

Digitale Transformation

Kompetenzen, Voraussetzungen und Möglichkeiten für Lehrende und Lernende im Kontext der allgemeinen Technischen Bildung

Abschlussbericht

Basel, Januar 2018

Manuel Haselhofer
Dr. Seamus Delaney
Dr. des. Alexander Koch
Dr. Stefan Kruse
Prof. Dr. Peter Labudde
Joachim Zimmermann

Pädagogische Hochschule
Institut Forschung und Entwicklung
Zentrum für Naturwissenschafts- und Technikdidaktik

Das Projekt ist in Auftrag und in Zusammenarbeit mit der Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW entstanden.

Digitale Transformation

1. „DIGITALE TRANSFORMATION“: RELEVANZ UND BILDUNGSBEZUG	5
2. ANALYSE DES LEHRPLANS 21 IM KONTEXT VON RELEVANTEN THEMEN DES DIGITALEN WANDELS.....	8
2.1 QUALIFIKATIONSANFORDERUNGEN DER INDUSTRIE	8
2.2 FACHLICHE KOMPETENZEN	9
2.3 ÜBERFACHLICHE KOMPETENZEN	10
2.4 ZWISCHENFAZIT: ANALYSE DES LEHRPLAN 21	12
3. ANALYSE EXEMPLARISCHER THEMENBEREICHE ZUR DIGITALEN TRANSFORMATION ANHAND DER VDI- BILDUNGSSTANDARDS TECHNIK.....	14
3.1 THEMENBEREICH INTERNET DER DINGE	15
3.1.1 Anforderungen an die Menschen	15
3.1.2 Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Aspekte	16
3.1.3 Zwischenfazit Themenbereich Internet der Dinge in Bezug auf Schülerinnen und Schüler	18
3.1.4 Zwischenfazit Themenbereich Internet der Dinge in Bezug auf Lehrerinnen und Lehrer	19
3.2 THEMENBEREICH SOZIOTECHNISCHE BZW. MENSCH-MASCHINE SYSTEME	20
3.2.1 Anforderungen an die Menschen	20
3.2.2 Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Aspekte	21
3.2.3 Zwischenfazit Themenbereich Soziotechnische Systeme / Mensch-Maschine Systeme in Bezug auf Schülerinnen und Schüler	23
3.2.4 Zwischenfazit Themenbereich Soziotechnische Systeme / Mensch-Maschine Systeme in Bezug auf Lehrerinnen und Lehrer	24
3.3 THEMENBEREICH CYBER-PHYSISCHE SYSTEME	25
3.3.1 Anforderungen an die Menschen	25
3.3.2 Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Aspekte	26
3.3.3 Zwischenfazit Themenbereich Cyber-Physische Systeme in Bezug auf Schülerinnen und Schüler	29
3.3.4 Zwischenfazit Themenbereich Cyber-Physische Systeme in Bezug auf Lehrpersonen.....	29
3.4 DARSTELLUNG EINES KOMPETENZRASTERS FÜR DIE OBLIGATORISCHE SCHULE	30
4. EXPERTINNEN- UND EXPERTENBEFRAGUNG ZUM KOMPETENZRASTER: VORGEHEN, ENTWICKLUNG UND ERGEBNISSE	32
4.1 THEORIE	32
4.2 METHODE	32
4.2.1 Zweischnittiges Bewertungssystem	33
4.2.2 Variablen und Bewertung	34
4.2.3 Vorgehensweise bei der Erhebung	35
4.2.4 Resultate	35
4.2.5 Deutsche Perspektive (VDI-Aspekt orientiert)	36
4.2.6 Schweizerische Perspektive (implementationsorientiert).....	37
4.2.7 Diskussion.....	38
5. ZUSAMMENFASSUNG, EMPFEHLUNGEN UND RESÜMEE	40
5.1 ZUSAMMENFASSUNG	40
5.2 EMPFEHLUNGEN.....	40
6. NACHWEISE	45

6.1 LITERATUR.....	45
6.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	47
6.3 TABELLENVERZEICHNIS.....	48
7. ANHANG.....	49
7.1. KOMPETENZRASTER TEIL „MENSCH MASCHINE SCHNITTSTELLE“.....	49
7.2. KOMPETENZRASTER TEIL „INTERNET DER DINGE“.....	50
7.3. KOMPETENZRASTER TEIL „CYBER PHYSIKALISCHE SYSTEME“.....	51
7.4. VORGEHENSWEISE BEI DER ERHEBUNG.....	52
7.5. ANHANG ZUR ANALYSE DER EXPERTENBEFRAGUNG.....	54
7.5.1 <i>Theorie zur Expertenbefragung</i>	54
7.5.2 <i>Erläuterungen zum Ergebnisteil</i>	55
7.5.3 <i>Tabellen der Resultate</i>	56

1. „Digitale Transformation“: Relevanz und Bildungsbezug

In den letzten Jahren haben alle Bereiche in der Gesellschaft rund um das Thema „Digitalisierung“ rasant an Bedeutung gewonnen. Die intelligente Steuerung und Vernetzung aller Lebenszyklen eines Produkts wird in den nächsten Jahren nicht nur weitreichende Konsequenzen für viele Lebensbereiche der Menschen haben. Ausserdem wird die gesamte industrielle Fertigung und Produktion von entsprechenden Entwicklungen der Digitalisierung beeinflusst werden. Dabei lassen sich die Möglichkeiten der Vernetzung aller Komponenten eines Prozesses nicht nur auf industrielle Produkte, sondern auf die omnipräsenten Nutz- und Konsumgüter übertragen, welche eine Vielzahl an Gesellschaftsmitglieder nutzen. Es lässt sich zusammenfassend von "digitaler Transformation" im produktiv-wirtschaftlichen (Arbeitswelt) und nicht-produktiven (Freizeit und Alltag) Sektor sprechen.

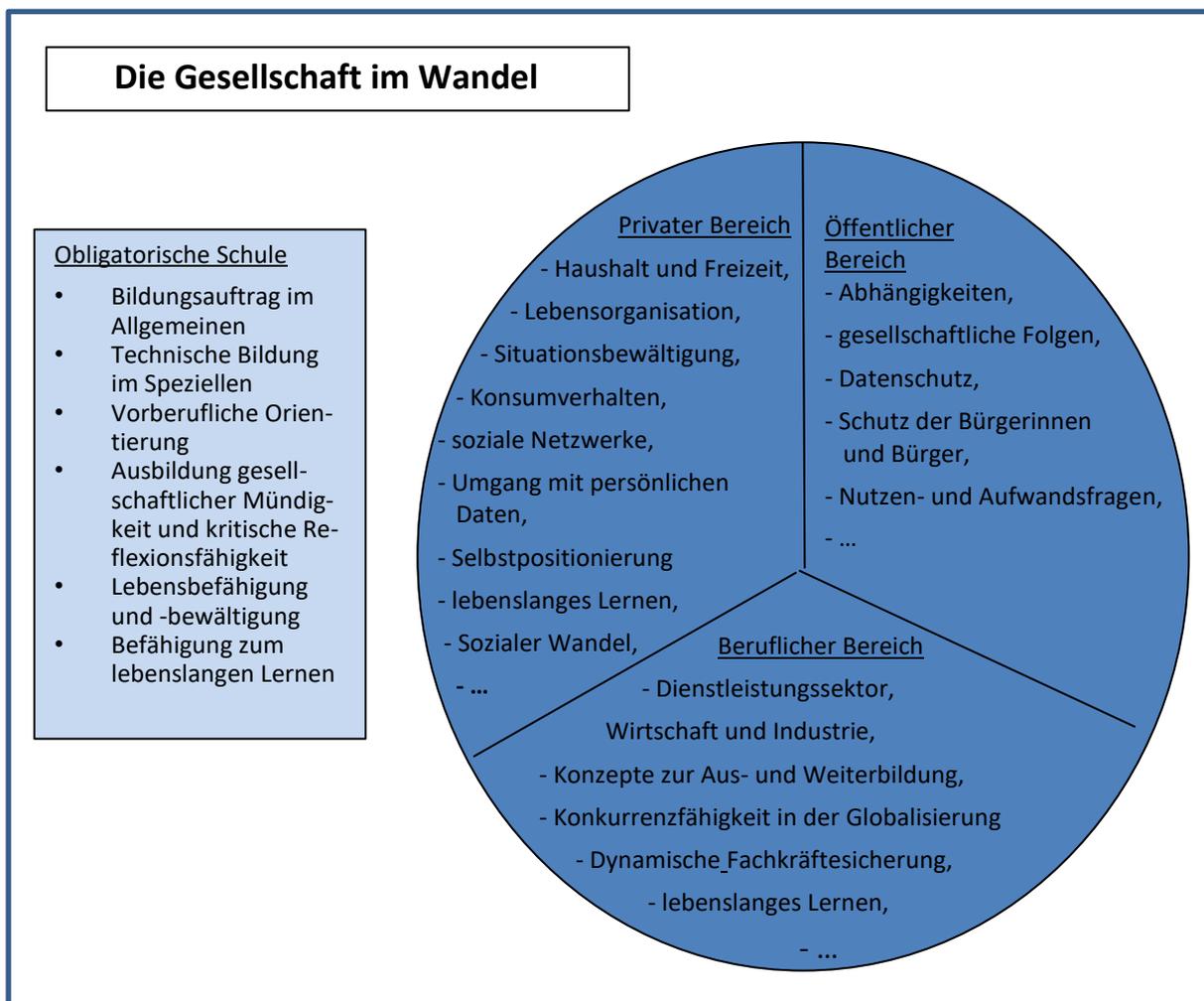
Auch die obligatorische Schule der Schweiz als staatliche Institution ist qua Auftrag zur Sozialisation der Schülerinnen und Schüler beteiligt (vgl. Fend 1980). Dabei vermittelt sie im Idealfall eine allgemeine Technische Bildung, welche das Individuum befähigt, sich in der zunehmenden technisierten Gesellschaft als technikmündige/r Bürger/in zurechtzufinden und an ihr zu partizipieren. Es handelt sich um eine allgemeine und gesellschaftlich-kulturell bestimmte Form technischer Bildung, welche an alle Gesellschaftsmitglieder adressiert ist. Dabei steht die Befähigung der Individuen zur "vernünftigen Selbstbestimmung in ihrer auch technikgeprägten Kultur" im Zentrum. Damit ist die Verschränkung eines Objektbezugs (u.a. Technik kennen, verstehen, mit ihr umgehen, sie beurteilen und bewerten können) und eines Subjektbezugs (technikbezogene Identität entwickeln, sich als homo technicus wahrnehmen etc.) mitangesprochen (vgl. Schlagenhauf 2001, S.2).

Daher muss es zu den Aufgaben der obligatorischen Schule gehören, den Schülerinnen und Schülern Kompetenzen zu vermitteln, durch welche ihnen eine durch kritische Reflexion begründete Handlungsfähigkeit in zunehmend technisch geprägten Lebenssituationen ermöglicht wird (vgl. Schmayl 2004). Auch das dieser Denkweise zu Grunde liegende Technikverständnis nach Ropohl fordert eine Ausbildung dieser Handlungsfähigkeit, in dem die sozio-ökonomischen Entstehungs- und Verwendungszusammenhänge technischer Entwicklungen, welche den Menschen beeinflussen, im Unterricht thematisiert werden müssen (vgl. G. Ropohl 1973, 1976, 1979). Auf die Wirtschaft-, Produktions- und Dienstleistungssektoren der Gesellschaft übertragen, stellt die zunehmende Digitalisierung und Entwicklung im Kontext Internet der Dinge (IdD), im industriellen Bereich oftmals auch Industrie 4.0¹ genannt, ein Phänomen dar, welches im industriellen Produktionssektor durch fortschreitende Digitalisierung an Bedeutung gewinnt. Es zeigt sich als potentes Zukunftsszenario zur Steigerung betrieblicher Produktivität und Effektivität und stellt neue Herausforderungen an das Qualifikations- und Tätigkeitsportfolio

¹ eine dezidierte Begriffsklärung findet sich im Kapitel 3.1

von Facharbeiterpersonal in betrieblichen Kontexten (vgl. Padur, T. / Zinke, G.: Digitalisierung der Arbeitswelt – Perspektiven und Herausforderungen für eine Berufsbildung 4.0. In BWP 6/2015, BiBB). Dabei handelt es sich um eine spezialisierte Form technischer Bildung, welche an technische Spezialisten adressiert ist. Weiterführende Auswirkungen auf den industriellen Bereich werden in einer Studie zu Qualifikationsbedarfen im Kontext des Internet der Dinge von Dworschak (2015) und Windelband beschrieben.

Als Resümee aus diesen Entwicklungen wird für die obligatorische Schule im Lehrplan 21 (LP21) vorgegeben, dass die Schülerinnen und Schüler Vernetzungen und Zusammenhänge verstehen sollen um sich an der nachhaltigen Gestaltung der Zukunft beteiligen zu können (LP21, S 19). Diese Forderung ist nicht neu und wird seit der Entwicklung der Informationstechnik permanent gestellt (vgl. Fend 1980). Somit fungiert das obligatorische Schulwesen in einer Fokussierung auf die beiden zuvor genannten Aufträge als Qualifikations- und Sozialisationsinstitution. Die Anliegen Technischer Bildung wollen in einer mehrdimensionalen Ausrichtung verstanden werden. Sie soll Schülerinnen und Schüler zu einer umfassenden Teilhabe in der Gesellschaft befähigen, sie gleichzeitig auch mit den für den berufsbildenden Bereich für notwendig erachteten Kompetenzen ausstatten. Mitangesprochen ist hierdurch eine Doppelfunktion des obligatorischen Schulwesens, welche sich auch in Diskursen zur MINT-Bildung spiegelt (vgl. Akademien der Wissenschaften Schweiz 2012): einerseits geht es um einen an alle Gesellschaftsmitglieder adressierten Grundbildungsanspruch (im Sinne einer Allgemeinen Technischen Bildung), andererseits um Fachkräftesicherung für den Wirtschafts- und Wissenschaftsstandort Schweiz (im Sinne einer speziellen Technischen Bildung). Die folgende Graphik (Abbildung 1) visualisiert diesen Zusammenhang.



2. Analyse des Lehrplans 21 im Kontext von relevanten Themen des digitalen Wandels

Die Analyse des Lehrplans 21 (vgl. D-EDK 2016) erfolgt vor dem Hintergrund einer Studie zu den Qualifikationsanforderungen zukünftiger Facharbeiterinnen und Facharbeiter mit einschlägigem industriellem Bezug. Im Folgenden wird diese Studie vorgestellt, um dann darauf aufbauend den LP 21 zu analysieren.

2.1 Qualifikationsanforderungen der Industrie

Im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung führte das Forschungsinstitut Betriebliche Bildung (f-bb) eine Untersuchung zu zukünftigen Qualifikationserfordernissen von Fachkräftepersonal im Kontext zunehmend digitalisierter betrieblicher Produktion durch. Das Studiendesign wurde dreistufig gegliedert. Mittels betrieblicher Fallstudien erfolgt in der ersten Stufe die Bestimmung von Anwendungsbereichen für das Internet der Dinge. Stufe zwei dient der Erstellung von Anforderungsprofilen in zukünftigen Anwendungsfeldern. In Stufe drei werden darauf bezogene Qualifikationsanforderungen von Facharbeiterpersonal abgeleitet (vgl. f-bb-Studie: Achtenhagen, C./ Zeller, B. (2011), S.17). Methodisch wurde ein kooperatives Analyseverfahren (Zusammenführung unterschiedlicher qualitativer Erhebungselemente wie Dokumentenanalyse, Expertinnen- und Experteninterviews, Arbeitsplatzbeobachtungen) gewählt (vgl. ebd., S.14).

Die Forschungsgruppe des f-bb kommt zum Schluss, dass sich neue Anforderungen an Facharbeiterpersonal ergeben. Sie identifizieren insbesondere Maschinenbedienerinnen, -betreiberinnen und -instandhalterinnen bzw. Maschinenbediener, -betreiber und -instandhalter, als Berufsgruppen, welche durch einen Wandel des Aufgabenspektrums von veränderten Qualifikationsbedarfen betroffen sein werden (vgl. Achtenhagen/ Zeller 2011, S.5). Es zeigen sich in den oben genannten Berufsgruppen fachliche und überfachliche Qualifikationsbedarfe.

Hinsichtlich *fachlicher Qualifikationen* zeigen sich Bedarfe insbesondere im Bereich fachlich-technologischer und fachlich-sprachlicher Kompetenzen:

- kombinierte Mechanik-, Elektronik und IT-Kenntnisse, z.B. Denken in vernetzten Systemen, Programmierkenntnisse und mechatronischer Kenntnisse,
- Kenntnisse bezüglich Netzwerktechnologien,
- Kenntnisse im Bereich Funk- und Übertragungstechnologien,
- fachspezifische Englischkenntnisse,
- Kenntnisse der Verfahrenstechnik, insbesondere Werkstoffe (vgl. ebd., S.6).

Dabei ist die Ausprägung dieser spezifischen Qualifikationen von der Beschäftigungsgruppe abhängig und kann in der inhaltlichen Tiefe variieren.

Innerhalb *überfachlicher Qualifikationen* zeigen sich neue Anforderungen insbesondere im Bereich methodischer, sozialer und personaler Kompetenzen, welche ähnlich der fachlichen Qualifikationen nach Berufsbild in Umfang und Tiefe unterschiedlich ausfallen können. Hier sind zu nennen:

- Fähigkeiten und Methoden, um Produktionsabläufe zu überblicken,
- Analysefähigkeiten,
- Kompetenz zum Umgang mit abstrakten Informationen,
- Fähigkeit zur Informationsbeschaffung,
- Organisationsfähigkeit,
- Nutzung neuer Kommunikationswege,
- Stressbewältigung,
- Teamfähigkeit (vgl. ebd., S.7).

Die durch die Studie ausgewiesenen fachlichen und überfachlichen Bedarfe werden im Folgenden zur Grundlage für die Gegenüberstellung von den Anforderungen der Industriellen und Wirtschaftlichen Entwicklungen (Industrie 4.0) sowie den Kompetenz- und Fachbereichen bzw. Modulen im LP 21 genommen. Die Analyse soll Bezüge zwischen Anforderungen und Bezügen im LP 21 sichtbar machen. In Klammern sind ggf. Kürzel bzw. Nummerierungen der jeweiligen Kompetenzen aus dem LP 21 angegeben. Es handelt sich um grundlegende Kompetenzbeschreibungen, welche einen Beitrag zur Bewältigung der Herausforderungen zukünftig in hohem Masse digitalisierter (Lebens- und) Arbeitswelten leisten können.

2.2 Fachliche Kompetenzen

Die Analyse des LP 21 erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurde der LP 21 auf generelle Bezüge zum digitalen Wandel der Gesellschaft hin analysiert und es werden etwaige Kompetenzen aufgeführt. In einem zweiten Schritt wurden die identifizierten und infrage kommenden fachlichen Kompetenzen den genannten Anforderungen der speziellen beruflichen Anforderungen, gemäss der oben vorgestellten Studie so weit wie möglich zugeordnet.

Tabelle 1: Fachliche Anforderungen im Kontext der digitalen Neuausrichtung und deren geforderte Umsetzung im Lehrplan 21

Fachliche Anforderungen im Kontext der digitalen Neuausrichtung (gemässe f-bb-Studie, vgl. 2.1)	Bezüge im LP 21
kombinierte Mechanik-, Elektronik und IT-Kenntnisse	Im LP 21 finden sich Kompetenzbeschreibungen, die sich gesondert auf Inhalte in der Mechanik, Elektronik und Informationstechnologie verorten lassen, nicht aber auf kombinierte Sachverhalte, etwa der Mechatronik oder der Programmierung von SPS Systemen, etc.
Kenntnisse bezüglich Netzwerktechnologien	Modul Medien und Informatik: Kompetenzbereich Informatik Die Schülerinnen und Schüler verstehen Aufbau und Funktionsweise von informationsverarbeitenden Systemen und können Konzepte der sicheren Datenverarbeitung anwenden. (MI.2.3)
Kenntnisse im Bereich Funk- und Übertragungstechnologien	---
Kenntnisse der Verfahrenstechnik, insbesondere Werkstoffe	---
fachspezifische Englischkenntnisse	---

Die fachlichen Anforderungen zur Bewältigung des Digitalen Wandels lassen sich im LP 21 mehrheitlich nicht verorten. In ihren Beschreibungen weichen die Anforderungen und die im LP21 aufgeführten Kompetenzen erheblich voneinander ab.

2.3 Überfachliche Kompetenzen

Der LP 21 geht von sozialen, methodischen und personalen Kompetenzen als überfachliche Kompetenzen aus (vgl. D-EDK 2016). Die einzelnen Bereiche lassen sich nicht trennscharf voneinander abgrenzen, vielmehr ergeben sich Überschneidungen. Die Kompetenzbereiche sollen im Laufe der gesamten Schulzeit entwickelt werden und sind jeweils in die einzelnen Fachbereiche integriert. So soll die Basis für eine erfolgreiche Lebensbewältigung gelegt werden (vgl. ebd.).

Stellt man die in der digitalen Transformation für erforderlich erachteten überfachlichen Kompetenzen den methodischen, sozialen und personalen Kompetenzen des LP 21 gegenüber, zeigen sich Schnittmengen. Die unten aufgeführte Tabelle beschreibt die Zuordnung beider Bereiche.

Tabelle 2: Überfachliche Anforderungen im Kontext der digitalen Neuausrichtung und deren geforderte Umsetzung im Lehrplan 21

Fachliche Anforderungen im Kontext der digitalen Neuausrichtung	Bezüge im LP 21
Fähigkeiten und Methoden, um Produktionsabläufe zu überblicken	Diese Anforderung findet sich nicht explizit im LP 21. Es ist aber davon auszugehen, dass die im LP 21 aufgeführten grundlegende Analysefähigkeiten und Fähigkeiten im Bereich der Informationsbeschaffung, -strukturierung und -auswertung sowie sinnentnehmende Lesekompetenz zur Bewältigung etwaiger Anforderungen beitragen.
Analysefähigkeiten und Kompetenz zum Umgang mit abstrakten Informationen	<p>Die Schülerinnen und Schüler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • können die gesammelten Informationen strukturieren und zusammenfassen und dabei Wesentliches von Nebensächlichem unterscheiden (LP 21, S.34) • können Informationen vergleichen und Zusammenhänge herstellen (vernetztes Denken) (LP 21, S.34) • können die Qualität und Bedeutung der gesammelten und strukturierten Informationen abschätzen und beurteilen (LP 21, S.34) • können bekannte Muster hinter der Aufgabe/dem Problem erkennen und daraus einen Lösungsweg ableiten (LP 21, S.34)
Fähigkeit zur Informationsbeschaffung	<ul style="list-style-type: none"> • können Informationen aus Beobachtungen und Experimenten, aus dem Internet, aus Büchern und Zeitungen, aus Texten, Tabellen und Statistiken, aus Grafiken und Bildern, aus Befragungen und Interviews suchen, sammeln und zusammenstellen (LP 21, S.34)
Organisationsfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • können Ziele für die Aufgaben und Problemlösungen setzen und Umsetzungsschritte planen (LP 21, S.34)

	<ul style="list-style-type: none"> • können sich in neuen, ungewohnten Situationen zurechtfinden (LP 21, S.32) • können Lern- und Arbeitsprozesse durchführen, dokumentieren und reflektieren (LP 21, S.34)
Stressbewältigung	<ul style="list-style-type: none"> • können Strategien einsetzen, um eine Aufgabe auch bei Widerständen und Hindernissen zu Ende zu führen (LP 21, S.32)
	<ul style="list-style-type: none"> • können Herausforderungen annehmen und konstruktiv damit umgehen (LP 21, S.32)
Nutzung neuer Kommunikationswege	<ul style="list-style-type: none"> • Können Informationen [...] aus dem Internet [...] aus Texten, Tabellen und Statistiken, aus Grafiken und Bildern, aus [...] sammeln und zusammenstellen (LP 21, S.34)
	<ul style="list-style-type: none"> • können sprachliche Ausdrucksformen erkennen und ihre Bedeutung verstehen (LP 21, S.34)
Teamfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • können Gruppenarbeiten planen (LP 21, S.33)
	<ul style="list-style-type: none"> • können verschiedene Formen der Gruppenarbeit anwenden (LP 21, S.33)
	<ul style="list-style-type: none"> • können sachlich und zielorientiert kommunizieren (LP 21, S.33)

Im LP 21 finden sich für alle Anforderungen der digitalen Transformation im überfachlichen Bereich entsprechende methodische, soziale oder personale Kompetenzen. Ausdrücklich wird im LP 21 darauf verwiesen, dass einige überfachliche Kompetenzen in der obligatorischen Schule angebahnt und im Zuge Lebenslangen Lernens weiterentwickelt werden sollen (D-EDK 2016). In diesen Anspruch kann die berufliche Bildung des tertiären Bildungssystems (berufliche Grundbildung) integriert werden, indem abnehmende Akteure und Institutionen den Kompetenzerwerb von Schulabgängern weiter unterstützen, insbesondere in Zeiten zunehmender Digitalisierung in beruflichen (und nichtberuflichen) Kontexten.

2.4 Zwischenfazit: Analyse des Lehrplan 21

Dem obligatorischen Schulwesen der Sekundarstufe I sind enge Grenzen bezüglich zu entwickelnder fachlicher Kompetenzen mit einschlägigem Bezug zur Digitalisierung in der Industrie gesetzt. Die obligatorische Schule vermittelt Fachkompetenzen im Rahmen neuer Qualifikationsanforderungen aus Sicht der Industrie 4.0 nur unzureichend. Dies lässt sich auf verschiedene Gründe zurückführen:

Erstens ist der Auftrag der Sekundarschule (Volksschule) in seiner allgemeinbildenden Charakteristik zu sehen, einem staatlich garantierten Recht auf Bildung für alle (vgl. Gudjons 2012, S.329). Diese Orientierung an grundlegenden allgemeinbildenden Bildungsgegenständen folgt nicht genug den Ansprüchen von Industrie

und Wirtschaft. Es ist bis heute weitestgehend unabgeschlossen diskutiert, inwieweit sich die obligatorische Schule den Bedarfen und Bedürfnissen der Arbeitswelt öffnen soll und muss. Einerseits besteht die Meinung, dass allgemeine Technische Grundbildung als flächendeckender Bildungsanspruch für alle Absolventen der obligatorischen Schule angesehen werden muss. Andererseits besteht aber auch die Meinung, dass Technische Bildung lediglich der vorberuflichen Orientierung dienen soll und somit auch nicht für alle Absolventen zwingender Bestandteil des schulischen Abschlusses zu sein braucht.

Zweitens sind im Rahmen entsprechender Qualifikationsanforderungen die nötigen strukturellen Voraussetzungen, insbesondere im Bereich technischer Bildung, nicht ausreichend entwickelt. Wie im Entwicklungsprozess des LP 21 von einigen Seiten angestrebt, jedoch im weiteren Entwicklungsverlauf nicht umgesetzt, bemängeln einige Fürsprecher ein eigenständiges Schulfach Technik, welches die Schülerinnen und Schüler auf den in hohem Masse technisierten Alltag als technikmündige Gesellschaftsmitglieder vorbereitet. Die Fachbereiche Natur und Technik, Wirtschaft, Arbeit, Haushalt und das Modul Medien und Informatik vermögen diese Lücke nicht zu schliessen. Dem Textilen und insbesondere Technischen Gestalten kommt hinsichtlich einer Allgemeinen Technischen Bildung eine besondere Bedeutung zu, wenn auch ohne Bezüge zu Arbeit und Produktion. Somit zeigen sich andererseits kaum Bezüge im LP 21 zur Berufs- und Arbeitswelt, welche auf die Veränderungen durch zunehmende Digitalisierung vorbereiten könnten. Das einzige ernst zu nehmende Zitat in diesem Zusammenhang beschreibt die Auseinandersetzung der persönlichen und beruflichen Zukunft der Schülerinnen und Schüler, welche sich die Voraussetzungen für die Wahl und die Realisierung ihres Bildungs- und Berufszieles erarbeiten sollen (LP 21, S. 19). Gemäss der Qualifikationsfunktion (u.a. Befähigung für das Beschäftigungssystem, vgl. Fend 1980, Gudjons 2012) von Schule ist hierin ein struktur-funktionales Defizit zu erkennen, welches sich auch in Diskursen zur Fachkräftesicherung spiegelt.

Im Bereich der überfachlichen Kompetenzen ergeben sich vielfältigere Überschneidungen zwischen den qua Schulauftrag der obligatorischen Schule festgelegten Kompetenzen und den Qualifikationsanforderungen des digitalen Wandels. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass die Beschreibungen zu sozialen, methodischen und personalen Kompetenzen allgemein gehalten sind. Zusätzlich wird auf die lebenslange Entwicklung (life-long-learning) überfachlicher Fähigkeiten, Fertigkeiten und Einstellungen von Seiten der deutschsprachigen Erziehungsdirektorenkonferenz hingewiesen (vgl. D-EDK 2016). Ausserdem ist davon auszugehen, dass die Entwicklungen in industriellen Kontexten einer rasanten Dynamik unterliegen und überfachliche Qualifikationen, insbesondere solche, die die Aneignung neuer Inhalte und das Lösen auftretender Probleme fokussieren, noch an Bedeutung gewinnen werden.

3. Analyse exemplarischer Themenbereiche zur digitalen Transformation anhand der VDI- Bildungsstandards Technik

Wie in der Analyse des LP 21 auf Grundlage der Qualifikationsbedarfe aus Industrie und Wirtschaft deutlich wurde, führt diese Stossrichtung nicht zu belastbaren Schnittmengen. Die Anforderungen zur Bewältigung industriell-beruflicher Herausforderungen auf den LP 21 zu übertragen, ist daher nur bedingt gegeben. Entsprechende Inhalte werden daher in der Regel nur von den wenigen Lehrpersonen behandelt, welche das genannte Dilemma erkannt haben und Abhilfe schaffen wollen.

Gleichzeitig erscheint die Thematik "digitale Transformation" einen profunden Bildungsgehalt im Sinne gegenwärtiger, zukünftiger und exemplarischer Bedeutung (vgl. Klafki 1958) aufzuweisen. Es ist danach zu fragen, inwiefern sich umfassend technikbezogene Kompetenzen und Inhaltsbereiche dem Unterrichtsgegenstand "digitaler Transformation" zuordnen lassen.

Zur Analyse des allgemeinen Teils technischer Bildung werden die Empfehlungen zu technischen Bildungsstandards des mittleren Schulabschlusses nach dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI 2007) herangezogen. Dies aus zweifachem Grund: erstens handelt es sich hierbei um ein in der Fachdidaktik etabliertes und anerkanntes Instrumentarium zur Klärung technikrelevanter Kompetenzen mit Allgemeinbildungsbezug. Zweitens schliesst das VDI-Kompetenzraster sowohl produktive wie nicht-produktive Situationsfelder ein.

Das VDI-Raster ist in die fünf Kompetenzbereiche Technik verstehen, Technik konstruieren und herstellen, Technik nutzen, Technik bewerten sowie Technik kommunizieren² unterteilt. Jedem Bereich sind fachwissenschaftliche und fachdidaktische Anforderungen (im Sinne professionellen Unterrichts, vgl. Baumert 2006) zugeordnet, sodass sich eine Matrixstruktur ergibt. Es handelt sich um eine hermeneutische Annäherung an Themenfelder mit Digitalisierungsbezug, insofern bleiben die Schülerinnen und Schüler mit ihren anthropogenen und soziokulturellen Voraussetzungen unberücksichtigt und das Postulat eines mehrperspektivischen Technikansatzes (Schmayl 2013) wird nicht vollumfänglich erfüllt. Allerdings macht diese Verkürzung die Kompetenzbereiche handhabbar, sodass aus diesem Anforderungsprofil die spezifischen Charakteristika mit einschlägigem Digitalisierungsbezug deutlich werden sollen. Darin verschränkt finden sich nicht nur Inhaltsbereiche, sondern auch Anregungen der zur Vermittlung notwendigen fachdidaktischen Kompetenzen bei Lehrenden wieder.

² Der Kompetenzbereich „Technik konstruieren und herstellen“ erscheint auf Grund seiner Komplexität in dem beschriebenen Zusammenhang von untergeordneter Relevanz und ist nicht berücksichtigt.

Bei der Analyse der Literatur hat sich die Zuordnung der vielfältigen Einzelkompetenzen im Bereich der Digitalisierung auf die übergeordneten Themenbereiche *Internet der Dinge*, *Sozio-technische Systeme* und *cyber-physische Systeme* als geeignete Einteilungsstruktur herauskristallisiert. Die Bereiche sind sicherlich als exemplarische und keinesfalls abschliessende Auswahl aufzufassen. Im Folgenden werden die Bereiche und ihre inhaltliche Definition jeweils kurz skizziert, darauf folgend werden fachwissenschaftliche und fachdidaktische Anforderungen an die Bildung ausgewiesen. Diese wurden von dem Forscherteam auf Grund der Literaturrecherche und dem Stand der Entwicklungen erarbeitet. Bei der Formulierung der einzelnen Kompetenzen hat sich gezeigt, dass sich oftmals fachwissenschaftliche und fachdidaktische Aspekte nicht trennen lassen. Abschliessend wird ein Zwischenfazit bezüglich der Schülerinnen und Schüler sowie der Lehrerinnen und Lehrer gezogen.

3.1 Themenbereich Internet der Dinge

3.1.1 Anforderungen an die Menschen

In vielfältigen Zusammenhängen sind heute "smarte" Artefakte präsent. In Haushalt, Freizeit und Beruf sorgen vernetzte technische Anwendungen für Transformationsprozesse und beschleunigen diese. Der Computer als eigenständiges technisches Gerät wird zunehmend durch unsichtbar in weitere technische Objekte integrierte autonome Computer ergänzt. Digitale Logik und Sensorik schaffen dabei neue Möglichkeiten der Vernetzung (vgl. Fleisch/ Mattern 2005), einerseits in produktiven, bspw. in Industrie und Wirtschaft, andererseits in nicht-produktiven Situationsfeldern, z.B. im Freizeit- oder Haushaltsbereich.

Zur Vereinheitlichung der vielfältigen Zusammenhänge, in denen intelligente technische Objekte und Umgebungen eine Rolle spielen, hat sich der Sammelbegriff "Internet der Dinge" (kurz: IdD) durchgesetzt. Gemeint sind damit sowohl Zielrichtungen im Sinne von Prozessoptimierungen im Bereich "der industriellen Produktion und Logistik, des Transports, der Verwendung durch Endanwender und der Weiterverwendung am Ende der Lebensdauer" (Kenn 2016, S.30) als auch die Fokussierung auf eine engere technische Dimension, die miteinander vernetzte "Geräte, Verfahren und Dienstleistungen unter dieser Bezeichnung zusammenfasst" (ebd., S.30).

Insbesondere für den Alltagsbereich zeigt sich eine neue Qualität im Umgang und der Nutzung intelligenter technischer Objekte in vernetzten Umgebungen, wodurch eine "Verbindung zwischen der physischen Welt der Dinge und der virtuellen Welt der Daten geschaffen wird" (Dt. Bundestag/ Wissenschaftliche Dienste 2012). So lassen sich einige Anwendungen aus dem Bereich Alltag nennen, etwa "Autos, Geräte der Unterhaltungsindustrie, Konsumgüter, Stromzähler, Objekte im Gesundheitswesen oder sogar Kleidungsstücke, die über das Netz angesteuert werden und selbständig miteinander kommunizieren können" (ebd.).

Die technische Grundlage bieten miteinander über Funk kommunizierende Mikroprozessoren, welche in den jeweiligen Gegenständen eingebaut sind. Durch Sensor- und Aktortechnik sind die digitalen Miniaturcomputer in der Lage, ihre "Umgebung" wahrzunehmen, die gewonnenen Informationen zu verarbeiten, mit anderen Objekten oder Netzwerken zu kommunizieren und auch selbst Aktionen auszulösen. Sie werden zu intelligenten technischen Objekten, welche sich durch die zwei Schlüsselaspekte Vernetzung und Autonomie kennzeichnen lassen" (vgl. Dworschak/ Zaiser/ Achtenhagen, 2011).

3.1.2 Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Aspekte

Auf die für das Individuum bedeutsamen gesellschaftlichen und beruflichen Veränderungen hat die Schule qua Auftrag im Sinne der Sozialisations- und Qualifikationsfunktion vorzubereiten (vgl. LP 21, S. 19). Im Folgenden sind Bezüge des IdD dem in der Fachdidaktik anerkannten Kompetenzmodell zur Technischen Bildung des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI 2007) gegenübergestellt. Dabei wird eine Zuordnung von Bezügen des IdD zu den vier Kompetenzbereichen *Technik verstehen, Technik konstruieren & herstellen, Technik nutzen sowie Technik bewerten* vorgenommen (vgl. Tabelle 3) und anschliessend in 3.1.3 und 3.1.4 mit Blick auf Lernende und Lehrende expliziert.

Tabelle 3: Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Anforderungen aus dem Bereich „Internet der Dinge“ in ihrer Einordnung in die VDI-Kompetenzbereiche

Kompetenzbereiche VDI (2007)	Fachwissenschaftliche Anforderungen	Fachdidaktische Anforderungen (orientiert an EDK-Grundkompetenzen Naturwissenschaften 2011)
Technik verstehen	<ul style="list-style-type: none"> • zunehmende Vernetzung (Informationsaustausch, Datenübertragung, Selbstorganisierende Vernetzung) und b) Autonomie (Teil- und Vollautonomie) von intelligenten technischen Objekten verstehen • Stoff, Energie und Informationsverarbeitung am Beispiel des IdD verstehen • Grundlagen des IdD, beispielsweise Sender-Empfänger-Systeme wie die RFID-Technologie, Transponder, Code, Lesegerät, etc. verstehen • Grundlagen der Sensoren- und 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Fähigkeiten technische Hervorbringungen des IdD zu verstehen ³ • Ermöglichung eines Technikverständnisses mit Bezug zu IdD, insbesondere Funktion von Bauteilen in elektronischen und elektrotechnischen Schaltungen, Datenübertragung- und Speicherung • Aufnahme und Integration des Vorwissens und der Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler mit Blick auf das IdD • Entwicklung eines Technikver-

³ Die fett markierten Stellen orientieren sich an der ITEA (2000) und deren Formulierung technischer Literalität

	<p>Aktorentechnik verstehen</p> <ul style="list-style-type: none"> • allgemeintechnologische Grundlagen von Informationsverarbeitung (Wandlung, Speicherung, Transport) verstehen • Vernetzung zwischen realer und virtueller Welt verstehen • Zweck von IdD-Anwendungen verstehen • Wirkungen auf das Individuum, die Gesellschaft und Natur verstehen • Veränderungen im Alltag und der Freizeit durch intelligente "Dinge" (Artefakte) verstehen 	<p>ständnisses im Bereich der Sensoren- und Aktorentechnik</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vermittlung technologischen Wissens mit Bezug auf Sachsysteme (Klassifikationsmatrix) des IdD • Aufzeigen von Anwendungen vernetzter technischer Objekte in Haushalt, Freizeit und Beruf • Ermöglichung eines Technikverständnisses mit Bezug zu IdD, insbesondere auf Grundlage von Veränderungen in Alltag, Freizeit und Haushalt sowie bezogen auf Veränderungen, welche sich im Produktionssektor ergeben (bspw. Veränderung von Facharbeit,...)
Technik konstruieren & herstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Problemstellungen im Bereich des IdD erkennen • Problemstellungen mithilfe von bspw. Sensoren- und Aktorentechnik lösen • IdD-Anwendungen planen und realisieren, bspw. digitaltechnische Schaltungen für den Freizeit- und Haushaltsbereich entwerfen und umsetzen • Sicherheitsaspekte (Datensicherheit) involvieren • Entwürfe und Realisierungen optimieren, prüfen und testen 	<ul style="list-style-type: none"> • Grundlegenden Aufbau, Verständnis und Handlungsfähigkeiten im Umgang mit digitaltechnischen Problemstellungen fördern • technische Problemlösungen unter Einhaltung gegebener und zu wählender Kriterien unterstützen
Technik nutzen	<ul style="list-style-type: none"> • vernetzte Anwendungen in Freizeit und Alltag sachgerecht bedienen können • geeignete vernetzte "Dinge" (Artefakte) in unterschiedlichen Situationen des Alltag- und Freizeitbereichs auswählen • Datensicherheit bei der Nutzung beachten und einhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Fähigkeiten technische Hervorbringungen des IdD verantwortungsvoll zu nutzen und zu bedienen • Entwicklung eines über die bloße Anwendung hinaus reichenden Verständnisses • Entwicklung eines auch datensensiblen Umgangs technischer IdD-Lösungen
Technik	<ul style="list-style-type: none"> • technische Objekte im Bereich 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung von Fähigkeiten

<p>bewerten</p>	<p>des IdD anhand der Merkmale Vernetzung und Autonomie bewerten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auswirkungen auf Alltags- und Freizeitsituationen bewerten • Mensch-Technik-Bezüge anhand des IdD bewerten • Vernetzung zwischen realer und virtueller Welt kritisch bewerten • das IdD gemäss Sicherheitsaspekten (Datensicherheit, Datenschutz) bewerten • Chancen und Risiken dieser Entwicklung in Beruf, Freizeit und Alltag bewerten und einschätzen • Bewertungsperspektiven Auswahl: historisch, ökologisch, wirtschaftlich, sozial sowie human 	<p>technische Hervorbringungen des IdD angemessen zu bewerten</p> <ul style="list-style-type: none"> • Orientierungs- und Argumentationsfähigkeit aus Bereichen des IdD entwickeln • Anbahnen von Bewertungskompetenzen bezogen auf die Situationsfelder Beruf, Alltag und Freizeit, insbesondere mit Blick auf die Veränderungen durch Digitalisierung • Aufbau von Bewertungsfähigkeiten in funktionaler und ausserfunktionaler Ausrichtung • Bewertungskompetenzen in Hinblick auf technische Realisierungen des IdD anbahnen (Sachtechnik ebenso wie Sozio-technik) • SuS hinsichtlich der Datensicherheit sensibilisieren • Verständnis von und Bereitschaft zur Technikfolgeabschätzung unterstützen • Entwicklung von Bewertungsperspektiven und Kriterien mit Blick auf das IdD unterstützen
-----------------	---	---

3.1.3 Zwischenfazit Themenbereich Internet der Dinge in Bezug auf Schülerinnen und Schüler

Das Internet der Dinge stellt hohe Anforderungen an die technikbezogenen Kompetenzen möglicher Nutzender, welche die obligatorische Schule verlassen. Wie andere Gesellschaftsmitglieder sind sie als Kaufende, Nutzende und Folgebetroffene mit Technik konfrontiert. Dies schliesst private, berufliche und öffentliche Situationsfelder mit ein (vgl. Sachs 2001). Es gilt Kompetenzen im Sinne einer technischen Handlungsfähigkeit und bildungstheoretischer Mündigkeit zu fördern, die eine reflektierte Auseinandersetzung mit Aspekten des IdD ermöglichen und über eine rein funktionalistisch gedachte berufliche Ausrichtung hinausgehen. Über alle allgemeinbildenden VDI-Kompetenzbereiche (2007) des Wissens, Handelns und Bewertens hinweg zeigen sich Bezüge zum IdD. Dabei kann ein Schwerpunkt im Bereich der Technikbewertung als auch im Bereich eines angemessenen Technikverständnisses ausgemacht werden (Zielperspektive Wissen

und Bewerten, vgl. Tabelle 3). Hinsichtlich des Bereichs Technik konstruieren & herstellen kommt der Lösung von beispielsweise digitaltechnischen Problemstellungen eine besondere Bedeutung zu. Im Kompetenzbereich Technik nutzen ist überdies ein stark reflexiver Bezug zu erkennen. Es bestehen für die obligatorische Sekundarstufe wenige bis keine best-practise-Beispiele, die einen klaren inhaltlichen Zusammenhang zu einzelnen Kompetenzbereichen des VDI (2007) aufweisen. Für eine umfassende Bearbeitung des IdD als Bildungsgegenstand sind aus Entwicklungsperspektive weitere Beispiele fachdidaktisch zu fundieren, zu realisieren und in bestehende Unterrichtsszenarien zu transformieren, um die notwendigen Kompetenzen bei Schülerinnen und Schülern anzubahnen.

3.1.4 Zwischenfazit Themenbereich Internet der Dinge in Bezug auf Lehrerinnen und Lehrer

Das IdD als Bildungsgegenstand ist herausfordernd und erfordert von den unterrichtenden Lehrpersonen einerseits eine fundierte fachwissenschaftliche Kompetenz. Gerade in Hinblick auf den zu konstatierenden hohen Spezialisierungsgrad der Technik, der konstitutiven Digitaltechnik oder der prägenden Schlüsselmerkmale Autonomie und Vernetzung (vgl. Dworschak/ Zaiser/ Achtenhagen, 2011) sind Kompetenzen der Lehrperson im Bereich des Fachwissens voraussetzend. In der Unterrichtsforschung spricht man hierbei von content knowledge (kurz: CK) als Basis erfolgreichen Unterrichtens (vgl. Baumert/ Kunter 2006; Suhlmann 1991). Es ergeben sich fachliche Anforderungen, die ohne Anspruch auf Vollständigkeit entlang den Kompetenzbereichen des VDI (2007) in Tabelle 3 aufgeführt sind.

Darüber hinaus ist die fachdidaktische Expertise, als wesentlicher Teil des so genannten pedagogical content knowledge (kurz: PCK) bezeichnet, von sehr grosser Bedeutung. Es nimmt eine Schlüsselrolle bei der Vermittlung von Bildungsgegenständen ein und schliesst ausserdem voraussetzend unterrichtsrelevantes CK mit ein (vgl. Brunner 2006). Bildungsgegenstände um das Thema IdD sind wie oben skizziert, herausfordernd und müssen auf die jeweilige unterrichtliche Situation von der Lehrperson angemessen transferiert werden können. Im Einzelnen zeigen sich Handlungsaspekte in folgenden Kompetenzbereichen, welche durch Lehrpersonen initiiert und begleitet werden (in Anlehnung an ITEA⁴, 2000):

Entwicklung von Fähigkeiten, Fertigkeiten und Einstellungen bei den Schülerinnen und Schülern, technische Hervorbringungen des IdD

- zu verstehen,
- verantwortungsvoll zu nutzen und zu bedienen,
- angemessen zu bewerten.

Sowohl CK als auch PCK betonen Dimensionen im Professionswissen von Lehrpersonen und in vorliegendem Fall zur wirksamen Vermittlung von Bildungsgegenständen um das Thema IdD. Dementsprechend sollten die Kompetenzen der

⁴ ITEA steht für „Interantional Technological Education Association“

Lehrpersonen entlang der CK und der PCK gefördert werden. Möglichkeiten zur Unterstützung von Lehrpersonen bestehen beispielsweise in der fachwissenschaftlichen und insbesondere fachdidaktischen Weiterbildung (beispielhaft sind Zertifikatskurse sowie kursorische oder schulinterne Weiterbildungen zu nennen), in der Entwicklung von paradigmatischen Unterrichtseinheiten sowie von best-practice-Ansätzen.

Die grössten Herausforderungen bestehen darin, das für den allgemeinbildenden Teil Technischer Bildung wichtige Prinzip der Exemplarität angemessen zu berücksichtigen, wonach das Allgemeine im Besonderen durch die Lehrpersonen so aufbereitet werden muss, dass sich ein lernförderndes Angebot ergeben kann. Hierin kommt es im Idealfall zu einer Vermittlung zwischen den allgemeinen, auf das technische Objekt bezogenen Aspekten (beispielsweise in der Möglichkeit zur Identifikation übertragungsfähiger Strukturen, Prinzipien und Kategorien) und der Berücksichtigung der Lernenden mit ihren Interessen, Erfahrungen und Denkstrukturen (vgl. Schlagenhauf 2016).

3.2 Themenbereich Soziotechnische bzw. Mensch-Maschine Systeme

3.2.1 Anforderungen an die Menschen

Eine Haupteigenschaft der Weiterentwicklung und der Digitalisierung in der Industrie, der Wirtschaft und dem Dienstleistungssektor sind die zunehmende Autonomie und das technische Potenzial von Soziotechnischen Systemen (StS) (vgl. Frey und Osborne, 2015). Wo wir in der Vergangenheit Mensch-Maschine Systeme (MMS) auf der Grundlage ihrer physikalischen Fähigkeiten, z.B. Grob- oder Feinmotorik, beschrieben haben, werden entsprechende Maschinen heutzutage auch durch ihre kognitiven Fähigkeiten beschrieben, z.B. können sie bekannte Schemata wiedergeben, künstliche Intelligenz entwickeln, Fähigkeiten innerhalb ihrer eigenen Programmierung anpassen oder Interaktionen mit anderen Maschinen ausführen (Manyika et al., 2017).

Mit dieser Entwicklung wachsen aber auch Befürchtungen, dass die zunehmenden Fähigkeiten entsprechender Maschinen einen grossen Anteil an Arbeitsplätzen ersetzen werden, was wiederum zu einer Massenarbeitslosigkeit führen könnte (Tynan, 2017; McKinsey Global Institute, 2017). In diesem Zusammenhang werden oftmals Beispiele wie der automatisierte Flachmeerbergbau oder der automatisierte Lebensmittelvertrieb zitiert (ebd.). Einige Prognosen, die die zunehmende Angst vor der menschlichen Redundanz nicht ganz so drastisch darstellen, weisen stattdessen die Entwicklungs- und Innovationsprinzipien der StS als Erweiterung statt als Ersatz der menschlichen Fähigkeiten am Arbeitsplatz aus (O'Reilly, 2016). Unabhängig von den genannten Sichtweisen kann man davon ausgehen, dass die StS nicht nur am Arbeitsplatz, sondern auch im Haushalt und in allen weiteren menschlichen Alltagsbereichen eine zunehmende Rolle spielen.

Eine gewisse Herausforderung liegt bei der Ausprägung von Fähigkeiten, die technischen Entwicklungen angefangen vom niedrigen bis hin zum hohen Automatisierungspotential der StS und MMS zu verstehen. Auch gilt es ein kritisches Reflexionsvermögen im Hinblick auf aktuelle und zukünftige vernetzte technische Objekte zu entwickeln, z.B. Warenauslieferung von Drohnen, MOOCs (offene Massen-Online-Kurse an Universitäten), fahrerlose Assistenzsysteme im Verkehr oder halbautomatisierte bzw. vollautomatisierte Operationen in Spitälern (Manyika et al., 2017).

Basis der Soziotechnischen Systeme ist die Mensch-Computer-Interaktion (HCI, „Human Computer Interaction“). Hierunter gehören Sender-Empfänger-Systeme, Codierungsmöglichkeiten, Daten-Lesegeräte, Hardware/Software Schnittstelle, Sensoren- und Aktorentechnik (Whitworth und Ahmad, 2012). Wie bei allen Anwendungen im Bereich des "Internet der Dinge" ist das Verständnis wie Mensch und Maschine gemeinsam interagieren von hoher Bedeutung (Peters, 2017). Dieses wird benötigt, um das übergeordnete Potenzial (vorhersagbare körperliche Aktivitäten, z.B. die Datenverarbeitung), das mittlere Potenzial (unvorhersehbare körperliche Aktivitäten, z.B. die Verbindung von Nutzern und Schnittstellen) und niedriges Potenzial (Menschenführung, Entscheidungsfindung, die Planung kreativer Aufgaben) der StS/MMS-Automatisierung einschätzen zu können (Maguire, 2014; Manyika et al., 2017).

3.2.2 Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Aspekte

Die vorgeschlagenen Kompetenzen für Schüler und Schülerinnen und die fachdidaktischen Anforderungen für Lehrpersonen in Bezug auf StS und MMS wurden ebenfalls auf das VDI-Kompetenzmodell (VDI, 2007) zurückgeführt. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Dabei wird eine Zuordnung von Bezügen des MMS zu den vier Kompetenzbereichen *Technik verstehen*, *Technik konstruieren & herstellen*, *Technik nutzen* sowie *Technik bewerten* vorgenommen (vgl. Tabelle 4) und anschliessend in 3.2.3 und 3.2.4 mit Blick auf Lernende und Lehrende expliziert.

Tabelle 4: Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Anforderungen im Bereich „Soziotechnische Systeme“ in ihrer Einordnung in die VDI-Kompetenzbereiche.

Kompetenzbereiche VDI (2007)	Fachwissenschaftliche Anforderungen	Fachdidaktische Anforderungen (orientiert an EDK-Grundkompetenzen Naturwissenschaften 2011)
Technik verstehen	<ul style="list-style-type: none"> • Grundlagen der zunehmenden Autonomie und der technischen Potenziale von Maschinen (Technikentwicklung): von physischen Fähigkeiten (Grob- oder Feinmotorik, Mobilität) zu kogni- 	<ul style="list-style-type: none"> • Vermittlung technologischen Wissens mit Bezug auf physische und kognitive Fähigkeiten, insbesondere Funktionen der zunehmenden Autonomie von Maschinen

	<p>tiven Fähigkeiten (Muster wiedergeben, künstliche Intelligenz: selbst lernen, Interaktion mit anderen)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklungs- und Innovationsprinzipien der Technik, bspw. Erweiterung ("Augmentation") der menschlichen Fähigkeiten am Arbeitsplatz oder Ersetzen menschlicher Arbeit und Aktionen • Grundlagen der Aufgaben und Aktivitäten technikbezogener Fähigkeiten verstehen, welche im Rahmen der Automatisierung mehr oder weniger Möglichkeiten aufweisen • Grundlagen der Automatisierung und Mensch-Maschine Interaktion/ Schnittstelle (Human Computer Interaction, HCI), bspw. Sender-Empfänger-Systeme, Code, Lesegerät, Hardware/ Software Schnittstelle, Sensoren- und Aktorenteknik etc. verstehen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ermöglichung eines Technikverständnisses mit Bezug zu StS und MMS, insbesondere auf Grundlage von Veränderungen in Alltag, Freizeit und Beruf, auch bezogen auf Veränderungen, welche sich im Produktionssektor ergeben (bspw. Veränderung von Facharbeit, ...) • Entwicklung von Fähigkeiten, technische Hervorbringungen der StS und MMS zu verstehen • Anwendungen vernetzter technischer Objekte in Haushalt, Freizeit und Beruf aufzeigen • Aufnahme und Integration des Vorwissens und der Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler (SuS) mit Blick auf die MMS
<p>Technik konstruieren & herstellen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • "Einfache Maschinen/ Automaten entwerfen, bspw. Automaten mit erweiterten physischen Fähigkeiten (z.B. Arm) • Mit physischen Eingaben (joystick remote) und Programmen (Informationsaustausch) arbeiten • Im physischen Bereich: Entwürfe und Realisierungen der Arbeit im Hinblick auf mögliche Fehler und Probleme optimieren, prüfen und testen • Mit Entwürfen und Realisierungen der Arbeit im physischen Bereich sicher und fachgerecht umgehen • Sicherheitsaspekte der Automatisierung beachten / einhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • technische Problemlösungen entwerfen, welche die SuS mit Bezug zu StS und MMS zum konstruierenden Handeln anregt • Aufbau, Verständnis und Handlungskompetenzen im Umgang mit Mensch-Maschine Interaktion/ Schnittstelle (Human Computer Interaction, HCI) fördern • technische Problemlösungen unter Einhaltung gegebener und zu wählender Kriterien unterstützen
<p>Technik nutzen</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Den Zusammenhang zwischen sachgerechter Bedienung, Wartung und Pflege von Mensch- 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung eines über die bloße Anwendung hinausreichenden Verständnisses

	<p>Maschine-Systemen, sowie ihre Nutzung kennen und anwenden - nicht nur im Experten-, sondern auch im Nicht-Experten-Bereich</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundlagen des Arbeitsablaufs und der Betriebsgefahr der Mensch-Maschine-Systeme beschreiben, z.B. Unfallverhütung. Sicherheitsaspekte bei der Bedienung von Werkzeugen beachten und einhalten, die Notwendigkeit ihrer Stilllegung erwägen, Entsorgungen sachgerecht durchführen... 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung eines auch maschinensensiblen Umgangs mit technischen MMS-Lösungen
<p>Technik bewerten</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Chancen und Risiken der zunehmenden Autonomie und technischen Potenziale der Maschinen in Beruf, Freizeit und Alltag einschätzen, Potential für zunehmende Automatisierung (in Bezug auf Leistungssteigerung und Arbeitssituation), von "Industrie 3.0" hin zu "Industrie 4.0" • Bewertungsperspektiven auswählen: historisch, ökologisch, wirtschaftlich, sozial sowie human • Vorgegebene Bewertungen von MMS und StS und deren Kriterien nachvollziehen und aus der Perspektive des Produzenten, Anwenders und des indirekt Betroffenen beurteilen • Den Einfluss von Nicht-Experten am Entwurf und der Entwicklung von StS/ MMS beurteilen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verständnis von und Bereitschaft zur Technikfolgeabschätzung unterstützen, insbesondere mit Blick auf die Veränderungen durch Automatisierung • Entwicklung von Bewertungsperspektiven und Kriterien mit Blick auf StS und MMS unterstützen • Anbahnen von Bewertungskompetenzen, bezogen auf die Situationsfelder Beruf, Alltag und Freizeit, insbesondere mit Blick auf die Veränderungen durch Automatisierung • Bewertungskompetenzen in Hinblick auf technische Realisierungen der MMS und StS anbahnen (Sachtechnik ebenso wie Soziotechnik)

3.2.3 Zwischenfazit Themenbereich Soziotechnische Systeme / Mensch-Maschine Systeme in Bezug auf Schülerinnen und Schüler

Viele dieser Anforderungen, denen sich die Schülerinnen und Schüler in Bezug auf StS und MMS stellen müssen, beruhen auf einem fundierten Verständnis über die Prinzipien der Mensch-Computer-Interaktion (HCI). Dies schliesst - wie bereits

beim Internet der Dinge - ein Verständnis in allen Lebensbereichen, d.h. im Alltag, in der Freizeit und im beruflichen Bereich mit ein.

Das bereits zitierte Beispiel der Entwicklungen in der Waren- und Lebensmittelindustrie bei der Auszeichnung und Abrechnung von Produkten im Kontext von StS und MMS, zeigt die Notwendigkeit der Förderung von allgemeiner Technischer Bildung im soziokulturellen Aspekt. Dies bedeutet, dass die Schule ein über das grundlegende technische Wissen hinausreichendes Verständnis bezüglich der Auswirkungen auf die Gesellschaft ausprägen muss. Darunter fallen beispielsweise die Konsequenzen dieser Verfahren in Bezug auf die Entwicklungen auf dem Arbeitsmarkt oder auf die Analyse des Kaufinteresses von Kunden. Ebenso stehen in diesem Kontext systemische Dankweisen bei den Schülerinnen und Schülern, beispielsweise bezüglich des Lebenszyklus von StS-basierenden Produkten oder die Übertragbarkeit von technischen Lösungen in andere berufliche Situationen.

Im Unterricht sollten ausserdem Kompetenzen bezüglich der strukturellen und konstruktuellen Fertigkeiten gefördert werden. Hierunter könnte das Planen, Entwickeln und Fertigen von einfache Maschinen oder Automaten fallen, z.B. Robotersysteme mit erweiterten physischen Fähigkeiten wie Greifarme (Manipulatoren), Systeme mit besonderen physischen Eingabemöglichkeiten wie z.B. Joysticksteuerung oder die Programmierung von Systemen für die Übernahme von Aufgaben in vorhersehbaren und unvorhersehbaren Umgebungen z.B. der Informationsaustausch über Umgebungsvariablen. Auch sind in diesem Kontext Evaluationen zu bestehenden StS und MMS Umgebungen denkbar.

Ein weiterer wichtiger Unterrichtsinhalt ist das Thema Lobbygruppen und deren Einfluss auf die Entwicklung von StS und MMS. Dies lässt sich in besonderer Weise durch die Differenzierung von Experten (d.h. „Betreiber“) und Nicht-Experten (d.h. „einfacher Nutzer“) realisieren (vgl. Carayon, 2006). Dadurch können dringend benötigte Bewertungskompetenzen angebahnt werden, die in allen Situations- und Handlungsfeldern (Beruf, Alltag und Freizeit) mit Blick auf die Veränderungen durch Automatisierung zukünftig benötigt werden.

3.2.4 Zwischenfazit Themenbereich Soziotechnische Systeme / Mensch-Maschine Systeme in Bezug auf Lehrerinnen und Lehrer

Die fachdidaktische Herausforderung für Lehrpersonen ist es, die genannten möglichen Unterrichtsthemen im Sinne eines „Lehrszenarios“ zu nutzen, um technische Kompetenzen in den Schülern und Schülerinnen zu entwickeln bzw. diese dann auch zu bewerten. Dies könnte beispielsweise in forschend-entdeckenden Projekten realisiert werden. Ein Ziel dieser Projekte wäre u.a. die Entwicklung eines Verständnisses von StS und MMS und deren Auswirkungen auf die Erweiterung der menschlichen Fähigkeiten am Arbeitsplatz (O'Reilly, 2016).

Als mögliches Unterrichtsszenario wäre die Arbeit zu einem Projekt über halbautomatisierte Drohnen denkbar. Durch forschend-entdeckendes Lernen könnten

Lehrpersonen eine Lernsituation schaffen, in denen halbautomatisierte Drohnen in unterschiedliche kommerzielle Anwendungen integriert werden. Die Lernenden könnten zu diesem sehr aktuellen Thema z.B. verschiedene Alltagsszenarien entwickeln, in denen die neue Technik eine Rolle spielt. Alternativ wäre auch eine Gruppendiskussion möglich, in denen Schülergruppen verschiedene Lobbyisten repräsentieren und deren Meinung in einer so genannten „Fishbowl Diskussion“ (Matthes, 2002) wiedergeben.

Grundsätzlich setzt ein entsprechendes Engagement der Lehrerinnen und Lehrer aber ein fundiertes Fachwissen voraus. Dieses muss sich auf die Technischen Systeme im Einen und auf die Nutzbarkeit und Systemische Einbindung von StS und MMS im Folgenden beziehen. Entsprechende Kompetenzen lassen sich kaum im Selbststudium erwerben. Hierzu sind professionelle Weiterbildungen und im Idealfall evaluierte best practice Unterrichtsbeispiele notwendig.

3.3 Themenbereich Cyber-Physische Systeme

3.3.1 Anforderungen an die Menschen

Im Kontext der Digitalisierung von Geräten und Maschinen werden die digitalisierten Prozesse vor allem von sogenannten Cyber-Physischen Systemen bestimmt. Ein Cyber-Physisches System (CPS) *„...ist ein über ein Kommunikationsnetz verbundenes, eingebettetes System mit Sensoren und Aktoren, das flexibel auf externe Einflüsse reagieren kann. Dabei kann es mit anderen CPS, Aktoren oder Menschen im Rahmen eines Gesamtsystems Informationen austauschen und kooperieren“* (vgl. Manzei, Schleupner, & Heinze, 2016, S. 247)

Cyber-Physische Systeme bilden die technische Grundlage des digitalisierten Alltags. Ein bekanntes und weit verbreitetes CPS sind z.B. Navigationssysteme im Bereich der Mobilität. Moderne Navigationssysteme sind untereinander vernetzt und können so miteinander kommunizieren (die Vernetzung eines CPS mit anderen CPS wird auch als *system of systems* bezeichnet). Sich wiederholende Fahrtrouten werden erkannt, der/die Verkehrsteilnehmer/in wird rechtzeitig auf Verkehrsbeeinträchtigungen auf der Strecke hingewiesen, woraufhin alternative Routen vorgeschlagen werden.⁵

Ein CPS besteht aus einem physischen und einem virtuellen Anteil. Dabei machen Sensoren und Aktoren den physischen Anteil aus, welche in einem eingebetteten System (embedded system) Informationen aus der Umwelt wahrnehmen, in ihr agieren und so auf entsprechende Einflüsse reagieren. Die Verschmelzung des physischen mit dem virtuellen Anteil stellt eine Recheneinheit mit einem Softwarekern dar. Hier werden auf Grundlage von Algorithmen, also innerhalb eines vorgegebenen, programmierten Rahmens, Informationen aus dem physischen Bereich

⁵ <http://www.navi-tests.com/tipps/navigationsgeraete-funktionen/>

(Informationen aus der Umwelt) oder auch Informationen von anderen CPS (z.B. via Internet) ausgewertet, verarbeitet und mittels Aktoren (z.B. Displays, Lautsprecher etc.) verändert und wieder ausgegeben. (vgl. Manzei et al., 2016, S. 26); (acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2011, 2011, S. 13)

Vom Einsatz Cyber-Physischer Systeme können nicht nur Industrie und Wirtschaft profitieren. Innerhalb dieser Gruppe können z.B. neue Produkte, die an die Anforderungen und Wünsche der Kunden angepasst sind, effizienter und individueller hergestellt werden. Auch der modernen Gesellschaft wird damit eine neue Dimension der Dienstleistung, Datenverarbeitung und Interaktion zwischen Mensch und Maschine eröffnet. Im Alltag finden sich beispielsweise diverse CPS, welche als autonome Teilsysteme bzw. als Systeme von Systemen (system of systems) mit Menschen interagieren (vgl. Huber & Kaiser, 2015, S.681 ff). Allerdings bedarf es für das Verständnis, den Einsatz und den Umgang mit CPS einiger fachlicher und überfachlicher Kompetenzen.

Deutlich wird dies bei einfachen Entscheidungen, wie beispielsweise dem Abgleichen von Echtzeitdaten aus der Umwelt, welche mittels Sensoren wahrgenommen werden. Die Informationen könnten aus dem Internet generiert werden, welche von anderen CPS übermittelt werden. Dasselbe gilt auch bei ethischen Entscheidungen, die in kritischen Situationen getroffen werden müssen. Beispielsweise lassen sich hier von Menschen entwickelte Algorithmen für das autonome Fahren anführen, aufgrund derer sich ein CPS auch für ein Vorgehen entscheiden muss, welches im Ernstfall für einen Beteiligten gesundheitliche Konsequenzen nach sich ziehen kann (Auswahl des Systems vor einem unvermeidlichen Crash zwischen Frau mit Kinderwagen oder altem Mann). Cyber-Physische Systeme sind somit nicht nur von einem rein technischen Blickwinkel her zu betrachten, sondern gehen weit über eine bloße technische Betrachtung hinaus. Insbesondere der Bereich der Sicherheit von CPS zeigt, wie umfassend auch diese Thematik im Unterrichtsgeschehen der obligatorischen Schule behandelt werden muss: z.B. Sicherheit gegen Fehlfunktionen (safety), gegen Angriffe von aussen (security) und gegen einen unbefugten Zugriff auf private und vertrauliche Daten (privacy) (Manzei et al., 2016).

3.3.2 Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Aspekte

Ein Auszug an Kompetenzen, welche für einen grundlegenden Umgang mit CPS im Bereich der Bildung notwendig sind, werden nachfolgend ebenfalls in Anlehnung an das Kompetenzmodell zur Technischen Bildung des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI 2007) vorgestellt. Dabei wird eine Zuordnung von Bezügen des CPS zu den vier Kompetenzbereichen *Technik verstehen*, *Technik konstruieren & herstellen*, *Technik nutzen* sowie *Technik bewerten* vorgenommen (vgl. Tabelle 5) und anschliessend in 3.3.3 und 3.3.4 mit Blick auf Lernende und Lehrende expliziert.

Tabelle 5: Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Anforderungen im Bereich „Cyber Physische Systeme“ in ihrer Einordnung in die VDI-Kompetenzbereiche.

Kompe- tenz- bereiche VDI (2007)	Fachwissenschaftliche Anforderungen	Fachdidaktische Anforderung (orientiert an EDK- Grundkompetenzen Naturwis- senschaften 2011)
Technik verstehen	<ul style="list-style-type: none"> • Vernetzung einzelner Embedded Systems (oder auch Vernetzung mehrerer CPS zu einem "System of Systems") Teil-/Vollautonomie der CPS (Mensch kann innerhalb eines CPS agieren) • Grundlagen der Elektronik, Hardware (physischer Anteil in CPS) kennen und verstehen lernen • Datenübertragung- und Speicherung nach EVA-Prinzip (Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe von Daten/ Informationen): Rolle des Menschen/ der Umwelt bei Dateneingabe • Verarbeitung und Ausgabe von Daten (Embedded Systems, Schnittstelle zu Cyber-Anteil) • Schnittstelle zwischen virtueller (cyber) und physischer Welt: Cyberspace • Veränderungen im Alltag und der Freizeit durch "intelligente", eingebettete (embeded) Systeme verstehen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ermöglichung eines Technikverständnisses mit Bezug zu CPS, Vernetzung elektronischer Schaltungen/ Schaltungsnetze in Bezug auf Austausch von Informationen/ Daten • Aufnahme und Integration des Vorwissens und der Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler mit Blick auf physischen Anteil in CPS • Entwicklung eines Technikverständnisses im Bereich der Sensoren- und Aktorentchnik mit Fokus auf EVA-Prinzip • Vermittlung technologischen Wissens mit Bezug auf Sachsysteme (Klassifikationsmatrix) des CPS • Anwendungen vernetzter technischer Objekte in Haushalt, Freizeit und Beruf aufzeigen • Ermöglichung eines Technikverständnisses mit Bezug zu CPS, insbesondere auf Grundlage von Veränderungen in Alltag, Freizeit und Haushalt sowie bezogen auf Veränderungen, welche sich im Produktionssektor ergeben (bspw. Veränderung von Facharbeit,...)
Technik konstruieren & herstellen	<ul style="list-style-type: none"> • Problemstellungen mithilfe von Sensoren- und Aktorentchnik lösen • Digitale, vernetzte Schaltungen entwerfen, bspw. im Freizeit- und Haushalts- 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufbau, Verständnis und Handlungsfähigkeiten im Umgang mit digitaltechnischen Problemstellungen fördern • technische Problemlösungen entwerfen, welche die SuS

	<p>bereich</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitsaspekte (Datensicherheit) integrieren • Entwürfe und Realisierungen optimieren, prüfen und testen 	<p>mit Bezug zu CPS zum konstruktiven Handeln anregt</p> <ul style="list-style-type: none"> • technische Problemlösungen unter Einhaltung gegebener und zu wählender Kriterien unterstützen • Überprüfung der gesetzten Kriterien und mögliche Optimierung der Problemlösung
Technik nutzen	<ul style="list-style-type: none"> • Geeignete vernetzte, eingebettete Systeme in unterschiedlichen Situationen des Alltags- und Freizeitbereichs auswählen • Datensicherheit bei der Nutzung beachten und einhalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung eines über die bloße Anwendung hinausreichenden Verständnisses • Entwicklung eines datensensiblen Umgangs technischer CPS-Lösungen
Technik bewerten	<ul style="list-style-type: none"> • Auswirkungen auf Alltags- und Freizeitsituationen bewerten • Mensch-Technik-Bezüge anhand des CPS bewerten • Vernetzung zwischen realer und virtueller Welt kritisch bewerten • Das CPS gemäss Sicherheitsaspekten (Anwendungssicherheit mit Blick auf autonomes Handeln von CPS, Datensicherheit, Datenschutz) bewerten • Chancen und Risiken dieser Entwicklung in Beruf, Freizeit und Alltag einschätzen • Bewertungsperspektiven auswählen: historisch, ökologisch, wirtschaftlich, sozial sowie human 	<ul style="list-style-type: none"> • Anbahnen von Bewertungskompetenzen bezogen auf die Situationsfelder Beruf, Alltag und Freizeit, insbesondere mit Blick auf die Veränderungen durch Digitalisierung • Aufbau von Bewertungsfähigkeiten in funktionaler und ausserfunktionaler Ausrichtung • Bewertungskompetenzen in Hinblick auf technische Realisierungen des CPS anbahnen (Sachtechnik ebenso wie Soziotechnik) • Schülerinnen und Schüler hinsichtlich der Anwendungs- und Datensicherheit sensibilisieren • Verständnis von und Bereitschaft zur Technikfolgeabschätzung unterstützen • Entwicklung von Bewertungsperspektiven und Kriterien mit Blick auf CPS unterstützen
Technik kommunizieren	<ul style="list-style-type: none"> • Schaltpläne, technische Skizzen, technische Zeichnungen entwerfen und fachgerecht umsetzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Innovationsgehalt eines CPS gegenüber einfachen embedded Systems vermitteln

3.3.3 Zwischenfazit Themenbereich Cyber-Physische Systeme in Bezug auf Schülerinnen und Schüler

Um bei den Schülerinnen und Schülern ein grundlegendes Verständnis im Themenbereich CPS vermitteln zu können, bedarf es einer fundierten kognitiven Wissensgrundlage im Bereich der Digital- und Informationstechnik. In diesem Zusammenhang sind Kompetenzen notwendig, um das Prinzip der Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe von Daten und Informationen (EVA-Prinzip), welches grundlegend für CPS ist, verstehen, anwenden und reproduzieren zu können. Hierunter werden nicht nur klassische Ein- und Ausgabemedien verstanden, welche die Schülerinnen und Schüler in der Regel schnell beherrschen. Vielmehr zählt auch ein Grundverständnis der Risiken der verwendeten Übertragungstechniken, der strukturellen Möglichkeiten der Vernetzung entsprechender Systeme, der Inbetriebnahme und Einbindung entsprechender Systemkomponenten und der Abschätzung von Folgen und Risiken der zunehmenden Abhängigkeit der Technologien.

Für die obligatorische Schule im Kontext des LP 21 ist der Lerngegenstand eines klassischen CPS in der Regel ungeeignet, da eine Vernetzung verschiedener, eingebetteter Teilsysteme für ein CPS voraussetzend ist (Manzei et al., 2016). Dies ist bei der vertieften Auseinandersetzung mit der Thematik sehr aufwändig und mit hohen Anforderungen an die Schülerinnen und Schüler verbunden. Relativ problemlos sind jedoch die unterrichtliche Einbindung einfacher Lese- und Schreibgeräte zur Nutzung moderner Informationsmedien (Smart Devices, RFID-Lesegeräte, QR Code Reader, Eingabe-Oberflächen in Tablet-Software, usw.).

3.3.4 Zwischenfazit Themenbereich Cyber-Physische Systeme in Bezug auf Lehrpersonen

Auch für die Lehrerinnen und Lehrer ist ein fundiertes informations- und digitaltechnisches Knowhow notwendig. Um den technischen Ansprüchen eines CPS ausreichend gerecht zu werden, ist die Behandlung der Thematik der Cyber-Physischen Systeme erst in der Sekundarstufe interessant und relevant, bedarf allerdings eines hohen zeitlichen Planungs- und Durchführungsaufwandes. Des Weiteren ist die Bereitschaft zu einer permanenten Aktualisierung des eigenen Wissens eine wichtige Voraussetzung für die Integration möglicher unterrichtsrelevanter Themen. Da Lehrpersonen in der Regel einen hohen Workload bezüglich vielfältiger Themen im Unterricht haben, kann diese Wissensaktualisierung nur mit Hilfe entsprechender didaktischer Unterstützung von Hochschulen und Lehrmittelherstellern erfolgen.

Nicht zu vergessen sind auch die technischen Ausstattungen. An den Schulen selber muss entsprechende Hardware vorhanden sein, welche deutlich über die Bereitstellung von einfachen Computersystemen hinausreicht. Sinnvoll ist in diesem Kontext auch eine methodische Planung der unterrichtlichen Integration im Vorfeld. Entsprechende Technik sollte nicht nur im Demonstrationsversuch durch die Lehrperson verwendet werden, auch die Schülerinnen und Schüler sollen ihr

Wissen mittels praktischer Erfahrung festigen und somit sichern. Zunehmend mehr Angebote werden in diesem Bereich derzeit von den Lehrmittelherstellern und jungen start-up Firmen angeboten. Aber auch hier gilt bei der Auswahl der Themen eine exemplarische Auswahl.

3.4 Darstellung eines Kompetenzrasters für die obligatorische Schule

Das sich aus den drei beschriebenen Bereichen ergebende gesamte Kompetenzraster, wird in der folgenden Abbildung 2 in der Übersicht dargestellt (eine grafisch höher auflösende Tabelle befindet sich im Anhang unter den Punkten 7.1 bis 7.3).

Zu bedenken hierbei ist bei der Betrachtung der gesamten Struktur, dass vom Forscherteam keine umfassende unterrichtliche Integration gefordert wird. Die exemplarische Auswahl einzelner Kompetenzen wird im unterrichtlichen Geschehen durch die Ausstattung der Schulen vor Ort, die zur Verfügung stehenden Unterrichtskonzepte und durch die individuellen Voraussetzungen der Lehrpersonen beeinflusst. Da zum Zeitpunkt der Erhebung die zur Verfügung stehende Quantität und Qualität möglicher Konzepte zumindest im deutschsprachigen Raum noch sehr gering war, sind einmal mehr die Bereitschaft, Kreativität und didaktischen Fähigkeiten der Lehrerinnen und Lehrer gefordert.

4. Expertinnen- und Expertenbefragung zum Kompetenzraster: Vorgehen, Entwicklung und Ergebnisse

In diesem Kapitel wird das Vorgehen erörtert, mit dem das entwickelte Kompetenzraster auf Belastbarkeit überprüft wurde. Dazu wurde eine Expertenbefragung zu den erarbeiteten Kompetenzen, deren struktureller Einteilung und deren Relevanz innerhalb der nächsten 10 Jahre durchgeführt. Auf Grundlage theoretischer Überlegungen wurde ein zweistufiges Beurteilungsverfahren gewählt, das die Grundannahmen des Rasters berücksichtigt und das Verbreitungsgebiet im Fokus hält. Im ersten Schritt wurde daher die Befragung in Deutschland durchgeführt, da die VDI-Standards dort bereits etabliert sind. Im zweiten Schritt wurde die Befragung in der Schweiz durchgeführt. Die Auswertung wurde sowohl statistisch, als auch qualitativ vorgenommen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Befragung zusammengefasst dargestellt.

Im Anhang werden im Detail die Theorie einer Expertinnen- und Expertenbefragung erläutert sowie die relevanten Gütekriterien, wie etwa Unabhängigkeit der Urteilenden oder Übereinstimmungskoeffizienten beschrieben. Anschliessend wird die Befragungsmethode dargelegt und es werden die zu beurteilenden Variablen beschrieben. Danach erfolgt die umfassende Darstellung der Resultate. Abschliessend erfolgen die Diskussion und Interpretation der Ergebnisse.

4.1 Theorie

Nach Cuhls (1998) sollte eine Expertenbefragung auch mit statistischen Methoden analysiert werden. Hierfür haben wir unterschiedliche Übereinstimmungsscores gebildet, die Aufschluss über die Einigkeit der Urteilenden geben. Diese Scores sind im Anhang beschrieben und sind stets darauf ausgerichtet, zufällige Übereinstimmungen zu berücksichtigen. Die Übereinstimmungen können weiterhin auf verschiedenen Ebenen berechnet werden. Am Beispiel der vorliegenden Befragung heisst das, alle Urteile im Bereich *Technik verstehen* können einzeln verglichen werden oder zu einem Gesamtwert (z. B. Mittelwert) zusammengefasst werden und auf dieser Aggregatebene mit anderen Bereichen, wie etwa *Technik nutzen* gesamthaft verglichen werden.

4.2 Methode

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird die Vorgehensweise der Expertinnen- und Expertenbefragung dargestellt und erläutert, wieso ein zweischrittiges Verfahren mit Expertinnen und Experten aus Deutschland und der Schweiz für angemessen erachtet wurde.

4.2.1 Zweischnittiges Bewertungssystem

Die Evaluation des Kompetenzrasters erfolgte wie bereits genannt in einem zweischnittigen Verfahren. Während Schritt 1 wurde das Raster deutschen Expertinnen und Experten vorgelegt. Da die VDI-Standards in Deutschland als etabliert und akzeptiert gelten, besteht in diesem Schritt nicht die Gefahr, dass Urteile zur VDI-Systematik die Einschätzung der Kompetenzinhalte beeinflussen. Im zweiten Schritt sollten schweizerische Expertinnen und Experten eine Bewertung abgeben. Mit ihrer Einbettung in das schweizerische Bildungs- und Wirtschaftssystem wurde gewährleistet, dass eine entscheidende Praxis- und Umsetzungsrelevanz in der Beurteilung des Kompetenzrasters umgesetzt wird. Der Übergang von Schritt 1 zu Schritt 2 erfolgte ohne Veränderung des Rasters. Eine Übersicht findet sich in der folgenden Tabelle:

Tabelle 6: Stufen der Expertenbewertung

Domäne der Expertise	Stufe 1 Die deutsche Expertise	Stufe 2 Die schweizer Expertise
Fachpersonen im Bereich Technik Forschung zu techni- schen Unterrichtsentwick- lung Technikdidaktik	je 2 Personen	je 2 Person

Schritt 1: Die deutsche Expertise

Bewertungsexpertise: Die «deutsche» Expertise wurde in zweierlei Hinsicht angestrebt. In einem pragmatischen Sinne konnten die Evaluatoren, d.h. ein Teil der Autoren des vorliegenden Berichts, besonders gut auf deutsche Netzwerke zugreifen. Diese Gelegenheit sollte genutzt werden und kam in zweiter Linie auch der Bewertung der VDI-Standards zugute. Da das Kompetenzraster in seinen Aspekten (Technik verstehen, Technik bewerten etc.) an die VDI-Vorgaben angelehnt wurde, erschien es auch adäquat, dass deutsche Expertinnen und Experten die erarbeiteten Standards bewerten. Es ist davon auszugehen, dass sie die VDI-Vorgaben gut kennen und die Inhalte unabhängig von der VDI-Systematik beurteilen.

Expertinnen und Experten: Als Expertinnen und Experten wurden jeweils zwei Personen aus a) Technikdidaktik, b) Forschung zu Technischen Unterrichtsentwicklung und c) Fachpersonen im Bereich Technik (bspw. Ingenieure/ Ingenieurinnen) befragt. Es wurden also insgesamt sechs Personen befragt. Diese Bandbreite umspannt genuin fachliche, sowie schulorientierte Technik samt deren Erforschung.

Schritt 2: Die schweizerische Expertise

Da im vorangegangenen Schritt die Validierung der VDI-Standards im Vordergrund stand, wurde im zweiten Schritt die lokal nationale Angemessenheit der Inhalte geprüft. Hierfür wurden parallel zu Schritt 1 Expertinnen und Experten aus Fachdidaktik, Forschung und Fachwissenschaft befragt. Ihre Einschätzungen sollen gewährleisten, dass das Modell den schweizerischen Haltungen entspricht. Damit wird gewährleistet, dass ein normativer, deutsch-kultureller Bias die Implementierung in der Schweiz erschweren könnte.

4.2.2 Variablen und Bewertung

Das Raster zur Befragung der Personen enthielt 12 Felder (Cluster), drei Inhalte (z. B. Soziotechnische Systeme) und vier VDI-Standards. Jedes Feld des Rasters sollte von den Expertinnen und Experten bewertet werden. Die fünf Bewertungsaspekte waren dabei die fachdidaktisch und fachwissenschaftlich angemessene Beschreibung des Feldes sowie die Relevanz für den Übertritt in eine technische Berufsbildung in Anschluss an die Sekundarstufe 1 und die Einschätzung über die langfristige Bedeutung des Feldes.

Diese vier Variablen ergaben sich aus der schulischen Bedeutung, der Bedeutung transitionsorientierter Schulausbildung sowie dem Anspruch an ein nachhaltiges Raster in einem sich rasch entwickelnden Bereich.

Jede Variable sollte von den Expertinnen und Experten (sowohl im ersten wie im zweiten Schritt) differenziell bewertet werden. Entsprechend wurde jede Bewertung auf einem Kontinuum zwischen positiv und negativ bewertet (semantisches Differenzial). In der nachstehenden Abbildung 3 sind die Bewertungsweisen dargestellt. Neben der differentiell-quantitativen Angabe konnte auch ein offener Kommentar zum bewerteten Feld angegeben werden.

Bitte geben Sie Ihre Zustimmung an. Dieser Kompetenzcluster ist...		stimme völlig zu		weder noch			stimme völlig zu		
		---	--	-	0	+	++	+++	
	fachwissenschaftlich defizitär dargestellt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	hinreichend.
	im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	umsetzbar.
	irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	relevant.
	irrelevant zur Studienvorbereitung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	relevant.
	im Jahr 2030 überholt/ veraltet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	immernoch aktuell.

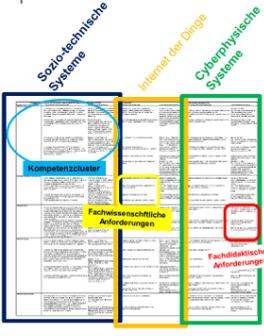
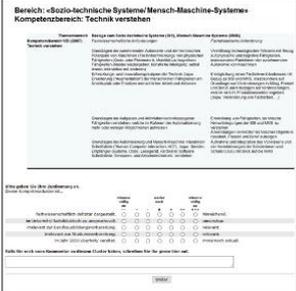
Falls Sie noch einen Kommentar zu diesem Cluster haben, schreiben Sie ihn gerne hier auf.

Abbildung 3: Bewertung durch Expertinnen und Experten

4.2.3 Vorgehensweise bei der Erhebung

Den Expertinnen und Experten wurde ein individueller Link zur online Befragung per E-Mail zugeschickt. Darin wurden sie dazu aufgefordert, an der Befragung teilzunehmen und sich die Instruktion genau durchzulesen. In der Tabelle 7 sind exemplarisch Screenshots der Instruktion dargestellt, wie sie die Expertinnen und Experten erhalten haben.

Tabelle 7: Screenshots der Instruktion während der Onlinebefragung (größere Darstellung im Anhang)

Seite 1: Begrüssung	Seite 2: Übersicht
<p>Herzlich willkommen! Mit Ihrer Expertise helfen Sie uns weiter!</p> <p>Sie wurden von Stefan Kruse gebeten, mit Ihrer Expertise einen Vorschlag eines Kompetenzrasters zur technischen Bildung zu evaluieren. Herzlichen Dank für Ihre Bereitschaft!</p> <p>Bevor es los geht, werden Sie über das Vorgehen informiert. Seien Sie sich immer darüber bewusst, dass zu keinem Zeitpunkt auf Ihre Identität geschlossen werden kann.</p> <p>Bei Fragen wenden Sie sich bitte an alexander.koch@fnhw.ch</p> <p>Bitte klicken Sie nun auf «Weiter»</p>	<p>Links sehen Sie das Kompetenzraster</p> <p>Sie werden gleich aufgefordert, jedes einzelne Feld des Rasters zu bewerten. Zuerst bewerten Sie bitte im dunkel blauen Themenbereich «Sozio-technische Systeme/ Mensch-Maschine-Systeme». Das geschieht jeweils einzeln für jeden Cluster (hell blau markiert).</p> <p>Im Anschluss bewerten Sie bitte auch die beiden weiteren Themenbereiche (Internet der Dinge & Cyberphysische Systeme).</p> <p>Ein Cluster besteht immer aus fachwissenschaftlichen Anforderungen (gelb) und fachdidaktischen Anforderungen¹. Beispielfhaft ist dies rot markiert.</p> <p>¹ Sie soll festgehalten werden, was Schürstinnen und Schüler, aber auch Lehrenden können sollen.</p> 
Seite 3: Erläuterung	Seite 4: Beispiel
<p>Themenbereich «Sozio-technische Systeme»</p> <p>Kompetenzbereich «Technik verstehen»</p> <p>Clusteranforderungen «fachwissenschaftlich & fachdidaktisch»</p> <p>Clusterbewertung</p> <p>Ihnen wird oben immer der Themenbereich (blau) eingeblendet, der Kompetenzbereich (orange), die Clusteranforderungen (grün) und die Bewertungsaspekte (rot).</p> <p>Bitte geben Sie pro Cluster Ihre Differentielle Zustimmung an. Hierfür werden Ihnen immer die identischen Gegensatzpaare gezeigt.</p> <p>Dies sind die fünf Bewertungskriterien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fachwissenschaftliche Korrektheit • Fachdidaktische Umsetzbarkeit • Relevanz zur Vorbereitung einer Berufsausbildung • Relevanz zur Vorbereitung eines Studiums • Zukünftige Haltbarkeit des Clusters 	<p>Originalbeispiel</p> <p>Links sehen Sie, wie die Befragung für Sie aussehen wird.</p> <p>Sobald Sie unten auf «Weiter» klicken, wird Ihre Antwort gespeichert und kann nicht mehr geändert werden. Auch ein «Zurück-Button» hat keinen Effekt.</p> <p>Nehmen Sie sich daher so viel Zeit wie nötig, um Ihre Bewertung einzutragen.</p> <p>Nun geht es los. Herzlichen Dank für Ihre Zeit!</p> 

4.2.4 Resultate

Im Folgenden werden separat die Ergebnisse des ersten und des zweiten Schrittes dargestellt. Zur Interpretation wurden als Masse der Expertinnen-/Experten-übereinstimmung R_{WG} und A_{DM} verwendet (siehe Anhang). Einschränkend ist jedoch zu bemerken, dass die Übereinstimmung mit steigender Anzahl an Bewertungskategorien unterminiert wird: Je mehr Bewertungskategorien, desto grösser die Wahrscheinlichkeit der Diskrepanz bzw. desto stärker die Annahme der hypothetischen Null-Gleich-Verteilung in r_{WG} . Zudem wurde zu jeder Einschätzung die

interne Konsistenz im Sinne von Cronbach-Alpha berechnet. Diese berücksichtigt die Bewertungsvarianz, geht jedoch nicht auf exakte Übereinstimmungen ein. Nachteilig ist hier, dass die Fallzahl der Bewertenden niedrig ist und deshalb die vorliegende Stichprobenvarianz von der Populationsvarianz abweichen kann. Diesem Problem ist durch zufälliges Stichproben-Sampling entgegenzukommen. Im vorliegenden Fall kann von einer Zufallsauswahl gesprochen werden, da kein Bias innerhalb einer Expertisegruppe zu erwarten war. Mit anderen Worten kann nicht erwartet werden, dass die befragten Expertinnen und Experten zu einer besonderen Beurteilung neigen. Dieser Möglichkeit wurde auch durch die Sicherung von Anonymität entgegengekommen.

4.2.5 Deutsche Perspektive (VDI-Aspekt orientiert)

Zunächst wurden die Übereinstimmungen der deutschen Expertinnen und Experten auf Einzelitemebene berechnet. Das heisst, dass es einen Übereinstimmungswert bezüglich jedes bewerteten Items gibt. Dies ist in der Tabelle 9 im Anhang dargestellt. In der Tabelle sind die Minimal- und Maximalbewertungen sowie die mittlere Bewertung so berechnet, dass der Zentralwert (weder noch Angabe) bei 4 liegt. Zum Beispiel entspricht die völlige Zustimmung zu einer defizitären Darstellung dem Wert 1, die völlige Zustimmung zu einer hinreichenden Darstellung dem Wert 7. Es zeigt sich, dass, je nach Übereinstimmungswert, bis zu 71% der Werte die geforderte Mindestschwelle erreichen ($>.70$ bzw. <1.17 ; siehe Anhang).

Auf Konstruktebene (= nächst höhere Aggregatebene) mitteln sich besonders gute und besonders schlechte Werte ein wenig aus. Dies zeigt sich in den Koeffizienten der Tabelle 10 im Anhang. Für die einzelnen Bewertungsbereiche (z. B. STS_TV: Soziotechnische Systeme, Technik verstehen) ergibt sich in 93% der Fälle eine zufriedenstellende Übereinstimmung der Expertinnen und Experten. Aggregiert man die Aspekte erneut in die Bereiche (also nur STS, IdD und CPS), dann sind alle zufriedenstellend reliabel und konsistent. Die Werte sind in im Anhang abzulesen.

Betrachtet man die Werte genauer, fällt auf, dass im Bereich Soziotechnische Systeme – Technik kommunizieren, fachwissenschaftliche Darstellung (STS_TKom1) der Cluster nach Einschätzung der deutschen Expertinnen und Experten fachwissenschaftlich defizitär dargestellt ist. Zudem besteht im Bereich Internet der Dinge – Technik kommunizieren (IdD_TKom1-5) eine grosse Uneinigkeit in den Beurteilungen der einzelnen Aspekte. Damit ist die Qualität des Clusters als vergleichsweise gering einzustufen. Der gesamte Bereich zu Cyber-Physischen Systemen wird überdurchschnittlich positiv bewertet. Dementsprechend erscheint er den Expertinnen und Experten als fachlich korrekt dargestellt, bildungsrelevant und zukunftsfähig.

Auf der nächst höheren Aggregatebene (Tabelle 11 im Anhang) erweisen sich alle drei Inhaltsbereiche sowohl positiv und konsistent bewertet als auch übereinstimmend eingeschätzt.

Da sich die Übereinstimmungen weitestgehend in einem guten Bereich bewegen, können die Einzelitems zu Konstrukten aggregiert werden. Dementsprechend werden Unterschiede zwischen den Expertisefeldern der Expertinnen und Experten berechenbar. Als Differenzierungsfaktor wurden die Expertisefelder *Forschung*, *Didaktik* und *Wirtschaft* verwendet (siehe Tabelle 11 im Anhang). Die Ergebnisse weisen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Expertisefeldern auf (siehe Tabelle im Anhang).

4.2.6 Schweizerische Perspektive (implementationsorientiert)

Zur Erfassung der Schweizer Expertise wurden jeweils zwei Expertinnen und Experten aus den Expertisefeldern Forschung, Didaktik und Wirtschaft gebeten, die Kompetenzbeschreibungen aus ihrer Sicht einzuschätzen. In der Tabelle 12 im Anhang sind die Übereinstimmungen auf der Ebene der Einzelitems dargestellt. Bis zu 87% der Werte weisen eine akzeptable Übereinstimmung auf.

Auf der ersten Aggregatebene fällt die Variabilität in den Einzelitembewertungen nicht mehr ins Gewicht. Hier erreichen die Übereinstimmungen beinahe zu 100% die Mindestwerte.

Ein Test auf Unterschiede zwischen den Expertisefeldern zeigt keine signifikanten Unterschiede, alle sind auf einem Niveau von $p=.368$ auf zufällige Unterschiede zurückzuführen.

Aus den Ergebnissen lässt sich ablesen, dass die schweizerischen Expertinnen und Experten in der Regel ähnlich auf einem leicht positiven Niveau urteilen. Die Übereinstimmungswerte bewegen sich meist in einem akzeptablen Bereich, die mittlere Beurteilung liegt in einer akzeptablen fachlichen Darstellung, einer praktikablen Umsetzbarkeit und einer Bildungs- wie Zukunftsrelevanz. Hervorzuheben ist, dass die Bewertung der fachdidaktischen Umsetzbarkeit im Bereich Cyber-Physische Systeme als eher zu anspruchsvoll eingestuft wird. Völlige Einigkeit besteht zudem im Bereich Soziotechnische Systeme – Technik bewerten. Alle Expertinnen und Experten erachten diesen Cluster als fachlich wie didaktisch gut dargestellt und relevant für die weitere Berufsausbildung von Schulabsolventen. Dissens herrscht hingegen bei der Bewertung zur Studienrelevanz des Clusters.

Die Tabelle 13 im Anhang zeigt außerdem, dass alle drei Inhaltsbereiche Potenzial zur Umsetzung in der Schule haben, die mittleren Bewertungen liegen bei $STS=4.83$, $IdD=4.91$ und $CPS=4.51$. Obschon die Bewertungen übereinstimmend sind, besteht im Bereich STS eine mangelnde Konsistenz. Das heisst, in der Dimension STS – Technik kommunizieren steht die Zukunfts- und Berufs-/ Studiumsorientierung der fachlichen Korrektheit und didaktischen Umsetzbarkeit entgegen.

4.2.7 Diskussion

Die Diskussion der Ergebnisse der Expertinnen- und Expertenbefragung wird in zwei Bereichen vollzogen. Zunächst werden die deskriptiven Resultate zusammengefasst und diskutiert, darauffolgend die Zusammenhänge.

Deskriptive Ergebnisse

Die deutschen Expertinnen und Experten bewerten die einzelnen Kompetenzcluster weitgehend homogen in einem leicht positiven Bereich. Das heisst sie sind sich einig, dass die Cluster fachwissenschaftlich akzeptabel dargestellt sind, sie im Unterricht umgesetzt werden können, sie relevant für eine Studiums- wie Berufsvorbereitung sein können und sie in Zukunft auch aktuell sein werden. Besondere Fälle sind jedoch die Beurteilungen der Cluster:

- Sozio-technische Systeme – Technik kommunizieren, fachwissenschaftliche Darstellung (STS_TKom1): Hier besteht der Eindruck, dass der Cluster fachwissenschaftlich defizitär dargestellt ist.
- Internet der Dinge – Technik kommunizieren (IdD_TKom1-5): Hier besteht eine grosse Diskrepanz zwischen den Beurteilungen der einzelnen Aspekte. Damit ist die Qualität des Clusters als vergleichsweise gering einzustufen.
- Der gesamte Bereich zu Cyber-Physischen Systemen wird überdurchschnittlich positiv bewertet. Dementsprechend ist er fachlich korrekt dargestellt, bildungsrelevant und zukunftsfähig.

Die Expertinnen und Experten aus der Schweiz neigen ebenfalls zu einer positiven Beurteilung der Cluster. Beachtenswert sind jedoch folgende Angaben im Bereich Internet der Dinge. Im Feld „Technik konstruieren und herstellen“ werden Defizite in der fachlichen Korrektheit und didaktischer Umsetzbarkeit gesehen.

Zusammenhangsanalysen

Die Übereinstimmungen auf Itemebene fallen in der Schweizer Expertise (Tabelle 13 im Anhang) etwas niedriger aus, als in der Deutschen Expertise (Tabelle 10 im Anhang). Ähnliches ist auf Aggregatebene der Fall.

Zudem zeigt sich, dass die deutsche Expertise konsistenter beurteilt, als die Schweizer Expertinnen und Experten. Das bedeutet beispielsweise eine hohe Bewertung der fachlichen Korrektheit geht mit einer höheren Bewertung der didaktischen Umsetzbarkeit sowie aller anderen Bewertungen einher. Da die Übereinstimmung in beiden Gruppen ähnlich hoch ist, lässt sich sagen, dass eine homogene, vergleichbare und reliable Bewertung der Kompetenzcluster vorliegt. Das heisst, die einzelnen Bewertungsdimensionen können zu Konstrukten aggregiert werden, die die Gesamteinschätzung anhand eines Mittelwertes beschreiben.

Die Kompetenzaspekte *Technik Bewerten* und *Technik Kommunizieren* unterscheiden sich offenbar systematisch zwischen den Expertisen der Länder. Während für die Deutschen die Beurteilungskriterien Fachlichkeit, Fachdidaktik, Be-

rufs-/ Ausbildungsvorbereitung und Nachhaltigkeit in der Regel positiv miteinander zusammenhängen, ergeben sich die folgenden negativen Zusammenhänge in der Schweizer Expertise:

- Im Bereich *Technik Kommunizieren* zeigen sich negative Korrelationen zwischen der Relevanz zur Studiumsvorbereitung mit der fachdidaktischen Umsetzbarkeit und der Berufsausbildungsvorbereitung.
- Im Bereich *Technik Bewerten* (IdD) korreliert die Vorbereitung zur Berufsausbildung ebenfalls stark negativ mit der fachdidaktischen Umsetzbarkeit, in der Deutschen Expertise ist ein stark positiver Zusammenhang vorhanden.

Gesamthafte Deutung und Empfehlungen für die Schweiz

Insgesamt ist die schweizerische Beurteilung des Kompetenzrasters etwas homogener als die der deutschen Expertinnen und Experten, gleichzeitig fallen die Urteile etwas weniger positiv aus. Aus einer Perspektive, die Technik in die schweizerische obligatorische Schule bringen soll, lässt sich fordern:

Der Inhaltsbereich Internet der Dinge hat aus Sicht der schweizerischen Expertinnen und Experten das grösste Potenzial zur Umsetzung in der obligatorischen Schule, da dies mit hoher Übereinstimmung, hoher interner Konsistenz und einer mittleren Bewertung von 4.91 beurteilt wurde. Dies wird durch die Daten der deutschen Expertinnen und Experten unterstützt, wobei das IdD bei ihnen auf dem zweiten Rang abschneidet. Die deutsche Expertise würde CPS am meisten für die Umsetzung stärken (siehe Tabelle 12 im Anhang).

STS - Technik bewerten sollte in Schule eingebracht werden, um Übergänge in berufliche Bildung zu glätten. Mit dem vorliegenden Kompetenzraster ist eine Möglichkeit geschaffen, die Inhalte didaktisch umsetzbar und fachlich korrekt in die Schule einzuführen. Auch Cyber-Physische Systeme können in die Schulausbildung einfließen. In beiden Bereichen bewerten die schweizerischen Expertinnen und Experten das Kompetenzraster positiv, übereinstimmend und konsistent.

Es scheint, als würde die Berufsvorbereitung der Unterrichtsimplicitation in der Schweiz entgegenstehen. Diese Hürde kann in einem verstärkten Austausch zwischen Schule und beruflicher Bildung verringert werden. Entsprechend orientierte Konzepte sollten erarbeitet werden, um die Zukunftsfähigkeit der Schule, aber auch der beruflichen Bildung zu gewährleisten.

5. Zusammenfassung, Empfehlungen und Resümee

5.1 Zusammenfassung

Die Arbeit innerhalb der Studie zog sich über ein gesamtes Jahr hin. Da bisher im Bildungsbereich nur wenig Aktivitäten im Bereich der digitalen Transformation im Kontext des Lehrplan 21 zu erkennen sind, wurde eine ausführliche Interpretation verwandter Aspekte vorgenommen. Die Ergebnisse wurden mit Kompetenzanforderungen aus bereits durchgeführten Studien im Rahmen der beruflichen Entwicklung verglichen. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse im Rahmen der bestehenden Struktur des VDIs erbrachte eine interessante Matrix, mit welcher konkrete Kompetenzen für das zukünftige Handeln der Schülerinnen und Schüler abgeleitet werden konnten.

Um die in einem kleinen Forscherteam erarbeiteten Resultate zu stärken, wurden diese jeweils einem nationalen und internationalen Gremium von Expertinnen und Experten der Bereiche Fachpersonen im Bereich Technik, Fachpersonen zur Forschung der technischen Unterrichtsentwicklung und Fachpersonen der Technikdidaktik zur Kommentierung und Bewertung vorgelegt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass dem entwickelten Kompetenzraster in sehr umfassender Weise zugestimmt wurde.

Auf dieser Basis lässt sich zusammenfassend attestieren, dass die obligatorische Schule mit ihrer Ausrichtung bei der Ausbildung der fachlichen Qualifikationen der Schülerinnen und Schüler im Kontext der digitalen Transformation derzeit noch unzureichend aufgestellt ist. Um für die Lebensbewältigung in der zunehmend digitalen Welt im öffentlichen, privaten und beruflichen Bereich gerüstet zu sein, sollte das Bildungssystem verstärkt in den Dialog mit jeweiligen Interessensverbänden treten und die im Folgenden ausgesprochenen Empfehlungen diskutieren.

5.2 Empfehlungen

Auf Grund des erarbeiteten Kompetenzrasters und der Einschätzungen der Expertinnen und Experten lassen sich Vorschläge für ein Problembewusstsein und möglicher längerfristiger Lösungsansätze zusammenfassen. Die folgenden Punkte können einerseits dazu beitragen die allgemeine Technische Bildung zu stärken, um die Schülerinnen und Schülern mit den Kompetenzen zur Bewältigung der Zukunft in der Digitalen Welt von Morgen auszustatten. Andererseits können sie aber auch innerhalb der obligatorischen Schule die vorberufliche Technische Bildung stärken, um notwendige Voraussetzung zur Bewältigung der digitalisierten Arbeitswelt zu initiieren. Vom lebenslangen Lernen wird seit langem gesprochen⁶ (vgl. Hausmann, 1972, S. 17). Dieses jedoch um die digitale Komponente zu ergänzen wird eine grosse Herausforderung für ein konkurrenzfähiges Land bedeu-

⁶ Einführung des Begriffe „lifelong education“ 1962 im Rahmen einer UNESCO Konferenz

ten (vgl. Studie „Ressource Weiterbildung“ der ManpowerGroup 2017). Wenn jedoch im Bildungssystem rechtzeitig die notwendigen Weichen gestellt werden, können mittelfristig alle Berufsfelder von digital kompetentem Personal profitieren.

- Aus der Analyse des Lehrplans 21 zeigt sich vor dem Hintergrund von analysierten Qualifikationsbedarfen im privaten, öffentlichen und beruflichen Bereich, ein Handlungsbedarf weniger hinsichtlich der überfachlichen Kompetenzen, als vielmehr im Bereich fachlicher Qualifikationen von Schulabgängerinnen und Schulabgängern. Im Rahmen der Qualifikationsfunktion der obligatorischen Schule, lassen sich folgende mögliche Handlungsbereiche aufzeigen:
 - Basis für die Ausbildung der benötigten Kompetenzen sind geeignete naturwissenschaftlich-technische Lernszenarien im Rahmen bestehender bildungspolitischer Vorgaben, welche z.B. auf die Industrie 4.0 oder die Technikfolgeabschätzung ausgerichtet sind. Entsprechende Beispiele oder unterrichtliche Umsetzungsmöglichkeiten liegen jedoch kaum vor und müssen daher dringend entwickelt werden.
 - Über die überfachlichen Kompetenzen hinaus hat sich jedoch auch ergeben, dass die inhaltliche Ausrichtung in Fächerverbänden nur bedingt geeignet ist für die Förderung von notwendigen fachspezifischen Grundkenntnisse in Mechanik, Elektronik und im IT Bereich. Die seit langem bestehende Forderung eines eigenen Schulfaches z.B. „Allgemeine Technische Bildung“ wird sich realistisch gesehen mittelfristig nicht umsetzen lassen. Aus diesem Grund ist eine verstärkte Förderung der Technischen Bildung in den entsprechenden Bereichen im LP 21 mit einer Ausrichtung auf die Digitalisierung dringend notwendig.
 - Auf Grund der Vielzahl an denkbaren unterrichtlichen Inhalten im Kontext der Thematik müssen paradigmatische naturwissenschaftlich-technische Unterrichtsbeispiele entwickelt werden. Inhaltliche Schwerpunkte im Rahmen des LP 21 könnten dabei z.B. im Bereich der Logischen Grundschaltungen, der Informations- und Steuertechnik oder der praktischen Anwendung von digitalisierten Artefakten im Alltag gesetzt werden.
 - Die Rückmeldung der Expertengruppen ergab als zusätzliche und bisher kaum beachtete Notwendigkeit, eine dringend notwendige Förderung der sprach- und fachsprachlichen Kompetenzen in Englisch. Da einerseits viele digitalisierte Anwendungen in ihrer ersten Nutzungsperiode in Englisch vorliegen, sollte im Sinne des Vorsprungs in einem zunehmend internationalen Wettbewerb die notwendige Sprachkenntnis früh und auch auf Fachsprache bezogen, ausgeprägt sein. Andererseits sind diese Kenntnisse im Besonderen jedoch bei der Planung, Entwicklung und Realisierung von innovativen Projekten in der späteren Berufswelt der Schülerinnen und Schüler unerlässlich. Die geforderte Kompetenzbildung sollte daher nicht nur zukünftige Nutzer, vielmehr auch die zukünftigen Entwickler berücksichtigen.

- Um adäquat auf die Anforderungen digitaler Transformationsprozesse im produktiven wie nicht-produktiven Sektor vorzubereiten, erscheint interdisziplinäres Denken und Arbeiten (vgl. Jungert 2010) aus Sicht der Technischen Bildung als sehr bedeutsam. Sinnvoll sind dabei in erster Linie die Nutzung von Ansätzen, Denkweisen und Methoden der verschiedenen an der technischen Bildung beteiligten Fächer und Fächerverbünde. Daher muss einem fächerverbindenden Unterricht im Kontext der naturwissenschaftlich-technisch orientierten Fächer und Fächerverbünde Raum gegeben werden. Insbesondere Sachverhalte mit klarem technischem Leitmotiv sind dabei zu stärken. Möglichkeiten hierzu bestehen an zahlreichen Stellen im LP 21. Dort wird dezidiert auf Querverweise inner- und ausserhalb des Fachbereichs Natur, Mensch und Gesellschaft hingewiesen, in welchem naturwissenschaftliche, technische, ethische, wirtschaftliche, arbeitsbezogene und politische Bezüge gesetzt werden können (vgl. D-EDK 2016). Dies würde auch die vielseitig gesetzte Forderung bezüglich einer Bildung für nachhaltige Entwicklung begünstigen. Insbesondere Anmerkungen der Experten bestätigen diese Annahme, da auch in Forschung und Industrie zunehmend die Grenzen der Disziplinen verschwimmen.
- Da viele Bereiche der Digitalen Transformation gesellschaftliche wie industrielle Bereiche tangieren, bieten sich Primärerfahrungen und Reflexionen im Feld an. So können auf Grund des oftmals engen Ausstattungskorsetts der Schulen auch ausserschulische Lernorte lernwirksame Arrangements abbilden, welche eine Begegnung mit den durch die Digitalisierung ausgelösten Veränderungen ermöglichen. Dies geht über eine rein vorberufliche Orientierung in Betrieben hinaus und betrifft ebenso die Auseinandersetzung mit Veränderungen im Alltags- und Freizeitbereich. Da diese Lernorte nicht den klassischen Bildungsstrukturen und den sich unausweichlich ergebenden Reglements, Einschränkungen und vorhandenen Verkrustungen im System unterworfen sind, könnten aus diesem Bereich frische Umsetzungsmöglichkeiten der Thematik, z.B. bisher noch nicht bearbeitete Themenfelder oder Bereiche mit direktem Bezug zu den Schülerinnen und Schülern genutzt werden. Die Menge der Kompetenzen in den Bereichen mit handelndem Umgang mit entsprechenden Medien und deren klare Einordnung im Bereich der Alltagssituationen bestätigen die Öffnung einerseits der inhaltlichen Themen, andererseits der möglichen Lernorte.
- Die Sensibilisierung und konsequente Weiterbildung von Lehrpersonen im Bereich fachwissenschaftlicher und fachdidaktischer Kompetenzen in Naturwissenschaften, Technik und Englisch sowie im fächerverbindenden Unterrichten erscheint von besonderer Relevanz und ist in beispielsweise kursorischen oder schulinternen Weiterbildungen zum Themenkomplex digitaler Transformation zu fördern. Hierzu muss früh ein Verständnis bei der nachkommenden Generation der Lehrpersonen geschaffen werden. Schwerer wird es sich gestalten, im bestehenden Bildungssystem ein Umdenken und eine Sensibilität gegenüber der Thematik zu schaffen. Dazu gehört sicherlich auch die Erhöhung des Angebots

an Fortbildungen der in der Schweiz sowieso schon hohen Fortbildungsbereitschaft der sich im aktiven Dienst befindlichen Lehrpersonen. Auch die Rückmeldungen der Expertengruppen bestätigen die Notwendigkeit der permanenten Weiterbildung, da die derzeitige Geschwindigkeit der technischen Innovationen in dem Bereich nicht mit einmal erlernten Wissenskonzepten über einen längeren Zeitraum weitergegeben können.

- Alles gut gemeinte Engagement bedarf immer auch einer entsprechenden Ausstattung. Diese ist im genannten Bereich einerseits in moderner Hard- und Software zu suchen, andererseits aber auch im Bereich von didaktisch aufbereiteten Unterrichtsmaterialien. So können konkrete Erfahrungen bei den Lernenden nicht nur in theoretischen Szenarien enden. Grundlegende Primärerfahrungen müssen von den Lernenden auch in der obligatorischen Schule erlernt werden. Im Bereich der Unterrichtsmedien und Lernmittel stehen zwar bereits einige Produkte zur Verfügung, diese müssen jedoch weg von einer speziellen technischen Grundbildung auf allgemeines und alltagsnahes Wissen ausgerichtet werden. Zu nennen wären an dieser Stelle Produkte wie Animal 4D, 4D Cars, Augment, IKEA Place, AR Circuits oder Augmented Reality breadboard circuit building. Als mögliche technische Umsetzungshilfen wären an dieser Stelle Gerätschaften wie Samsung Gear, die R7 smart glass, HTC Vive, Exe Tab, Microsoft HoloLens, Oculus Rift oder die PlayStation VR zu nennen.
- Um die Aus- und im Folgenden auch Weiterbildung der genannten Kompetenzen im Rahmen der klassischen Stundentafel an der obligatorischen Schule längerfristig bewerkstellig zu können, wird über die Menge der gesamten Unterrichtsinhalte diskutiert werden müssen. Da sich, abgeleitet aus dem Kompetenzmodell, der Umfang der möglichen, sinnvollen und notwendigen bildungsrelevanten Themen zwischen einer und vier Wochenstunden bewegt, steht es ausser Frage, dass der Rahmen der klassischen Stundentafel nicht ausreicht. Sicherlich wird die heikle Diskussion nach „ersetzbaren“ oder „reduzierbaren“ Unterrichtsinhalten oder gar Fächern viel Ärger mit sich bringen. Aber auch die Meinung der befragten Expertinnen und Experten lässt darauf schließen, dass die Digitale Transformation eine Neuausrichtung der allgemeinbildenden Inhalte der obligatorischen Schule notwendig machen wird. Um längerfristig eine realistische Verbesserung der digitalen Kompetenzen bei den Lernenden zu erzielen, wird diese Neuausrichtung nicht zu umgehen sein. Das zeitliche Problem kann nur durch Aussonderung verzichtbarer Bildungsinhalte, z.B. die 2. Fremdsprache oder noch zu benennenden Fachunterricht gelöst werden.

Eine realistische Einschätzung des unbestreitbaren Umbruchs in der Gesellschaft muss sich jedoch auch mit den bestehenden Risiken auseinandersetzen. So werden neben vielen Gewinnern der Digitalisierung auch zahlreiche Verlierer mit ganz neuen Lebenssituationen konfrontiert werden. Technikferne Gruppen innerhalb der Gesellschaft, bildungsferne Personen, an der Armutsgrenze lebende Men-

schen, kleine und mittelständische Firmen in wettbewerbsstarken Branchen, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in klassischen Berufen und sicherlich auch die ältere Generation werden ohne entsprechende Interventionen die Verlierer von morgen sein.

Andererseits besteht ohne entsprechende Grundkompetenzen die Gefahr des Verlusts der Privatsphäre, von systematischen Überwachungsstrukturen, einem zunehmenden Handel mit Daten und dem Entstehen von digitaler Legasthenie. Die Gesellschaft von Morgen muss sich einig werden, in wie weit sie ihre zunehmende Transparenz bis hin zum gläsernen Menschen zulassen möchte.

6. Nachweise

6.1 Literatur

- acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2011 (2011): Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer (acatech Position, 11), zuletzt geprüft am 11.04.2017.
- Achtenhagen, C./ Zeller, B. (2011). Zukünftige Qualifikationsanforderungen im "Internet der Dinge" in der industriellen Produktion. In: FreQueNz (Hrsg.). Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge in der industriellen Produktion. Summary. Forschungsinstitut Betriebliche Bildung f-bb: Nürnberg, S.5-9
- Akademien der Wissenschaften Schweiz (2012). Förderung der MINT-Kompetenzen zur Stärkung des Bildungs- Wirtschafts- und Wissenschaftsstandorts Schweiz. Bern
- B. doi:<https://doi.org/10.1016/j.leaqua.2011.11.006>
- Baier, D., & Kohler, T. (2008). Technikvorausschau mittels Repertory-Grid-Verfahren: Methodik und Praxisbeispiel. In M. G. Möhrle & R. Isenmann (Hrsg.), *Technologie-Roadmapping: Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen* (S. 427-442). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Baumert, J./Kunter, M. (2006). Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9(4), 469–520
- Biemann, Cole, & Voelpel (2012). Excel tool for computing within-group agreement and interrater reliability. Developed to accompany. Verfügbar: <http://www.sbuweb.tcu.edu/mscole/articles.html>, zuletzt eingesehen am 10.02.2017.
- Biemann, T., Cole, M. S., & Voelpel, S. (2012). Within-group agreement: On the use (and misuse) of rWG and rWG(J) in leadership research and some best practice guidelines. *The Leadership Quarterly*, 23(1), 66-80.
- Brunner et.al. (2006). Welche Zusammenhänge bestehen zwischen dem fachspezifischen Professionswissen von Mathematiklehrkräften und ihrer Ausbildung sowie beruflichen Fortbildung? *Z.f. Erziehungswissenschaften*. 9 (4), 521-544.
- Carayon, P. (2006). Human factors of complex sociotechnical systems. In: *Applied Ergonomics*, 37, 525-535.
- Cuhls, K. (1998). *Technikvorausschau in Japan: Ein Rückblick auf 30 Jahre Delphi-Expertenbefragungen*. Heidelberg: Physica-Verlag.
- Deutscher Bundestagaus/ Wissenschaftliche Dienste (2012). Internet der Dinge; zuletzt eingesehen am 28.02.2017
http://www.bundestag.de/blob/192512/cfa9e76cdcf46f34a941298efa7e85c9/internet_der_dinge-data.pdf.
- Deutschschweizer Erziehungsdirektoren Konferenz D-EDK (2016). Lehrplan 21. <http://v-ef.lehrplan.ch/>, zuletzt eingesehen am 10.08.2016
- Dworschak, B. / Windelband, L. : Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0. Anwendungsszenarien Instandhaltung und Leichtbaurobotik. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hrsg.): *Digitalisierung industrieller Arbeit*. Nomos Verlag, Berlin 2015, S. 71 – 86.
- Dworschak/ Zaiser/ Achtenhagen (2011). Das Thema "Internet der Dinge" und industrielle Produktion in der BMBF-Früherkennung. In: FreQueNz (Hrsg.).

- Zukünftige Qualifikationserfordernisse durch das Internet der Dinge in der industriellen Produktion. Summary. Forschungsinstitut Betriebliche Bildung f-bb: Nürnberg.
- Fend, Helmut (1980). Theorie der Schule. München: Urban & Schwarzenberg
- Fleisch, E./ Mattern, F. (2005). Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen. St. Gallen, Zürich: Springer.
- Frey, C., Osborne, M. (2015). Technology at Work, The Future of Innovation and Employment. Citi GPS, Oxford Martin School: Oxford.
- Gudjons, H. (2012). Pädagogisches Grundwissen. Schultheorie. Klinkhardt: Bad Heilbrunn 2012
- Hausmann, G. (1972). Einleitung Paul Lengrand: *Permanente Erziehung*. München-Berlin: Verlag Dokumentation, S. 17
- Hemmecke, J. (2012). *Handbuch der Repertory Grid Technik: Theoretischer Hintergrund, Erhebungsleitfaden und Auswertungshinweise*
http://www.hemmecke.com/material/Hemmecke-Jeannette_Handbuch-Repertory-Grid-Technik_2012.pdf
- Huber, Daniel; Kaiser, Thomas (2015): Wie das Internet der Dinge neue Geschäftsmodelle ermöglicht. In: HMD 52 (5), S. 681–689. DOI: 10.1365/s40702-015-0169-6.
- ITEA (International Technological Education Association) (2000). Standards for Technological Education. Content for the study of Technology. Virginia: o.A.
- Jungert, M.; Romfeld, E.; Sukopp, T.; Voigt, U.: Interdisziplinarität. Theorie, Praxis, Probleme. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 2010.
- Kenn, H. (2016). Architekturen für das "Internet der Dinge". In: Manzei, Ch. u.a. (Hrsg.): Industrie 4.0 im internationalen Kontext. Berlin, Offenbach: VDE Verlag.
- Klafki, W. (1958). Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. In: Die Deutsche Schule, H. 10, S. 450-471.
- Köhler, G. (1992). Methodik und Problematik einer mehrstufigen Expertenbefragung. In J. H. P. Hoffmeyer-Zlotnik (Hrsg.), *Analyse verbaler Daten: Über den Umgang mit qualitativen Daten* (S. 318-332). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Lüdtke, O., Trautwein, U., Kunter, M., & Baumert, J. (2006). Analyse von Lernumwelten: Ansätze zur Bestimmung der Reliabilität und Übereinstimmung von Schülerwahrnehmungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 20, 85-96.
- Maguire, M. (2014). Socio-technical systems and interaction design - 21st century relevance. In: Applied Ergonomics, 45, 162-170.
- ManpowerGroup (2017). The skill revolution - Digitalisation and why skills and talent matter. Verfügbar: <https://www.manpowergroup.de/neuigkeiten/studien-und-research/future-forces-at-work/>, zuletzt eingesehen am 10.12.2017.
- Manyika, J. Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P. Dewhurst, M. (2017). A future that works: Automation, Employment, and Productivity. McKinsey & Company.
- Manzei, C., Schleupner, L., Heinze, R. (2016): Industrie 4.0 im internationalen Kontext. Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends. Berlin, Offenbach, Berlin, Wien, Zürich: VDE Verlag GmbH; Beuth Verlag GmbH (Beuth Innovation).

- McKinsey Global Institute (2017). Explore how Automation will transform Work. Verfügbar: <http://www.mckinsey.com/global-themes/digital-disruption/explore-how-automation-will-transform-work>, zuletzt eingesehen am 07.02.2017.
- Mattes, W. (2002). Methoden für den Unterricht. 75 kompakte Übersichten für Lehrende und Lernende. Paderborn 2002, S. 54.
- O'Reilly, T. (2016). Don't replace people. Augment them. Verfügbar: <https://medium.com/the-wtf-economy/dont-replace-people-augment-them-8bea60cb80ac#.kb3wa8eqh>, zuletzt eingesehen am 10.02.2017.
- Padur, T. / Zinke, G. (2015). Digitalisierung der Arbeitswelt – Perspektiven und Herausforderungen für eine Berufsbildung 4.0. In BWP 6/2015, BiBB.
- Peters, M. (2017) Technological unemployment: Educating for the fourth Industrial Revolution. In: Educational Philosophy and Theory, 49(1), 1-6.
- Riemann, R. (1991). *Repertory Grid Technik: Handanweisung*. Göttingen: Hogrefe Verlag für Psychologie.
- Sachs, B. (2001). Technikunterricht - Bedingungen und Perspektiven. In: tu - Zeitschrift für Technik im Unterricht, H. 100.
- Schlagenhauf, W. (2001). Technische Bildung als substanzieller Teil einer Allgemeinen Bildung. Podiumsdiskussion. Verein Aargauer Werklehrerinnen und Werklehrer: Aarau.
- Schlagenhauf, W. (2016). Technik und Technische Bildung. In: Stuber, T. u.a. (Hrsg.): *Technik und Design*. Bern: hep-Verlag, S. 26-37.
- Schmayl, W. (2013). *Didaktik Allgemeinbildenden Technikunterrichts*. Schneider Hohengehren: Baltmannsweiler 2010.
- Shulman, L.S. (1991). Von einer Sache etwas verstehen. Wissensentwicklung bei Lehrern. In: Terhart, E. (Hrsg.): *Unterrichten als Beruf*. Köln, S. 145–160
- Tynan, D. (09. February, 2017). Actors, teachers, therapists – think your job is safe from artificial intelligence? Think again. In: *The Guardian*. 2017, The Guardian: London, UK.
- VDI (Verband Deutscher Ingenieure) (2007). *Bildungsstandards Technik für den Mittleren Schulabschluss*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Whitworth, B., Ahmad, A. (2012). Socio-Technical System Design. In Soegaard, M., Friis, D. (Hrsg.), *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction* (2nd Ed). The Interaction Design Foundation: Aarhus, Denmark.
- Zeller, B./ Achtenhagen, C./ Föst, S. (2010). *Internet der Dinge in der industriellen Produktion. Studie zu künftigen Qualifikationserfordernissen auf Fachkräfteebene. Abschlussbericht*. Forschungsinstitut Betriebliche Bildung: Nürnberg

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Zusammenhänge der soziokulturellen Lebensbereiche aus Perspektive der Technischen Bildung (Kruse)	7
Abbildung 2: Zusammengefasstes Kompetenzraster, basierend auf den VDI Standards und den ausgewählten drei Themenbereichen	31
Abbildung 3: Bewertung durch Expertinnen und Experten	34

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fachliche Anforderungen im Kontext der digitalen Neuausrichtung und deren geforderte Umsetzung im Lehrplan 21	10
Tabelle 2: Überfachliche Anforderungen im Kontext der digitalen Neuausrichtung und deren geforderte Umsetzung im Lehrplan 21	11
Tabelle 3: Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Anforderungen aus dem Bereich „Internet der Dinge“ in ihrer Einordnung in die VDI-Kompetenzbereiche.....	16
Tabelle 4: Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Anforderungen im Bereich „Soziotechnische Systeme“ in ihrer Einordnung in der VDI-Kompetenzbereiche.	21
Tabelle 5: Fachwissenschaftliche und fachdidaktische Anforderungen im Bereich „Cyber Physische Systeme“ in ihrer Einordnung in der VDI-Kompetenzbereiche.	27
Tabelle 6: Stufen der Expertenbewertung.....	33
Tabelle 7: Screenshots der Instruktion während der Onlinebefragung (größere Darstellung im Anhang).....	35
Tabelle 8: Koeffizienten zur Berechnung der Inter-Rater-Übereinstimmung	55
Tabelle 9: Inter-Rater-Übereinstimmungen auf Itemebene (Deutsche Expertise)	56
Tabelle 10: Inter-Rater-Übereinstimmungen auf Konstruktebene (Deutsche Expertise)...	58
Tabelle 11: Kruskal-Wallis-Test zum Unterschied zwischen Expertisefeldern (Deutsche Expertise)	59
Tabelle 12: Inter-Rater-Übereinstimmungen auf Itemebene (Schweizer Expertise)	59
Tabelle 13: Inter-Rater-Übereinstimmungen auf Konstruktebene (Schweizer Expertise) .	62

7. Anhang

7.1. Kompetenzraster Teil „Mensch Maschine Schnittstelle“

Mensch-Maschine Schnittstelle (MMS)		
Kompetenzbereich	Fachwissenschaftliche Anforderungen	Fachdidaktische Anforderung
Kompetenzbereich Technik verstehen	Grundlagen der zunehmenden Autonomie und der technischen Potenziale von Maschinen (Technikentwicklung): von physischen Fähigkeiten (Grob- oder Feinmotorik, Mobilität) zu kognitiven Fähigkeiten (Muster wiedergeben, künstliche Intelligenz: selbst lernen, Interaktion mit anderen)	Vermittlung technologischen Wissens mit Bezug auf physische und kognitive Fähigkeiten, insbesondere Funktionen der zunehmenden Autonomie von Maschinen
	Entwicklungs- und Innovationsprinzipien der Technik, bspw. Erweiterung ("Augmentation") der menschlichen Fähigkeiten am Arbeitsplatz oder Ersetzen menschlicher Arbeit und Aktionen	Ermöglichung eines Technikverständnisses mit Bezug zu StS und MMS, insbesondere auf Grundlage von Veränderungen in Alltag, Freizeit und Beruf, auch bezogen auf Veränderungen, welche sich im Produktionssektor ergeben (bspw. Veränderung von Facharbeit,...)
	Grundlagen der Aufgaben und Aktivitäten technikbezogener Fähigkeiten verstehen, welche im Rahmen der Automatisierung mehr oder weniger Möglichkeiten aufweisen	Entwicklung von Fähigkeiten, technische Hervorbringungen der StS und MMS zu verstehen
	Grundlagen der Automatisierung und Mensch-Maschine Interaktion/ Schnittstelle ("Human Computer Interaction, HCI"), bspw. Sender-Empfänger-Systeme, Code, Lesegerät, Hardware/ Software Schnittstelle, Sensoren- und Aktortechnik etc. verstehen	Anwendungen vernetzter technischer Objekte in Haushalt, Freizeit und Beruf aufzeigen
Kompetenzbereich Technik konstruieren & herstellen	Einfache Maschinen/ Automaten entwerfen, bspw. Automaten mit erweiterten physischen Fähigkeiten (z.B. Arm) Mit physischen Eingaben ("joystick remote") und Programmen (Informationsaustausch) arbeiten	Technische Problemlösungen entwerfen, welche die SuS mit Bezug zu StS und MMS zum konstruierenden Handeln anregt
	Im physischen Bereich: Entwürfe und Realisierungen der Arbeit im Hinblick auf mögliche Fehler und Probleme optimieren, prüfen und testen	Aufbau, Verständnis und Handlungskompetenzen im Umgang mit Mensch-Maschine Interaktion/ Schnittstelle ("Human Computer Interaction, HCI") fördern
	Mit Entwürfen und Realisierungen der Arbeit im physischen Bereich sicher und fachgerecht umgehen	Technische Problemlösungen unter Einhaltung gegebener und zu wählender Kriterien unterstützen
	Sicherheitsaspekte der Automatisierung beachten und einhalten	Technische Problemlösungen unter Einhaltung gegebener und zu wählender Kriterien unterstützen
Kompetenzbereich Technik nutzen	Den Zusammenhang zwischen sachgerechter Bedienung, Wartung und Pflege von Mensch-Maschine-Systemen, sowie ihre Nutzung kennen und anwenden - nicht nur im Experten-, sondern auch im Nicht-Experten-Bereich	Entwicklung eines über die bloße Anwendung hinaus reichenden Verständnisses
	Grundlagen des Arbeitsablaufs und der Betriebsgefahr der Mensch-Maschine-Systeme beschreiben, z.B. Unfallverhütung. Sicherheitsaspekte bei der Bedienung von Werkzeugen beachten und einhalten, die Notwendigkeit ihrer Stilllegung erwägen, Entsorgungen sachgerecht durchführen...	Entwicklung eines auch maschinensensiblen Umgangs mit technischen MMS-Lösungen
Kompetenzbereich Technik bewerten	Chancen und Risiken der zunehmenden Autonomie und technischen Potenziale der Maschinen in Beruf, Freizeit und Alltag einschätzen, Potential für zunehmende Automatisierung (in Bezug auf Leistungssteigerung und Arbeitssituation), von "Industrie 3.0" hin zu "Industrie 4.0"	Verständnis von und Bereitschaft zur Technikfolgenabschätzung unterstützen, insbesondere mit Blick auf die Veränderungen durch Automatisierung
	Bewertungsperspektiven auswählen: historisch, ökologisch, wirtschaftlich, sozial sowie human	Entwicklung von Bewertungsperspektiven und Kriterien mit Blick auf StS und MMS unterstützen
	Vorgegebene Bewertungen von MMS und StS und deren Kriterien nachvollziehen und aus der Perspektive des Produzenten, Anwenders und des indirekt Betroffenen beurteilen	Anbahnen von Bewertungskompetenzen, bezogen auf die Situationsfelder Beruf, Alltag und Freizeit, insbesondere mit Blick auf die Veränderungen durch Automatisierung
	Den Einfluss von Nicht-Experten am Entwurf und der Entwicklung von StS/ MMS beurteilen	Bewertungskompetenzen in Hinblick auf technische Realisierungen der MMS und StS anbahnen (Sachtechnik ebenso wie Soziotechnik)
Kompetenzbereich Technik kommunizieren	Kommunikationsfähigkeiten entwickeln, um technische Sachverhalte im Bereich des Experten ("Betreiber") und des Nicht-Experten ("einfacher Nutzer") zu erklären	Ermöglichung von technikbezogener Kommunikation mit Bezug zu StS und MMS zwischen Experten („Betreiber“) und Nichtexperten („einfache Nutzer“)

7.2. Kompetenzraster Teil „Internet der Dinge“

Internet der Dinge (IdD)		
Kompetenzbereich	Fachwissenschaftliche Anforderungen	Fachdidaktische Anforderung
Kompetenzbereich Technik verstehen	a) Zunehmende Vernetzung (Informationsaustausch, Datenübertragung, Selbstorganisierende Vernetzung) b) Autonomie (Teil- und Vollautonomie) von intelligenten technischen Objekten verstehen	Ermöglichung eines Technikverständnisses mit Bezug zu IdD, insbesondere hinsichtlich der Funktion von Bauteilen in elektronischen Schaltungen, Datenübertragung- und Speicherung
	Grundlagen des IdD, bspw. Sender-Empfänger-Systeme wie die RFID-Technologie, Transponder, Code, Lesegerät etc. verstehen	Aufnahme und Integration des Vorwissens und der Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler mit Blick auf das IdD
	Grundlagen der Sensoren- und Aktorentechnik verstehen	Entwicklung von Fähigkeiten, technische Hervorbringungen des IdD zu verstehen, Entwicklung eines Technikverständnisses im Bereich der Sensoren- und Aktorentechnik
	Allgemeintechnologische Grundlagen von Informationsverarbeitung (Wandlung, Speicherung, Transport) verstehen	Vermittlung technologischen Wissens mit Bezug auf Sachsysteme (Klassifikationsmatrix) des IdD
	Vernetzung zwischen realer und virtueller Welt verstehen	Anwendungen vernetzter technischer Objekte in Haushalt, Freizeit und Beruf aufzeigen
	Veränderungen im Alltag und der Freizeit durch intelligente "Dinge" verstehen	Ermöglichung eines Technikverständnisses mit Bezug zu IdD, insbesondere auf Grundlage von Veränderungen in Alltag, Freizeit und Haushalt sowie bezogen auf Veränderungen, welche sich im Produktionssektor ergeben (bspw. Veränderung von Facharbeit,...)
Kompetenzbereich Technik konstruieren & herstellen	Problemstellungen mithilfe von Sensoren- und Aktorentechnik lösen	Aufbau, Verständnis und Handlungsfähigkeiten im Umgang mit digitaltechnischen Problemstellungen fördern
	Digitaltechnische Schaltungen entwerfen, bspw. im Freizeit- und Haushaltsbereich	Technische Problemlösungen entwerfen, welche die SuS mit Bezug zum IdD zum konstruktiven Handeln anregt
	Sicherheitsaspekte (Datensicherheit) integrieren	Technische Problemlösungen unter Einhaltung gegebener und zu wählender Kriterien unterstützen
	Entwürfe und Realisierungen optimieren, prüfen und testen	
Kompetenzbereich Technik nutzen	geeignete vernetzte "Dinge" in unterschiedlichen Situationen des Alltag- und Freizeitbereichs auswählen	Entwicklung eines über die bloße Anwendung hinaus reichenden Verständnisses
	Datensicherheit bei der Nutzung beachten und einhalten	Entwicklung eines auch datensensiblen Umgangs technischer IdD-Lösungen
Kompetenzbereich Technik bewerten	Auswirkungen auf Alltags- und Freizeitsituationen bewerten	Anbahnen von Bewertungskompetenzen bezogen auf die Situationsfelder Beruf, Alltag und Freizeit, insbesondere mit Blick auf die Veränderungen durch Digitalisierung
	Mensch-Technik-Bezüge anhand des IdD bewerten	Aufbau von Bewertungsfähigkeiten in funktionaler und ausserfunktionaler Ausrichtung
	Vernetzung zwischen realer und virtueller Welt kritisch bewerten	Bewertungskompetenzen in Hinblick auf technische Realisierungen des IdD anbahnen (Sachtechnik ebenso wie Soziotechnik)
	Das IdD gemäss Sicherheitsaspekten (Datensicherheit, Datenschutz) bewerten	SuS hinsichtlich der Datensicherheit sensibilisieren
	Chancen und Risiken dieser Entwicklung in Beruf, Freizeit und Alltag einschätzen	Verständnis von und Bereitschaft zur Technikfolgenabschätzung unterstützen
	Bewertungsperspektiven auswählen: historisch, ökologisch, wirtschaftlich, sozial sowie human	Entwicklung von Bewertungsperspektiven und Kriterien mit Blick auf das IdD unterstützen
Kompetenzbereich Technik kommunizieren	Schaltpläne, technische Skizzen, technische Zeichnungen entwerfen und fachgerecht umsetzen	

7.3. Kompetenzraster Teil „Cyber Physikalische Systeme“

Cyber-physische Systeme (CPS)		
Kompetenzbereich	Fachwissenschaftliche Anforderungen	Fachdidaktische Anforderung
Kompetenzbereich Technik verstehen	Vernetzung einzelner Embeded Systems (oder auch Vernetzung mehrerer CPS zu einem "System of Systems") ist grundlegend für ein CPS Teil-/Vollautonomie der CPS (Mensch kann innerhalb eines CPS agieren)	Ermöglichung eines Technikverständnisses mit Bezug zu CPS, Vernetzung elektronischer Schaltungen/ Schaltungsnetze in Bezug auf Austausch von Informationen/ Daten
	Grundlagen der Elektronik, Hardware (physischer Anteil in CPS) kennen und verstehen lernen	Aufnahme und Integration des Vorwissens und der Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler mit Blick auf physischen Anteil in CPS
	Datenübertragung- und Speicherung nach EVA-Prinzip (Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe von Daten/ Informationen): Rolle des Menschen/ der Umwelt bei Dateneingabe	Entwicklung eines Technikverständnisses im Bereich der Sensoren- und Aktorentechnik mit Fokus auf EVA-Prinzip
	Verarbeitung und Ausgabe von Daten (Embedded Systems, Schnittstelle zu Cyber-Anteil)	Vermittlung technologischen Wissens mit Bezug auf Sachsysteme (Klassifikationsmatrix) des CPS
	Schnittstelle zwischen virtueller (cyber) und physischer Welt: Cyberspace	Anwendungen vernetzter technischer Objekte in Haushalt, Freizeit und Beruf aufzeigen
	Veränderungen im Alltag und der Freizeit durch "intelligente", eingebettete (embeded) Systeme verstehen	Ermöglichung eines Technikverständnisses mit Bezug zu CPS, insbesondere auf Grundlage von Veränderungen in Alltag, Freizeit und Haushalt sowie bezogen auf Veränderungen, welche sich im Produktionssektor ergeben (bspw. Veränderung von Facharbeit,...)
Kompetenzbereich Technik konstruieren & herstellen	Problemstellungen mithilfe von Sensoren- und Aktorentechnik lösen	Aufbau, Verständnis und Handlungsfähigkeiten im Umgang mit digitaltechnischen Problemstellungen fördern
	Digitale, vernetzte Schaltungen entwerfen, bspw. im Freizeit- und Haushaltsbereich	Technische Problemlösungen entwerfen, welche die SuS mit Bezug zu CPS zum konstruktiven Handeln anregt
	Sicherheitsaspekte (Datensicherheit) integrieren	Technische Problemlösungen unter Einhaltung gegebener und zu wählender Kriterien unterstützen
	Entwürfe und Realisierungen optimieren, prüfen und testen	Überprüfung der gesetzten Kriterien und mögliche Optimierung der Problemlösung
Kompetenzbereich Technik nutzen	Geeignete vernetzte, eingebettete Systeme in unterschiedlichen Situationen des Alltags- und Freizeitbereichs auswählen	Entwicklung eines über die bloße Anwendung hinaus reichenden Verständnisses
	Datensicherheit bei der Nutzung beachten und einhalten	Entwicklung eines datensensiblen Umgangs technischer CPS-Lösungen
Kompetenzbereich Technik bewerten	Auswirkungen auf Alltags- und Freizeitsituationen bewerten	Anbahnen von Bewertungskompetenzen bezogen auf die Situationsfelder Beruf, Alltag und Freizeit, insbesondere mit Blick auf die Veränderungen durch Digitalisierung
	Mensch-Technik-Bezüge anhand des CPS bewerten	Aufbau von Bewertungsfähigkeiten in funktionsler und ausserfunktionaler Ausrichtung
	Vernetzung zwischen realer und virtueller Welt kritisch bewerten	Bewertungskompetenzen in Hinblick auf technische Realisierungen des CPS anbahnen (Sachtechnik ebenso wie Soziotechnik)
	Das CPS gemäss Sicherheitsaspekten (Anwendungssicherheit mit Blick auf autonomes Handeln von CPS, Datensicherheit, Datenschutz) bewerten	Schülerinnen und Schüler hinsichtlich der Anwendungs- und Datensicherheit sensibilisieren
	Chancen und Risiken dieser Entwicklung in Beruf, Freizeit und Alltag einschätzen	Verständnis von und Bereitschaft zur Technikfolgenabschätzung unterstützen
	Bewertungsperspektiven auswählen: historisch, ökologisch, wirtschaftlich, sozial sowie human	Entwicklung von Bewertungsperspektiven und Kriterien mit Blick auf CPS unterstützen
Kompetenzbereich Technik kommunizieren	Schaltpläne, technische Skizzen, technische Zeichnungen entwerfen und fachgerecht umsetzen	Innovationsgehalt eines CPS gegenüber einfachen Embeded Systems vermitteln

7.4. Vorgehensweise bei der Erhebung

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Pädagogische Hochschule

satw it's all about technology

Herzlich willkommen!

Mit Ihrer Expertise helfen Sie uns weiter!

Sie wurden von Stefan Kruse gebeten, mit Ihrer Expertise einen Vorschlag eines Kompetenzrasters zur technischen Bildung zu evaluieren.
Herzlichen Dank für Ihre Bereitschaft!

Bevor es los geht, werden Sie über das Vorgehen informiert.
Seien Sie sich immer darüber bewusst, dass zu keinem Zeitpunkt auf Ihre Identität geschlossen werden kann.

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an alexander.koch@fhnw.ch

Bitte klicken Sie nun auf «Weiter»

n|w Fachhochschule Nordwestschweiz
Pädagogische Hochschule

satw it's all about technology

Sozio-technische Systeme

Internet der Dinge

Cyberphysische Systeme

Links sehen Sie das Kompetenzraster

Sie werden gleich aufgefordert, jedes einzelne Feld des Rasters zu bewerten. Zuerst bewerten Sie bitte im dunkel blauen Themenbereich «Sozio-technische Systeme/ Mensch-Maschine-Systeme». Das geschieht jeweils einzeln für jeden Cluster (hell blau markiert).

Im Anschluss bewerten Sie bitte auch die beiden weiteren Themenbereiche (Internet der Dinge & Cyberphysische Systeme).

Ein Cluster besteht immer aus **fachwissenschaftlichen Anforderungen (gelb)** und **fachdidaktischen Anforderungen¹**. Beispielfhaft ist dies rot markiert.

¹ So soll festgehalten werden, was Schülerninnen und Schüler, aber auch Lehrpersonen können sollten.

7.5. Anhang zur Analyse der Expertenbefragung

7.5.1 Theorie zur Expertenbefragung

Nach Köhler (1992) sind Expertinnen und Experten Personen, die über mehr Informationen verfügen, als eine „Standardperson“ und die in direktem Zusammenhang mit dem zu ermittelnden Sachverhalt steht. Wenn Expertinnen und Experten gefunden sind, sollte zudem auf Ausgewogenheit geachtet werden (Cuhls, 1998). Das heisst, die Personen sollten so ausgesucht werden, dass eine gleichmässige Verteilung der potenziellen Meinungen gegeben sein kann.

Cuhls (1998) empfiehlt im Anschluss an die Expertinnen-/ Expertenbefragung eine statistische Analyse der Daten. Dabei sei aber zu beachten, dass in einem mehrschrittigen Verfahren die Autokorrelation der Bewertungen zum Tragen kommt, da die Expertise der zweiten Runde nicht unabhängig von der Expertise der ersten Runde ist.

Die Auswertung und die Interpretation der Daten erfolgt in Anlehnung an das Repertory-Grid-Verfahren. Dabei werden die „interindividuell unterschiedlichen Urteilsstrukturen [verwendet], ohne auf notwendige Aggregationen verzichten zu müssen“ (Baier & Kohler, 2008, S. 427). Ursprünglich wurde das Verfahren als projektiver Ansatz zur Explikation impliziter Wissensbestände verwendet. In diesem Fall wurde das implizite Wissen operationalisiert und zur Bewertung freigegeben. Hemmecke (2012) zeigt des Weiteren auf, wie diese Projektion differentiell anhand von Aussagen bewertet werden kann. In einer adaptierten Version, unter Inspiration von Hemmecke wurde versucht, das Urteil von Expertinnen und Experten zu erfassen. In der Arbeit wird auch auf Riemann verwiesen, der angibt, dass eine breite Streuung der Expertinnen-/Experteneinschätzung zwar zulasten der Übereinstimmung, sich aber positiv auf die Reliabilität der Einschätzungen auswirkt (Riemann, 1991).

Zusammengefasst berücksichtigen wir in der Auswertung die folgenden Aspekte anhand der angegebenen Kennwerte: die Übereinstimmung der Expertinnen und Experten, die Reliabilität der Einschätzungen und die Reliabilität der Bewertungssystems. In der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**⁸ sind die Koeffizienten zur Berechnung der Inter-Rater-Reliabilität bzw. Übereinstimmung dargestellt. Sie berücksichtigen jeweils unterschiedliche methodische Aspekte, so basiert beispielsweise der r^L_{WG} -Wert auf der Annahme, dass die Bewertungen einer Aussage hypothetisch gleich verteilt sind. Im Falle einer schiefen Verteilung der Bewertungen, die dann zustande kommt, wenn eher auf einer Seite der Bewertungsskala zugestimmt wird, eignet sich der r^B_{WG} -Wert besser. Um die Unabhängigkeit zwischen den Beurteilungspersonen zu wahren, wurde zwar nacheinander, aber ohne Überarbeitung des Rasters befragt.

Tabelle 8: Koeffizienten zur Berechnung der Inter-Rater-Übereinstimmung

Aspekt	Kennwert	Erwünschte Schwelle	Literaturnachweis	Methodik/ Anwendung
Hypothetische Gleichverteilung der Urteile	r_{WG}^L	>.70	Lüdtke et al. (2006)	Eigene Berechnung
Keine Gleichverteilung der Urteile	A_{DM}^L	>.70	Lüdtke et al. (2006)	Eigene Berechnung
Schiefe Verteilung der Urteile	r_{WG}^B	<1.17	Biemann et al. (2012)	Vorlage nach MS Excel Sheet ¹
Autokorrelation der Urteile	---		---	Gleichzeitige Befragung ohne Überarbeitung des Rasters

r_{WG}^L und A_{DM}^L berechnen sich aus den bekannten Formeln und die folgenden Schwellenwerte sollen gelten. Nach der Literatur sollte $r_{WG}^{L/B}$ einen Wert von .70 wenn möglich nicht unterschreiten, da er als Quotient aus realer und hypothetischer Varianz einem Reliabilitätskoeffizienten entspricht. Es wird empfohlen, einen negativen Wert auf Null zu setzen (Lüdtke et al., 2006).

A_{DM}^L wird als exakter Wert interpretiert, d.h. ein Wert von 1 entspricht einer durchschnittlichen Abweichung von 1 von der mittleren Bewertung. Auf Konstrukt Ebene (der Aggregation der Itemebene) werden die Koeffizienten anhand der Einzelitemvarianz gemittelt und unter Berücksichtigung der Itemanzahl neu berechnet. Der Schwellenwert des Koeffizienten berechnet sich aus der Anzahl der Antwortstufe geteilt durch 6, wobei Werte unter der errechneten Schwelle als günstig zu interpretieren sind (Lüdtke et al., 2006). Im vorliegenden Fall entspricht der Schwellenwert 1.17.

Der Wert r_{WG}^B berücksichtigt ausserdem eine schiefe Verteilung der Antworten (r_{WG}^L geht von einer Gleichverteilung aus).

7.5.2 Erläuterungen zum Ergebnisteil

Im Ergebnisteil werden separat die Ergebnisse des ersten und des zweiten Schrittes dargestellt. Zur Interpretation wurden als Masse der Expertinnen-/Expertenübereinstimmung R_{WG} und A_{DM} verwendet. Einschränkend ist jedoch zu bemerken, dass die Übereinstimmung mit steigender Anzahl an Bewertungskategorien unterminiert wird: Je mehr Bewertungskategorien, desto grösser die Wahrscheinlichkeit der Diskrepanz bzw. desto stärker die Annahme der hypothetischen Null-Gleich-Verteilung in r_{WG} . Zudem wurde zu jeder Einschätzung die interne Konsistenz im Sinne von Cronbach-Alpha berechnet. Diese berücksichtigt die Bewertungsvarianz, geht jedoch nicht auf exakte Übereinstimmungen ein. Nachteilig ist

hier, dass die Fallzahl der Bewertenden niedrig ist und deshalb die vorliegende Stichprobenvarianz von der Populationsvarianz abweichen kann. Diesem Problem ist durch zufälliges Stichproben-Sampling entgegenzukommen. Im vorliegenden Fall kann von einer Zufallsauswahl gesprochen werden, da kein Bias innerhalb einer Expertisegruppe zu erwarten war. Mit anderen Worten kann nicht erwartet werden, dass die befragten Expertinnen und Experten zu einer besonderen Beurteilung neigen. Dieser Möglichkeit wurde auch durch die Sicherung von Anonymität entgegengekommen.

7.5.3 Tabellen der Resultate

Tabelle 9: Inter-Rater-Übereinstimmungen auf Itemebene (Deutsche Expertise)

Einzelitems	N	Min	Max	AM (SD)	r ^L _{WG}	A ^L _D M
STS_TV1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	3	5	4.33 (0.82)	0.83	0.67
STS_TV2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	3	6	4.67 (1.03)	0.73	0.78
STS_TV3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	3	7	4.83 (1.60)	0.36	1.22
STS_TV4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	5	7	6.00 (0.63)	0.90	0.33
STS_TV5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	6	2	7	5.67 (1.86)	0.13	1.22
STS_TKoHe1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	1	5	3.83 (1.60)	0.36	1.22
STS_TKoHe2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	3	6	4.00 (1.27)	0.60	1.00
STS_TKoHe3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	3	7	4.83 (1.47)	0.46	1.17
STS_TKoHe4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	4	7	5.00 (1.10)	0.70	0.67
STS_TKoHe5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	5	3	7	5.60 (1.52)	0.42	1.04
STS_TNu1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	2	7	4.67 (1.97)	0.03	1.67
STS_TNu2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	4	7	5.17 (1.17)	0.66	0.89
STS_TNu3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	4	7	5.33 (1.21)	0.63	1.00
STS_TNu4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	4	7	5.33 (1.21)	0.63	1.00
STS_TNu5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	6	6	7	6.67 (0.52)	0.93	0.44
STS_TBe1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	3	6	5.00 (1.27)	0.60	1.00
STS_TBe2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	4	7	5.83 (0.98)	0.76	0.61
STS_TBe3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	2	7	5.00 (1.79)	0.20	1.33
STS_TBe4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	2	7	5.33 (1.97)	0.03	1.56
STS_TBe5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	6	4	7	5.83 (1.17)	0.66	0.89
STS_TKom1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	2	5	3.00 (1.27)	0.60	1.00
STS_TKom2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	4	7	5.33 (1.21)	0.63	1.00
STS_TKom3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	3	7	5.50 (1.52)	0.42	1.17
STS_TKom4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	5	7	6.00 (1.10)	0.70	1.00

STS_TKom5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	6	4	7	5.83 (1.47)	0.46	1.22
IdD_TV1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	3	6	4.83 (1.47)	0.46	1.22
IdD_TV2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	3	7	5.00 (1.90)	0.10	1.67
IdD_TV3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	5	7	6.17 (0.75)	0.86	0.56
IdD_TV4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	5	7	6.00 (0.89)	0.80	0.67
IdD_TV5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	6	5	7	6.17 (0.75)	0.86	0.56
IdD_TKoHe1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	2	7	5.00 (1.67)	0.30	1.00
IdD_TKoHe2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	3	7	5.33 (1.51)	0.43	1.22
IdD_TKoHe3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	6	7	6.67 (0.52)	0.93	0.44
IdD_TKoHe4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	6	7	6.50 (0.55)	0.92	0.50
IdD_TKoHe5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	6	6	7	6.50 (0.55)	0.92	0.50
IdD_TNu1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	2	6	4.00 (1.41)	0.50	1.00
IdD_TNu2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	3	7	5.17 (1.72)	0.26	1.44
IdD_TNu3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	5	7	6.00 (0.63)	0.90	0.33
IdD_TNu4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	6	7	6.17 (0.41)	0.96	0.28
IdD_TNu5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	6	6	7	6.50 (0.55)	0.92	0.50
IdD_TBe1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	2	6	4.67 (1.63)	0.33	1.33
IdD_TBe2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	4	7	5.67 (1.03)	0.73	0.78
IdD_TBe3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	4	7	5.33 (1.21)	0.63	1.00
IdD_TBe4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	4	7	5.67 (1.21)	0.63	1.00
IdD_TBe5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	6	4	7	5.67 (1.37)	0.53	1.11
IdD_TKom1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	1	6	3.33 (2.25)	-	2.00
IdD_TKom2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	1	7	5.00 (2.45)	-	2.00
IdD_TKom3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	1	7	4.50 (2.51)	-	2.17
IdD_TKom4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	1	6	4.17 (2.14)	-	1.83
IdD_TKom5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	6	1	6	3.83 (2.23)	-	1.89
CPS_TV1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	3	7	5.50 (1.38)	0.53	1.00
CPS_TV2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	2	7	4.83 (1.84)	0.16	1.50
CPS_TV3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	2	7	5.33 (1.75)	0.23	1.22
CPS_TV4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	2	7	5.67 (1.86)	0.13	1.22
CPS_TV5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	6	4	7	6.17 (1.17)	0.66	0.83
CPS_TKoHe1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	5	3	6	5.00 (1.23)	0.62	0.80
CPS_TKoHe2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	5	3	5	4.60 (0.89)	0.80	0.64
CPS_TKoHe3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	5	5	6	5.60	0.92	0.48

vant.						(0.55)		
CPS_TKoHe4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	5	5	7	6.20 (0.84)		0.82	0.64	
CPS_TKoHe5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	5	5	7	6.00 (1.00)		0.75	0.80	
CPS_TNu1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	6	2	6	4.00 (1.41)		0.50	1.00	
CPS_TNu2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	6	3	6	5.17 (1.33)		0.56	1.11	
CPS_TNu3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	6	3	7	5.50 (1.38)		0.53	1.00	
CPS_TNu4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	6	3	7	5.33 (1.37)		0.53	1.00	
CPS_TNu5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	6	5	7	6.00 (0.89)		0.80	0.67	
CPS_TBe1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	5	4	6	5.40 (0.89)		0.80	0.72	
CPS_TBe2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	5	4	7	5.60 (1.14)		0.68	0.88	
CPS_TBe3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	5	4	7	5.60 (1.14)		0.68	0.88	
CPS_TBe4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	5	5	7	6.00 (0.71)		0.88	0.40	
CPS_TBe5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	5	5	7	6.20 (0.84)		0.82	0.64	
CPS_TKom1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	5	1	7	4.20 (2.17)		-	1.44	
CPS_TKom2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	5	3	7	5.20 (1.64)		0.33	1.36	
CPS_TKom3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	5	5	7	6.00 (1.00)		0.75	0.80	
CPS_TKom4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	5	5	7	5.80 (0.84)		0.82	0.64	
CPS_TKom5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	5	4	7	5.60 (1.14)		0.68	0.88	

Anmerkungen: STS: Soziotechnische Systeme; IdD: Internet der Dinge; CPS: Cyber-Physische Systeme; TV: Technik verstehen; TKoHe: Technik konstruieren und herstellen; TNu: Technik nutzen; TBe: Technik bewerten; TKom: Technik kommunizieren; *Berechnungen nach Lüdtko et al. (2006)*

Tabelle 10: Inter-Rater-Übereinstimmungen auf Konstruktebene (Deutsche Expertise)

Konstrukt	N	Min.	Max.	AM (SD)	A _{DM}	r ^B _{WG}	α
STS_TV	6	4	6	5.10 (0.68)	0.84	0.82	0.36
STS_KoHe	6	3.6	6.4	4.60 (0.98)	1.02	0.75	0.74
STS_TNu	6	4.4	6.6	5.43 (0.83)	1.00	0.81	0.64
STS_TBe	6	4	6.8	5.40 (1.15)	1.08	0.76	0.84
STS_TKom	6	4	6.4	5.13 (0.94)	1.08	0.81	0.75
IdD_TV	6	4.6	6.8	5.63 (0.96)	0.93	0.83	0.83
IdD_KoHe	6	4.8	6.6	6.00 (0.66)	0.73	0.87	0.56
IdD_TNu	6	5	6.6	5.57 (0.61)	1.09	0.87	0.47
IdD_TBe	6	4	6.8	5.40 (0.91)	1.04	0.81	0.74
IdD_TKom	6	1	6	4.17 (1.97)	1.98	0.40	0.90
CPS_TV	6	2.6	7	5.50 (1.54)	1.16	0.71	0.97
CPS_KoHe	5	5	5.8	5.48 (0.44)	0.67	0.90	0.13
CPS_TNu	6	3.8	6	5.20 (0.78)	0.96	0.81	0.57
CPS_TBe	5	5	6.8	5.76 (0.71)	0.70	0.90	0.80
CPS_TKom	5	3.8	7	5.36 (1.22)	1.02	0.77	0.90

STS	6	4	6.12	5.14 (0.70)	1.00	0.97	0.89
IdD	6	4.68	5.64	5.35 (0.34)	1.08	0.95	0.82
CPS	6	4.08	6.53	5.54 (0.83)	0.90	0.97	0.92

Anmerkungen: STS: Soziotechnische Systeme; IdD: Internet der Dinge; CPS: Cyber-Physische Systeme; TV: Technik verstehen; TKoHe: Technik konstruieren und herstellen; TNu: Technik nutzen; TBe: Technik bewerten; TKom: Technik kommunizieren; A_{DM} nach Lüdtkte et al. (2006); r^B_{WG} nach Biemann et al. (2012); N-Items je N=5 bei Einzelaspekten bzw. N=25 bei STS, IdD und CPS.

Tabelle 11: Kruskal-Wallis-Test zum Unterschied zwischen Expertisefeldern (Deutsche Expertise)

Konstrukt	Chi-Quadrat	df	p
STS_TV	2.26	2	0.323
STS_KoHe	2.57	2	0.276
STS_TNu	0.00	2	1.000
STS_TBe	0.91	2	0.635
STS_TKom	3.43	2	0.180
IdD_TV	3.43	2	0.180
IdD_KoHe	0.96	2	0.620
IdD_TNu	0.51	2	0.773
IdD_TBe	2.72	2	0.257
IdD_TKom	0.96	2	0.620
CPS_TV	3.43	2	0.180
CPS_KoHe	0.67	2	0.717
CPS_TNu	0.86	2	0.651
CPS_TBe	3.00	2	0.223
CPS_TKom	1.40	2	0.497
STS	1.84	2	0.399
IdD	2.57	2	0.276
CPS	3.71	2	0.156

Tabelle 12: Inter-Rater-Übereinstimmungen auf Itemebene (Schweizer Expertise)

Einzelitems	N	Min	Max	AM (SD)	r ^L _{WG}	A ^L _{DM}
STS_TV1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	3	5	4.33 (1.16)	0.67	0.89
STS_TV2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	4	5	4.67 (0.58)	0.92	0.44
STS_TV3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	3	6	4.67 (1.53)	0.42	1.11
STS_TV4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	4	6	5.00 (1.00)	0.75	0.67
STS_TV5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	7	5.67 (1.16)	0.67	0.89
STS_TKoHe1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	5	6	5.33 (0.58)	0.92	0.44
STS_TKoHe2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	3	6	4.67 (1.53)	0.42	1.11
STS_TKoHe3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	5	6	5.33 (0.58)	0.92	0.44
STS_TKoHe4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	5	6	5.33 (0.58)	0.92	0.44
STS_TKoHe5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	7	5.67 (1.16)	0.67	0.89

STS_TNu1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	3	5	3.67 (1.16)	0.67	0.89
STS_TNu2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	3	6	4.67 (1.53)	0.42	1.11
STS_TNu3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	3	5	4.33 (1.16)	0.67	0.89
STS_TNu4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	2	5	4.00 (1.73)	0.25	1.33
STS_TNu5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	6	5.33 (0.58)	0.92	0.44
STS_TBe1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	5	5	5.00 (0.00)	1.00	0.00
STS_TBe2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	5	5	5.00 (0.00)	1.00	0.00
STS_TBe3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	5	5	5.00 (0.00)	1.00	0.00
STS_TBe4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	2	7	4.67 (2.52)	-	1.78
STS_TBe5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	6	5.67 (0.58)	0.92	0.44
STS_TKom1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	3	5	4.00 (1.00)	0.75	0.67
STS_TKom2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	3	5	4.33 (1.16)	0.67	0.89
STS_TKom3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	3	6	4.67 (1.53)	0.42	1.11
STS_TKom4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	3	5	4.33 (1.16)	0.67	0.89
STS_TKom5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	6	5.33 (0.58)	0.92	0.44
IdD_TV1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	5	7	6.00 (1.00)	0.75	0.67
IdD_TV2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	3	5	4.33 (1.16)	0.67	0.89
IdD_TV3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	3	6	4.67 (1.53)	0.42	1.11
IdD_TV4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	5	6	5.33 (0.58)	0.92	0.44
IdD_TV5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	7	6.00 (1.00)	0.75	0.67
IdD_TKoHe1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	2	5	3.33 (1.53)	0.42	1.11
IdD_TKoHe2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	1	5	3.67 (2.31)	-	1.78
IdD_TKoHe3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	2	6	4.33 (2.08)	-	1.56
IdD_TKoHe4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	4	5	4.33 (0.58)	0.92	0.44
IdD_TKoHe5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	7	6.00 (1.00)	0.75	0.67
IdD_TNu1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	4	5	4.67 (0.58)	0.92	0.44
IdD_TNu2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	3	6	4.67 (1.53)	0.42	1.11
IdD_TNu3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	3	6	4.67 (1.53)	0.42	1.11
IdD_TNu4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	4	5	4.67 (0.58)	0.92	0.44
IdD_TNu5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	7	5.67 (1.16)	0.67	0.89
IdD_TBe1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	4	6	5.00 (1.00)	0.75	0.67
IdD_TBe2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	5	6	5.33 (0.58)	0.92	0.44
IdD_TBe3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	3	5	4.33 (1.16)	0.67	0.89
IdD_TBe4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	4	5	4.67	0.92	0.44

				(0.58)		
IdD_TB5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	7	6.00 (1.00)	0.75	0.67
IdD_TKom1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	5	5	5.00 (0.00)	1.00	0.00
IdD_TKom2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	3	6	4.67 (1.53)	0.42	1.11
IdD_TKom3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	3	6	4.67 (1.53)	0.42	1.11
IdD_TKom4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	5	5	5.00 (0.00)	1.00	0.00
IdD_TKom5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	6	5.67 (0.58)	0.92	0.44
CPS_TV1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	2	5	4.00 (1.73)	0.25	1.33
CPS_TV2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	3	5	4.00 (1.00)	0.75	0.67
CPS_TV3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	2	6	4.33 (2.08)	-	1.56
CPS_TV4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	4	5	4.67 (0.58)	0.92	0.44
CPS_TV5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	7	5.67 (1.16)	0.67	0.89
CPS_TKoHe1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	3	7	5.00 (2.00)	0.00	1.33
CPS_TKoHe2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	2	7	4.00 (2.65)	-	2.00
CPS_TKoHe3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	3	6	4.67 (1.53)	0.42	1.11
CPS_TKoHe4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	5	5	5.00 (0.00)	1.00	0.00
CPS_TKoHe5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	7	5.67 (1.16)	0.67	0.89
CPS_TNu1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	4	5	4.67 (0.58)	0.92	0.44
CPS_TNu2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	3	5	3.67 (1.16)	0.67	0.89
CPS_TNu3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	3	5	4.33 (1.16)	0.67	0.89
CPS_TNu4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	5	5	5.00 (0.00)	1.00	0.00
CPS_TNu5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	6	5.33 (0.58)	0.92	0.44
CPS_TB51 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	4	5	4.33 (0.58)	0.92	0.44
CPS_TB52 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	2	5	3.67 (1.53)	0.42	1.11
CPS_TB53 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	2	5	3.67 (1.53)	0.42	1.11
CPS_TB54 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	4	5	4.67 (0.58)	0.92	0.44
CPS_TB55 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	4	5	4.67 (0.58)	0.92	0.44
CPS_TKom1 fachwissenschaftlich defizitär dargestellt. - hinreichend.	3	4	6	5.00 (1.00)	0.75	0.67
CPS_TKom2 im Unterricht/ fachdidaktisch zu anspruchsvoll. - umsetzbar.	3	2	5	3.33 (1.53)	0.42	1.11
CPS_TKom3 irrelevant zur Berufsausbildungsvorbereitung. - relevant.	3	2	5	4.00 (1.73)	0.25	1.33
CPS_TKom4 irrelevant zur Studiumsvorbereitung. - relevant.	3	2	5	4.00 (1.73)	0.25	1.33
CPS_TKom5 im Jahr 2030 überholt/ veraltet. – immer noch aktuell.	3	5	6	5.33 (0.58)	0.92	0.44

Anmerkungen: STS: Soziotechnische Systeme; IdD: Internet der Dinge; CPS: Cyber-Physische Systeme; TV: Technik verstehen; TKoHe: Technik konstruieren und herstellen; TNu: Technik nutzen; TBe: Technik bewerten; TKom: Technik kommunizieren; *Berechnungen nach Lüdtko et al. (2006)*

Tabelle 13: Inter-Rater-Übereinstimmungen auf Konstruktebene (Schweizer Expertise)

Konstrukt	N	Min.	Max.	AM (SD)	A _{DM}	r ^B _{WG}	α
STS_TV	3	4.2	5.4	4.87 (0.61)	0.80	0.86	0.42
STS_KoHe	3	4.8	6	5.27 (0.64)	0.67	0.90	0.69
STS_TNu	3	3.6	5	4.40 (0.72)	0.93	0.81	0.45
STS_TBe	3	4.6	5.6	5.07 (0.50)	0.44	0.85	0.00
STS_TKom	3	4.2	5	4.53 (0.42)	0.80	0.86	0.00
IdD_TV	3	4.8	6	5.27 (0.64)	0.76	0.87	0.52
IdD_KoHe	3	3.2	5	4.33 (0.99)	1.11	0.70	0.57
IdD_TNu	3	3.8	5.8	4.87 (1.01)	0.80	0.85	0.92
IdD_TBe	3	5	5.2	5.07 (0.12)	0.62	0.91	0.00
IdD_TKom	3	4.4	5.6	5.00 (0.60)	0.53	0.89	0.56
CPS_TV	3	3.4	5.6	4.53 (1.1)	0.98	0.78	0.84
CPS_KoHe	3	3.6	6.4	4.87 (1.42)	1.07	0.67	0.89
CPS_TNu	3	4	5.2	4.60 (0.60)	0.53	0.93	0.79
CPS_TBe	3	3.6	5	4.20 (0.72)	0.71	0.87	0.71
CPS_TKom	3	3.6	4.8	4.33 (0.64)	0.98	0.79	0.09
STS	3	4.76	4.92	4.83 (0.08)	0.73	0.88	0.00
IdD	3	4.28	5.44	4.91 (0.59)	0.76	0.86	0.82
CPS	3	3.64	5.2	4.51 (0.79)	0.85	0.85	0.93

Anmerkungen: STS: Soziotechnische Systeme; IdD: Internet der Dinge; CPS: Cyber-Physische Systeme; TV: Technik verstehen; TKoHe: Technik konstruieren und herstellen; TNu: Technik nutzen; TBe: Technik bewerten; TKom: Technik kommunizieren; A_{DM} nach Lüdtkte et al. (2006); r^B_{WG} nach Biemann et al. (2012); N-Items je N=5 bei Einzelaspekten bzw. N=25 bei STS, IdD und CPS. Für negative Cronbach-Alpha-Werte wurde der Koeffizient auf Null gesetzt.