

**Jennifer Stemmann** (Universität Duisburg-Essen)

**Martin Lang** (Universität Duisburg-Essen)

**Theoretische Konzeption einer allgemeinen technischen  
Problemlösefähigkeit und Möglichkeiten ihrer Diagnose**

**Herausgeber**

Bernd Zinn

Ralf Tenberg

**Journal of Technical Education (JOTED)**

**ISSN 2198-0306**

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

**Jennifer Stemmann (Universität Duisburg-Essen)**

**Martin Lang (Universität Duisburg-Essen)**

## **Theoretische Konzeption einer allgemeinen technischen Problemlösefähigkeit und Möglichkeiten ihrer Diagnose**

### **Zusammenfassung**

Dem Technikunterricht wird die Aufgabe zugesprochen, allgemeine technische Problemlösekompetenzen zu fördern. Eine der Förderung zugrundeliegende empirische Forschung ist desiderabel, jedoch in der allgemeinbildenden Technikdidaktik kaum existent. Dieser Beitrag strukturiert zunächst Problemlösekompetenz nach Problemtypen, deren Gemeinsamkeit in einer dynamischen Problemsituation besteht. Anschließend wird, basierend auf einer theoretischen Konzeption allgemeiner technischer Problemlösekompetenz, ein Instrument vorgestellt, das die Konstruktion dynamischer Items zur computerbasierten Erfassung technischer Problemlösekompetenz ermöglicht, ohne auf die Expertise externer Computerspezialisten zurückgreifen zu müssen.

*Schlüsselwörter:* Problemlösen, allgemeine technische Problemlösekompetenz, dynamisches Problemlösen, computerbasierte Erfassung von Problemlösekompetenzen, CBA ItemBuilder

### **Theoretical framework of general technical problemsolving competencies and possibility of their diagnosis**

#### **Abstract**

The purpose of technical education is to promote general technical problem solving competencies. Empirical Research is the base for this promotion but missing on the other hand. This paper discusses the types of problems to structure the competence of solving technical problems, which have a dynamic situation in common. The ability to solve such kind of dynamic problems cannot be measured with paper and pencil tests, but with computersimulations. Based on the theoretical framework of general technical problem solving, a tool will be presented, which makes it possible to design dynamic items without the knowledge about programming.

*Keywords:* problem solving, general technical problemsolving competencies, dynamic problem solving, computerbased diagnosis of problem solving competencies, CBA ItemBuilder

## 1 Allgemeines technisches Problemlösen

Probleme treten in der privaten und beruflichen Lebenswelt häufig auf, weshalb es nicht sinnvoll ist, für alle denkbaren Situationen entsprechende Handlungsabläufe zu trainieren (vgl. Duismann, Meschenmoser, 2009, S. 75). Aber auch die deutlich geringere Halbwertszeit von Wissen in unserer heutigen Zeit hat dazu geführt, dass sowohl in der beruflichen Bildung als auch im Unterricht allgemeinbildender Schulen vermehrt so genannte Schlüsselkompetenzen in den Fokus traten. Die Problemlösefähigkeit kann als eine dieser Schlüsselkompetenzen verstanden werden.

Von einem Problem spricht Duncker (1974), wenn „[...] ein Lebewesen ein Ziel hat und nicht ‚weiß‘, wie es dieses Ziel erreichen soll.“ Es befindet sich in einem unerwünschten Anfangszustand und möchte einen Zielzustand erreichen, der sich von dem Anfangszustand unterscheidet. Die Mittel, die zur Überführung des Ausgangs- in den Zielzustand benötigt werden, stehen ihm momentan jedoch nicht zur Verfügung (vgl. Dörner, 1976, S. 10). Das Fehlen dieser so genannten Operatoren grenzt Probleme von einfachen Aufgaben ab. Bei einer Aufgabe ist dem Individuum klar, mit welchen Mitteln oder Verfahren es den Ausgangs- in den Zielzustand bringen kann. Ob es sich in einem konkreten Fall um eine Aufgabe oder um ein Problem handelt, ist vom Subjekt abhängig, das entweder über die zur Zielerreichung benötigten Instrumentarien verfügt oder eben nicht (vgl. Dörner, 1976, S. 10). Die Entstehung von Problemen ist eng mit dem Vorhandensein von Wünschen, Bedürfnissen und Zielen von Lebewesen verknüpft (vgl. Ropohl, 1990, S. 116). Erst die Zielorientiertheit von Organismen und die daraus resultierende Handlungsorientiertheit macht problemlösendes Denken erforderlich. Denn nicht jedes Ziel, was verfolgt wird, kann auch direkt erreicht werden (vgl. Funke, 2003, S. 18). Die einfachste Strategie zur Vermeidung von Problemen ist, Handlungsziele aufzugeben (vgl. Funke, 2003, S. 19).

Die Fähigkeit sich Problemen zu stellen und Handlungsziele eben nicht niederzulegen, sondern nach Wegen zu deren Lösung zu suchen, ist für die Lebensbewältigung im Alltag und im Beruf wenigstens auf basaler Ebene nötig (vgl. Duismann, Meschenmoser, 2009, S. 75). Vor dem Hintergrund einer zunehmend technisierten Welt und immer schnelleren Technologieentwicklungen kommt dem Lösen technischer Probleme eine besondere Bedeutung zu. Technische Probleme finden sich im Alltag in vielfältiger Weise. Während technische Geräte und Maschinen uns bei der Verrichtung alltäglicher Arbeiten helfen sollen, kann die Nutzung dieser Geräte zu Problemen führen, etwa wenn technische Geräte neu sind oder wir noch keine Erfahrungen im Umgang mit ihnen sammeln konnten. Aber auch im Umgang mit vertrauter Technik kommt es oft zu Problemen, etwa wenn Technik nicht erwartungsgemäß funktioniert oder sogar defekt ist. Die Störungsdiagnose und -beseitigung kann auch Menschen, deren Kompetenz in der Anwendung technischer Geräte als hoch einzuschätzen ist, Schwierigkeiten bereiten. Ein weiterer Bereich technischer Problemlösekompetenz lässt sich im Rahmen der Technikbewertung bzw. der sachkundigen Entscheidung in technischen Fragen ausmachen. Der Kauf eines neuen Autos oder die Entscheidung, welche Energieform beim Bau eines neuen Hauses gewählt wird, ist je nach Anzahl zu berücksichtigender Kriterien mehr oder weniger problematisch.

Technische Problemlösekompetenz im hier beschriebenen Sinne ist keine fachspezifische Problemlösekompetenz, wie sie etwa ein Fahrzeugmechatroniker besitzen muss, um in seinem Beruf handlungsfähig zu sein; vielmehr handelt es sich um eine allgemeinere Problemlösekompetenz, die sich von einer fachübergreifenden Problemlösefähigkeit dahingehend abgrenzt, als sie sich ausschließlich in technischen Kontexten zeigt. Auf die hinter dem allgemeinen und dem fachspezifischen Problemlösen liegenden Konzepte gehen wir in diesem Beitrag noch ein.

Da die Fähigkeit zum Problemlösen gerade für das technische Handeln einen großen Stellenwert besitzt (vgl. Meschenmoser, 2009, S. 14), ist es Aufgabe des Technikunterrichts, Schülerinnen und Schüler zu befähigen, technische Probleme zu erkennen und zu lösen (vgl. Höpken, Osterkamp, Reich, 2003, S. 6). Nach den Empfehlungen des VDI zu den Bildungsstandards im Fach Technik sollen Schülerinnen und Schüler mit dem Erwerb des Mittleren Schulabschlusses über die für die Bewältigung technischer Alltagsprobleme notwendigen Kompetenzen verfügen (vgl. VDI, 2007, S. 8). In der Forschung gibt es deshalb ein wachsendes Interesse daran, wie die Problemlösekompetenz von Lernenden gefördert werden kann (vgl. Okebukola, 1992, S. 154). Neben der Vermittlung problemspezifischer Strategien sind es vor allem problemunabhängige Strategien, denen eine besondere Bedeutung zugesprochen wird (vgl. Rollet, 2008, S. 49). Repräsentationen können insbesondere bei der Lösung komplexer, vernetzter, technischer Probleme helfen, indem sie das Problem strukturieren, vereinfachen und wichtige Zusammenhänge sichtbar machen (vgl. Funke, 2003, S. 129). Für das Erstellen solcher repräsentativen Modelle hat sich das Concept Mapping bewährt, eine Methode, bei der die Problemlösenden so genannte Begriffsnetze (Concept Maps) erstellen. Die Begriffe, die als Knoten dargestellt werden, sind durch Relationen miteinander verknüpft. Als Relationen dienen gerichtete Pfeile, die mit dem entsprechenden Zusammenhang zwischen den verbundenen Begriffen bezeichnet werden (vgl. Hardy, Stadelhofer, 2006, S. 177).

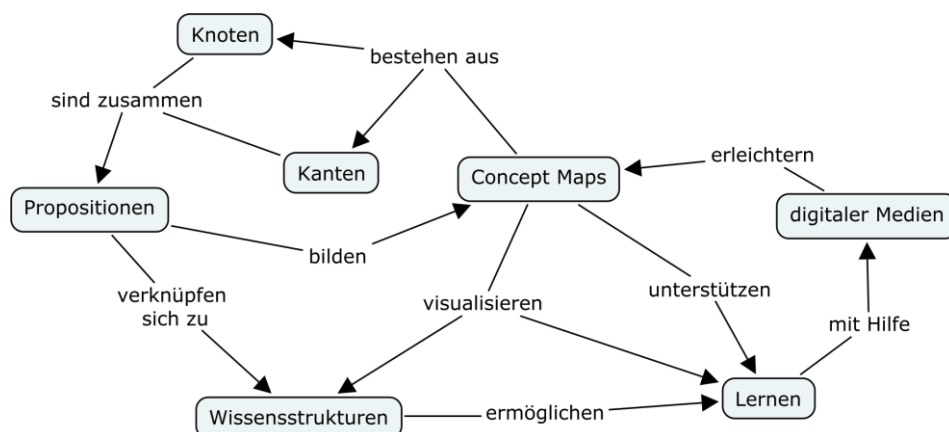


Abb. 1: Concept Map über Concept Maps

Inwieweit das Erstellen von Concept Maps während der Bewältigung technischer Probleme tatsächlich dazu führt, dass Probleme schneller und effektiver gelöst werden, ist eine Frage, mit der sich die Autoren dieses Beitrags in einem Forschungsvorhaben beschäftigen. Basierend auf einer theoretischen Konzeption allgemeiner technischer Problemlösekompetenz

wird ein Test entwickelt, der die Leistung beim Lösen alltäglicher technischer Probleme erfasst, sowie den Prozess währenddessen. Vorausgesetzt, das Concept Mapping weist einen positiven Effekt auf die Problemlöseleistung auf, ist außerdem zu analysieren, ob dieser Effekt für alle Typen von technischen Problemen gleich groß ist. Vermutet wird, dass sich das Concept Mapping unabhängig von dem jeweiligen Problemtyp vor allem dann positiv auf die Leistung auswirkt, wenn es sich um stark vernetzte, dynamische und intransparente Probleme handelt. Die Ergebnisse einer solchen Untersuchung können in den Technikunterricht implementiert werden, wenn es darum geht, technische Problemlösekompetenz mit entsprechenden Problemlösestrategien und Methoden zu fördern.

Die Entwicklung eines geeigneten Tests zur Messung technischer Problemlösekompetenz ist nur bei einer hinreichend präzisen Definition dieser Kompetenz möglich. Die beiden nächsten Kapitel setzen sich deshalb mit den Eigenschaften technischer Probleme auseinander und klären die Frage, in welche Teildimensionen sich eine allgemeine technische Problemlösekompetenz differenzieren lässt.

## **2 Klassifikation technischer Probleme**

Zur Diagnostik technischer Kompetenzen, zu denen wir auch die technische Problemlösekompetenz zählen, liegen bislang kaum theoretische Modelle noch entsprechende empirische Befunde vor (vgl. Meschenmoser, 2009, S. 14). In anderen Bereichen wird die Fähigkeit Probleme zu lösen längst ausführlicher untersucht (vgl. Funke, 2003; Nickolaus et al., 2009; Koppelt, Tiemann, 2008). Studien, die sich der Erfassung von Problemlösefähigkeiten widmen, können unterteilt werden in Arbeiten, die fachspezifisches Problemlösen untersuchen und jene die fachübergreifendes Problemlösen betrachten. Bei einer fachübergreifenden Kompetenz, für die synonym der Begriff allgemeines Problemlösen verwendet wird, kann das Wissen, das zur Lösung einer Testaufgabe benötigt wird, nicht einem bestimmten Fachbereich zugeordnet werden (vgl. Leutner, Funke et al., 2005, S. 11). Häufig werden Probleme zur Bestimmung allgemeiner Problemlösekompetenz so konstruiert, dass sie von der Testperson kein Vorwissen in Bezug auf eine konkrete Domäne erfordern. Solche Problemstellungen kommen aus dem Kontext von Privat-Persönlichem, Arbeit und Freizeit sowie Gesellschaft (vgl. Leutner, Klieme, Meyer, Wirth, 2004). Fachspezifische Problemstellungen hingegen erfordern vom Problemlöser sehr wohl Vorwissen in dem entsprechenden Fachgebiet, das dann zur Lösung des Problems angewendet werden muss. Hier werden zumeist Problemstellungen aus beruflichen Kontexten dargeboten, wie die Diagnose von Störungen in einem Kraftfahrzeug (vgl. z. B. Nickolaus, Gschwendtner, Abele, 2009).

Eine allgemeine technische Problemlösekompetenz lässt sich nicht eindeutig einer fachübergreifenden oder einer fachspezifischen Problemlösekompetenz zuordnen. Für die Lösung allgemeiner technischer Probleme ist Vorwissen im Umgang mit Technik zwar hilfreich, jedoch nicht erforderlich. Ein technisches Gerät, wie etwa eine Heizungssteuerung, lässt sich auch bedienen, ohne auf bereits gesammelte Erfahrungen diesbezüglich zurückzugreifen. Der Kontext, in dem uns solche Problemstellungen begegnen, ist immer technisch und im Alltag in den folgenden Bereichen anzutreffen: Haustechnik, Informations-

und Kommunikationstechnik, Selbstbedienungsautomaten, Multimedia und Hausgerätetechnik.

Unabhängig von der Spezifizierung des Kontextes, in dem Problemlösefähigkeit untersucht wird, unterscheidet die Literatur bislang häufig zwischen statischen und dynamischen Problemen. Bezogen auf die Tätigkeit des Problemlösens wird kongruierend zwischen dem Analytischen und dem Dynamischen Problemlösen unterschieden (vgl. Leutner, Klieme et al., 2004; Leutner, Funke et al., 2005; Koppelt, Tiemann, 2009; Greiff, Funke, 2010; Leutner, Fleischer et al., 2012). Analytisches Problemlösen ist durch eine transparente Ausgangslage gekennzeichnet, die sich, ebenso wie die Problemstellung selbst, während des Problemlöseprozesses nicht verändert (vgl. Leutner, Funke et al., 2005, S. 17), also statisch ist. Eine transparente Ausgangslage zeichnet sich dadurch aus, dass alle relevanten Informationen gegeben bzw. durch schlussfolgerndes Denken abgeleitet werden können (vgl. ebd.). Anders als beim analytischen Problemlösen muss die problemlösende Person beim dynamischen Problemlösen aktiv in die Problemsituation eingreifen, um fehlende relevante Informationen zu erhalten (vgl. Leutner, Klieme et al., 2004, S. 162 f.). Da sich die Problemsituation während des Eingreifens ändert, können Informationen nur im zeitlichen Verlauf generiert werden.

Dynamisch werden von einigen Autoren bereits solche Problemstellungen bezeichnet, in die der Problemlöser aktiv eingreifen muss, um die zur Lösung des Problems benötigten Informationen zu beschaffen, während andere Autoren von einem dynamischen Problem erst dann sprechen, wenn sich die Problemsituation auch ohne eingreifendes Verhalten seitens der problemlösenden Person ändern kann. In PISA (2012) wird deshalb eine Unterscheidung zwischen statischen und interaktiven Problemsituationen vorgenommen (vgl. OECD, 2010; OECD, 2013, S. 125). Statische Problemlösesituationen erfordern demnach kein aktives Eingreifen zur Problemlösung im Gegensatz zu interaktiven Problemsituationen.

Für die theoretische Konstruktion allgemeiner technischer Problemlösekompetenz wird die von PISA (2012) vorgenommene Unterscheidung zwischen statischen und interaktiven Problemsituationen übernommen. Für das eigene Forschungsvorhaben werden jedoch nur solche technischen Probleme betrachtet, die interaktiv zu lösen sind, denn technische Problemsituationen sind oft Situationen, in denen der Problemlöser aktiv eingreifen muss, um das gegebene Problem zu lösen. Die Steuerung eines unbekanntes technischen Gerätes kann nur erfolgen, wenn mit Funktionen versehene Bedienelemente betätigt werden. Störungen in technischen Systemen lassen sich ebenfalls nur ausmachen und beheben, wenn in das fehlerhafte System systematisch eingewirkt wird. Dynamik bezeichnet dabei die Eigendynamik, die eine interaktive Problemsituation zusätzlich (ohne Einwirkung von außen) entwickeln kann und die ebenso wie weitere Merkmale eines technischen Systems schwierigkeitsbestimmend ist.

Ob sich eine allgemeine technische Problemlösekompetenz in unterschiedlichen technischen Situationen in ihrer Ausprägung unterscheidet, steht im Fokus einer Dimensionalitätsprüfung. Kompetenzdimensionen sind Teildimensionen einer Kompetenz, die differenziert erfasst werden können (Hartig, Klieme, 2006, S. 132). In der geplanten Studie soll ferner untersucht

werden, in welchen Teildimensionen die Problemlöseleistung mithilfe des Concept Mappings erhöht werden kann.

### **3 Dimensionierung allgemeiner technischer Problemlösekompetenz**

In den verschiedenen Studien, in denen die Fähigkeit zum Problemlösen untersucht wird, erfolgt die Präzisierung dieser höchst unterschiedlich. Während die Forschergruppe um Nikolaus davon ausgeht, dass es sich bei der Fehleranalysefähigkeit als fachspezifische Problemlösekompetenz in der beruflichen Bildung um ein eindimensionales Konstrukt handelt, das als Subdimension der Fachkompetenz anzusehen sei (vgl. Nikolaus et al., 2011, S. 78), ziehen Koppelt und Tiemann (2008) die Phasen eines Problemlöseprozesses zur Dimensionierung dynamischer Problemlösekompetenz in den Naturwissenschaften heran (vgl. Koppelt, Tiemann, 2008). Greiff, der allgemeine - sprich fachübergreifende - Problemlösekompetenz erfasst, nutzt zu ihrer Dimensionierung die unterschiedlichen kognitiven Anforderungen, die in den unterschiedlichen Phasen des Problemlöseprozesses an den Problemlöser gestellt werden. In Anlehnung an Dörners Konzept der operativen Intelligenz (1986) konkretisiert er für die Lösung dynamischer Probleme folgende Anforderungen: Informationssuche & -generierung, Modellbildung, Prognose, Informationsreduktion und Bewertung (vgl. Greiff, 2012, S. 82).

Nachteil der oben genannten Dimensionierungen ist zum einen, dass hier aus messtechnischen Gründen ein sequenzieller Ablauf der einzelnen Phasen angenommen wird und Testaufgaben so gestellt werden, dass ein Springen zwischen den einzelnen Phasen nicht möglich ist. Aber gerade bei dynamischen Problemen, deren Problemsituationen sich abrupt und unvorhergesehen ändern, muss oft ein Schritt zurück getan werden, um eingetroffene Änderungen bei der Problemlösung zu beachten. Unberücksichtigt bleibt zum anderen, dass zur Lösung von Problemen unterschiedlicher Problemtypen nicht alle Phasen eines Problemlöseprozesses im gleichen Maße durchlaufen und somit nicht immer alle Anforderungen an die problemlösende Person gestellt werden. Steht eine Person beispielsweise vor dem Problem ein neues technisches Gerät zu nutzen, muss sie Informationen über die Funktionsweise des Gerätes generieren, diese Informationen zu einem mentalen Modell verknüpfen und zur gezielten Steuerung das genaue Verhalten des Gerätes prognostizieren können. Informationsreduktions- und Bewertungsprozesse finden hier weniger statt. Anders beim Treffen technischer Entscheidungen. Für den Kauf einer Schlagbohrmaschine sind entscheidungsrelevante Informationen zu generieren und je nach Anzahl vorhandener Optionen und Kriterien findet eine Informationsreduktion und Bewertung statt. Technische Probleme vom Typ Entscheidungen treffen erfordern kaum Modellbildungs- und Prognoseprozesse, obwohl auch sie dynamisch sein können. Optionen, die zu einem früheren Zeitpunkt noch zur Auswahl standen und in den Entscheidungsprozess einbezogen wurden, können plötzlich nicht mehr verfügbar sein, weil der Hersteller das Produkt vom Markt genommen hat oder es schlichtweg ausverkauft ist. In einem solchen Fall hat sich die Problemsituation geändert und es muss eine erneute Bewertung vorgenommen werden.

Unter Berücksichtigung vorhandener Divergenzen im Prozess zur Lösung verschiedener technischer Probleme erscheinen uns allein die Problemlösephasen, inklusive der in ihnen angenommenen kognitiven Anforderungen, für eine Strukturierung der technischen Problemlösekompetenz wenig geeignet. Die Ergebnisse der PISA-Studie 2003 zeigen außerdem, dass auch eine Dimensionierung nach den zu lösenden Problemtypen sinnvoll sein kann. Die Studie unterschied zwischen analytischem und dynamischem Problemlösen und erfasste analytisches Problemlösen anhand drei unterschiedlicher Problemtypen: Entscheidungen treffen, Systeme analysieren und entwerfen sowie Fehler suchen (vgl. Leutner, Klieme et al., 2004). Leutner et al. (2012) konnten zeigen, dass sich zum einen analytisches Problemlösen empirisch gut von dynamischem Problemlösen abgrenzen lässt und zum anderen, dass sich ein dreidimensionales Modell analytischer Problemlösekompetenz mit den angenommenen Problemtypen als Dimensionen besser zur Erklärung der Testergebnisse eignet, als ein eindimensionales Modell (vgl. Leutner, Fleischer et al., 2012). Die für das eigene Forschungsvorhaben interessierende Dimensionalitätsprüfung dynamischer Problemlösekompetenz wurde in PISA 2003 nicht vorgenommen. Ergebnisse der PISA-Studie 2012 zum interaktiven Problemlösen lagen den Autoren bei Beitragseinreichung noch nicht vor.

In einer anderen Studie der OECD, dem Programme for the International Assessment of Adult Competencies (PIAAC) zur Kompetenzmessung Erwachsener, wird Problemlösekompetenz ebenfalls erfasst (vgl. Solga, 2013, S. 9). Die in Deutschland erstmals in 2012 durchgeführte Studie setzt den Fokus dabei auf technologiebasiertes Problemlösen, also der Bewältigung von Problemen, „die typischerweise durch die Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien gelöst werden oder sich in diesem Zusammenhang erst ergeben können [...]“ (Zabal, Martin et al., 2013, S. 60). Auch hier dienen die während des Problemlösens erforderlichen, kognitiven Prozesse nicht als alleiniges Strukturierungsmerkmal der Problemlösekompetenz. Zum einen werden zu lösende Probleme nach ihrem Kontext in private, berufliche und gesellschaftliche Probleme und zum anderen nach ihren Inhalten differenziert. Eine inhaltliche Unterscheidung erfolgt dabei nach der verwendeten Technologie (z. B. Softwareanwendungen wie Webbrowser, E-Mail- oder Tabellenkalkulationsprogramme) sowie der Aufgabenstellung (Komplexität und Transparenz eines Problems) (vgl. ebd. S. 62).

Das eingangs erwähnte Szenario, nach der eine Person, deren Kompetenz in der Nutzung von technischen Geräten als hoch einzuschätzen ist, nicht auch kompetent bei der Erkennung und Beseitigung von Fehlern in technischen Geräten sein muss, lässt vermuten, dass sich auch die zu untersuchende allgemeine technische Problemlösekompetenz anhand unterschiedlicher Typen von Problemen dimensionieren lässt. Für fachspezifische Probleme nehmen Abele et al. (2012) eine Typisierung in Konstruktive und Analytische Probleme vor, wobei letztere noch einmal in Probleme vom Typ Funktionsprüfung und solche vom Typ Fehlerdiagnose aufgeschlüsselt werden (vgl. Abele et al. 2012, S. 366). Da sich typische allgemeine technische Probleme, wie das Treffen von Entscheidungen in technischen Kontexten jedoch keinem der beiden Problemtypen zuordnen lassen, eignet sich eine solche Klassifizierung für ein theoretisches Konstrukt allgemeiner technischer Problemlösekompetenz nicht. Eine



ausführlichere, jedoch nicht technikspezifische Kategorisierung findet sich bei Jonassen (2000).

Mit dem Ziel verschiedene Typen von Problemen zu bestimmen, hat er hunderte von Problemen gesammelt und diese einer kognitiven Aufgabenanalyse unterzogen, um gemeinsame Merkmale zu identifizieren. Die Sortierung der Probleme anhand charakteristischer Merkmale führte zu einer Sammlung von elf verschiedenen Problemtypen: *Logical Problems*, *Algorithmic Problems*, *Story Problems*, *Rule-Using Problems*, *Decision making Problems*, *Trouble-shooting Problems*, *Diagnosis-Solution Problems*, *Strategic Performance Problems*, *Case Analysis Problems*, *Design Problems*, *Dilemmas* (vgl. Jonassen, 2000, S. 72).

Einige dieser Kategorien, wie *Logical Problems* (Logikaufgaben), *Algorithmic Problems* (Rechenaufgaben) oder *Story Problems* (Textaufgaben), beinhalten lediglich so genannte Denksportaufgaben. Problemsituationen, die diesen Typen zugeordnet werden können, sind in der Regel statischer Natur, während die hier betrachteten technischen Probleme oftmals interaktiv zu lösen sind. *Rule-Using Problems*, wie beispielsweise die Suche nach Informationen, Kartenspiele oder Schach schließen zwar interaktive Probleme ein, sind aber keine eigenständige Kategorie, denen technische Probleme zuzuordnen sind. *Strategic Performance Problems* oder *Dilemmas* sind Problemtypen, die eher in gesellschaftlichen, moralischen oder ethischen Kontexten zu finden sind. Einzig die Typen *Decision making Problems*, *Trouble-Shooting Problems*, *Diagnosis-Solution Problems*, *Case-Analysis Problems* und *Design Problems* eignen sich für die Einordnung alltäglicher technischer Probleme und sind daher zur Dimensionierung allgemeiner technischer Problemlösekompetenz in dem eigenen Forschungsvorhaben relevant.

Zur Lösung von *Decision-Making Problems* muss der Problemlöser anhand vorgegebener oder selbst gewählter Kriterien eine von mehreren verfügbaren Optionen wählen. *Troubleshooting Problems* beinhalten alle Probleme, bei denen eine Störung behoben werden muss, indem Hypothesen über den Störungszustand entwickelt werden. *Diagnosis-Solution Problems* umfassen alle Probleme, bei denen ein System analysiert werden muss, um mit ihm umgehen zu können. *Case-Analysis Problems* ähneln dem Problemtyp *Decision-Making Problems*, denn auch hier müssen Entscheidungen getroffen werden, jedoch sind hier auch wenig bekannte Optionen und zukünftige Konsequenzen zu berücksichtigen. Dem Problemtyp *Design Problems* können alle Probleme zugeordnet werden, für deren Lösung der Problemlöser Neues gestalten bzw. konstruieren muss. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Originalbezeichnungen aus der Literatur, exemplarische Beispiele aus dem technischen Kontext sowie die von den Autoren für die Problemtypen verwendeten Bezeichnungen.

<b>Originalbezeichnung</b>	<b><i>Bezeichnung im Konstrukt allgemeiner technischer Problemlösekompetenz</i></b>	<b>Exemplarisches Beispiel</b>
Decision Making (Entscheidungen treffen)	<i>Entscheidungen treffen</i>	Wahl beim Kauf eines Monitors
Trouble-Shooting (Störungsbeseitigung)	<i>Störungsbeseitigung</i>	Warum druckt der Drucker nicht?
Diagnosis Solution (Diagnose/Systemanalyse)	<i>Technik nutzen</i>	Wie kann die Sommerzeit in einer Heizungssteuerung eingestellt werden?
Case-Analysis (Fallanalyse)	<i>Technik bewerten</i>	Wahl einer Energieform für ein Einfamilienhaus, die sowohl ökonomische als auch ökologische Aspekte berücksichtigt.
Design (Gestaltung/Konstruktion)	<i>Technik konstruieren</i>	Konstruktion einer Wandhalterung für Fahrräder

Tab. 1: Problemtypen zur Dimensionierung allgemeiner technischer Problemlösekompetenz

Da sich die Typen *Entscheidungen treffen* und *Technik bewerten* sehr ähnlich sind, werden sie zu einem Problemtyp *Entscheidungen treffen* zusammengefasst, so dass die folgenden Problemtypen zur Dimensionierung allgemeiner technischer Problemlösekompetenz herangezogen werden:

- Technik nutzen
- Störungen beseitigen
- Entscheidungen treffen
- Technik konstruieren

Die Nutzung von Technik wird in diesem Forschungsvorhaben auf das alltägliche Umfeld bezogen und schließt sowohl technische Haushaltsgeräte (wie Backofen, Waschmaschine etc.), als auch technische Geräte der Unterhaltungs- und Kommunikationselektronik (DVD-Rekorder, Mobiltelefone etc.) sowie Softwareanwendungen (Webbrowser, Online-Banking etc.) ein. Auch Probleme, die durch Störungen in technischen Geräten entstehen, beziehen sich auf die oben genannte Alltagstechnik. Damit Probleme dieser Art ausschließlich mit allgemeiner technischer Problemlösekompetenz zu lösen sind, sind einzig solche Störungen zu beseitigen, die sich mithilfe von Bedienungsanleitungen, FAQ-Seiten der Gerätehersteller oder durch Analyse des fehlerhaften Gerätes finden lassen. Fehler, für deren Beseitigung spezielle Elektrotechnik-, Informationstechnik- oder andere fachspezifischen Kenntnisse gefordert sind, werden hier nicht berücksichtigt. Probleme des Typs *Entscheidungen treffen* schließen solche ein, nach denen die problemlösende Person sich zwischen verschiedenen

technischen Geräten entscheiden muss (zum Beispiel beim Kauf einer Schlagbohrmaschine) aber auch solche, bei denen Technik nach ökonomischen, ökologischen oder sozialen Kriterien bewertet werden soll. Konstruktionsprobleme treten im Alltag dort auf, wo technische Produkte entwickelt, konstruiert und gestaltet werden müssen, um einen Zielzustand zu erreichen. Im Alltag können das Spezialanwendungen sein, die nicht oder nur zu einem unverhältnismäßig hohen Preis zu erwerben sind.

#### **4 Aufgabenmerkmale**

Um überprüfen zu können, ob Concept Mapping als Problemlöseinstrument tatsächlich besonders bei schwierigen Problemen helfen kann, soll der zu entwickelnde Test ein möglichst breites Schwierigkeitsspektrum abdecken. Bisher vorliegende Kompetenztests haben die Itemschwierigkeiten oftmals erst nach der Erhebung definiert und die Anforderungen an den Probanden anhand dieser Items inhaltlich beschrieben. Nachteil der beschriebenen Post-hoc-Methode ist die Notwendigkeit der Entwicklung einer großen Menge an Aufgaben sowie deren empirische Erprobung um dann diejenigen Items zu behalten, die dem jeweils verwendeten Testmodell am besten entsprechen (vgl. Klieme, Leutner, 2006, S. 884). Im Unterschied dazu wurde von Hartig (2007) im Rahmen der DESI-Studie ein Verfahren der a priori-Definition schwierighkeitsrelevanter Aufgabenmerkmale entwickelt. Die Beschreibung der Testaufgaben hinsichtlich möglicher anforderungsrelevanter Aufgabenmerkmale erfolgte vorab, so dass sich daraus auch die Schwierighkeitsunterschiede in den Aufgaben erklären lassen (vgl. Hartig, 2007, S. 88).

Schwighkeitsrelevante Faktoren wie das Selbstvertrauen eines Probanden, ein Problem lösen zu können, die Motivation oder das Vorwissen können bei der Itemerstellung kaum berücksichtigt werden, da diese in den meisten Fällen vorab nicht bekannt sind (vgl. Schumann, Eberle, 2011, S. 78). Neben diesen persönlichen Aspekten gibt es zudem inhaltliche Aspekte, die ebenfalls als schwighkeitsbestimmend angenommen werden können. Hier stehen die zur Lösung benötigten kognitiven Prozesse im Vordergrund (vgl. Schumann, Eberle, 2011, S. 78). Vor allem in fachspezifischen Kompetenz- und Leistungstests werden die Dimensionen kognitiver Prozesse aus der Taxonomie von Lernzielen nach Bloom et al. (1956) für die Analyse von Aufgaben bezüglich ihrer Schwighkeit angewendet (vgl. ebd., S. 80). Für die Erfassung allgemeiner Problemlösekompetenzen gibt es bislang noch wenig Forschung. Die Schwighkeit besteht vor allem darin, dass jede Phase eines Problemlöseprozesses andere kognitive Anforderungen an die problemlösende Person stellt. Wenn im Idealfall alle Phasen im Problemlöseprozess durchlaufen wurden, sind in der Regel auch höhere Anforderungen bewältigt worden. Ein Item, das lediglich das Rezitieren von Informationen erfordert, kann nach der oben genannten Definition von Duncker nicht als Problem gesehen werden. Das allgemeine technische Problemlösen erfordert mindestens Anwendungsprozesse.

Geeigneter erscheinen die von Dörner (1976) benannten Merkmale zur Beschreibung und Unterscheidung verschiedener Problemsituationen: Komplexität, Dynamik, Vernetztheit und Grad des Vorhandenseins freier Komponenten (vgl. Dörner, 1976, S. 18). Diese Attribute werden in etwas abgeänderter Form auch heute noch zur Beschreibung von Problemen

verwendet (vgl. z. B. Betsch, Funke, Plessner, 2011, S. 155), da sie gezielt konstant gehalten oder verändert werden können.

Funke (1985) teilt problemlösungsbeeinflussende Merkmale im Umgang mit dynamischen Systemen in Situationsmerkmale und Aufgabenmerkmale ein (vgl. Funke, 1985, S. 126). Zu den Situationsmerkmalen zählt er Merkmale, die unabhängig von dem eigentlichen Problem betrachtet werden können (vgl. Funke, 2001, S. 91), wie die Transparenz eines gegebenen Systems oder die Problemstellung. Transparenz im Falle technischer Geräte kann beispielsweise durch die Vorgabe von Bedienungsanleitungen oder Expertenwissen realisiert werden. Die Aufgabenstellung kann durch Festlegung einer maximalen Bearbeitungszeit, Vorgabe von mehreren gegenläufigen Zielen (Polytelie) oder anderen Instruktionen variiert werden (vgl. Funke, 1990, S. 146). Die Komplexität, Dynamik und Vernetztheit eines technischen Systems können den eigentlichen Aufgabenmerkmalen zugeordnet werden, da sie das gegebene System charakterisieren. Komplexität bezeichnet die Anzahl beteiligter Variablen innerhalb eines Problems (Anzahl an Optionen bei technischen Entscheidungen, Anzahl an Funktionen bei der Nutzung technischer Geräte etc.). Vernetztheit beschreibt dabei das Vorhandensein von Beziehungen zwischen den beteiligten Variablen und Dynamik die möglichen Veränderungen einer gegebenen Situation über die Zeit (vgl. Bensch, Funke, Plessner, 2011, S. 155).

In der Regel ist ein gegebenes Problem nicht nur durch ein einziges Merkmal charakterisiert, sondern enthält eine Kombination dieser. Ein System kann beispielsweise nicht vernetzt sein, wenn es nur eine Variable enthält (geringe Komplexität). Polytelie kann ebenfalls nicht isoliert vorkommen, denn Polytelie kann nur vorhanden sein, wenn zwei Variablen (gegensätzlich) verbunden sind. Beispiel: Kauf eines Autos mit größtmöglicher Leistung bei gleichzeitig geringstem Kraftstoffverbrauch. Hier gibt es nur eine Polytelie, weil die Variablen Leistung und Verbrauch in einer Beziehung zueinander stehen (je höher die Leistung, desto höher der Verbrauch). Dennoch wird in dem vorgestellten Forschungsvorhaben versucht, die als schwierigkeitsbestimmend angenommenen Aufgaben- und Situationsmerkmale (Komplexität, Vernetztheit, Dynamik, Intransparenz, Polytelie) gezielt zu variieren, um ein Schwierigkeitsspektrum möglichst umfassend abzudecken. Da im Vorfeld nicht klar ist, welches dieser Merkmale den größten Einfluss auf die Schwierigkeit eines Items hat, das heißt die Gewichtungen der Merkmale auf die Schwierigkeit nicht bekannt sind, soll genau das in einer Vorstudie untersucht werden. Für den Problemtyp *Technik nutzen* steht die Durchführung dieser Vorstudie kurz bevor; mit Ergebnissen ist im Sommer 2014 zu rechnen.

## 5 Computerbasiertes Testen

Zur Ermittlung allgemeiner technischer Problemlösekompetenz sind Paper-pencil Tests nicht geeignet, da die zu lösenden Probleme oft vernetzt sind, eine Eigendynamik besitzen und somit nur durch die Interaktion mit ihnen zu lösen sind. An realen technischen Geräten ließe sich die Fähigkeit im Umgang mit dynamischen Problemen besser beobachten, jedoch lassen sich reale Gegenstände nicht standardisieren, ihr Einsatz wäre zudem sehr unpraktikabel und vor allem teuer (je nach technischem Gerät) (vgl. Nickolaus, Gschwendtner, Abele, 2009,

S. 4). Computerbasierte Tests bieten hier ganz neue Möglichkeiten. Während viele der existierenden computerbasierten Tests, eine große Ähnlichkeit zu papierbasierten Tests haben (vgl. Jurecke, Hartig, 2007, S. 38), können Simulationen reale Kontexte mehr oder weniger umfangreich abbilden und die Möglichkeit der Interaktion mit diesen Abbildungen bieten (vgl. Gschwendtner, Abele et al., 2009, S. 558).

Während in den Anfängen komplexer Problemlöseforschung vor allem sehr aufwendige realitätsnahe Szenarien zum Einsatz kamen, um den Umgang mit dynamischen Problemen zu untersuchen, rücken heute Simulationen in den Vordergrund, deren Modellierung auf prinzipiellen Formalismen (Bevorzugung der Form vor dem Inhalt) beruht (vgl. Funke, 2003, S. 145), also Modelle, bei denen zunächst die Struktur festgelegt wird und anschließend die inhaltliche Einbettung (vgl. Greiff, 2012, S. 33). Die Überlegenheit formal konstruierter Simulationen gegenüber Szenarien, bei denen vor allem die Abbildung der Realität (der Inhalt) im Vordergrund stehen, wird in der Verwirklichung beliebiger Schwierigkeitsgrade gesehen. Probleme auf Basis formaler Modelle lassen sich somit auch besser anhand schwierigkeitsbestimmender Merkmale vergleichen (vgl. Funke, 2001, S. 92). Realitätsnahe Szenarien sind zudem in der Regel so komplex, dass Probanden jeweils nur ein Szenario bearbeiten können. Aussagen über die Fähigkeiten einer Person stützen sich damit ausschließlich auf Leistungen bei der Bearbeitung dieses einen Items, was nach Aussage von Greiff und Funke (2010) „grundlegenden psychometrischen Anforderungen widerspricht“ (Greiff, Funke, 2010, S. 218). Für die Konstruktion dynamischer und vernetzter Problemstellungen mit gezielter Einstellung schwierigkeitsbestimmender Merkmale schlagen sie als formale Modell die Theorie finiter Automaten sowie den Ansatz linearer Strukturgleichungen vor. Mit ihnen lassen sich zunächst Modelle bilden, die Variablen mit ihren Zusammenhängen und Auswirkungen über die Zeit beschreiben (Funke, 2001, S. 92).

Ein finiter Automat ist ein Gerät, das bestimmte Vorgänge automatisch oder auf Anforderung ausführt, in dem sich der Zustand des Systems ändert. Ein Automat heißt finiter Automat, wenn er nur eine begrenzte (endliche) Anzahl an Zuständen annehmen kann. Die Zustandsänderung erfolgt mit einer ebenfalls endlichen Menge an Eingabesignalen (vgl. Funke, Buchner, 1992, S. 28). Viele unserer alltäglichen Gebrauchsgegenstände wie Backöfen, Telefone, Kaffeevollautomaten, Parkscheinautomaten etc. gelten als finite Automaten. Aus einem gegebenen Zustand (z. B. Standby-Zustand) gelangen sie in einen zu erreichenden Zustand beispielsweise durch das Betätigen von Bedienelementen oder falls der Automat über Eigendynamiken verfügt, auch automatisch. Vielfach wird bei Erreichen eines Zielzustandes ein Ausgabesignal produziert (z. B. Ausgabe eines Parkscheins, Anzeige in einem Monitor). Für die Konstruktion eines finiten Automaten als Testmaterial eignen sich gerichtete Graphen als Darstellungsform, die aus Knoten zur Visualisierung der einzelnen Zustände sowie Relationen zwischen den Knoten zur Abbildung der Zustandsübergänge (Eingangssignale) bestehen (vgl. ebd., S. 29). Die schwierigkeitsbestimmenden Merkmale Komplexität, Vernetztheit und Dynamik lassen sich mit ihnen gut veranschaulichen.

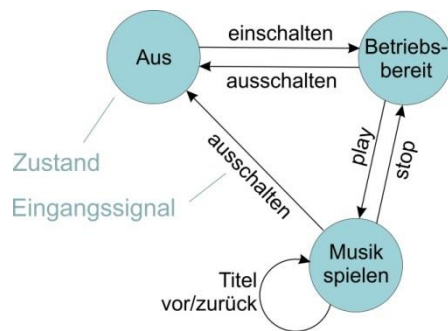


Abb. 2: gerichteter Graph zur Darstellung eines finiten Automaten (hier ein einfacher MP3-Player)

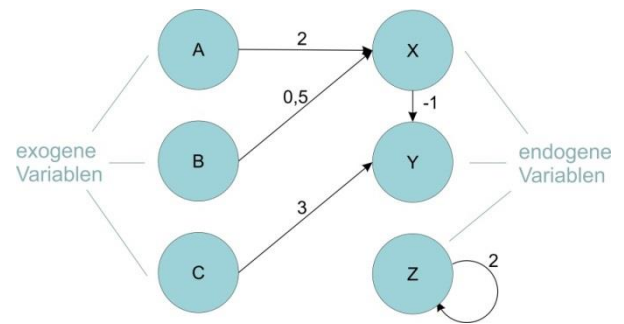


Abb. 3: Struktur eines linearen Systems (nach Funke, 2003, S. 156)

Probleme, die Regelungs- und Steuerungsprozesse (z. B. die Regulierung der Zimmertemperatur durch eine Heizung) erfordern, lassen sich besser als lineare Gleichung darstellen. Je weiter ein Heizungsthermostat geöffnet wird, desto wärmer wird ein Raum. Im Gegensatz zu finiten Automaten können lineare Gleichungssysteme theoretisch unendlich viele Zustände annehmen. Je nachdem, wie groß das Eingangssignal gewählt wird, ergeben sich unterschiedlich große Ausgangssignale. Die Schwierigkeit der Probleme, die auf linearen Strukturgleichungen basieren, ergeben sich aus der Anzahl der sich beeinflussenden Variablen, die Gewichtungen ihrer Zusammenhänge sowie eventuell vorhandene Nebeneffekte oder Eigendynamiken (vgl. Greiff, 2012, S. 33 f.). In Tests, in denen der Umgang mit solchen Systemen interessiert, müssen Probanden so genannte exogene Variablen so anpassen, dass endogene Variablen, auf die sie wirken, einen bestimmten Wert erreichen (vgl. Funke, 2001, S. 95 f.).

Neben der gezielten Konstruktion von Items unterschiedlicher Schwierigkeit bietet computerbasiertes Testen weitere Vorteile. Gerade in Studien, die das Konstrukt der Problemlösefähigkeit untersuchen, sind nicht nur die Testergebnisse von Bedeutung, sondern oftmals auch der Prozess des Problemlösens. Erfolgt die Testung mit einem Computer, kann der Input, der von dem Probanden vorgenommen wird, in sogenannten Logfiles aufgezeichnet werden. Hier interessiert beispielsweise, welche Strategien bei der Lösung des Problems verwendet wurden (Wüstenberg, Greiff et al., 2014), wie viele Schritte bis zum Erreichen der Problemlösung benötigt wurden sowie eventuelle Reaktionszeiten.

Die technische Umsetzbarkeit eines Tests, der computerbasiert Kompetenzen im Umgang mit dynamischen Szenarien erfassen soll, erfordert jedoch Fähigkeiten in der Entwicklung und Programmierung solcher Simulationen (vgl. Hartig, Kröhne, Jurecka, 2007, S. 58). Diese sind in der Regel in den Bereichen, die sich mit der Kompetenzforschung beschäftigen (Psychologie, Fachdidaktiken) nicht vorhanden, so dass diese Expertise eingekauft werden muss. Die technische Entwicklung übernehmen zumeist externe Programmierer und Softwarefirmen. Die hohen Kosten, die dafür entstehen, können nur von größeren Instituten und in finanziell geförderten Studien getragen werden, was dazu führt, dass in kleineren Untersuchungen lediglich einzelne Szenarien präsentiert werden (vgl. Koppelt, Tiemann,

2009, S. 265). Um künstlich mehrere Items zu schaffen, werden oft mehrere Fragen zu dem präsentierten System gestellt (vgl. Greiff, Funke, 2010, S. 218).

## 6 Testdesign und Entwicklung eines Erhebungsinstrumentes

Mit dem Ziel, dem Endnutzer, der über keine speziellen IT- und Programmierkenntnisse verfügt, die Entwicklung und technische Umsetzung komplexer Items zu ermöglichen, hat das Deutsche Institut für Internationale Pädagogische Forschung (DIPF) in Frankfurt zusammen mit der Softwarefirma Softcon in München den CBA ItemBuilder entwickelt (vgl. Rölke, 2012). Der CBA ItemBuilder ist ein Autorenwerkzeug, mit dem Nutzer unterschiedliche Aufgabentypen anhand einer grafischen Benutzeroberfläche erstellen. Mit dem vom DIPF zu Forschungs- und nicht kommerziellen Zwecken kostenlos zur Verfügung gestellten Tool, lassen sich klassische Aufgabenformate wie Markierungsfelder (Mehrfachauswahl), Texteingabefelder, Optionsfelder (Multiple Choice) oder Auswahllisten (Drop Down Menüs) erstellen, aber auch neuere Formate wie das Markieren von Text, Drag and Drop Eingaben oder Image Maps (klickbare Bereiche in Bildern) realisieren (vgl. Hahnel, Hacker, 2013, Rölke, 2012). Items, basierend auf den beschriebenen Modellen finiter Automaten und linearer Strukturgleichungen wurden in Kooperation mit anderen Forschern ebenfalls als Funktionen in dem CBA ItemBuilder implementiert (vgl. Greiff, Wüstenberg et al., 2013, S. 412).

Diese Funktionen werden in dem Forschungsvorhaben genutzt, um Items vom Problemtyp *Technik nutzen*, *Störungen beseitigen* und *Entscheidungen treffen* zu entwickeln. Lediglich Items, die die Eingabe von Skizzen und Zeichnungen erfordern, können mit dem CBA-ItemBuilder noch nicht umgesetzt werden. Für den Problemtyp *Technik konstruieren* sind sie (soll ein computerbasierter Test ebenfalls mit diesem Instrument umgesetzt werden) dann so zu entwickeln, dass auf diese Anforderung verzichtet wird, in dem konstruktive Ideen in Texteingabefelder verbalisiert oder verschiedene Wirkprinzipien, auf denen die eigene Konstruktion basieren soll, ausgewählt werden können.

Exemplarisch werden an dieser Stelle die formalen und inhaltlichen Aspekte von Items der bislang realisierbaren Problemtypen vorgestellt. Um die Problemlöseleistung der Probanden im Umgang mit technischen Geräten (*Technik nutzen*) zu erfassen, werden ihnen nacheinander 20 verschiedene Simulationen an einem Computer präsentiert. In der Explorationsphase haben die Probanden zunächst etwa zehn Minuten Zeit, um das simulierte technische Gerät zu erkunden. Während der Explorationsphase fertigt eine Probandengruppe Concept Maps über das explorierende technische System an. Hier können vermutete Zustände, Ein- und Ausgabesignale grafisch miteinander verknüpft werden. Nach dieser Explorationsphase wird die Simulation wieder auf den vor der Exploration vorhandenen Zustand zurückgesetzt und es erfolgt die Steuerungsphase, in der die Probanden eine bestimmte Einstellung oder eine Funktion an dem technischen Gerät vornehmen oder ausführen müssen.

Die Schwierigkeit der Probleme vom Typ *Technik nutzen* variieren anhand der Anzahl an Funktionen, Zuständen und die Anzahl an Schritten zur Lösung (Komplexität). Sie wird

weiterhin erhöht durch die Vernetzung des technischen Systems, beispielsweise durch die Mehrfachbelegung von Bedienelementen oder Rückkopplung von Bedienhandlungen. Eine Dynamik kann die Schwierigkeit beim Umgang mit dem technischen System erhöhen, indem Bedienelemente zeitabhängig sind, also beispielsweise kurz hintereinander gedrückt werden müssen, um einen Zustand auszulösen. Das System kann sich aber auch eigenständig in einen Zustand versetzen, beispielsweise, wenn nach einer vorgegebenen Zeit keine Eingabe getätigt wurde. Wenn nicht ersichtlich ist, in welchem Zustand sich das System befindet oder wenn eine Bedienhandlung zu keiner sichtbaren Reaktion führt, liegt eine intransparente Problemsituation vor.

Die Simulation eines Backofens mit digitaler Anzeige stellt ein Beispiel aus dem Kontext der Hausgerätetechnik dar. Dieses Item verfügt über eine große Anzahl an Funktionen; der Proband kann neben der standardmäßig bei Backöfen vorhandenen Funktion der Temperatur- und Heizwahl zwischen verschiedenen Einstellungsempfehlungen für Gerichte wählen. Der simulierte Backofen verfügt außerdem über eine Selbstreinigungsfunktion, bei der der Proband zwischen drei Stufen wählen kann, sowie einen Küchentimer und eine Funktion zur Einstellung der Dauer des Backvorgangs. Über eine Informationsfunktion kann sich der Proband bei der Wahl der Einstellungsempfehlungen darüber informieren, welches Geschirr in welche Höhe des Backofens geschoben werden muss. Das Item ist vernetzt, indem mehrere Tasten des Backofen in verschiedenen Zuständen andere Funktionen ausführen. Die Pfeiltasten ermöglichen beispielsweise sowohl die Auswahl der Heizart, der Temperatur als auch die Einstellung von Wecker, Backdauer sowie der Systemuhr. Eine Informationstaste gibt während der Auswahl von Einstellungsempfehlungen Informationen zu dem zu verwendenden Geschirr und der Einschubhöhe, während ihre Betätigung nach Auslösen des Backvorgangs Informationen über die aktuelle Temperatur gibt. Die Uhr bietet im eingeschalteten Zustand die Möglichkeit einen Wecker oder die Backdauer einzustellen, im ausgeschalteten Zustand jedoch die Möglichkeit die Systemuhr zu ändern. Die Aufgabenstellung, die ein Proband zu Beginn der Steuerungsaufgabe bekommt, kann in dem Beispiel der Backofensimulation sein, die Systemuhrzeit des Backofen auf 22:09 Uhr zu stellen.



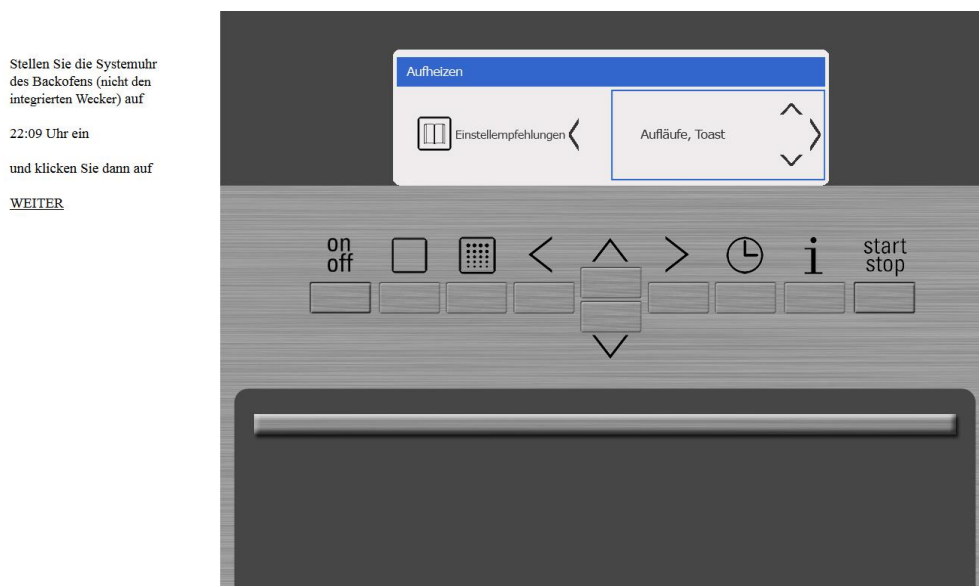


Abb. 4: Problemlösekompetenz-Item für den Problemtyp *Technik nutzen*

Eines der Items aus der Problemkategorie *Störungen beseitigen* erfordert von den Probanden zunächst herauszufinden, warum die Verbindung mobiler Geräte in einem Heimnetzwerk mit dem Internet nicht funktioniert, um die Störung dann zu beheben. Simuliert wird hierbei die Softwareoberfläche eines Internetrouters, in der verschiedene Einstellungen geprüft und geändert werden können. Schwierigkeitsbestimmend sind hier vor allem die Anzahl an Funktionen (als Anzahl der Variablen, die geändert werden können), und die Vernetzung zwischen einem Symptom und mehreren möglichen Ursachen. So kann eine fehlende Internetverbindung folgende Ursachen haben: Das jeweilige Gerät besitzt nicht die entsprechenden Rechte, um in dem Heimnetz das Internet zu nutzen, die Verbindung zum Internetanbieter ist unterbrochen, ein eingestelltes Datenvolumen wurde erreicht oder es sind eventuelle Nachtsperren aktiv. Das Systemmerkmal Dynamik ist in diesem Item nicht vorhanden, da sich die Störung im Zeitverlauf nicht ändert und auch keine neuen Störungen verursacht. Das Merkmal Intransparenz ist kaum ausgeprägt, da die Zugänglichkeit zu der Störungsursache ebenso gegeben ist, wie die zu allen Informationen des Systems.

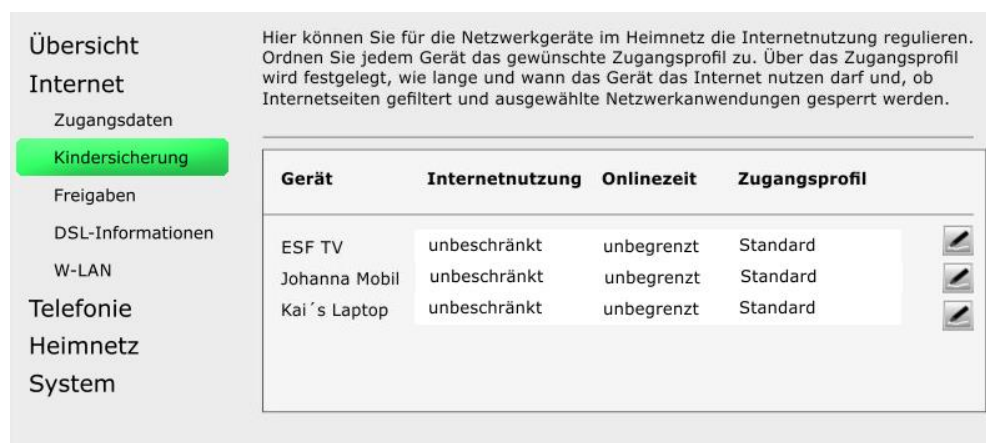


Abb. 5: Anhand der Simulation einer Internetroutersoftware soll eine Störung in der Internetverbindung herausgefunden werden

Die Schwierigkeit eines Items ließe sich wenn nötig weiter verringern, wenn als Hilfestellung ein Link zu einer Hilfeseite in die Simulation eingebaut würde, auf der unterschiedliche Probleme mit dem entsprechenden Gerät aufgeführt und Möglichkeiten einer Überprüfung aufgezeigt würden. Im Falle der fehlenden Internetverbindung könnten auf so einer Seite die genannten Ursachen aufgeführt und die entsprechenden Möglichkeiten einer Störungsbeseitigung gegeben werden, so dass der Proband diese möglichen Ursachen einzeln überprüfen kann, um die tatsächliche Ursache aufzuspüren.

Während die Problemtypen *Technik nutzen* und *Störungen beseitigen* in der Umsetzung in einem computerbasierten Test sehr ähnlich sind (in beiden wird jeweils ein Gerät simuliert), sind Items vom Typ *Entscheidungen treffen* etwas anders aufgebaut. Hier werden mehrere Optionen dargestellt, zwischen denen die Probanden eine Wahl treffen und ggf. begründen müssen. Die Komplexität eines solchen Items erhöht sich mit der Anzahl an Optionen, zwischen denen gewählt werden kann und mit der Anzahl zu berücksichtigender Kriterien, die je nach Transparenz der Problemsituation explizit oder implizit vorgegeben sind. Das Merkmal Dynamik zur Erhöhung der Aufgabenschwierigkeit kann in diesem Problemtyp implementiert werden, indem beispielsweise Optionen plötzlich nicht mehr verfügbar sind oder sich Kriterien, nach denen eine Entscheidung getroffen werden soll, ändern. Eine exemplarische Aufgabenstellung lautet, dass für den Mitarbeiter einer Firma, der beruflich viel reist, ein Notebook online gekauft werden soll. Dieses Notebook soll so ausgewählt werden, dass es für die reisende Tätigkeiten am besten geeignet ist. Die Kriterien, anhand derer der Proband sich für ein Notebook entscheiden soll, sind hier nur implizit gegeben; ein Laptop, das mobiles Arbeiten gewährleisten soll, muss beispielsweise eine besonders hohe Akkulaufzeit und ein besonders geringes Gewicht haben. Das Merkmal der Intransparenz kann außerdem noch variiert werden, indem die Optionen, zwischen denen der Proband entscheiden kann, nicht übersichtlich auf einer Seite präsentiert werden, sondern erst, wie in einer realen Situation, auf verschiedenen simulierten Webseiten von Onlinekaufhäusern herausgesucht werden müssen. Wird eine Entscheidung anhand mehrerer Kriterien gefällt, muss der Proband (wenn nicht vorgegeben) auch eine Gewichtung dieser vornehmen und seine Entscheidung begründen (in Stichworten in einem vorgesehenen Textfeld).



Abb. 6: Simulierte Website eines Onlineshops in einem Item für den Problemtyp *Entscheidungen treffen*

Um hinreichend verlässliche Daten zu erhalten und Reliabilitätsprobleme zu vermeiden, sollte der Test pro Problemtyp etwa 20 Items enthalten (vgl. Abele, Gschwendtner 2010, S. 14 f.). Für alle vier Typen technischer Probleme ergibt sich folglich eine Gesamtitemzahl von 80. Weil es sich bei den Items nicht um einfache Aufgaben, sondern um mehr oder weniger komplexe Probleme handelt, die nur durch interagierendes Verhalten seitens der Probanden zu lösen sind, wird eine Bearbeitungszeit von 20 Minuten (inklusive vorgesehener Explorationsphasen) pro Item vorgesehen. Eine Gesamttestzeit von 26 Stunden zur Erfassung aller Dimensionen allgemeiner technischer Problemlösekompetenz lässt sich in dem vorgestellten Forschungsvorhaben jedoch nicht realisieren. Aus diesen Gründen, beschränkt sich die Untersuchung auf zwei der vier genannten Problemtypen, nämlich *Technik nutzen* und *Störungen beseitigen*.

In einer Pilotierung wird überprüft, ob die als schwierigkeitsbestimmend angenommenen Aufgabenmerkmale tatsächlich die Schwierigkeit eines Items erklären können und der Test ein Schwierigkeitsspektrum möglichst umfassend abdeckt. Im Anschluss an eventuelle Anpassungen bekommt die Probandengruppe, die während der Explorationsphase Concept Maps erstellt, eine Einführung in den Umgang mit diesem Lern- und Problemlöseinstrument. Die eigentliche Erhebung der Testdaten erfolgt dann jeweils an zwei Testtagen. Hierzu wird der Test auf lokalen Computern zur Verfügung gestellt. Jedes Item beendet sich nach Ablauf der vorgegebenen Bearbeitungszeit selbstständig. Anschließend startet das nächste Item. Alle Eingabetätigkeiten der Probanden werden aufgezeichnet und in separaten Logfiles gespeichert. Probanden sind in diesem Forschungsvorhaben zunächst Studierende des Lehramtsfaches Technik im ersten und zweiten Semester. Denkbar wäre im Anschluss auch eine Ausweitung der Testung an unterschiedlichen Gruppen, wie Schülerinnen und Schüler, Auszubildende, Erwachsene, die bereits in einem Beruf tätig sind oder aber auch ältere Menschen, deren Affinität zu technischen Geräten als eher gering einzuschätzen ist.

## 7 Literaturverzeichnis

Abele, S., Greiff, S., Gschwendtner, T., Wüstenberg, S., Nickolaus, R., Nitzschke, A., Funke, J. (2012). Dynamische Problemlösekompetenz. Ein bedeutsamer Prädiktor von Problemlöseleistung in technischen Anforderungskontexten? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15(2), 363-391.

Abele, S., Gschwendtner, T. (2010). Die computerbasierte Erfassung beruflicher Handlungskompetenz. Konzepte, Möglichkeiten, Perspektiven am Beispiel der KfZ-Mechatronik. *BWP* 39(1), 14-17.

Betsch, T., Funke, J., Plessner, H. (2011). *Denken - Urteilen, Entscheiden, Problemlösen*. Berlin: Springer.

Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.

Duismann, G. H., Meschenmoser, H. (2009). *Technisches Verständnis und Problemlösen*. In R. Lehmann & E. Hoffmann, (Hrsg.), *BELLA. Berliner Erhebung arbeitsrelevanter*

Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf "Lernen" (65–87). Münster: Waxmann.

Duncker, K. (1974). Zur Psychologie des produktiven Denkens. Berlin: Springer.

Funke, J. (1985). Problemlösen in komplexen computersimulierten Realitätsbereichen. Sprache und Kognition, 4(1), 113–129.

Funke, J. (1990). Systemmerkmale als Determinanten des Umgangs mit dynamischen Systemen. Sprache und Kognition, 9(3), 143–154.

Funke, J., Buchner, A. (1992). Finite Automaten als Instrumente für die Analyse von wissensgeleiteten Problemlöseprozessen: Vorstellung eines neuen Untersuchungsparadigmas. Sprache und Kognition, 11(1), 27–37.

Funke, J. (2001). Neue Verfahren zur Erfassung intelligenten Umgangs mit komplexen und dynamischen Anforderungen. In E. Stern & J. Guthke (Hrsg.), Perspektiven der Intelligenzforschung. Ein Lehrbuch für Fortgeschrittene (89-107). Lengerich: Pabst Science Publishers.

Funke, J. (2003). Problemlösendes Denken. Stuttgart: Kohlhammer.

Greiff, S., Funke, J. (2010). Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal komplexer Systeme. Zeitschrift für Pädagogik, 56(Beiheft), 216–227.

Greiff, S. (2012). Individualdiagnostik der komplexen Problemlösefähigkeit. Münster: Waxmann.

Greiff, S., Wüstenberg, S., Holt, D. V., Goldhammer, F., Funke, J. (2013). Computer-based assessment of Complex Problem Solving: concept, implementation, and application. Educational Technology Research and Development, 61(3), 407–421.

Gschwendtner, T., Abele, S., Nickolaus, R. (2009). Computersimulierte Arbeitsproben: Eine Validierungsstudie am Beispiel der Fehlerdiagnoseleistung von Kfz-Mechanikertronicern. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, 105(4), 557–578.

Hahnel, C., Hacker, M. (2013). Methoden der technologiebasierten Itemkonstruktion: Einführung in den CBA ItemBuilder. Deutsches Institut für internationale pädagogische Forschung (DIPF). Zentrum für internationale Bildungsvergleichsstudien (ZIB). Frankfurt am Main, 30.07.2013.

Hardy, I., Stadelhofer, B. (2006). Concept Maps wirkungsvoll als Strukturierungshilfen einsetzen. Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, 20(3), 175-187.

Hartig, J. (2007). Skalierung und Definition von Kompetenzniveaus. In B. Beck & E. Klieme (Hrsg.), Sprachliche Kompetenzen. Konzepte und Messung; DESI-Studie (Deutsch-Englisch-Schülerleistungen-International) (83-99). Weinheim, Basel: Beltz.

Hartig, J., Kröhne, U., Jurecka, A. (2007). Anforderungen an computer- und netzwerkbasierendes Assessment. In J. Hartig & E. Klieme (Hrsg.), Möglichkeiten und Voraussetzungen technologiebasierter Kompetenzdiagnostik. Eine Expertise im Auftrag des

- Bundesministeriums für Bildung und Forschung (57-67). Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Hartig, J., Klieme, E. (2006). Kompetenz und Kompetenzdiagnostik. In K. Schweizer (Hrsg.), *Leistung und Leistungsdiagnostik* (127-143). Berlin: Springer.
- Höpken, G., Osterkamp, S., Reich, G. (2003). *Inhalte technischer Bildung*. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag.
- Jonassen, D. H. (2000). Toward a Design Theory of Problem Solving. *Educational Technology Research and Development*, 48(4), 63–85.
- Jurecka, A., Hartig, J. (2007). Computer- und netzwerkbasierendes Assessment. In J. Hartig & E. Klieme (Hrsg.), *Möglichkeiten und Voraussetzungen technologiebasierter Kompetenzdiagnostik. Eine Expertise im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (57-67)*. Bonn: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Klieme, E., Leutner, D. (2006). Kompetenzmodelle zur Erfassung individueller Lernergebnisse und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. Beschreibung eines neu eingerichteten Schwerpunktprogramms der DFG. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 876–903.
- Koppelt, J., Tiemann, R. (2008). Modellierung dynamischer Problemlösekompetenz im Chemieunterricht. In D. Höttecke (Hrsg.), *Kompetenzen, Kompetenzmodelle, Kompetenzentwicklung* (362-364). Münster: Lit.
- Koppelt, J., Tiemann, R. (2009). Computerbasierte Erfassung dynamischer Problemlösekompetenz. In D. Höttecke (Hrsg.), *Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung* (265-267). Berlin: Lit.
- Leutner, D., Fleischer, J., Wirth, J., Greiff, S., Funke, J. (2012). Analytische und dynamische Problemlösekompetenz im Lichte internationaler Schulleistungsvergleichsstudien. *Untersuchungen zur Dimensionalität. Psychologische Rundschau*, 63(1), 34–42.
- Leutner, D., Funke, J., Klieme, E., Wirth, J. (2005). Problemlösefähigkeit als fächerübergreifende Kompetenz. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studien* (11-19). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Leutner, D., Klieme, E., Meyer, K., Wirth, J. (2004). Problemlösen. In PISA-Konsortium Deutschland (Hrsg.), *PISA 2003. Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland - Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs* (147-175). Münster: Waxmann.
- Meschenmoser, H. (2009). Nationale und Internationale Kompetenzbereichs- und Kompetenzstufenmodelle zur technischen Allgemeinbildung. Der Beitrag der Technikdidaktik zur Erfassung individueller Lernentwicklung und zur Bilanzierung von Bildungsprozessen. In E. W. Theuerkauf, H. Meschenmoser, B. Meier & H. Zöllner (Hrsg.), *Qualität technischer Bildung. Kompetenzmodelle und Kompetenzdiagnostik* (11-37). Berlin: Machmit-Verlag.

- Nickolaus, R., Geißel, B., Abele, S., Nitzschke, A. (2011). Fachkompetenzmodellierung und Fachkompetenzentwicklung bei Elektronikern für Energie- und Gebäudetechnik im Verlauf der Ausbildung. Ausgewählte Ergebnisse einer Längsschnittstudie. In R. Nickolaus und G. Pätzold (Hrsg.), *Lehr-Lernforschung in der gewerblich-technischen Berufsbildung*. Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (77–94). (Beiheft 25). Stuttgart: Steiner.
- Nickolaus, R., Gschwendtner, T., Abele, S. (2009). Die Validität von Simulationsaufgaben am Beispiel der Diagnosekompetenz von Kfz-Mechatronikern. Vorstudie zur Validität von Simulationsaufgaben im Rahmen eines VET-LSA. Abschlussbericht für das Bundesministerium für Bildung und Forschung zum Projekt. Universität Stuttgart, Institut für Erziehungswissenschaften und Psychologie. Online verfügbar unter [http://www.bmbf.de/pubRD/Abschluss-Bericht\\_Druckfassung.pdf](http://www.bmbf.de/pubRD/Abschluss-Bericht_Druckfassung.pdf), Stand vom 23.11.2012.
- OECD (2010). PISA 2012 Field Trial Problem Solving Framework. Draft Subject to possible revision after the field trial. Online verfügbar unter <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/46962005.pdf>, Stand vom 27.01.2014.
- OECD (2013). PISA 2012 Assessment and Analytical Framework: Mathematics, Reading, Science, Problem Solving and Financial Literacy: OECD Publishing.
- OECD PISA Deutschland (o. J.). Erfassung fächerübergreifender Problemlösekompetenzen in PISA. Unter Mitarbeit von J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider et al. Online verfügbar unter [www.mpib-berlin.mpg.de/Pisa/Problemloesen-2.pdf](http://www.mpib-berlin.mpg.de/Pisa/Problemloesen-2.pdf), Stand vom 27.08.2012.
- Okebukola, P. A. (1992). Can Good Concept Mappers be Good Problem Solvers in Science? *Research in Science & Technological Education*, 10(2), 153-170.
- Rölke, H. (2012). The ItemBuilder: A Graphical Authoring System for Complex Item Development. In *Proceedings of World Conference on E-Learning in Corporate, Gouvernmet, Healthcare, and Higher Education*. Chesapeake, 344–353.
- Rollett, W. (2008). *Strategieinsatz, erzeugte Information und Informationsnutzung bei der Exploration und Steuerung komplexer dynamischer Systeme*. Berlin: Lit.
- Ropohl, G. (1990). Technisches Problemlösen und soziales Umfeld. In F. Rapp (Hrsg.), *Technik und Philosophie*, Bd. 1. 10 Bände (109-167). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Schumann, S., Eberle, F. (2011). Bedeutung und Verwendung schwierigkeitsbestimmender Aufgabenmerkmale für die Erfassung ökonomischer und beruflicher Kompetenzen. In U. Faßhauer, B. Fürstenau & E. Wuttke (Hrsg.), *Grundlagenforschung zum Dualen System und Kompetenzentwicklung in der Lehrerbildung* (77-89). Leverkusen: Budrich.
- Solga, H. (2013). Vorwort. In B. Rammstedt (Hrsg.), *Grundlegende Kompetenzen Erwachsener im internationalen Vergleich. Ergebnisse von PIAAC 2012* (9-10). Münster: Waxmann.
- VDI (2007). *Bildungsstandards Technik für den Mittleren Schulabschluss*. Düsseldorf: VDI Beruf und Gesellschaft.

Wüstenberg, S., Greiff, S., Molnár, G., Funke, J. (2014). Cross-national gender differences in complex problem solving and their determinants. *Learning and Individual Differences*, 29(1), 18–29.

Zabal, A., Martin, S., Klaukien, A., Rammstedt, B., Baumert, J., Klieme, E. (2013). Grundlegende Kompetenzen der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland im internationalen Vergleich. In B. Rammstedt (Hrsg.), *Grundlegende Kompetenzen Erwachsener im internationalen Vergleich. Ergebnisse von PIAAC 2012* (31-76). Münster: Waxmann.

## **Autoren**

Jennifer Stemmann

Universität Duisburg-Essen, Technologie und Didaktik der Technik

Universitätsstraße 15, 45141 Essen

jennifer.stemmann@uni-due.de

Prof. Dr. Martin Lang

Universität Duisburg-Essen, Technologie und Didaktik der Technik

Universitätsstraße 15, 45141 Essen

martin.lang@uni-due.de

---

Zitieren dieses Beitrages:

Stemmann, J. & Lang, M. (2014): Theoretische Konzeption einer allgemeinen technischen Problemlösefähigkeit und Möglichkeiten ihrer Diagnose. *Journal of Technical Education (JOTED)*, Jg. 2 (Heft 1), S. 80-101.