

MARCUS DENGLER (Technische Universität Darmstadt)

RALF TENBERG (Technische Universität Darmstadt)

**Explorative Fallstudien zu handlungsorientiertem digitalen Lernen
in der Metalltechnik**

Herausgeber

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

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

MARCUS DENGLER / RALF TENBERG

Explorative Fallstudien zu handlungsorientiertem digitalen Lernen in der Metalltechnik

ZUSAMMENFASSUNG: Im Zentrum der Studien steht ein didaktisches Design, in welchem ein neu entwickelter Lernträger durch ein multimediales Lernprogramm für ein autodidaktisches berufliches Lernen zugänglich gemacht werden soll. Untersucht wurde dazu in fünf Einzelfallstudien, wie Berufsschüler/-innen metalltechnischer Berufe mit einer Lernsequenz zurechtkommen, die handlungsorientiertes berufliches Lernen anhand der eigenständig erstellten Lernsoftware zum Thema „Getriebetechnik“ akzentuiert und dabei korrespondierende berufliche Handlungen an einem Demonstrationsgetriebe ermöglichen soll. Neben der Beobachtung der Handlungen u. a. des Umgangs mit dem Lernprogramm und dem Anschauungsgetriebe sowie entsprechender Werkzeuge, wurden in einer schriftlichen Lernkontrolle Wissens- und Transferfragen zur Thematik in den Dimensionen des Sach-, Prozess- und Bezugswissens gestellt. Die in der Untersuchung gewonnenen Daten wurden den Angaben der Probanden, die vor Beginn der Untersuchungsreihe zu deren Vorwissen, schulischen Leistungen, Leistungsmotivation und Medienaffinität erhoben wurden, gegenübergestellt. Als Ergebnis konnte zusammenfassend festgestellt werden, dass die zwischen handlungs- und fachsystematischen Sequenzen alternierende Lernsequenz für alle Probanden relativ gut umsetzbar war und sich die Steuerung des Lernprozesses durch die Lernsoftware nicht negativ auf die empfundene Motivation auswirkte. Defizite lassen sich bei der Qualität des erworbenen Wissens feststellen, was absehbar mit den begrenzten didaktischen Möglichkeiten der Lernsoftware bzw. deren gesamtstrukturellen Interaktionsspektrum zusammenhängt.

Schlüsselwörter: Fallstudie, Handlungsorientierung, digitales Lernen, Metalltechnik, Getriebe

Explorative case studies on activity oriented digital learning in the domain of mechanical engineering

ABSTRACT: The studies focus a didactical layout utilizing newly developed learning materials to enable autodidactic vocational learning by using a multimedia learning program. Five individual case studies examined how vocational students in the domain of mechanical engineering coped with an activity oriented vocational learning sequence, that required to work with a learning program covering gear technology while simultaneously conducting associated activities with a gear drive. Besides observing actions like handling the learning program, the gear drive and appropriate tools, a written test covered knowledge and transfer questions divided in the three levels of content, process and context. The obtained data was compared with questionnaires regarding prior knowledge, school achievement, motivation and media affinity filled in by the test persons. The studies showed that all test persons coped well with the learning sequence alternating between activity and content oriented phases. Additionally, the learning program didn't negatively influence the perceived motivation of the test persons. Deficits were revealed regarding the quality of the acquired knowledge due to the limited didactic opportunities of a learning program.

Keywords: case study, activity orientation, digital learning, mechanical engineering, gear

1 Thema

Die Umsetzung hochwertiger handlungsorientierter Lernsequenzen stellt die zentrale Anforderung des KMK Lernfeldansatzes an den berufsschulischen Unterricht der Gegenwart dar. Aktuelle Studien belegen, dass dieser Anspruch in der alltäglichen Umsetzung im gewerblich-technischen Bereich nach wie vor Probleme bereitet (vgl. Dengler 2016). Während es im berufsschulischen Unterricht schwer fällt, adäquate Handlungsräume zu eröffnen, kommt in der betrieblichen Ausbildung in vielen Fällen die theoretische Fundierung der betrieblichen Praxis zu kurz. Das eine bedingt Defizite im Fachverständnis, das andere Defizite in der Umsetzung und Anwendung von Fachwissen. Ein möglicher Ansatz dieser Problematik zu begegnen, könnten interaktive Lernsegmente sein, die über ein Lernprogramm fachliches Wissen in Korrespondenz mit geeigneten realen Lerngegenständen und konkreten beruflichen Handlungen zugänglich und verständlich machen. Sowohl der schulische als auch der betriebliche Lernort, aber insbesondere die Lernenden würden hiervon profitieren. Dies insbesondere, weil sich die immer noch zunehmend beschleunigte Computertechnologie mit multimedialen und interaktiven Räumen für eine Substitution betrieblicher Szenarien in analytischen Lernumgebungen anbietet. Mit dem Fortschreiten der Digitalisierung unserer Gesellschaft sind aber schon seit mehr als 30 Jahren auch überzogene Vorstellungen verbunden, dass der Mensch als Moderator, Vermittler und Unterstützer in Lernprozessen gänzlich ersetzt werden könnte. Mittlerweile ist jedoch erkennbar, dass sowohl übertriebene Hoffnungen als auch Ängste, Lehrpersonen würden vollständig substituierbar werden, nicht realistisch erscheinen, was aufgrund der zahlreichen Untersuchungen in diesem Bereich als relativ gut abgesichert gelten kann (vgl. Heinen & Kerres 2017, S. 1).

Ausgangspunkt der vorliegenden Untersuchung war die Anfrage eines Lehrmittelherstellers an den Arbeitsbereich Technikdidaktik der TU Darmstadt zur Konzeption, Erprobung und wissenschaftlichen Auswertung einer Lernsoftware zum Thema „Getriebetechnik“, die auf ein neues, speziell für Lernzwecke konstruiertes Demonstrationsgetriebe ausgerichtet werden sollte. Die Umsetzung dieser Forschungsaufgabe erfolgte über die Vergabe von zwei Masterarbeiten (vgl. Hitzel 2017, Luprich 2017), wobei schnell deutlich wurde, dass die Programmierung einer kompletten Lernsoftware sowie deren Erprobung und Untersuchung weit über den Umfang hinausgeht, was im Rahmen zweier Masterthesen geleistet werden kann, so dass eine Eingrenzung auf ein didaktisches Gesamtkonzept und einzelne, konkret ausgestaltete Lernsequenzen notwendig wurde.

2 Forschungsfragen

Die zentralen Forschungsfragen der Studie waren, wie sich eine handlungsorientierte, digitale Lernsequenz im berufsschulischen Unterricht realisieren lässt und welche fachdidaktischen Konsequenzen sich aus dem vorliegenden Setting ergeben. Darüberhinaus sollte untersucht werden, ob das Lernprogramm für unterschiedliche metalltechnische Berufe geeignet ist, ob der Anspruch der Aufgaben auch für heterogene Ausgangslagen der Lernenden bzgl. Vorwissen und Leistungsfähigkeit in einem angemessenen Rahmen bleibt und wie die Probanden mit dem Lernprogramm, dem Anschauungsgetriebe sowie den notwendigen Werkzeugen umgehen. Ergänzend sollte festgestellt werden, ob die Probanden die Lernaufgaben eigenständig lösen können, oder sie eine Unterstützung benötigen und ggf. welche Hilfestellung die Lernenden für die Bewältigung der Lernsequenz benötigen. Des Weiteren sollte der Lernerfolg nach Durchlauf einer Lern-

sequenz in den Dimensionen des Sach-, Prozess- und Bezugswissens ermittelt werden (vgl. Hitzel 2017, S. 7 u. S. 75 f.).

3 Prozessbezogene Rahmenbedingungen und didaktisches Konzept

Die Konzeption des Lernarrangements zur Getriebetechnik erfolgte unter mehreren Prämissen. Neben den Vorgaben des Lehrmittelherstellers sollten aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse und didaktische Ansätze zur Handlungsorientierung und zum digitalen Lernen in einem konkreten Lernsetting realisiert werden.

Wesentliche Bedingung des Kooperationspartners war die Verwendung seines neu entwickelten mehrstufigen Demonstrationsgetriebes. Für dieses speziell für Lernzwecke konstruierte Zahnradgetriebe sollte ein umfassendes Lernprogramm inhaltlich, graphisch und ikonisch ausgearbeitet werden. Die Bearbeitung der Lernsequenzen sollte so ausgelegt sein, dass diese autodidaktisch, also weitgehend ohne Begleitung durch Lehrpersonen, durchführbar sind und dabei für möglichst viele Berufe im metalltechnischen Bereich Anwendung finden können. Dabei sollte sich das Anspruchsniveau am Ausbildungsberuf Industriemechaniker/-in orientieren. Die Anfertigung des Lernprogramms hatte mit einem vom Kooperationspartner vorgegebenen Autoren-Tool zu erfolgen und war somit eng an die damit einhergehenden didaktischen Möglichkeiten sowie Kostenaspekte u. a. in Form der realisierbaren Aufgaben- und Antwortformate als auch Darstellungsformen geknüpft.

Der Prozess der Erstellung der digitalen Lernsequenz orientierte sich an den organisatorischen Gestaltungsmerkmalen für mediengestützte Lernangebote nach Kerres (2013, S. 233 f.):

- Lehrstoff analysieren
- Lernziele festlegen
- Vorkenntnisse analysieren
- Instruktionsstrategie festlegen
- Lehrmaterialien auswählen bzw. neu produzieren
- Kriterien für den Lernerfolg bestimmen
- Test erstellen
- Formative Evaluation planen und durchführen
- Lernangebot überarbeiten
- Summative Evaluation planen und durchführen (vgl. Hitzel 2017, S. 22)

Hinsichtlich des inhaltlichen Aufbaus orientierte sich Hitzel (vgl. 2017, S. 23 f.) an einer Reihe von wissenschaftlich begründeten Prämissen für die Gestaltung von anspruchsvollen beruflichen Lernumgebungen:

Ausgehend von Gudjons (vgl. 1997, S. 65) wurde nicht versucht eine „inhaltliche Vollständigkeit“ zu erreichen, sondern stattdessen Aufgaben konstruiert, welche ein exemplarisches Lernen ermöglichen, so dass die Lernenden anschließend in der Lage sein sollten, ihre erworbenen Kompetenzen in ähnlichen Bezugskontexten anzuwenden. Gemäß Riedl (vgl. 2010, S. 112) sollten diese Aufgaben komplex, situationsbezogen und realitätsnah sein, dabei aber nicht in einen offenen Lernraum nur verfügbar gemacht werden, sondern so geführt sein, dass zu einem systematischen Arbeiten angeleitet wird. Dies sollte jedoch zu keiner „programmierten Lernschablone“ führen. Gegenteilig wurden (gem. Riedl 2011 S. 196 f.) eine inhaltliche Differenzierung und Varianten in der Aufgaben- und Methodenwahl für ein individuelles Lernen in einem angemess-

senen Schwierigkeitsgrad eingeplant (vgl. Betzler 2006, S. 59 f.), nicht zuletzt, um so die SuS¹ zu fordern und gleichermaßen zu motivieren (vgl. Tenberg 1997, S. 160). Für die Gesamtaufhängung der geplanten Lernsequenzen sollte im Sinne von Tenberg (vgl. 1997, S. 157 f.) eine Kombination aus fach- und handlungssystematischen Sequenzen umgesetzt werden, um so zu gewährleisten, dass die SuS fall- und anwendungsbezogenes Lernen und theoretisch-verallgemeinerndes Lernen sinnvoll und produktiv ineinander verschränkt umsetzen können. Um im Sinne von Schelten, Riedl und Geiger (vgl. 2003, S. 9 f.) bei der Bearbeitung von komplexen beruflichen Aufgaben bereits einen Transfer des Wissens anzubahnen, sollten die Lernmaterialien beispielorientiert gestaltet und didaktisch aufbereitete (vgl. Aprea et al. 2010, S. 70 f.) audiovisuelle Medien sinnvoll in die Lernsequenzen eingebettet werden.

3.1 Curricularer Hintergrund

Mit dem Ziel, mögliche Lernhandlungen am Demogetriebe zu identifizieren, wurde das Getriebe zunächst in Baugruppen und daraufhin in Einzelteile zerlegt. Nach der eingehenden Betrachtung der Bauteile und einem Abgleich mit der Stückliste erfolgte der erneute Zusammenbau, auch um mögliche praktische Herausforderungen für potentielle Lernende zu ermitteln. Bei der folgenden systematischen Analyse des Lern-Horizonts wurden sowohl die möglichen beruflichen Handlungen, als auch die einschlägigen schulischen und ausbildungsbezogenen Ordnungsmittel betrachtet, um die für die berufliche Praxis relevanten Handlungen und das zu vermittelnde Fachwissen zu erschließen. So ergab die Analyse des Rahmenlehrplanes Industriemechaniker/-in (KMK 2004) aufgrund der jeweiligen Performanzbeschreibungen (sog. „Ziele“ in den Lernfeldern) und Stofflisten der Lernfelder (LF) Bezüge zu:

- LF 3 (Herstellen einfacher Baugruppen)
- LF 4 (Warten technischer Systeme)
- LF 7 (Montieren technischer Teilsysteme)
- LF 9 (Instandsetzen technischer Systeme)
- LF 10 (Herstellen und Inbetriebnehmen technischer Systeme)
- LF 12 (Instandhalten technischer Systeme) sowie
- LF 15 (Optimieren technischer Systeme).

In einem strukturierenden Mind Map wurden Inhalte aus den Ausbildungsfeldern (AF) ...

- AF 5 (Betriebliche und technische Kommunikation)
- AF 13 (Herstellen, Montieren und Demontieren technischer Systeme)
- AF 14 (Sicherstellen der Betriebsfähigkeit technischer Systeme)
- AF 15 (Instandhalten technischer Systeme) sowie
- AF 17 (Qualitätssicherungssysteme)

anhand des Ausbildungsrahmenplanes für den selben Beruf (Industrie- und Handelskammer Frankfurt am Main, o. D., S. 5 f.) ergänzt (vgl. Hitzel 2017, S. 25 f.).

¹ Schülerinnen und Schüler.

Im folgenden Schritt wurden auf Grundlage der Ergebnisse der Lernstoffanalyse die Lernziele bestimmt, die zu sieben übergeordneten, inhaltlich abgegrenzten sowie aufeinander aufbauenden Lerneinheiten zusammengefasst wurden.

- Lerneinheit 1: Getriebearten und Aufgabengebiete kennenlernen
- Lerneinheit 2: Getriebe inspizieren
- Lerneinheit 3: Getriebe warten
- Lerneinheit 4: Getriebe instand setzen
- Lerneinheit 5: Getriebe optimieren
- Lerneinheit 6: Getriebe in Betrieb nehmen
- Lerneinheit 7: Getriebe anpassen

Die Formulierung der Lernziele der Lerneinheit erfolgte durchgängig in Form von Kompetenzen, die als Dubletten aus beobachtbaren Performanzen und zugeordneten Wissenskomponenten konkretisiert wurden. Die hierzu verwendete Matrix folgt einer Struktur, die im Modellversuch „Idefix“ verwendet wurde (vgl. Abel et al. 2013). Dabei werden die Kompetenzen in Teilkompetenzen aufgeschlüsselt und die Wissenskomponenten in Sachwissen, Prozesswissen und Bezugswissen² aufgegliedert (vgl. Abele et al. 2015, S. 34). Für die Fallstudien wurde die Lerneinheit 2: Getriebe inspizieren ausgewählt, weil im Gegensatz zu den folgenden Lerneinheiten hier das geringste Vorwissen erforderlich war und zudem erste praktische Handlungen möglich erschienen (vgl. Hitzel 2017, S. 27 f).

Anhand der entwickelten Kompetenzbeschreibung konnten einschlägige Lernsituationen kreiert werden, die z. T. inhaltlich weiter gegliedert wurden. Exemplarisch ist im Folgenden die Lernsequenz „Lager prüfen“ dargestellt (Tab. 1).

- Lernsituation 2.1: Technische Bauteile darstellen
- Lernsituation 2.2: Technische Bauteile prüfen
 - Zahnräder prüfen
 - Lager prüfen
 - Radialwellendichtringe prüfen
 - Sicherheitskupplung prüfen

3.2 Methodische Zugänge

Für die methodische Konzeption jedweden Unterrichts, folglich auch eines Lernprogramms, ist es unumgänglich, zunächst das Ausgangsniveau in Bezug auf das angenommene Vorwissen und das mögliche Leistungsvermögen der Zielgruppe zu definieren. Je spezifischer man dies umsetzt, desto größer die Gefahr einer Engführung, je allgemeiner man sich hier hält, desto geringer die Wahrscheinlichkeit, dass die Lernumgebung „ankommt“ und „funktioniert“. Da das Lernprogramm seitens des Lehrmittelhersteller autodidaktisch konzipiert und einer möglichst breiten Zielgruppe zugänglich gemacht werden sollte, wurde ein Ansatz gewählt, der es auch Lernenden mit geringen Vorkenntnissen ermöglichen sollte, den Kurs erfolgreich zu durchlaufen.

2 Die Klassifizierung von Wissen geht auf eine Studie von Pittich (2014) zurück, in welcher diese drei Wissensarten nachgewiesen werden konnten; insbesondere wurde bestätigt, dass die Qualität beruflicher Kompetenzen am stärksten mit dem Bezugswissen korrespondiert, also mit jenem Wissen, welches hinter dem Sach- und Prozesswissen steht.

Tab. 1: Wissenskomponenten Lernsituation 2.2 (Hitzel 2017, Anhang A.2).

Wissenskomponenten Lernsituation 2.2: Technische Bauteile prüfen – Lager prüfen				
Kompetenz: Die SuS sind in der Lage, eine Inspektion an den Lagern des Getriebes vorzunehmen				
Teilkompetenzen (Die SuS...)	Performanz (Die SuS...)	Wissen		
		Sachwissen	Prozesswissen	Bezugswissen
kennen die allgemeinen Aufgaben von Wälzlagern.	beschreiben die allgemeinen Aufgaben von Wälzlagern.	Grundlagen der Kraftübertragung		Verschiedene Funktionen von Lagern, Grundlagen der Tribologie
kennen die Vor- und Nachteile verschiedener Lagerbauarten und können diese in einer technischen Zeichnung identifizieren.	nennen Vor- und Nachteile verschiedener Lagerarten und ordnen den Arten entsprechende technische Lösungen zu.	Vor- und Nachteile unterschiedlicher Lagerarten, Grundlagen des technischen Zeichnens		Betriebsbedingte Rahmenbedingungen (z. B. Platzbedarf) Betriebsparameter, Schmiermittel
sind in der Lage, eine subjektive Schadenserkennung an einem Getriebe durchzuführen.	erläutern Ursachen eines wahrgenommen oder geschilderten Betriebsverhaltens.	Ursachen für bestimmte Betriebsverhalten	Diagnoseverfahren	Wartungsintervalle, Verschleiß
kennen verschiedene Möglichkeiten der Lageranordnung.	benennen die Lageranordnung in einer technischen Zeichnung und begründen deren Einsatz.	Lageranordnung		Wirkung des Stützabstandes
sind in der Lage, eine Demontage schadhafter Lager zu planen und durchzuführen.	erstellen einen Arbeitsplan und demonstrieren die defekten Lager.	Aufbau eines Arbeitsplans	Fachgerechter Werkzeugeinsatz, Erstellen eines Arbeitsplans	Funktionen verschiedener Bauteile
kennen verschiedene Möglichkeiten der Lagermontage.	vergleichen verschiedene Arten der Lagermontage.	Mechanische und hydraulische Demontageverfahren	Vorgehen bei den jeweiligen Verfahren	Verwendung von Spezialwerkzeugen
können eine Schadensdiagnose an Wälzlagern durchführen.	benennen ein Fehlerbild, dessen Ursachen sowie präventive Maßnahmen	Fehlerbilder an Wälzlagern		Verschleißursachen
wissen, wie man neue Lager bestellt.	füllen ein Bestellformular für neue Lager aus.	Typenbezeichnungen, Lagerarten, Basiskennzeichnung, Vor- und Nachsetzzeichen	Ablauf eines Bestellvorgangs	Berechnung des Bohrungsdurchmessers Herstellerspezifische Verträglichkeiten
können eine Lagermontage an einem Getriebe planen und durchführen.	erstellen einen Arbeitsplan und führen die Montage der neu bestellten Lager durch.	Erstellen eines Arbeitsplans	Fachgerechter Werkzeugeinsatz, Einsatz von Distanzhülsen	

Die aufeinander aufbauenden Arbeitsaufträge wurden mit umfangreichen Musterlösungen ausgestattet, sodass diese moderate Anforderungen stellten und bei zu geringer Herausforderung von den Lernenden übersprungen werden können.

Um Lücken in den Vorkenntnissen zu kompensieren, wurden im Kurs „fachsystematische Ergänzungen“ hinterlegt, die in Form von theoretischen Grundlagen bzw. systematisierenden Inhalten, aber auch in Gestalt von Metainformationen direkt im Programm oder per Link aufgerufen werden können. Die Kenntnis des fachgerechten Umgangs mit einfachen Werkzeugen und grundlegendes technisches Verständnis wurden zur Bearbeitung des Kurses vorausgesetzt. Für spezielle Werkzeuge oder Prüfmittel, wie z. B. Drehmomentschlüssel oder Messuhr, wurden erläuternde Informationen und Literaturhinweise zur Verfügung gestellt (vgl. Hitzel 2017, S. 28 f.).

Als Instruktionsdesign wurde eine Lernsystematik gewählt, bei der handlungssystematische und fachsystematische Sequenzen alternieren. Dabei geht die Lösung beruflicher Aufgabenstellungen mit der Aneignung von Fachwissen einher. Darauf aufbauend setzen Explikation des Wissens, fachsprachliche Klärung, Erweiterungen oder Verallgemeinerung ein, damit das neue Wissen in neuen, anspruchsvolleren Problemstellungen angewendet werden kann, die wiederum weiteren fachlichen Wissensbedarf aufdecken (vgl. Tenberg 2014, S. 14).

Demgemäß durchlaufen Lernende in der Sequenz „Lager prüfen“ die folgenden Lernschritte:

- Kennenlernen der Aufgabengebiete von Lagern
- Identifizierung verbauter Lagerarten
- Subjektive Schadenserkennung defekter Lager
- Klärung der Einbau- und Einsatzbedingungen
- Demontage schadhafter Lager
- Schadensdiagnose
- Bestellung neuer Lager und deren Montage

Innerhalb dieser acht Lernschritte sind insgesamt zehn Lernprodukte zu erstellen. Diese erfordern z. B. die Erkennung von Lagerschäden, die Erstellung von Arbeitsplänen zur Demontage und Montage der Lager, die Analyse der Lagerungsart und der Einbaubedingungen, eine Schadensdiagnose sowie die Angabe von Lagerkenngrößen zur Bestellung von Ersatz. Aufgrund der Vorgabe eines autodidaktischen Lernprogramms beschränkt sich die Lehr-Lern-Interaktion auf den Kurs selbst und musste demzufolge über präzise und eindeutige Aufgabenstellungen, klare Rückmeldungen, Anleitungen und Literaturhinweise abgebildet werden. Zwar wurden in die Kurse auch Lernkontrollen integriert, hier traten jedoch die Grenzen programmierter Aufgabenformate deutlich zu Tage, da in dieser Programmierumgebung lediglich geschlossene Fragestellungen per Computer mit überschaubarem Aufwand sicher überprüf- und auswertbar sind. Um dies im Rahmen des Möglichen zu kompensieren, wurden bei umfangreicheren offenen Aufgaben detaillierte Musterlösungen erstellt, mit denen Lernende ihre eigene Lösung vergleichen können (vgl. Hitzel 2017, S. 46 f.).

4 Forschungsmethodisches Design

Um nun im Rahmen der so konzipierten Lernumgebung zu klären, wie sich eine handlungsorientierte, digitale Lernsequenz im berufsschulischen Unterricht realisieren lässt und welche fachdidaktischen Konsequenzen sich aus dem vorliegenden Setting ergeben, wurde ein empirisches Design umgesetzt.

Damit sollte untersucht werden (vgl. Hitzel 2017, S. 7 u. S. 75 f.),

1. ob das Lernprogramm für unterschiedliche metalltechnische Berufe geeignet ist,
2. ob der Anspruch der Aufgaben auch für heterogene Ausgangslagen der Lernenden bzgl. Vorwissen und Leistungsfähigkeit in einem angemessenen Rahmen bleibt und
3. wie die Probanden mit dem Lernprogramm, dem Anschauungsgetriebe sowie den notwendigen Werkzeugen umgehen.
4. Ergänzend sollte festgestellt werden, ob die Probanden die Lernaufgaben eigenständig lösen können oder sie eine Unterstützung benötigen und ggf. welche Hilfestellung die Lernenden für die Bewältigung der Lernsequenz benötigen.
5. Des Weiteren sollte der Lernerfolg nach Durchlauf einer Lernsequenz in den Dimensionen des Sach-, Prozess- und Bezugswissens ermittelt werden.

Aufgrund der dargelegten Ausgangslage und der Rahmenbedingungen wurde als empirisches Design der Untersuchung ein qualitativer, explorierender Ansatz mit Einzelfallstudien gewählt. Hierin wurden die von Kerres (2013, S. 223 f.) zur Gestaltung von digitalen Lernangeboten dargelegten Evaluationsschritte integriert (vgl. Hitzel 2017, S. 49).

In Umsetzung der Teilfragestellung 2. erfolgte eine Vorauswahl der Probanden, um eine heterogene Gruppe zu bilden. Fünf Berufsschüler/-innen (zwei Industriemechaniker, davon einer leistungsstark, der andere leistungsschwach, eine Konstruktionsmechanikerin, ein Werkzeugmechaniker und ein Technischer Produktdesigner), jeweils im dritten Ausbildungsjahr wurden über ihre Lehrkräfte ausgewählt und um Teilnahme an den Studien gebeten (Luprich 2017, S. 47).

Mit dem Ziel, dem komplexen Gefüge der Forschungsfragen und dem Anspruch qualitativer Forschung gerecht zu werden, wurden in den Fallstudien mehrere Erhebungsmethoden eingesetzt und die Ergebnisse einander gegenübergestellt. Durch einen Fragebogen wurden im Vorfeld die Lernvoraussetzungen der Teilnehmer/-innen erfasst. Die schriftliche Erhebung umfasste neben personenbezogenen Daten (Alter, Geschlecht) und Angaben zur bisherigen schulischen Laufbahn (höchster Schulabschluss und Abschlussnote) auch die Berufsausbildung (Ausbildungsberuf und Noten des berufsbezogenen Unterrichts). Des Weiteren wurden Fragen gestellt, die auf die Lern- und Leistungsmotivation sowie die Medienaffinität der Probanden abzielten (vgl. Luprich 2017, S. 48).

Im Zentrum der Fallstudien stand die Beobachtung der Probanden beim Durchlaufen der Lernsequenz „Lager prüfen“. Diese wurde nach der Klassifizierung von Döring & Bortz (2016, S. 328 f.) als direkte, nicht-teilnehmende, teilstrukturierte Fremdbeobachtung durchgeführt. Dabei wurden zwei Videokameras eingesetzt. Die eine Kameraperspektive erfasste die Interaktion der Probanden mit der Lernumgebung (u. a. Getriebe, Werkzeuge), während die andere auf den Computerbildschirm gerichtet war und so ein „ikonisches Logfile“ aufzeichnete, mit dem auch die Eintragungen im Kurs gesichert werden konnten (vgl. Hitzel 2017, S. 51). Weiterhin wurden die Bearbeitungszeiten für die einzelnen Aufgaben festgehalten und ein nach den Aufgabenteilen gegliedertes Beobachtungsprotokoll geführt, welches zusammen mit den Videosequenzen mithilfe einer strukturierten, qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet wurde.

Dabei wurden die Handlungen und die Eintragungen der Probanden in das Lernprogramm in fünf beobachtbare Kategorien (Handhabung der Werkzeuge und Hilfsmittel; Gebrauch von Hilfen/Fachliteratur/Demonstrationsvideo; Anwendung von Lösungsstrategien/Behebung von Problemen; Nichtzielführende Zwischenhandlungen; Antwort richtig/falsch) unterteilt.

Im direkten Anschluss an den Durchlauf der Lernsequenz erfolgte eine Lernkontrolle in Form eines schriftlichen Tests. In diesem wurde neben dem Sachwissen auch Prozess- und Be-

zugswissen abgefragt, um den erreichten Lernstand bezüglich der Lernziele in Gestalt der Teilkompetenzen einschätzen zu können. Den Abschluss der Erhebung bildete jeweils ein Interview, das mit geringem zeitlichen Abstand zur Lerneinheit mit den Probanden geführt wurde. In teilstandardisierten Einzelbefragungen wurden die Lernenden zur empfundenen Schwierigkeit der Lernsequenz und zu bei der Durchführung wahrgenommenen Problemen befragt (vgl. Hitzel 2017, S. 52 f.).

5 Ergebnisse

Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte in drei Schritten. Im ersten Schritt wurden die mit den jeweiligen Erhebungsmethoden gewonnenen Daten zugangsspezifisch analysiert. In einem zweiten Schritt wurden die Daten der fünf Probanden zu Einzelfällen zusammengeführt und fallspezifisch ausgewertet. Im letzten Schritt wurden die Einzelfälle vergleichend betrachtet. Dabei wurde u. a. geprüft, ob die Lernvoraussetzungen der Probanden (schulischer Leistungsstand, Lernmotivation, Medienaffinität) mit ihrem Lernerfolg korrespondieren. Als Kriterien dienen hier die Qualität der Lernprodukte, das Abschneiden in der Lernkontrolle sowie (moderat) die subjektiven Eindrücke der Lernenden bezüglich ihrer wahrgenommenen Lernfortschritte. Des Weiteren sollte festgestellt werden, welche Bedeutung Vorkenntnisse für das selbstständige und lernförderliche Durchlaufen dieser Lernsequenz hatten, um deren Einsatz bei unterschiedlichen Berufsgruppen abschätzen zu können. Von zentralem Interesse waren darüberhinaus die von den Probanden persönlich empfundenen Stärken und Schwächen des Lernprogramms sowie die Tauglichkeit des didaktischen Ansatzes des alternierenden, digitalen Lernens für die zu vermittelnde Thematik „Getriebetechnik“ (vgl. Hitzel 2017, S. 53 f.).

5.1 Gegenüberstellung der Einzelfälle

In der folgenden Übersicht werden zunächst die formalen Daten der Einzelfälle dargestellt (Tab. 2), bevor auf einzelne Aspekte näher eingegangen werden soll.

Tab. 2: Gegenüberstellung der Einzelfälle anhand formaler Daten (Luprich 2017, S. 72).

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5
Geschlecht	männlich	weiblich	männlich	männlich	männlich
Alter (Jahre)	20	19	19	19	21
Höchster Schulabschluss	Abitur	Mittlere Reife	Mittlere Reife	Mittlere Reife	Fachabitur (Maschinenbau)
Abschlussnote	2,8	2,8	2,7	2,5	2,0
	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5
Ausbildungsberuf	Industriemechaniker	Konstruktionsmechaniker	Industriemechaniker	Werkzeugmechaniker	Technischer Produktdesigner
Durchschnitt der Lernfeldnoten	1,22	2,5	3,77	3	2,25

	Proband 1	Proband 2	Proband 3	Proband 4	Proband 5
Bearbeitungszeit der Lernsequenz	136 min.	160 min.	161,5 min.	152 min.	125 min.
Anzahl hergestellter hochwertiger Lernprodukte	8 von 10	6 von 10	6 von 10	9 von 10	8 von 10
Punkte in der Lernkontrolle	12 von 18	7 von 18	4 von 18	10 von 18	12 von 18

Betrachtet man die Bearbeitungszeiten der Lernenden für die Lernsequenz, deutet sich an, dass diese moderat mit ihrer Vorbildung korrespondieren. Dabei können die vergleichsweise kurzen Bearbeitungszeiten der Probanden 1 und 5 zum einen auf ihre für Berufsschüler/-innen im Metallbereich überdurchschnittlich hohen Schulabschlüsse zurückgeführt werden, was auch mit den von ihnen gezeigten systematischen und zielgerichteten Arbeitsweisen sowie ihren fortgeschrittenen Strategien bei der Suche nach Hilfen und Informationen in den Materialien einherging. Zum anderen waren bei ihnen wahrscheinlich mehr Vorkenntnisse zum Thema „Lagerungen“ abrufbar als bei den anderen.

Was die Anzahl der qualitativ hochwertigen Lernprodukte betrifft, d.h. selbstständig, umfangreich und richtig erstellte Lösungen, schnitt Proband 4, der deutlich mehr Zeit als die Probanden 1 und 5 benötigte und dessen Leistungsvermögen aufgrund von Schulabschluss und Lernfeldnoten vielmehr im mittleren Bereich anzusetzen ist, allerdings besser ab. Hitzel (2017) und Luprich (2017) beobachteten, dass dieser Proband zwar zunächst eher unsystematisch vorgeht, seine Vorgehensweise aber schon bald revidierte, jedoch die ihm gestellten Aufgaben intensiv bearbeitete und vor allem durchgängig mit eigenen Worten löste. Probandin 2 kam kaum zu eigenen Antworten, sondern übertrug häufig die Musterlösung ins Antwortformat. Dazu benötigte sie jedoch eine ähnlich große Zeit wie Proband 3. Im Interview stellte sie fest, dass man sich mit dem Lernprogramm zwar viel Wissen aneignen könne, man dazu aber auch sehr viel lesen und dabei stets konzentriert sein müsse. Diese Feststellung sowie ihr unsystematisches z. T. sogar hilfloses Vorgehen legen die Vermutung nahe, dass bei ihr die Grenzen der Leistungsfähigkeit erreicht waren. Proband 3 zeigte zwar eine systematische Vorgehensweise und formulierte seine Antworten frei, was auf ein gutes Zurechtkommen mit dem Lernprogramm und den Materialien hindeutet, hatte jedoch Schwierigkeiten beim Lösen offener Antwortformate wie z. B. bei der Erstellung der Arbeitspläne.

Ein anderer, erwartungskonformer Zusammenhang der Qualität der Lernprodukte deutet sich mit der Lernmotivation der Probanden an. Je höherwertiger die Varianten der Lernmotivation, die in Anlehnung an Deci & Ryan (1985) über die Fragebogenerhebung festgestellt wurden, um so größer war die Menge der durch die Teilnehmer/-innen erstellten hochwertigen Lernprodukte innerhalb der Lernsequenz (vgl. Hitzel 2017, S. 73).

Bei der Auswertung der Lernkontrolle schnitten erwartungsgemäß die absehbar kognitiv stärksten Probanden am besten ab. Die wenigsten Punkte erreichte der im Vorfeld als leistungsschwach eingestufte Industriemechaniker. Dieser Proband hatte sowohl mit den Wissens- als auch mit den Transferfragen Probleme. Bei den anderen Probanden wurden deutlich weniger Probleme festgestellt – Proband 1 und 5 lösten alle prozessbezogenen Aufgaben richtig – interessanterweise aber auffällig viele bei den sachwissensbezogenen Aufgaben gar nicht. Dies könnte dahingehend interpretiert werden, dass in dieser Lernumgebung zwar ein adäquater Raum für

den Erwerb von systematisiertem Fachwissen geschaffen wurde, dieser jedoch von den Lernenden als solcher entweder nicht vollständig erkannt wurde, oder dessen Erschließung durch die Aufgaben nicht zwingend erforderlich war.

In Bezug auf den generellen Umgang mit dem Lernprogramm stellten Hitzel (2017) und Luprich (2017) fest, dass die Probanden mit der Bedienung der Software gut zurechtkamen, was sich mit deren Selbsteinschätzungen bzgl. ihrer Medienkompetenz, die durchgängig mittel bis hoch ausgefallen war, deckte. So scheint die grundsätzliche Bedienung von Software für junge Menschen aus unserem Kulturkreis in der Regel keine Schwierigkeit darzustellen, da wesentliche Grundfunktionen von Programmen ähnlich gestaltet sind.

Bezüglich der Handhabung der konkreten Werkzeuge wurde beobachtet, dass alle Probanden mit den grundlegenden mechanischen Werkzeugen und Messmitteln sicher und fachgerecht umgehen konnten. Unsicherheiten bei der Verwendung von spezielleren Werkzeugen und Messmitteln z. B. Drehmomentschlüssel, Bügelmessschraube und Messuhr traten bei den Probanden 2, 3 und 5 auf, die jedoch ihre Probleme mit der fachgerechten Handhabung mithilfe der unterstützenden Materialien u. a. dem Demovideo zur Einstellung des Axialspiels selbstständig lösen konnten.

Anfängliche Probleme zeigten sich bei allen Probanden bei der Verwendung der Fachliteratur. Während die Probanden 1, 4 und 5 relativ schnell ihre Suchstrategien änderten und dann gut zurechtkamen, gingen die Probanden 2 und 3 dazu über, entweder in den Musterlösungen nachzuschauen oder bei Auswahlfragen solange zu probieren, bis sie die richtige Lösung gefunden hatten.

5.2 Ergebnisse der Interviews

Obschon der beobachteten und in der Auswertung der Lernprodukte bzw. der Lernkontrolle festgestellten Schwierigkeiten einzelner Probanden sowie ihren z. T. schwachen Ergebnissen, äußerten sich die Teilnehmer/-innen im Interview vorwiegend positiv zur Lernsequenz. Der empfundene Schwierigkeitsgrad wurde von den Probanden 1, 3, und 4 eher als leicht und von den Probanden 2 und 5 als mittelschwer eingestuft. Ihren Wissenszuwachs stuften die Probanden 1, 3, 4 und 5 als hoch ein. Lediglich Probandin 2 bezeichnete ihren Wissenszuwachs als mittelmäßig. Positiv hervorgehoben wurden der systematische und sinnvolle Aufbau (P1, P2, P3, P5), die benutzerfreundliche Bedienung (P2, P3), die gute Anschaulichkeit (P3). Als große Stärke des Kurses wurde die direkte Rückmeldung auf Lösungen empfunden (P5), was ebenso motivierend wirkte, wie die praktischen Sequenzen (P2, P4, P5). Von allen Probanden wurde das Demonstrationsvideo zur Einstellung des axialen Lagerspiels als sehr hilfreich empfunden, da die Aufgabe ohne diese Hilfe für sie nicht lösbar gewesen wäre.

Der Umfang und die Informationsdichte der Lernsequenz wurden unterschiedlich beurteilt. Während Proband 1 den hohen Informationsgehalt des Kurses positiv bewertete, fand Probandin 2, dass im Kurs sehr viel und aufmerksam gelesen werden müsse, um die Aufgaben zu lösen. Auch das Angebot der Musterlösungen wurde differenziert betrachtet. Auf der einen Seite seien sie eine Möglichkeit, selbstständig offene Aufgabenformate zu überprüfen (P4), wobei man allerdings nie genau wisse, ob die eigene Lösung vollständig richtig sei (P5). Andererseits wäre es möglich, durch Kopieren der Musterlösungen im Kurs voranzukommen, ohne viel zu lernen (P1, P2), sodass der persönlichen Lernmotivation und Lernreife des Nutzers bzw. der Nutzerin eine wichtige Bedeutung zukommt. Proband 3 stellte als größte Stärken des Programms die Förderung des selbstständigen Lernens und die Verzahnung von Theorie und Praxis heraus. Als denk-

bare Einsatzgebiete nannten die Probanden die Prüfungsvorbereitung, Unterstützungsmaßnahmen oder die Verwendung als Basis für einen gemeinsamen Lernstand einer Gruppe, was nahelegt, dass die Lernsequenz sowohl mit als auch ohne Vorwissen sinnvoll bearbeitet werden kann.

5.3 Zusammenfassung und Ausblick

Hitzel (vgl. 2017, S. 75) fasst in ihrem Fazit zusammen, dass die Probanden insgesamt mit der Lernsequenz gut zurechtgekommen seien, da sie von allen Teilnehmer/-innen selbstständig und vollständig bearbeitet werden konnte. Dies lasse darauf schließen, dass die Medienkompetenz von Lernenden in diesem Alter ausreiche, um selbstständig mit diesem Lernprogramm zu arbeiten.

Obwohl die Lernsequenz von Probanden mit unterschiedlichen Ausbildungsberufen abgeschlossen werden konnte, was eine große Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten nahelegt, scheinen gewisse Berufe, die eine größere Affinität zur Thematik aufweisen (Industriemechaniker bzw. Technische Produktdesigner), einen größeren Lernerfolg zu erzielen. Dies könnte jedoch auch zu einem gewissen Maß mit den damit verbundenen Vorkenntnissen zusammenhängen. Daneben haben scheinbar die allgemeine Vorbildung und die persönliche Leistungsmotivation der Lernenden Einfluss auf die Wirksamkeit der Lernumgebung. Vor allem das Alternieren zwischen fach- und handlungssystematischen Sequenzen, wurde von den Probanden positiv bewertet (P1) und dieser Vorgehensweise eine höhere Lernwirksamkeit bescheinigt, als dem herkömmlichen Unterricht (P3). Somit kann festgestellt werden, dass die Realisierung eines alternierenden Kompetenzerwerbs in digitalen Lernprogrammen möglich ist, wenn diese an geeigneten realen Lernobjekten ausgerichtet sind und einschlägige berufliche Handlungen ermöglichen. Im vorliegenden Design entstand jedoch eine „Schlagseite“ zum Erwerb von Prozesswissen, welches jedoch ein hohes Niveau erreichte, was die Aussagen zweier Probanden, die im Interview äußerten, dass sie sich nun in der Lage sähen, auch an anderen Baugruppen Lager auszutauschen, belegen (vgl. Hitzel 2017, S. 76). Die Herausforderung für eine Weiterentwicklung dieses Ansatzes besteht somit darin, auch das Sachwissen adäquat zu adressieren, dabei aber den ohnehin von einzelnen Probanden schon als grenzwertig empfundenen Lese-Aufwand noch weiter zu erhöhen.

Der erhobene Anspruch, das Lernarrangement als rein autodidaktisch anzulegen, wird von Hitzel deutlich in Frage gestellt (vgl. 2017, S. 77 f.). Dies insbesondere aufgrund der computertechnisch sehr eingeschränkten Unterstützungsmöglichkeiten bei Schwierigkeiten, mit denen es nur unzureichend gelungen sei, bei individuellen Problemen Hilfen anzubieten. Als weiteres Defizit wird festgestellt, dass über das Programm weder „offene“ noch nicht-standardisierte Aufgaben angeboten werden konnten, da diese vom Computer nicht aus- und bewertbar sind. Der (sehr aufwändige) Ansatz, bei offenen Aufgaben Musterlösungen zur Verfügung zu stellen, wurde entweder von den Probanden als unbefriedigend empfunden (P5) oder führte dazu, dass diese von den schwächeren Probanden (P2, P3) zur Lösungs-Substitution „missbraucht“ wurden. Damit verfestigt sich auch mit dieser Studie die eingangs aufgegriffene These der geringen Ersetzbarkeit von Lehrpersonen. Es wurde deutlich, dass es mit den derzeitigen Programmen kaum möglich erscheint, die Komplexität von anspruchsvollen Unterrichtssettings ausschließlich über die Software abzubilden. Ob dies in Zukunft erreichbar sein wird bleibt fraglich.

Eine Stärke des aus realen und virtuellen Komponenten bestehenden sowie zwischen fach- und handlungssystematischen Sequenzen alternierenden Settings liegt offenbar in der Motivation für die Lernenden, die dies durchgängig äußerten. So könnte ein tragfähiger Einsatzbereich solcher Features darin liegen, motivierende Setting für Lernende zu schaffen, um sich dem Thema

„Getriebetechnik“ zu nähern und dieses darauffolgend tiefergehend zu bearbeiten oder aber um Wissen aufzufrischen bzw. Prüfungen vorzubereiten.

Es zeigte sich somit (einmal mehr), dass es möglich ist, modernen technischen Unterricht mit einem gewissen Aufwand softwaregestützt zu inszenieren, wenngleich sich dabei die bekannten Schwächen von Demonstrationsmedien ebenso zeigen, wie jene computerisierten Lernens (vgl. Heinen & Kerres 2017). Wie es hier weitergeht, werden vor allem die technischen Möglichkeiten bestimmen, welche vor allem im digitalen Bereich absehbar immer besser werden und wohl auch immer weniger Aufwand in deren Nutzung erzeugen. Ob sich in näherer Zukunft der Mensch als Lern-Helfer von einer künstlichen Intelligenz unterstützen oder ersetzen lässt, ist zu vermuten, aber noch nicht explizit absehbar. Fest steht aber, dass ein so digitalisiertes Lernen durchaus motivierend wirken kann und fest steht auch, dass so Individualisierungsgrade erreicht werden können, die für einen Klassenunterricht nicht möglich sind. Ein gangbarer und vernünftiger Weg in eine Zukunft digitalisierten technischen Lernens zeichnet sich somit in Form einer Anreicherung des Unterrichts mit solchen oder ähnlichen Lernprogrammen ab. Dabei ist es absehbar mehr als hilfreich, wenn Lehrpersonen aus diesem Segment zu Autoren/-innen solcher Programme (so wie sie aktuell Autoren/-innen von Lern- und Leittexten sind) werden. Dann gewinnen sie in dieser digitalen Transformation das zurück, was ihnen das Medium ansonsten nehmen könnte – den genuinen didaktisch-methodischen Gestaltungsraum.

6 Literatur

- Abel, M., Czajkowski, S., Faatz, L., Metternich, J., Tenberg, R. (2013): Kompetenzorientiertes Curriculum für Lernfabriken. In: Werkstattstechnik online : wt, Springer VDI Verlag, Düsseldorf, 103(3) S. 240-245.
- Abele, E., Metternich, J., Tenberg, R., Tisch, M., Abel, M., Hertle, C., Eißler, S., Enke, J. & Faatz, L. (2015). Innovative Lernmodule und -fabriken – Validierung und Weiterentwicklung einer neuartigen Wissensplattform für die Produktionsexzellenz von morgen. <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/4995/1/Innovative%20Lernmodule%20und%20fabriken%20-%20Validierung%20und%20Weiterentwicklung%20einer%20neuartigen%20Wissensplattform%20für%20die%20Produktionsexzellenz%20von%20morgen.pdf>, Stand 22.02.2017.
- Aprea, C., Arn, Ch., Boldrini, E., Cattaneo, A., Motta, E. & Sroka, A. (2012). Digitale Technologien als Tools zur Förderung der Konnektivität des Lernens in Schule und Betrieb. http://www.pedocs.de/volltexte/2013/7106/pdf/Fasshauer_Analysen_2012_Aprea_et_al_Digitale_Technologien.pdf, Stand 11.05.2017.
- Betzler, J. (2006). Vergleich zwischen schülerzentriertem und lehrerzentriertem Unterricht an einer Fachschule für Technik. *Die berufsbildende Schule (bbsch)*, 58(2), 56-60.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York: Plenum Press.
- Dengler, M. (2016). *Empirische Analyse lernfeldbasierter Unterrichtskonzeptionen in der Metalltechnik*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Gudjons, H. (1997). *Handlungsorientiert lehren und lernen. Schüleraktivierung, Selbsttätigkeit, Projektarbeit* (7., aktualisierte Auflage). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Heinen, R., Kerres, M. (2017). „Bildung in der digitalen Welt als Herausforderung für die Schule“. *DDS – Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, Bildungspolitik und pädagogische Praxis. Themenschwerpunkt „Bildung in der Digitalen Welt“* Heft 2. [Preprint online] <http://learninglab.unidue.de/site/default/files/DDS-Digitalisierung-190417.pdf>, Stand 27.09.2017.
- Hitzel, Y. (2017). *Berufliches Lernen mit einem Experimentalgetriebe*. Unveröffentlichte Masterthesis am Arbeitsbereich Technikdidaktik der TU Darmstadt.
- Luprich, M. (2017). *Analyse einer handlungsorientierten Lernsequenz*. Unveröffentlichte Masterthesis am Arbeitsbereich Technikdidaktik der TU Darmstadt.
- Pittich, D. (2014): *Diagnostik fachlich-methodischer Kompetenzen*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag

- Riedl, A. (2010). Berufliche Bildung im Wandel: Entwicklungslinien und Zukunftsperspektiven. *Die berufsbildende Schule (bbsch)*, 62(4), 110-113.
- Riedl, A. (2011). *Didaktik der beruflichen Bildung* (2., komplett überarbeitete und erheblich erweiterte Auflage). Stuttgart: Franz Steiner.
- Schelten, A., Riedl, A. & Geiger, R. (2003). Lehr-Lernprozesse in einer konstruktivistischen Lernumgebung für Steuerungstechnik. DFG-Abschlussbericht. <http://www.bpaed.edu.tum.de/fileadmin/tueds02/wwwpdfs/publikationen/riedl/2003dfgabschlussberichtriedlschelten.pdf>, Stand 11.05.2017.
- Tenberg, R. (1997). Schülerurteile über handlungsorientierten Metalltechnikunterricht. In A. Schelten, P.F.E. Sloane & G. A. Straka (Hrsg.), *Perspektiven des Lernens in der Berufsbildung – Forschungsberichte der Frühjahrstagung 1997* (115-170). Opladen: Leske + Budrich.

DR. MARCUS DENGLER

Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Humanwissenschaften, Arbeitsbereich Technikdidaktik
Alexanderstr. 6, D-64283 Darmstadt
dengler@td.tu-darmstadt.de

PROF. DR. RALF TENBERG

Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Humanwissenschaften, Arbeitsbereich Technikdidaktik
Alexanderstr. 6, D-64283 Darmstadt
tenberg@td.tu-darmstadt.de

Zitieren dieses Beitrags:

Dengler, M & Tenberg, R. (2018). Explorative Fallstudien zu handlungsorientiertem digitalen Lernen in der Metalltechnik. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 6(1), 31–44.