. Auf der anderen Seite wird das informative tutorielle Feedback in Form von gestuften Lernhilfen eingesetzt, um die Lernenden im Prozess des Problemlösens zu unterstützen. Ein Anwendungsbeispiel des Cognitive Apprenticeship Ansatzes zur Förderung des fachdidaktischen Wissens von Lehrpersonen haben Link, Schäfer und Walker (2018) ausführlich beschrieben.

4. **Technologisches Wissen:** Unter technologischem Wissen wird das Wissen über den Einsatz von technischen Errungenschaften verstanden. Es bezieht sich auf ein breites Spektrum von „Low-Tech“ Technologien, wie Stift-Papier und der normalen Kreidetafel, bis zu digitaler Technik wie zum Beispiel Internet, Smartboards oder Software (vgl. Mishra & Koehler 2006). In der vorgestellten Lehrerfortbildung gehört die Arbeit mit der authentischen Computersimulation einer Automatisierungsanlage zum technologischen Wissensbereich, welche im Kapitel Suchstrategien vorgestellt wird (vgl. Kapitel 3.3).
5. **Technologisch-pädagogisches Wissen:** Das technologisch-pädagogische Wissen bezieht sich auf das Verständnis über den Einsatz unterschiedlicher technischer Errungenschaften im Unterricht. Ein weiterer Aspekt des technologisch-pädagogischen Wissens ist das Bewusstsein darüber, inwiefern der Einsatz von Technologien den Unterrichtsstil einer Lehrperson beeinflussen kann (vgl. Mishra & Koehler 2006). Die technologisch-pädagogischen Komponenten der Fortbildung sind die gestuften Lernhilfen, die genutzt werden, um den Lernenden Feedback zu erteilen.
6. **Technologisches Inhaltswissen:** Das technologische Inhaltswissen bezieht sich auf das Wissen darüber, wie Technologien für die Vermittlung konkreter Fachinhalte eingesetzt werden können. Die Technologien oder Medien helfen den Lehrpersonen dabei den Lernenden neue, bzw. andere Blickwinkel auf die Unterrichtsinhalte zu ermöglichen (vgl. Mishra & Koehler 2006). Die technologisch-inhaltlichen Bestandteile der Lehrerfortbildung beziehen sich auf den Einsatz der authentischen Computersimulation mit dem Ziel die analytische Problemlösefähigkeit zu verbessern. Dies erfolgt durch das Üben der Strategien durch die Bearbeitung von Problemfällen in der Simulation.
7. **Technologisch-pädagogisches Inhaltswissen:** Durch die Überschneidung aller Basiskomponenten entsteht das technologisch-pädagogische Inhaltswissen (TPIW). Darunter wird der gezielte Einsatz von Methoden und Technologien in einem bestimmten Unterrichtsthema verstanden (vgl. Mishra & Koehler 2006). Im Wesentlichen können zwei Komponenten unterschieden werden, welche das technologisch-pädagogische Inhaltswissen der Fortbildung beschreiben. Zum einen wird zur Unterstützung der analytischen Problemlösefähigkeit der Auszubildenden an der authentischen Computersimulation der Cognitive Apprenticeship Ansatz eingesetzt. Zum anderen werden zur Unterstützung der Lernenden an der Computersimulation die gestuften Lernhilfen, welche eine praktische Umsetzung des informativen tutoriellen Feedbacks darstellen, genutzt.

3 Inhalte der Fortbildung

Die Inhalte der Fortbildung bilden, entsprechend dem theoretischen Rahmen, pädagogische, fachliche und technologische Komponenten. Zunächst wird der Cognitive Apprenticeship Ansatz von Brown, Collins und Duguid (1989) vorgestellt. Danach wird das informative tutorielle Feedback nach Narciss (2006) thematisiert. Die fachliche Komponente bilden die Strategien zur Fehlerdiagnose in automatisierten Anlagen (vgl. Konradt 1994; Rasmussen 1974). Die Strategien zur Fehlerdiagnose sollen anhand einer Computersimulation einer industrienahen Automatisierungsanlage geschult werden. Diese Simulation bildet die technologische Komponente und wird gemeinsam mit den Suchstrategien vorgestellt.

3.1 Cognitive Apprenticeship Ansatz

Für die Förderung der Störungsdiagnosefähigkeit hat sich der Cognitive Apprenticeship Ansatz (vgl. Brown et al. 1989) als wirksam erwiesen (vgl. Rowold, Hochholdingner & Schaper 2008). Der Cognitive Apprenticeship Ansatz eignet sich dazu, kognitive Prozesse für Lernende sichtbar zu machen. Er kann als praktische Lehre, im Sinne von Meister-Lehrlings-Verhältnissen, für die Ausbildung von Prozessen genutzt werden, die in der Regel nicht sichtbar ablaufen. Eine lernende Person wird durch einen Experten angeleitet. Im Vordergrund steht dabei das Aufzeigen von strategischem Wissen, welches den Lernenden dazu befähigen soll, mit variierenden Aufgaben- und Problemstellungen erfolgreich umgehen zu können (vgl. Brown et al. 1989). Durch das strategische Wissen soll den Lernenden geholfen werden, Fachwissen in konkreten Situationen anwenden zu können.

Der Cognitive Apprenticeship Ansatz besteht aus sechs Phasen, die im Lernprozess eingesetzt werden können. Die ersten drei sowie die sechste Phase bauen aufeinander auf, während die anderen zwei Phasen (vier und fünf) flexibel im Lernprozess angewendet werden können (vgl. Link et al. 2018).

- **Modellhaftes Vormachen (1):** In der Phase des modellhaften Vormachens bearbeitet der Lehrende eine Problemstellung und formuliert dabei seine Handlungsintentionen. Hierdurch soll es den Lernenden ermöglicht werden, eigene Strategien, insbesondere Problemlösestrategien, abzuleiten und aufzubauen (vgl. Brown et al. 1989).
- **Anleiten (2):** Die Phase Anleiten schließt an das modellhafte Vormachen an. Hierbei bearbeiten die Lernenden eigenständig eine Aufgabe. Die Lehrperson beobachtet die Bearbeitung des Problems durch die Lernenden und gibt situationsbedingte, konkrete Hilfestellungen. Die Hilfestellung erfolgt insbesondere dann, wenn ein wesentlicher Schritt übersehen oder als nicht relevant angesehen wurde. Hierbei können Hinweise, gezielte Fragen oder kritische Rückmeldung eingesetzt werden. Durch die persönliche Unterstützung soll es den Lernenden ermöglicht werden, ein eigenes Vorgehen und eigene Fertigkeiten aufzubauen, welche mit dem Expertenmodell vergleichbar sind (vgl. Collins, Brown & Newman 1987).
- **Differenziertes Unterstützen (3.1):** In der Phase des differenzierten Unterstützens, bearbeiten die Lernenden selbstständig eine Problemstellung und erhalten tutorielle Hilfestellungen. Die Lernenden erhalten so viele Hilfestellungen wie notwendig, aber nicht mehr (vgl. Collins et al. 1987).
- **Schrittweises Zurücknehmen (3.2):** In Abhängigkeit von den Fertigkeiten der Lernenden geht die differenzierte Unterstützung in die Phase des schrittweisen Zurücknehmens über. Je

sicherer die Lernenden in der Bearbeitung der Aufgaben werden, desto weiter werden die tutoriellen Hilfestellungen reduziert. Durch die differenzierte Unterstützung und das schrittweise Zurücknehmen soll das Selbstvertrauen der Lernenden aufgebaut werden, bis sie die Fertigkeiten wirklich beherrschen (vgl. Collins et al. 1987).

- **Versprachlichung (4):** Die Phase der Versprachlichung kann während dem Anleiten, oder der differenzierten Unterstützung stattfinden. Die Lernenden formulieren ihre Gedanken über das aktuell anzuwendende Wissen, sowie die nächsten Schritte oder Bewertungsprozesse bei der Ausführung des zu lösenden Problems.
- **Reflexion (5):** Ebenso wie die Versprachlichung, kann diese Phase parallel zu den anderen Phasen durchgeführt werden, allerdings erst nach der erfolgreichen Bewältigung einer Lernaufgabe. Der Fokus liegt darauf, dass die Lernenden ihre Problemlöseprozesse mit dem Vorgehen der Experten oder dem Vorgehen anderer Lernender vergleichen (vgl. Collins et al. 1987).
- **Erkundung (6):** Die Phase der Erkundung ist als letzter Schritt anzusehen. Hierbei suchen die Lernenden selbstständig nach neuen, herausfordernden Problemen, welche mit den erlernten Fertigkeiten zu lösen sind. Es können auch Transferaufgaben durch die Lehrperson bereitgestellt werden (vgl. Collins et al. 1987). Hierbei unterstützt die Lehrperson kaum noch. Damit eine eigenständige Suche nach weiterführenden Fehlern möglich ist, müssen zuvor passende Strategien vermittelt werden (da im schlimmsten Fall eine Überforderung der Lernenden stattfindet).

Wie bereits in der Ausgangslage beschrieben wurde, ist für eine erfolgreiche Fehlerdiagnose nicht nur Fachwissen, sondern auch strategisches Wissen von Bedeutung. Die Eignung des Cognitive Apprenticeship Ansatzes für die Förderung des analytischen Problemlösens, ergibt sich aus seiner Funktion kognitive Prozesse sichtbar zu machen. Darüber hinaus eignet er sich auch für die Strategievermittlung, was ein wesentlicher Bestandteil der Förderung des analytischen Problemlösens darstellt. Schaper, Hochholdinger und Sonntag (2003, 2004) konnten in ihrer Forschungsarbeit nachweisen, dass Schulungen, die auf dem Cognitive Apprenticeship Ansatz basieren, eine Verbesserung in der Fehlerdiagnosefähigkeit von Auszubildenden bedingen können. Seel und Schenk (2003) konnten neben den positiven Effekten des Ansatzes auch zeigen, dass die ersten drei Phasen besonders wirksam sind. Aus diesem Grund werden in der entwickelten Fortbildung ausschließlich die ersten drei Phasen betrachtet.

Zur Förderung des analytischen Problemlösens wird zunächst das modellhafte Vormachen durchgeführt. Ein Experte demonstriert einen Problemlöseprozess, verbalisiert alle Denkvorgänge und formuliert seine Intentionen und Ratschläge auf relevante Aspekte der Thematik. Erst nachdem ein mentales Modell generiert wurde, bearbeiten die Lernenden Aufgaben zur Störungsdiagnose. Dabei unterstützt der Experte die Lernenden individuell und situationsabhängig.

In der nächsten Phase, dem Anleiten, bearbeiten die Lernenden eigenständig eine Aufgabe und werden dabei durch den Lehrenden unterstützt. Hierbei erfolgt die Hilfe situativ und individuell. Durch diese Phase sollen die Lernenden eigene Vorgehensweisen bei der Störungsdiagnose, sowie Fertigkeiten aufbauen, welche mit dem Vorgehen des Experten vergleichbar sind.

Daran schließt sich die Phase der differenzierten Unterstützung an. Durch das differenzierte Unterstützen sollen die Lernenden selbstständig werden. Das Ziel soll dadurch erreicht werden, dass die Hilfestellungen nicht mehr individualisiert sind, sondern standardisiert. Zudem sind sie gestuft, sodass zunächst wenige und grobe Informationen bereit werden und die Lernenden sukzessiv Informationen zur Lösung der Aufgabe erhalten. Je sicherer die Lernenden in der Bearbeitung der Aufgabenstellungen sind, desto weiter werden die Hilfestellungen reduziert. Im Cognitive Apprenticeship Ansatz wird diese Phase als schrittweises Zurücknehmen bezeichnet.

3.2 Informatives tutorielles Feedback

Verschiedene Studien konnten den positiven Einfluss von Feedback auf die Leistungen von Lernenden nachweisen (vgl. Kulhavy 1977). Die Analyse von Hattie (2009) konnte zeigen, dass das Feedback von Lehrkräften einen großen Einfluss auf die Schülerleistungen hat ($d = 0.73$). Allerdings ist die Wirksamkeit von Feedback von verschiedenen Faktoren abhängig, zum Beispiel von dem Zeitpunkt an dem das Feedback präsentiert wird (vgl. Kulhavy 1977, S. 229). Thillmann (2007) konnte zeigen, dass es zielführender ist, Feedback während der Lernprozesse einzusetzen und nicht vorher. Darüber hinaus wird adaptives Feedback von den Lernenden hilfreicher eingeschätzt als nicht adaptives Feedback (vgl. Marschner 2011, S. 155). Dieses Ergebnis interpretiert Marschner als wichtige Voraussetzung für die Annahme, dass die „adaptive Unterstützung auch objektiv als lernförderlicher erweist. Denn nur, wenn Lerner Unterstützungsmaßnahmen als hilfreich wahrnehmen, werden sie sie auch nutzen“ (2011, S. 155).

Narciss (2006) beschreibt verschiedene Bedingungsfaktoren unter denen Feedback die Lernprozesse der Lernenden unterstützen kann. So hat es sich als lernwirksam erwiesen mit einer Rückmeldung zur Korrektheit der Antwort zu beginnen und erst daran anschließend tutorielle Komponenten aufzuzeigen. Allgemein wird zwischen verschiedenen Arten von Feedback differenziert, die sich in der Art der Rückmeldung unterscheiden, z. B. in der Rückmeldung zur Korrektheit der Antwort, der Bereitstellung des Lösungswegs sowie der Bereitstellung von Hilfestellungen (vgl. Narciss 2006). Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird Feedback entsprechend dem Verständnis von Narciss definiert.

„Der Begriff „Feedback“ bezeichnet ganz allgemein Informationen, die einem System nach Durchlaufen eines Prozesses oder Prozess-Schrittes rückgemeldet werden, um regulierend auf künftige Prozess-Durchläufe oder -Schritte zu wirken. [...] Als Feedback werden daher alle Informationen bezeichnet, die Lernende bei oder nach der Aufgabenbearbeitung von einer externen Informationsquelle (z. B. Lehrer, Lernprogramm, Versuchsleiter) zur Bestätigung korrekter Antworten oder zur Korrektur von Fehlern angeboten bekommen.“ (Narciss 2006, S. 13-17)

In der entwickelten Lehrerfortbildung wird gezielt das informative tutorielle Feedback nach Narciss (2006) eingesetzt und den Lehrpersonen vorgestellt. Das informative tutorielle Feedback hat eine, von der Feedback-gebenden Person, festgelegte Funktion. Mit Hilfe des Feedbacks soll die Unstimmigkeit zwischen der aktuellen Antwort der Lernenden und der korrekten Antwort aufgezeigt werden. Dies erfolgt während oder nach der Bearbeitung von Lernaufgaben bzw. von Aufgabenteilen. Dabei zielt das informative Feedback darauf ab, eine korrekte Lösung der Aufgabe in der aktuellen und in zukünftigen Lernsituationen zu ermöglichen. Beim informativen tutoriellen Feedback bezieht sich das Feedback auf unterschiedliche Aspekte der Aufgabe, der Lösung oder des Fehlers. Die Feedbackfunktionen können entsprechend der nachfolgenden Tabelle in drei Kategorien unterteilt werden.

Tab. 1: Indikatoren zur Untersuchung von Feedbackeffekten (vgl. Narciss 2006, S. 93)

Feedback-Funktionen	Erwartete Wirkungen
Kognitiv	
<ul style="list-style-type: none"> • Informieren • Ergänzen • Korrigieren • Diskriminieren • Restrukturieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Fehler werden erkannt • Fehlendes Wissen wird ergänzt • Falsches Wissen wird korrigiert • Ungenaueres Wissen wird präzisiert • Falsch verknüpfte Elemente werden neu zugeordnet
Meta-kognitiv	
<ul style="list-style-type: none"> • Informieren • Ergänzen • Korrigieren • Lenken 	<ul style="list-style-type: none"> • Falsche Strategien werden erkannt • Fehlende Strategien werden ergänzt • Falsche Strategien werden korrigiert • Strategien werden mehr beachtet
Motivational	
<ul style="list-style-type: none"> • Anreize erhöhen • Schwierigkeiten reduzieren • Erfolgswahrscheinlichkeit erhöhen • Anstrengung und Erfolg verknüpfen • Chancen auf Erleben von Kompetenzzuwachs erhöhen 	<ul style="list-style-type: none"> • Attraktivität von Aufgaben nimmt zu • Bereitschaft Aufgaben zu bearbeiten, nimmt zu • Erfolgszuversicht nimmt zu • Anstrengungsbereitschaft nimmt zu • Ausdauerbereitschaft nimmt zu • Selbstbewertung wird positiver

Für den effektiven Einsatz des informativen tutoriellen Feedbacks werden mehrere Prinzipien empfohlen (vgl. Narciss 2006, S. 97). Das Feedback sollte erst nach der Bearbeitung der Aufgabe angeboten werden. Feedback, das vor der Aufgabebearbeitung präsentiert wird, kann dazu führen, dass sich die Lernenden nicht mehr anstrengen (vgl. Kulhavy 1977; Narciss 2006). Darüber hinaus sollten die informativen tutoriellen Feedbackkomponenten getrennt von der Korrektheit der Lösung angeboten werden. Eine Kombination der beiden Komponenten ist der einfachen Präsentation von Informationen über die Korrektheit der Lösung nicht überlegen (vgl. Narciss 2006, S. 88). Als weiteres Prinzip sollte beachtet werden, dass komplexe Feedbackinhalte sukzessive angeboten werden. Dabei bietet es sich an, zunächst generelle strategische Informationen zu präsentieren und erst bei weiteren Fehlversuchen die Informationen zunehmend zu konkretisieren (vgl. Narciss 2006, S. 88 f.). Nach der Bereitstellung von Feedback sollten die Lernenden die Möglichkeit haben die neuen Informationen in einem weiteren Lösungsversuch nutzen zu können. Das damit erworbene Wissen sollte bei mindestens einer weiteren Aufgabe derselben Art Anwendung finden (vgl. Narciss 2006, S. 89).

Im Rahmen der vorgestellten Fortbildung wird das informative tutorielle Feedback einerseits als individuelles Feedback durch die Fortbildungsleitung im Rahmen der Fehlersuche eingesetzt. Andererseits wird das Feedback, im weiteren Verlauf der Fehlersuche, in Form von gestuften Lernhilfen schriftlich angeboten. Hierbei bezieht sich das Feedback entsprechend der unterschiedlichen Funktionen (vgl. Narciss 2006), sowohl auf kognitive, metakognitive als auch motivationale Aspekte der Aufgabebearbeitung.

3.3 Suchstrategien

Die Förderung der analytischen Problemlösefähigkeit erfolgt über die strukturierte Fehlersuche (vgl. Benda 2007) und Suchstrategien (vgl. Konrad 1992; Rasmussen 1974) an einer authentischen Simulation einer Automatisierungsanlage. Die Simulation kann an Computern oder Tablets eingesetzt werden. Sie beinhaltet verschiedene vorprogrammierte, durch Experten getestete, Fehlerfälle (vgl. Walker, Link & Nickolaus 2015), von denen fünf in der Lehrerfortbildung eingesetzt werden. Die in der Simulation enthaltenen Fehler befinden sich alle im Steuerungsprogramm. Sie sind beispielsweise logische Programmfehler oder fehlerhafte Programmierungen (Verwendung falscher Ein- und Ausgänge). Damit gehören die einprogrammierten Fehler zu der Kategorie Softwarefehler und sind von Hardwarefehlern abzugrenzen (vgl. Tapken 2013, S. 114).

Die Simulation wurde bereits zur Erfassung der Problemlösefähigkeit bei Auszubildenden eingesetzt (vgl. Walker et al. 2016). Die Studien von Walker et al. (2015) haben gezeigt, dass der Einsatz einer Simulation zur Förderung der analytischen Problemlösefähigkeit ebenso geeignet ist, wie die Bearbeitung von Problemen an einer realen Automatisierungsanlage. Im Rahmen der vorgestellten Lehrerfortbildung wird aufgrund der leichteren Dissemination auf die Simulation zurückgegriffen.

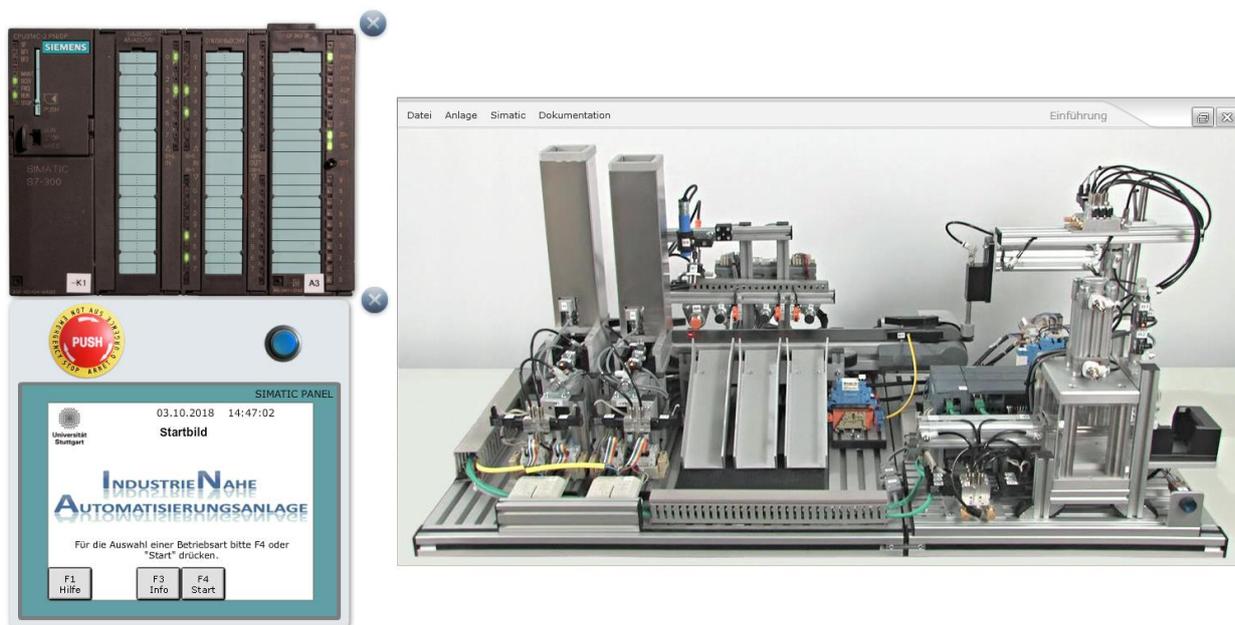


Abb. 2: Simulation der industriellen Automationsanlage (vgl. Walker, Link & Nickolaus 2015)

Wenn Fehler an einer Automationsanlage auftreten, können nach Benda (1996) zwei wesentliche Vorgehensweisen zur Fehlersuche unterschieden werden. „Mit Logik und Systematik oder auf Verdacht und Intuition. Bei beiden Methoden ist die Berufserfahrung für den Erfolg ausschlaggebend“ (Benda 1996, S. 9). Auch Konrad (1992) schreibt dem Erfahrungswissen eine große Bedeutung zu. Wenn noch keine Berufserfahrung und somit kein Erfahrungswissen vorliegt, ist es umso wichtiger Strategien zur Fehlersuche anzuwenden zu können. Aber auch erfahrene Personen profitieren von einer systematischen und strategischen Vorgehensweise bei der Diagnose. Dies zeigen verschiedene Studien. Mithilfe einer viertägigen Intervention konnten Bergmann, Wiedemann und Zehrt (1995) die Durchführung der Fehlersuche bei erfahrenen Personen, in Hinblick

auf die Diagnosezeit und die Diagnoseschritte, verbessern. In dem Training erhielten die teilnehmenden Mitarbeiter Informationen über die systematische Herangehensweise an die Fehlersuche. Diese basieren auf den Suchstrategien von Konradt (1992) und Rasmussen (1974). Das Training „erwies sich als ein Weg für die Verbesserung der Störungsdiagnosekompetenz, was sich in einer höheren Rate selbständiger Diagnosen bei neuartigen Störungen und in einer Verkürzung der Diagnosezeit ausdrückt“ (Bergmann et al. 1995, S. 154). Dies entspricht auch der Aussage von Konradt, dass Diagnosestrategien zu einer Verkürzung des Diagnoseprozesses führen (Konradt 1992, S. 5). Konradt (ebd.) und Rasmussen (1974) konnten zahlreiche Strategien ausmachen.

Die Strategien bilden eine „generalisierte Struktur, d. h. ihre Anwendung ist nicht auf spezifische Situationen beschränkt. Sie sind Denkhilfen bei dem ersten Entwurf eines Plans. [...] Die Hauptbedeutung von Strategien liegt in der Planung und Vorbereitung der Arbeitstätigkeiten.“ (Konradt 1992, S. 53)

Die zahlreichen „kleinen“ Strategien zur Fehlersuche hat Rasmussen in zwei Kategorien (topographische und symptomatische Suche) eingeteilt, welche Konradt um eine weitere Kategorie (fallbasierte Suche) ergänzt hat. Die drei Kategorien nach Konradt (1992, S. 129), können folgendermaßen beschrieben und voneinander abgegrenzt werden.

- **Topographische Suche:** Die topographische Suche basiert auf einer sukzessiven binären Überprüfung bestimmter Systemfunktionen und Parameter (vgl. Rasmussen 1974). Sie erfolgt indem fehlerhafte Verhaltensweisen des Systems identifiziert werden. Anschließend wird die Fehlerdiagnose geplant und Regeln werden generiert, um damit die fehlerhaften Komponenten eingrenzen zu können. Erwartete Soll-Werte werden mit den Ist-Werten verglichen und miteinander in Beziehung gesetzt. Durch die schrittweise Überprüfung wird das Suchfeld sukzessive begrenzt, bis eine Maßnahme zur Behebung abgeleitet werden kann. Die Informationsnutzung ist unökonomisch, weil jeder einzelne Prüfschritt weitestgehend isoliert bleibt und bereits gewonnene Informationen über zurückliegende Störungsursachen und Erfahrungen des bisherigen Vorgehens unberücksichtigt bleiben. Die topographische Suche erfordert eine große Anzahl von Beobachtungen, kommt allerdings ohne Erfahrungswissen aus (vgl. Konradt 1992, S. 62 f.).
- **Symptomatische Suche:** Die symptomatische Suche leitet sich aufgrund einer ökonomischen und effektiven Nutzung der vorliegenden Datenmenge und Symptome her. Dabei werden die Störungssymptome zusammengefasst und als Suchschablone mit einer mental repräsentierten „Symptombibliothek“ bekannter Symptommuster verglichen und bei einer Übereinstimmung klassifiziert. Im Ergebnis der Klassifikation können eine oder mehrere mögliche Ursachen und die Wirkungsbeziehungen schnell und präzise bestimmt werden. Die erforderlichen Maßnahmen sind direkt ableitbar. Allerdings kann bei der symptomatischen Suche problematisch werden, dass ein Bezugsmuster benötigt wird (vgl. Konradt 1992, S. 63 f.). Innerhalb der symptomatischen Suche unterscheidet Rasmussen (1974):
 - **Mustererkennung:** datengesteuerte und parallele Identifizierung bekannter Systemzustände; Herbeiführen von taktischen Entscheidungen; basiert auf „unscharfen, verschwommenen oder allgemeinen Bezugssymptomen“ (Konradt 1992, S. 64) und Fehlermustern; Erfahrungswissen von früheren Störungsfällen ist notwendig
 - **Entscheidungstabellen:** sequentielle Abarbeitung der Entscheidungstabellen; Nutzung von taktischen Regeln; Basis der Suche bilden Auftrittswahrscheinlichkeiten; mentale Entscheidungstabellen
 - **Hypothesengeleitetes Vorgehen:** Verallgemeinerung der Bezugsmuster unter Einbeziehung von hypothetischen Umständen; die Suche ist abhängig von den Taktiken der verallgemeinerten Hypothese; kommt ohne Erfahrungswissen aus

- fallbasierte Suche: Kennzeichnend für diese Suche ist der Vergleich mit zurückliegenden Störungen ähnlicher Symptomatik und unter ähnlichen Randbedingungen. Informationen über diese Störungen liegen entweder extern (z. B. in Form von Instandhaltungsberichten oder schwachstellenorientierten Störungsstatistiken) oder intern als Erfahrungswerte vor (Konradt 1992, S. 128 f.).

Die drei Suchstrategien werden in unterschiedlichen Situationen verwendet. Konradt (ebd.) hat herausgefunden, dass Personen mit wenig Berufserfahrung häufig auf die topographische Suche zurückgreifen. Aber auch erfahrene Personen nutzen die topographische Suche, allerdings fast ausschließlich bei neuartigen und unbekanntem Störungen (ebd., S. 154). Die symptomatische und fallbasierte Suche wird zum größten Teil von erfahrenen Personen eingesetzt. Diese Strategien werden vor allem bei regelmäßig auftretenden Störungen angewendet.

4 Ziele des Projekts

Die Ziele des Forschungsprojektes sind in zwei Ebenen unterteilt, die Ebene der Lehrenden und die Ebene der Auszubildenden. Darüber hinaus gibt es ein übergeordnetes Ziel.

- **Ebene der Lehrenden:** Auf der Ebene der Lehrpersonen ist das wichtigste Ziel das fachdidaktische Wissen der Lehrpersonen zur Förderung der analytischen Problemlösefähigkeit aufzubauen. Zunächst wird die analytische Problemlösefähigkeit der Lehrenden gefördert. Dies erfolgt, indem pädagogische Ansätze zur Förderung der analytischen Problemlösefähigkeit praktisch umgesetzt und anschließend die dahinterliegende Theorie besprochen werden. Geeignete Ansätze stellen der in Kapitel 3.1 vorgestellte Cognitive Apprenticeship Ansatz (vgl. Brown et al. 1989) und das in Kapitel 3.2 vorgestellte informative tutorielle Feedback (Narciss 2006) dar. Um das Ziel der Förderung des fachdidaktischen Wissens im Bereich der Fehlersuche zu erreichen, hat das Fortbildungskonzept einen fachdidaktischen Fokus.
- **Ebene der Lernenden:** Neben der Förderung des fachdidaktischen Wissens der Lehrpersonen, ist die Bereitstellung eines Unterrichtskonzepts zur Förderung der Auszubildenden im Bereich der analytischen Problemlösefähigkeit ein weiteres Ziel. Um die Auszubildenden in ihrer Problemlösefähigkeit zu fördern, erhalten die teilnehmenden Lehrpersonen ein Unterrichtskonzept und Arbeitsmaterialien, welche an den eigenen Unterricht angepasst und darin integriert werden können. Darüber hinaus erhalten die Lehrkräfte einen serverbasierten Zugang für die in der Fortbildung eingesetzte Simulation der Automatisierungsanlage.
- **Evaluation der Fortbildungsveranstaltung:** Ein weiteres wichtiges Ziel des Forschungsprojekts ist die Evaluation der Fortbildungsveranstaltung. Die notwendigen Daten werden über einen Selbsteinschätzungsfragebogen erhoben, der im Kapitel Erhebungsinstrument (vgl. Kapitel 6.3) vorgestellt wird. Die Evaluation der Lehrerfortbildung erfolgt über die Beantwortung der nachfolgend vorgestellten Fragestellungen.

5 Fragestellung

Für die Evaluation der Fortbildung wird, dem theoretischen Ansatz entsprechend, der TPACK Ansatz (vgl. Mishra & Koehler 2006) genutzt. Vergleichbar zu der Vorgehensweise von Walker et al. (2017, S. 11) und Walker, Link, Mohr und Schäfer (2018, S. 58) werden zwei wesentliche Fragestellungen untersucht. Mit der ersten Forschungsfrage wird überprüft, ob die theoretisch angenommenen Zusammenhänge zwischen den einzelnen TPACK Dimensionen repliziert werden

können. In der zweiten Forschungsfrage wird betrachtet, welche Veränderungen in der Selbsteinschätzung der Lehrpersonen zu verzeichnen sind.

- **Forschungsfrage 1: Können die im TPACK Modell theoretisch angenommenen Zusammenhänge, zwischen den einzelnen Dimensionen des Professionswissens, repliziert werden?** Im TPACK Modell wird angenommen, dass die Wissensdimensionen, die nahe beisammen liegen, miteinander höher korrelieren, als die Wissensdimensionen, die weiter voneinander entfernt liegen. Zum Beispiel wird angenommen, dass das fachdidaktische Wissen und das pädagogische Wissen in einem größeren Zusammenhang zueinanderstehen, als das pädagogische Wissen und das Inhaltswissen (vgl. Mishra & Koehler 2006). Entsprechend werden folgende Annahmen getroffen:

Tab. 2: Annahme zu den Korrelationen zwischen den einzelnen Wissensdimensionen nach TPACK (Mishra & Koehler 2006; Walker et al. 2017)

(1)	$r_{FDW/PW}$	&	$r_{FDW/IW}$	>	$r_{PW/IW}$
(2)	$r_{TPW/PW}$	&	$r_{TPW/TW}$	>	$r_{PW/TW}$
(3)	$r_{TIW/TW}$	&	$r_{TIW/IW}$	>	$r_{TW/IW}$

TW = technologisches Wissen; PW = pädagogisches Wissen; IW = Inhaltswissen; FDW = fachdidaktisches Wissen; TIW = technologisches Inhaltswissen; TPW = technologisch-pädagogisches Wissen

- **Forschungsfrage 2: Welche Entwicklung ist in den einzelnen Dimensionen des Professionswissens (nach TPACK) nach Durchlaufen der Fortbildung zu verzeichnen?** Im Vergleich der beiden Gruppen wird erwartet, dass die Experimentalgruppe mehr fachdidaktisches-, pädagogisches- sowie Inhaltswissen aufbaut als die Kontrollgruppe. Zudem wird entsprechend der Zielsetzung der Fortbildung erwartet, dass das fachdidaktische Wissen die größte Entwicklung in der Selbsteinschätzung erfährt.

6 Methoden

6.1 Stichprobe

Das Fortbildungskonzept sowie die eingesetzten Materialien, wurden im Rahmen einer Pilotierungsstudie mit einer Stichprobe von $n = 9$ Personen getestet. Entsprechend den Rückmeldungen wurde das Konzept weiterentwickelt und die Materialien optimiert². An der Pilotierung haben ausschließlich männliche Lehrpersonen teilgenommen. Die Teilnehmer waren zwischen 37 und 56 Jahre alt ($MW = 45,33$; $SD = 6,98$) und haben eine durchschnittliche Unterrichtserfahrung von 12,9 Jahren ($SD = 9,46$; $Min = 1$ Jahr; $Max = 32$ Jahre). Von den teilnehmenden Lehrkräften, wird als technisches Hauptfach jeweils zu 44,5 % Metalltechnik und Elektrotechnik unterrichtet. Lediglich ein Teilnehmer (11 %) unterrichtet Mechatronik als Hauptfach.

² Derzeit befindet sich das Forschungsprojekt in der Haupterhebung.

6.2 Untersuchungsdesign

Das Forschungsprojekt hat ein Experimental-Kontrollgruppen-Vor-Nachtestdesign, die Einteilung in die Gruppen erfolgt quasiexperimentell. Die Fortbildung findet als eintägige Veranstaltung statt. Während des Treatments durchlaufen die Teilnehmenden die einzelnen Phasen des Cognitive Apprenticeship Ansatzes an einer authentischen Simulation einer Automatisierungsanlage. Zunächst wird der Cognitive Apprenticeship Ansatz vorgestellt. Nach der Vorstellung des Ansatzes erfolgt die Einführung in den Funktionsablauf und die Programmierweise der Automatisierungsanlage. Dadurch wird das notwendige Systemwissen generiert. Daran anschließend werden Suchstrategien (vgl. Konradt 1992; Rasmussen 1974) vorgestellt und eine systematische Herangehensweise an die Fehlerdiagnose (vgl. Benda 1996) besprochen. Danach durchlaufen die Lehrpersonen die ersten drei Phasen des Cognitive Apprenticeship Ansatzes (vgl. Tabelle 3).

Tab. 3: Umsetzung der ersten drei Phasen des Cognitive Apprenticeship Ansatzes zur Schulung des analytischen Problemlösens der teilnehmenden Lehrkräfte

	(1)	(2)	(3.1)	(3.2)
Fehler 1	+ Demonstration durch Experten			
Fehler 2		+ individualisierte Rückmeldung		
Fehler 3			+ Feedbackkarten mit Lösung	
Fehler 4				+ Feedbackkarten ohne Lösung

(1) modellhaftes Vormachen, (2) Anleiten, (3.1) differenzierte Unterstützung, (3.2) schrittweises Zurücknehmen

Zunächst demonstriert die Fortbildungsleitung eine systematische Fehlersuche in der Simulation und erläutert dabei ihre Vorgehensweise (1: modellhaftes Vormachen). Anschließend bearbeiten die teilnehmenden Lehrkräfte einen eigenen Fehlerfall in der Simulation (2: Anleiten) und erhalten dabei von der Fortbildungsleitung individuelle Unterstützung. Im nächsten Schritt werden adaptive Hilfestellungen in Form von Feedbackkarten / gestuften Lernhilfen eingesetzt (3.1: differenziertes Unterstützen). Diese sind nicht individualisiert. Mit fortschreitender Sicherheit der Teilnehmenden werden die Lernhilfen reduziert (3.2: schrittweises Zurücknehmen). Dazu kommen nicht individualisierte, reduzierte Feedbackkarten zum Einsatz.

Erst nach diesem Schritt unterscheiden sich die Treatments der Experimental- und Kontrollgruppe. Die Experimentalgruppe erhält zusätzliche Informationen über die Arten des Feedbacks nach Narciss (2006). Zudem werden Hinweise, zur Gestaltung von Hilfekarten unter Einbezug des informativen tutoriellen Feedbacks gegeben. Die Informationen über die Feedbackfunktionen und die Gestaltungshinweise sind ausschließlich der Experimentalgruppe zugänglich. Die Probanden der Kontrollgruppe bearbeiten in dieser Zeit einen weiteren Fehlerfall in der Simulation, bevor sie die Fortbildung beenden.

Die Datenerhebung erfolgt über einen Selbsteinschätzungsfragebogen in einem Pre-Post-Testdesign. Zu Beginn und am Ende der Fortbildung werden die Probanden dazu aufgefordert einen Fragebogen auszufüllen, welcher in die sieben Wissensdimensionen des TPACK Modells von Mishra und Koehler (2006) unterteilt ist und nachfolgend vorgestellt wird.

6.3 Erhebungsinstrument

Aus Zeitgründen wurde darauf verzichtet einen Leistungstest bei den Lehrpersonen durchzuführen. Stattdessen wurde für die Erfassung des Wissens ein Erhebungsinstrument zur Selbsteinschätzung genutzt, welches auf das englischsprachige Instrument von Schmidt et al. (2009) und die deutschsprachige Übersetzung und Adaption von Walker et al. (2017) zurückzuführen ist. Das Erhebungsinstrument enthält zu jeder TPACK Wissensdimension mehrere Items und ist auf die Fortbildungsinhalte angepasst. Die Beantwortung der Items erfolgt auf einer vierstufigen Likertskala (1 = trifft zu bis 4 = trifft nicht zu). In der nachfolgenden Tabelle ist zu jeder Wissensdimension ein Beispielimitem enthalten.

Tab. 4: Anzahl und Beispiele der Items zur Erfassung des technologisch-pädagogischen Inhaltswissens

Wissensdimensionen	Beispielimitem
TW (5 Items)	Ich probiere gerne neue Technologien aus (z. B. PC-Programme, Tablets).
PW (5 Items)	Ich weiß, wie Schülerleistungen im Unterricht zu bewerten sind.
IW (6 Items)	Ich verfüge über ein grundlegendes Wissen bezüglich der Programmiersprache Funktionsbaustein (ehemals Funktionsplan).
FDW (5 Items)	Ich kann durch geeignetes Feedback bei Schülerinnen und Schülern Lernhürden im Bereich der Automatisierungstechnik abbauen.
TIW (5 Items)	Ich weiß, wie ich Störungen an einer SPS-Anlage diagnostizieren kann.
TPW (5 Items)	Ich kann pädagogische Ansätze für den Unterricht auswählen, welche die eingesetzte Technologie (z. B. SPS-Anlagen) unterstützen.
TPIW (6 Items)	In meinen Unterrichtsstunden zum Thema Störungsdiagnose bei Softwarefehlern kann ich eine gute Verknüpfung von Inhalt, neuen Technologien und pädagogischem Ansatz herstellen.

TW = technologisches Wissen; PW = pädagogisches Wissen; IW = Inhaltswissen; FDW = fachdidaktisches Wissen; TIW = technologisches Inhaltswissen; TPW = technologisch-pädagogisches Wissen; TPIW = technologisch-pädagogisches Inhaltswissen

7 Zusammenfassung und Ausblick

Basierend auf den Arbeiten von Walker et al. (2016) wurde, im Rahmen eines Forschungsprojektes, ein Lehrerfortbildungskonzept zur Förderung des fachdidaktischen Wissens von Lehrpersonen an berufsbildenden Schulen entwickelt. Dieses Konzept ist im Themenbereich des analytischen Problemlösens angesiedelt und ist für Lehrpersonen der Fächer Elektrotechnik, Metalltechnik und Mechatronik relevant.

Das Fortbildungskonzept basiert auf dem TPACK Modell zum Professionswissen. Anhand der einzelnen Wissensdimensionen des Modells wurden die Inhalte der Fortbildung aufgezeigt. Wesentlicher Bestandteil des Konzepts bilden die Ansätze Cognitive Apprenticeship und informatives tutorielles Feedback. Darüber hinaus sind die Strategien zur Fehlersuche eine wichtige Komponente des fachlichen Wissens. Als technologische Komponente wird eine authentische Simulation einer industrienahen Automatisierungsanlage eingesetzt. An dieser Simulation wird die analytische Problemlösefähigkeit der Lehrpersonen geschult.

Die Fragestellungen des Forschungsprojektes sollen durch ein Experimental-Kontrollgruppen-Design und eine Pre-Posttest-Datenerhebung beantwortet werden. Die Datenerhebung erfolgt

an einem Selbsteinschätzungsfragebogen, welcher in die sieben Wissensdimensionen des TPACK Modells unterteilt ist.

Bisher konnten die Schulungsunterlagen und das Erhebungsinstrument im Rahmen einer Pilotierungsstudie ($n=9$) getestet werden. Derzeit befindet sich das Projekt in der Haupterhebung, die voraussichtlich im zweiten Quartal 2019 abgeschlossen wird. Hier wird eine Stichprobengröße von $n=50$ erwartet.

Literatur

- Abele, S., Behrendt, S., Weber, W. & Nickolaus, R. (2016). Berufsfachliche Kompetenzen von Kfz-Mechatronikern - Messverfahren, Kompetenzdimensionen und erzielte Leistungen (KOKO Kfz). In K. Beck, M. Landenberger & F. Oser (Hrsg.), *Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse aus der BMBF-Förderinitiative ASCOT (Wirtschaft - Beruf - Ethik, Bd. 32, S. 171–204)*. Bielefeld: Wbv.
- Abele, S., Walker, F. & Nickolaus, R. (2014). Zeitökonomische und reliable Diagnostik beruflicher Problemlösekompetenzen bei Auszubildenden zum Kfz-Mechatroniker. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 28, 167–179.
- Baumert, J. & Kunter, M. (2011). Das mathematikspezifische Wissen von Lehrkräften, kognitive Aktivierung im Unterricht und Lernfortschritte von Schülerinnen und Schülern. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV (S. 163–192)*. Münster: Waxmann.
- Benda, D. (1996). Fehler suchen, finden, beseitigen. In *automatisierten Systemen und elektronischen Schaltungen*. Berlin: VDE-Verl.
- Benda, D. (2007). *Wie sucht man Fehler in elektronischen Schaltungen? Fehlersuche mit Methode*. Poing: Franzis Verlag.
- Bergmann, B., Wiedemann, J. & Zehrt, P. (1995). Beschreibung und Trainierbarkeit der Störungsdiagnosekompetenz von Instandhaltungspersonal. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 39, 146–156.
- Blömeke, S., Kaiser, G. & Lehmann, R. (2010). *TEDS-M 2008 – Professionelle Kompetenz und Lerngelegenheiten angehender Mathematiklehrkräfte für die Sekundarstufe I im internationalen Vergleich*. Münster: Waxmann.
- Bos, W., Eickelmann, B. & Gerick, J. (2014). Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern der 8. Jahrgangsstufe in Deutschland im internationalen Vergleich. In W. Bos (Hrsg.), *ICILS 2013. Computer- und informationsbezogene Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in der 8. Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich (S. 113–146)*. Münster: Waxmann.
- Brown, J. S., Collins, A. & Duguid, P. (1989). Situated Cognition and the Culture of Learning. *Educational Researcher*, 18, 32–42.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1987). *Cognitive Apprenticeship: Teaching the Craft of Reading, Writing, and Mathematics (Technical Report No. 403)*. Center for Study of Reading.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement (Reprinted.)*. London: Routledge.
- Hohenstein, F., Köller, O. & Möller, J. (2015). Pädagogisches Wissen von Lehrkräften. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften*, 18, 183–186.
- Konradt, U. (1992). *Analyse von Strategien bei der Störungsdiagnose in der flexibel automatisierten Fertigung*. Bochum: Universitätsverlag Dr. N. Brockmeyer.
- Konradt, U. (1994). Handlungsstrategien bei der Störungsdiagnose an flexiblen Fertigungseinrichtungen. *Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 38, 54–61.
- Kulhavy, R. W. (1977). Feedback in Written Instruction. *Review of Educational Research*, 47, 211–232.
- Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (2003). *Rahmenlehrplan für den Ausbildungsberuf Elektroniker für Automatisierungstechnik/ Elektronikerin für Automatisierungstechnik. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.05.2003*. Zugriff am 06.04.2018. Verfügbar unter <https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Bildung/BeruflicheBildung/rlp/Elekautomatisierungstech.pdf>
- Kunter, M. (2013). Bedingungen für qualitätvollen Unterricht: Die professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In M. Kunter & U. Trautwein (Hrsg.), *Psychologie des Unterrichts (StandardWissen Lehramt, Bd. 3895, S. 141–160)*. Paderborn: Schöningh.

- Kunter, M., Baumert, J., Blum, W. & Neubrand, M. (Hrsg.). (2011). Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV. Münster: Waxmann.
- Link, N., Schäfer, P. & Walker, F. (2018). Der Cognitive Apprenticeship Ansatz - Eine Möglichkeit zur Förderung der Fehleranalysefähigkeit in mechatronischen Systemen. In S. F. Dietl, H. Schmidt, R. Weiß & W. Wittwer (Hrsg.), *Ausbilder-Handbuch. Aufgaben, Strategien und Zuständigkeiten für Verantwortliche in der Aus- und Weiterbildung* (Aktualisierungslieferung Nr. 205, S. 131–152). Köln: Deutscher Wirtschaftsdienst.
- Marschner, J. (2011). *Adaptives Feedback zur Unterstützung des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren*. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen.
- Mishra, P. & Koehler, M. J. (2006). Technological Pedagogical Content Knowledge: A Framework for Teacher Knowledge. *Teachers College Record*, 108, 1017–1054.
- Narciss, S. (2006). Informatives tutorielles Feedback. Entwicklungs- und Evaluationsprinzipien auf der Basis instruktionspsychologischer Erkenntnisse (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 56). Münster: Waxmann.
- Neuweg, G. H. (2014). Das Wissen der Wissensvermittler. Problemstellungen, Befunde und Perspektiven der Forschung zum Lehrwissen. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (2., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 583–614). Münster: Waxmann.
- Pierson, M. E. (2001). Technology Integration Practice as a Function of Pedagogical Expertise. *Journal of Research on Computing in Education*, 33, 413–430.
- Rasmussen, J. (1974). Mental Procedures in Real-Life Tasks: A Case of Electronic Trouble Shooting. *Ergonomics*, 17, 293–307.
- Rowold, J., Hochholdinger, S. & Schaper, N. (Hrsg.). (2008). *Evaluation und Transfersicherung betrieblicher Trainings. Modelle, Methoden und Befunde* (Wirtschaftspsychologie). Göttingen: Hogrefe.
- Schaafstal, A., Schraagen, J. M. & van Berlo, M. (2000). Cognitive Task Analysis and Innovation of Training: The Case of Structured Troubleshooting. *Human Factors*, 42, 75–86.
- Schäfer, P., Huber, C. & Walker, F. (im Druck). Datenanalyse über die Fortbildungsangebote im Bereich Automatisierungstechnik unter fachdidaktischen Gesichtspunkten.
- Schaper, N., Hochholdinger, S. & Sonntag, K. (2003). Vermittlung diagnostischer Problemlösekompetenz durch ein computergestütztes Störungsdiagnostetraining. *Wirtschaftspsychologie*, 5, 234–237.
- Schaper, N., Hochholdinger, S. & Sonntag, K. (2004). Förderung des Transfers von Diagnosestrategien durch computergestütztes Training mit kognitiver Modellierung. *Zeitschrift für Personalpsychologie*, 3, 51–62.
- Schmidt, D. A., Baran, E., Thompson, A. D., Mishra, P., Koehler, M. J. & Shin, T. S. (2009). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK). The Development and Validation of an Assessment Instrument for Preservice Teachers. *Journal of Research on Technology in Education*, 42, 123–149.
- Seel, N. M. & Schenk, K. (2003). An evaluation report of multimedia environments as cognitive learning tools. *Evaluation and Program Planning*, 26, 215–224.
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15, 4–14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57, 1–21.
- Tapken, H. (2013). *SPS - Theorie und Praxis. Mit Übungsaufgaben und Programmier- und Simulationssoftware* (3. Auflage). Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel Nourney, Vollmer.
- Thillmann, H. (2007). *Selbstreguliertes Lernen durch Experimentieren: Von der Erfassung zur Förderung*. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen.
- Walker, F., Kuhn, J., Hauck, B., Ulber, R., Hirth, M., Molz, A. et al. (2017). Erfassung von technologisch-pädagogischem Inhaltswissen in Lehrerfortbildungen zum naturwissenschaftlich-technischen Experimentieren unter Entwicklung und Verwendung neuer Smartphone-Experimente: Erste Ergebnisse einer Pilotierung. *Lehrerbildung auf dem Prüfstand*, 10, 1–18.
- Walker, F., Link, N., Mohr, F. & Schäfer, P. (2018). Entwicklung eines Fortbildungskonzepts auf Basis des Ansatzes zum technologisch-pädagogischen Inhaltswissen zu Industrie 4.0. *Lernen & Lehren*, 130, 53–59.
- Walker, F., Link, N. & Nickolaus, R. (2015). Berufsfachliche Kompetenzstrukturen bei Elektronikern für Automatisierungstechnik am Ende der Berufsausbildung. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 222–241.
- Walker, F., Link, N., van Waveren, L., Hedrich, M., Geißel, B. & Nickolaus, R. (2016). Berufsfachliche Kompetenzen von Elektronikern für Automatisierungstechnik - Kompetenzdimensionen, Messverfahren und erzielte Leistungen (KOKO EA). In K. Beck, M. Landenberger & F. Oser (Hrsg.), *Technologiebasierte*

Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse aus der BMBF-Förderinitiative ASCOT (Wirtschaft - Beruf - Ethik, Bd. 32, S. 139–170). Bielefeld: Wbv.

Zhao, Y. (Ed.). (2003). What should teachers know about technology? Perspectives and practices (Research methods for educational technology). Greenwich, Conn: Information Age Pub.

PIA SCHÄFER

Technische Universität Kaiserslautern, Fachdidaktik in der Technik

Kurt-Schumacher-Straße 74a, 67663 Kaiserslautern

Pia.Schaefer@mv.uni-kl.de

PROF. DR. FELIX WALKER

Technische Universität Kaiserslautern, Fachdidaktik in der Technik

Kurt-Schumacher-Straße 74a, 67663 Kaiserslautern

Walker@mv.uni-kl.de

Zitieren dieses Beitrags:

Schäfer, P. & Walker, F. (2018). Problemlösen im Bereich der Automatisierungstechnik – Entwicklung und Evaluation eines Lehrerfortbildungskonzepts. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 6(4), 67–85.