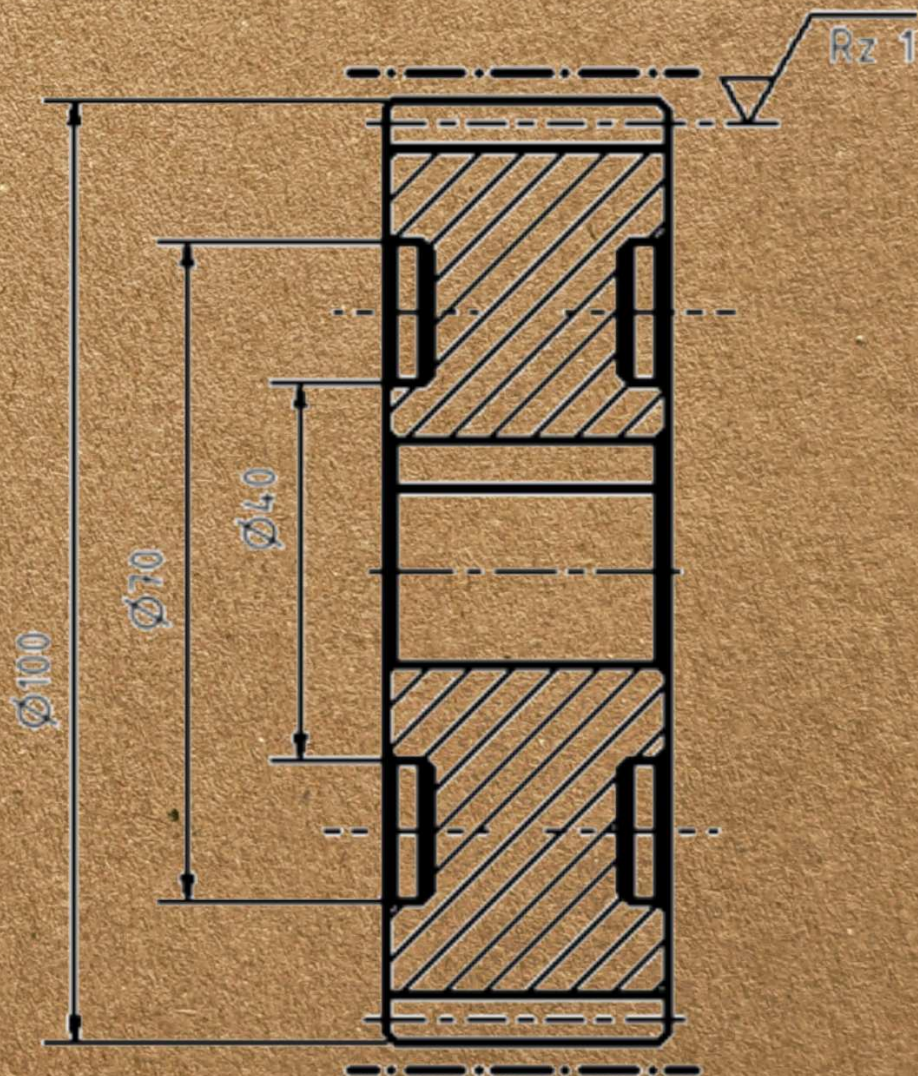


Diagnose und Förderung der berufsfachlichen Kompetenz zur Erfassung und Interpretation Technischer Zeichnungen bei Technikern

Eberhard Hüster



λογος

Diagnose und Förderung der berufsfachlichen Kompetenz zur Erfassung und Interpretation Technischer Zeichnungen bei Technikern

Eberhard Hüster

Logos Verlag Berlin



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ORC-ID: 0000-0002-1078-3585



Hergestellt als Logos-Ökobuch.
<https://www.logos-verlag.de/oekobuch>

© Copyright Logos Verlag Berlin GmbH 2023

Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-8325-5626-6

Logos Verlag Berlin GmbH
Georg-Knorr-Str. 4, Geb. 10, 12681 Berlin

Tel.: +49 (0)30 / 42 85 10 90

Fax: +49 (0)30 / 42 85 10 92

<https://www.logos-verlag.de>

Diagnose und Förderung der berufsfachlichen Kompetenz zur
Erfassung und Interpretation Technischer Zeichnungen bei
Technikern

Vom Fachbereich Sozialwissenschaften
der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau

zur Verleihung des akademischen Grades
Doktor der Philosophie (Dr. phil.)
genehmigte

D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von
Eberhard Hüster

Tag der Disputation: Kaiserslautern, 25.01.2023
Dekan: Prof. Dr. Michael Fröhlich
Vorsitzende: Prof. Dr. Shanley E. M. Allen
Gutachter:
1. Prof. Dr. Dr. h. c. Rolf Arnold
2. Jun. Prof. Dr. Hannes Saas

DE 386

Januar 2023

Kurzfassung

Ziel der vorliegenden Studie ist es, Evidenzen zur PPIK-Theorie und zum selbstregulierten Lernen aufzuzeigen. Mit diesen Theorien kann sich zu den folgenden zwei Fragen geäußert werden: Mit *welchen* lernpsychologischen Kontextfaktoren kann das Lesen und Interpretieren von Technischen Zeichnungen nach DIN EN ISO im Erwachsenenalter erklärt werden? *Wie* lassen sich das Lesen und Interpretieren von Technischen Zeichnungen nach DIN EN ISO angemessen fördern? Dazu werden in einem experimentellen Feldstudiendesign mit einer Stichprobe von ($n=381$) Studierenden der Fachschule Technik (Maschinenbau) fünf Analysen zu zwei Messzeitpunkten durchgeführt. In diesen fünf Analysen werden via Strukturgleichungsmodellierung mit Mplus7 die zuvor theoretisch operationalisierten Konstrukte evaluiert. In Analyse 1 manifestieren sich sowohl das deklarative Sachwissen als auch die analytische Problemlösekompetenz der berufsfachlichen Kompetenz als mehrdimensionale Konstrukte. Mit Analyse 2 lässt sich für Quer- und Längsschnitt eine Invarianz zum einen für den *Treatment*-Gruppenvergleich und zum anderen für den Zusammenschluss von Prä- und Posttest verzeichnen. In Analyse 3 wird eine bedeutende Lernprogression infolge der vier Lernarrangements attestiert. Auf dieser Grundlage werden in der Studie gelingende Lernprozesse basierend auf dem pädagogischen Konzept des selbstregulierten Lernens initiiert. Mithilfe von Analyse 4 kann darüber hinaus eine Quasi-Circumplexstruktur der beruflichen Interessen nach Holland aufgezeichnet werden. In der abschließenden Analyse fünf werden u. a. empirische Evidenzen zum belastbaren Einfluss von *intelligence-as-knowledge* auf die verschiedenen Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz herausgearbeitet, die eine große Rolle in der integrativen und intellektuellen Kompetenzentwicklung der PPIK-Theorie spielt. Diese neuen Erkenntnisse aus der Studie stehen demgemäß künftig Lernbegleitern zur Verfügung, die sie zur Förderung des Lesens und Interpretierens Technischer Zeichnungen angemessen in ihre theoretisch begründeten Lernarrangements integrieren können.

Abstract

The present study is designed to reveal evidences regarding the PPIK theory of adult intellectual development and the pedagogical concept of self-regulated learning. With the help of these theories, answers to the following questions shall be provided: With *which* contextual psychological learning factors can reading and interpreting technical drawings according to DIN EN ISO be explained in adulthood? *How* can the process of reading and interpreting technical drawings according to DIN EN ISO be appropriately promoted? For this purpose, five analyses are carried out at two measurement time points as part of an experimental field study design based on a sample of ($n = 381$) students of the technical college (specializing in mechanical engineering). In these five analyses, the previously theoretically operationalized constructs are evaluated using structural equation modeling with the Mplus7 software. Analysis one shows that declarative expertise and analytical problem-solving competence, which are both integral components of domain-specific competence, can be considered as multi-dimensional constructs. In analysis two, measurement invariance is established in the cross section and longitudinal section regarding the comparison of the treatment groups as well as the combination of pre- and posttests. Analysis three reveals a highly increased learning progress among the groups as a result of the four different learning arrangements. Against this backdrop, successful learning processes based on the concept of self-regulated learning are initiated in this study. By means of analysis four, a quasi-circumplex structure of vocational interests according to Holland can be derived. Finally, in analysis five, empirical evidences for the strong influence of intelligence-as-knowledge on the different dimensions of analytical problem-solving competence are provided. These evidences play a major role in the integrative and intellectual competence development of Ackerman's PPIK theory. The new findings from this study will therefore be available to learning guides in the future, who can integrate them efficiently in their theoretically founded learning arrangements to promote the process of reading and interpreting technical drawings.

Danksagung

Recht herzlichen Dank,...

...meinem Betreuer und Erstgutachter Herr Prof. Dr. Dr. h. c. Rolf Arnold von der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau.

...meinem Zweitgutachter Herr Jun. Prof. Dr. Hannes Saas von der Rheinland-Pfälzischen Technischen Universität Kaiserslautern-Landau.

... Herr Prof. Dr. Jochen Mayerl, für die freundliche Unterstützung während des longitudinalen Mittelwertvergleichs bezüglich der Lernprogression.

...Herr Dr. Michael Schäfer und Herr Prof. Dr. Helmut Nikolay, für die freundliche, offene, positive, und der Wissenschaft zugewandten Haltung im Zusammenhang mit der Befürwortung dieser Studie am Balthasar-Neumann-Technikum Trier.

...Herr Dr. Wieland Steinfeldt für die Einrichtung und Sicherung des Moodle-Kurses auf der Lernplattform Moodle des Balthasar-Neumann-Technikums Trier sowie für die unterstützende Stundenplanung.

...an die Schulleiter der partizipierenden Schulen für deren Teilnahme: Herr Dr. Michael Schäfer (OStD) vom Balthasar-Neumann-Technikum Trier, Herr Rainer Probst (OStD) von der Carl-Benz-Schule Koblenz, Herr Gerd Zimmermann (OStD) von der Harald-Fissler-Schule Idar-Oberstein, Herr Eckhard Mielke (OStD) von der Meisterschule für Handwerker Kaiserslautern, Herr Wolfgang Fluche (OStD) von der Berufsbildenden Schule Ingelheim am Rhein, Herr Dipl.-Ing. Manfred Sohns der Elisabeth-Stiftung des DRK Birkenfeld Technik.

...an die Ansprechpartner der Schulen für deren Teilnahme und Zusammenarbeit: Herr Klaus Förster (StD) und Herr Lars Eufinger (OStR) von der Carl-Benz-Schule Koblenz, Herr Christoph Ruppenthal (StD) und Herr Jörg Baumann von der Harald-Fissler-Schule Idar-Oberstein, Herr Jürgen Emmes (StD) von der Meisterschule für Handwerker Kaiserslautern, Herr Christoph Engelberts (OStR) von der Berufsbildenden Schule Ingelheim am Rhein, Herr Dipl.-Ing. (FH) Alfred Werle von der Elisabeth-Stiftung des DRK Birkenfeld Technik.

...Herr Christoph Brauns und Herr Sebastian Buser für die Unterstützung der Datenüberführung vom Online-Kurs in Excel.

...Frau Katharina Kruse vom Logos Verlag Berlin für die professionelle Begleitung während des Publikationsprozesses.

...meiner Frau Sarah Hüster, zur Inspiration mit Fokus auf die sprachliche Gestaltung.

-Für Leonhard und Sarah-



Inhaltsverzeichnis

0	<i>Aufbau der Arbeit</i>	11
1	<i>Hinführung zum Forschungsproblem und die wissenschaftliche Grundposition</i>	15
1.1	Die Bedeutung des Lesens Technischer Zeichnungen für staatlich geprüfte Techniker im Maschinenbau	15
1.2	Wissenschaftstheoretische Grundposition dieser Untersuchung	18
1.3	Die Annäherung an das Forschungsthema	19
1.4	Derzeitiger Forschungsstand im Bereich Diagnose und Förderungsmöglichkeiten beim Lesen Technischer Zeichnungen	21
1.5	Fazit: Hinführung zum Forschungsproblem	23
2	<i>Operationalisierung und theoretische Orientierung aufgefächert in drei Säulen</i>	25
2.1	Säule (A) – Was sollen die Studierenden lernen? – Technische Zeichnungen nach der DIN EN ISO	29
2.1.1	Technische Zeichnung – eine Differenzierung	29
2.1.2	Wesentliche DIN-Aspekte bezüglich Schnittdarstellungen im Maschinenbau und mögliche Fehler, auf die sich der Untersuchungsgegenstand bezieht	34
2.1.3	Fazit Säule (A): Technische Zeichnungen nach der DIN EN ISO	41
2.2	Säule (B) – Welche lernpsychologischen Kontextfaktoren sind für den Lernprozess entscheidend? – Ackerman’s Theory of Adult Intellectual Development: Process, Personality, Interests and Knowledge (PPIK)	42
2.2.1	<i>Intelligence-as-process</i> bzw. fluide Intelligenz	45
2.2.2	<i>Intelligence-as-knowledge</i> bzw. Kristalline Intelligenz	46
2.2.3	Das Arbeitsgedächtnis nach Alan Baddeley und Graham Hitch	47
2.2.4	Die <i>Cognitive-Load</i> -Theorie von John Sweller	50
2.2.5	Modell der berufsfachlichen Kompetenz	54
2.2.6	Problemlösen und die analytische Problemlösekompetenz dieser Untersuchung	59
2.2.7	Deklaratives Sachwissen nach Heinz-Martin Süß	62

Unter deklarativem Sachwissen wird in dieser Studie somit ein verbalisierbares Faktenwissen verstanden, das mit dem dazugehörigen Multiple-Choice-Test inklusive Items digital abgegriffen werden kann (vgl. Tabelle 3.4).	64
2.2.8 Interesse als Ausdruck von Persönlichkeit im RIASEC-Modell beruflicher Interessen nach John Holland	64
2.2.9 Fazit zur Säule (B): Ackermans Theory of Adult Intellectual Development: Process, Personality, Interests, and Knowledge (PPIK)	70
2.3 Säule (C): Wie lässt sich das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen fördern? – Selbstreguliertes Lernen als Lernarrangement dieser Untersuchung	72
2.3.1 Internale und externale Zielsetzung	79
2.3.2 Informatives tutorielles Feedback	86
2.3.3 Fazit Säule (C) zum selbstregulierten Lernen als Lernarrangement dieser Untersuchung	104
2.4 Fazit: Operationalisierung und theoretische Orientierung	106
3 Design der Studie	109
3.1 Forschungsstrategie	111
3.2 Wissenschaftliche Qualität durch Gütekriterien in der quantitativen Forschung	113
3.3 Variablen, Daten und Skalenniveaus der Studie	120
3.4 Psychologische Tests der Studie zur PPIK-Theorie der operationalisierten Säule (B)	124
3.4.1 Erfassung der PPIK-Theorie auf Basis der probabilistischen (<i>Item-Response</i>) Testtheorie	124
3.4.2 Test und Item-Beschreibung	134
3.4.3 Beschreibung der Items zum deklarativen Sachwissen und zur analytischen Problemlösekompetenz	138
3.4.4 Intelligenztest CFT 20-R Teil 1	138
3.4.5 Allgemeiner Interessensstruktur-Test (AIST-R)	139
3.4.6 Fragebogen zur Messung des <i>Cognitive-Load</i>	141
3.4.7 Fragebogen zur Messung der internalen Zielorientierungen	143
3.5 Studienaufbau	143
3.6 Planung der Stichprobe zur Studie	149
3.7 Fazit zum Studiendesign	150
4 Untersuchungsdurchführung	151
4.1 Übersicht der Untersuchungsdurchführung	151

4.2	Untersuchungsdurchführung Tag 1	153
4.3	Untersuchungsdurchführung Tag 2	155
4.4	Fazit: Untersuchungsdurchführung	156
5	<i>Analysen zur Studie</i>	157
5.1	Formation der beobachteten Daten	159
5.2	<i>Structural Equation Modeling (SEM) zur Durchführung der Analysen (1-5)</i>	160
5.2.1	Konventionelle Herangehensweise und Modellfitwerte von Struktur-gleichungsmodellen	164
5.2.2	Modellvergleiche von Strukturgleichungsmodellen	168
5.2.3	Der Umgang mit kategorialen Daten	169
5.3	Stichprobe der Studie	171
5.4	Analyse 1: Prüfung der Dimensionen mittels konfirmatorischer Faktoranalyse (CFA)	171
5.4.1	Hypothesen zur Analyse 1	172
5.4.2	Methode zur Analyse 1	172
5.4.3	Ergebnisse zu Analyse 1	174
5.4.4	Fazit zu Analyse 1	177
5.5	Analyse 2: Prüfung auf Äquivalenz bzw. Invarianz	178
5.5.1	Hypothesen zu Analyse 2	178
5.5.2	Methode zu Analyse 2	179
5.5.3	Ergebnisse zu Analyse 2 (Vergleich der Gruppen im Querschnitt)	182
5.5.4	Ergebnisse zu Analyse 2 (longitudinale Invarianzprüfung)	184
5.5.5	Fazit zu Analyse 2: Prüfung auf Äquivalenz bzw. Invarianz	187
5.6	Analyse 3: Lernprogression durch das Lernarrangement	187
5.6.1	Hypothesen zu Analyse 3	188
5.6.2	Methode zu Analyse 3	189
5.6.3	Ergebnisse zu Analyse 3	189
5.6.4	Fazit zu Analyse 3	190
5.7	Analyse 4: RIASEC via Circumplex	191
5.7.1	Hypothesen zu Analyse 4	192
5.7.2	Methode zu Analyse 4	192

5.7.3	Ergebnisse zu Analyse 4 (Quasi-Circumplex)	196
5.7.4	Fazit zu Analyse 4: RIASEC via Circumplex	199
5.8	Analyse 5: PPIK-Theorie (Säule B)	200
5.8.1	Hypothesen zu Analyse 5: PPIK-Theorie (Säule B)	200
5.8.2	Methode zu Analyse 5: PPIK-Theorie (Säule B)	202
5.8.3	Ergebnisse zu Analyse 5: PPIK-Theorie (Säule B)	202
5.8.4	Fazit zu Analyse 5: PPIK-Theorie (Säule B)	209
5.9	Fazit: Analysen zur Studie	213
6	<i>Zusammenfassung und Gesamtdiskussion</i>	215
7	<i>Ausblick und Implikationen</i>	219
8	<i>Literaturverzeichnis</i>	221
9	<i>Weitere Verzeichnisse</i>	235
9.1	Abbildungsverzeichnis	235
9.2	Tabellenverzeichnis	238
9.3	Formelverzeichnis	239
10	<i>Anhang</i>	240

0 Aufbau der Arbeit

Technische Zeichnungen nach DIN EN ISO sind in der modernen Auftragsabwicklung ein zentraler Bestandteil, insbesondere in einer globalen Weltwirtschaft (Kiehl et al., 2001, S.3).

Für Lehrer¹, Professoren und Ausbilder, sowohl im berufsbildenden als auch im Hochschulsektor, stellt sich demgemäß zur täglichen Gestaltung von Lernarrangements für das Lesen Technischer Zeichnungen die Frage, wie sich letzteres adäquat initiieren und begleiten lässt. Hieraus leitet sich ferner ein komplexes Geflecht an miteinander verknüpften Fragen ab: Lässt sich das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen tatsächlich lernen oder ist dies eher als kognitive Fähigkeit der individuellen Begabung zuzuschreiben? Ist der Lernerfolg wesentlich vom bereits erworbenen Vorwissen abhängig oder nicht? Lernen besonders interessierte Zeichnungsleser besser als weniger interessierte? Kann ein geeignetes Feedback während des Lernprozesses wirksam platziert werden? Gibt es Ziele, die sich gegenüber anderen als erfolgsversprechender antizipieren lassen? Es ist vorstellbar, dass diese Fragen von unterschiedlichen am Lernprozess beteiligten Personen (wie beispielsweise Lehrer) aus verschiedener epistemologischer Überzeugung heraus konträr beantwortet werden würden.

Ausgehend von diesen Leitfragen wird in der vorliegenden Arbeit das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen hinsichtlich der damit einhergehenden beruflichen Relevanz und den dafür notwendigen lernpsychologischen Kontextfaktoren mit der PPIK-Theorie theoretisch modelliert. Anschließend werden die integrativen theoretischen Konstrukte als Elemente der PPIK-Theorie als longitudinale experimentelle Feldstudie via Strukturgleichungsmodellierung mit Mplus7 im Sinne eines kritischen Rationalismus evaluiert. Zwischen Prä- und Posttest liegen die Lernprozesse der Studierenden, deren Progression gemessen mit adäquaten Tests zu lernpsychologischen Konstrukten Rückschlüsse erlauben.

Im Zentrum von Kapitel 1 steht daher eine grundlegende Hinführung zur Thematik dieser Untersuchung sowie deren Begründung infolge einer offenkundigen Forschungslücke in der berufsbildenden Domäne der Fachschule Maschinenbau. Zusätzlich wird die wissenschaftstheoretische Grundposition bestimmt. Kapitel 2 stellt den zentralen Theorierteil dar, innerhalb dessen die für die vorliegende Studie relevanten Konstrukte differenziert nach den folgenden drei Säulen operationalisiert werden:

A) *Technische Zeichnungen* nach DIN EN ISO: Von zentralem Interesse ist hier die Frage, *was* die Studierenden lernen sollen,

¹ Das in dieser Arbeit gewählte generische Maskulinum bezieht sich zugleich auf die männliche, die weibliche und andere Geschlechteridentitäten. Es wird ausschließlich zur angenehmeren Lesbarkeit verwendet.

B) *PPIK-Theorie*: Der Schwerpunkt liegt hier auf der Frage, *welche* lernpsychologischen Kontextfaktoren zum Lernen der Interpretation und Diagnose Technischer Zeichnungen im Erwachsenenalter notwendig erscheinen,

C) *selbstreguliertes Lernen*: Essentiell ist schließlich die Frage, *wie* dieses Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen adäquat gefördert werden kann.

Kapitel 3 richtet den Fokus auf das Studiendesign und beleuchtet in diesem Kontext beispielsweise folgende Fragen: Welche Systematiken sind zu Beginn, während der Durchführung und Auswertung der Studie zu berücksichtigen? Welche Tests werden konzipiert und angewendet? In welchen forschungsmethodischen Zusammenhang lässt sich die vorliegende Studie einbetten? Im Anschluss daran folgt Kapitel 4, im Rahmen dessen die Untersuchungsdurchführung an den sechs rheinland-pfälzischen Fachschulen aufgezeichnet wird. Kapitel 5 ist indes dem empirischen Teil gewidmet: Hier geht es um die Studie an sich, in der sich die beiden Säulen (B) – *welche* lernpsychologischen Kontextfaktoren ausschlaggebend sind – und (C) – *wie* diese adäquat gefördert werden könnten – mithilfe von Evidenzen durch die Strukturgleichungsmodellierung in Mplus7 begründen lassen. Die Zusammenfassung und Gesamtdiskussion der vorliegenden Studie erfolgt in Kapitel 6; Kapitel 7 gewährt anschließend einen Ausblick auf künftige Implikationen der im Rahmen dieser Arbeit aufgezeigten Untersuchungsergebnisse für Beruf, Schule und Forschung. Die Kapitel 1-7 werden zur Übersicht mit *icon*-ähnlichen Bildern wie nachfolgend in Abbildung 0.1 dargestellt visualisiert. Hieraus wird ersichtlich, dass es zunächst die Frage nach dem Forschungsproblem zu beantworten gilt (Kapitel 1).

1 Hinführung zum Forschungsproblem und die wissenschaftliche Grundposition

Zu Beginn stellt sich eine Reihe von Fragen, deren Beantwortung auf die praktische Relevanz und eine vorhandene Forschungslücke hinweisen: Welche Bedeutung haben Technische Zeichnungen nach DIN EN ISO im Maschinenbau (vgl. Kapitel 1.1)? Welche curricularen Rahmenbedingungen sehen die Behandlung Technischer Zeichnungen nach DIN EN ISO in rheinland-pfälzischen Fachschulen vor (vgl. Kapitel 1.1)? Gibt es bereits Forschungsergebnisse in dieser spezifischen Domäne (vgl. Kapitel 1.4)? Welche wissenschaftliche Grundposition dient als Orientierung für die vorliegende Untersuchung (vgl. Kapitel 1.2)?

Im vorliegenden Kapitel wird auf die Beantwortung dieser Fragen eingegangen. Auf diese Weise werden die Relevanz und die Aktualität des Forschungsprojekts herauskristallisiert, was zur Formulierung des Forschungsproblems führt.

1.1 Die Bedeutung des Lesens Technischer Zeichnungen für staatlich geprüfte Techniker im Maschinenbau

Zuerst stellen sich folgende zwei Fragen zur Forschungsintention aus dem Blickwinkel praktischer Relevanz bezüglich des Lesens Technischer Zeichnungen: Warum spielen Technische Zeichnungen im Maschinenbau eine zentrale Rolle? Werden geeignete curriculare Rahmenbedingungen zum Erlernen des Zeichnungslesens nach DIN EN ISO in der Fachschule seitens des Landes Rheinland-Pfalz vorgesehen?

Die Technische Zeichnung ist in der konventionellen Auftragsabwicklung das zentrale Verständigungsmittel. Sie stellt das räumliche Bauteil in den notwendigen Ansichten mittels Parallelprojektion zweidimensional dar. Darüber hinaus enthält die Technische Zeichnung Angaben bezüglich der Bemaßung, Maßtoleranzen, Oberflächenangaben und zusätzliche, für die Fertigung bedeutsame, Zeichnungseintragungen. Der Zeichnungssatz bestehend aus Zusammenbauzeichnung, Stückliste und Fertigungszeichnungen ist die Grundlage der technischen Produktdokumentation (Fritz, 2016, S.9).

Es wird ersichtlich, dass die Technische Zeichnung (vgl. Abbildung 1.1) ein wesentliches Kommunikationsmedium (vgl. Abbildung 1.2) u. a. im Maschinenbau darstellt. Insofern müssen alle Kommunikationspartner die gleiche Sprache sprechen, damit Missverständnisse in der Kommunikation weitestgehend ausgeschlossen werden können. Die Technische Zeichnung könnte man auch mit einer Schrift, wie etwa der lateinischen Schrift, vergleichen. Ähnlich wie in Letzterer die Buchstaben festgelegt sind, werden in der Tech-

nischen Zeichnung beispielsweise Geometriedarstellungen und zusätzliche Zeichnungseintragungen (z. B. Oberflächensymbole) durch das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN) definiert.

Gerade das globale Handeln verlangt globale Strategien, wodurch internationale Normen als Katalysator fungieren, besonders im Hochtechnologiebereich (Kiehl et al., 2001, S.3).

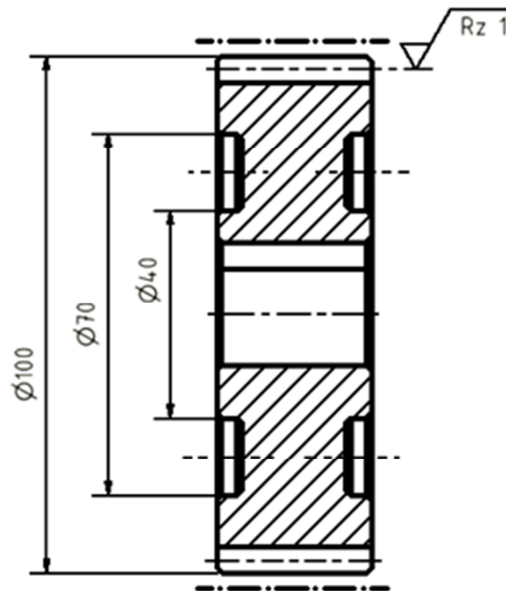


Abbildung 1.1: Technische Zeichnung Zahnrad

Die DIN findet allgemein Anerkennung und steht für ein einwandfreies technisches Verhalten im Regelfall. Sie kann durch Verträge sowie durch Rechts- und Verwaltungsvorschriften verpflichtend werden (Kiehl et al., 2001, S.4).



Abbildung 1.2: Zeichnungsinterpretation eines Automobilzulieferers (Labisch & Weber, 2005, S.1)

Es ist somit sehr bedeutsam, dass die Technische Zeichnung von allen am Produkt beteiligten Personen einwandfrei gelesen werden kann. Die Technische Zeichnung muss vollständig, eindeutig und gut verständlich sein, so dass Diskussionen über die Informationen der jeweiligen Technischen Zeichnung entfallen. Sie ist im allgemeinen Maschinenbau ein abstrahiertes Abbild eines Bauteils oder einer Baugruppe. Diesbezüglich stehen zur Anfertigung einer Technischen Zeichnung ausschließlich Linien, Symbole und alphanumerische Zeichen (Zahlen und Buchstaben) zur Verfügung. Da die Technische Zeichnung zweidimensional in der Ebene liegt, sind zur Abbildung des dreidimensionalen Körpers im Raum in der Regel mehrere Ansichten durch die Parallelprojektion erforderlich. Es wird dadurch deutlich, dass der Zeichnungsleser die Fähigkeit benötigt, Informationen aus 2-D in 3-D und umgekehrt zu transformieren (Labisch & Weber, 2013, S.1f.).

Hieraus ergibt sich die Bedeutung des Zeichnungslesens für die am Produkt beteiligten Personen (z. B. Werkzeugmacher, Industriemechaniker, Zerspanungsmechaniker, Dipl.-Ing. Maschinenbau) in der Konstruktion und in der Fertigung. Der staatlich geprüfte Techniker Fachrichtung Maschinenbau steht als mittlere Führungskraft u. a. hinsichtlich der Vollständigkeit und Eindeutigkeit der Technischen Zeichnung in der Verantwortung. Er gibt unter Umständen die vom technischen Zeichner entworfene Technische Zeichnung mit seiner Unterschrift zur Fertigung frei. Somit muss er die Kompetenz entwickeln, eine Technische Zeichnung einwandfrei lesen und notwendige Korrekturen in Bezug auf

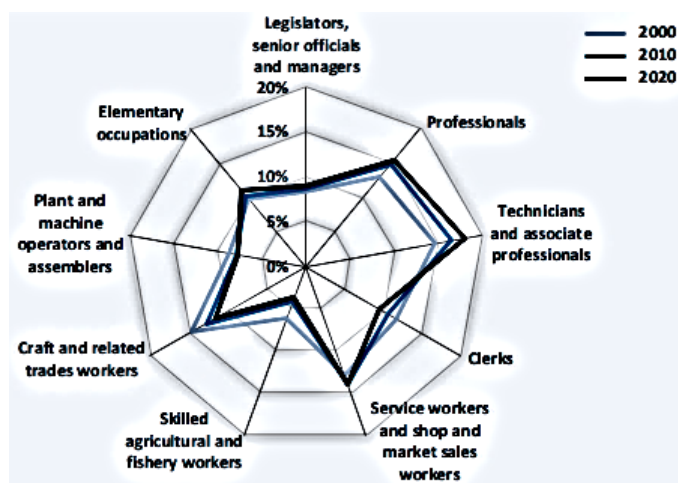


Abbildung 1.3 Zukünftiger beruflicher Bedarf (*Future skills supply and demand in Europe*, 2012, S.27)

Geometrie, Maßeintragung und Fertigungsangaben vornehmen zu können. Dies ist eine der angestrebten Kompetenzen, welche die Studierenden im Laufe ihrer Weiterbildung an der Fachschule entwickeln sollen.

Dazu existiert im Lehrplan des Ministeriums Rheinland-Pfalz der Fachschule für den staatlich geprüften Techniker Fachrichtung Maschinentechnik das Modul 06 „Analysieren und Dokumentieren von Baugruppen“. Hier wird auf die

Anwendung der DIN-Normen während des Unterrichts in der Fachschule im Rahmen von Modul 06 explizit verwiesen (Ministerium für Bildung, Frauen und Jugend [Hrsg.], 2003, S.22).

Abgesehen vom Lehrplan erscheint die Weiterbildung an berufsbildenden Schulen (BBS) der Bundesrepublik Deutschland auf der Stufe 6 des Europäischen Qualifikationsrahmens (EQF-6) in Form des staatlich geprüften Technikers mit Blick in die Zukunft ebenfalls als sinnvoll. Gerade in technischen Berufen (vgl. Abbildung 1.3), die eine höhere berufliche Qualifikation erfordern, werden auch im Zuge der Digitalisierung zunehmende Arbeits-

bedarfe prognostiziert, wohingegen für Berufe ohne vergleichbare Qualifikationen das Gegenteil antizipiert wird (*Future skills supply and demand in Europe*, 2012, S.26ff.).

Es wird ersichtlich, dass der Weiterbildung zum staatlich geprüften Techniker eine große Bedeutung zukommt. Schließlich stellt der staatlich geprüfte Techniker z. B. neben dem Bachelor-Ingenieur eine mittlere Führungskraft in technischen Tätigkeitsfeldern von Handwerk und Industrie dar (*IW-Trends_2016-01-06_Flake_Werner_Zibrowius*, 2016, S.12ff.).

1.2 Wissenschaftstheoretische Grundposition dieser Untersuchung

Im Fokus dieses Kapitels steht die Frage, welche systematischen Forschungsstrategien einen vorläufig geeigneten Erkenntnisgewinn generieren können. Hierbei geht es um keinen wissenschaftstheoretischen Paradigmenstreit wie beispielsweise zwischen quantitativer und qualitativer Forschung zu Beginn des 20. Jahrhunderts (Döring & Bortz, 2016, S.14).

Vor diesem Hintergrund ist „vorläufig“ als Wahrheitssuche anstatt Wahrheitsbehauptung zu verstehen, zu derer verschiedene wissenschaftstheoretische Strategien als hilfreich angesehen werden (Franco, 2019, S.761ff.).

In wissenschaftlichen Arbeiten muss das Verhältnis von Theorie zur Empirie offengelegt werden. Es geht hierbei jedoch nicht darum, eine Theorie objektiv zu beweisen. Dies würde unter einen positivistischen Wissenschaftsbegriff fallen, der aufgrund der philosophischen Arbeiten von Sir Karl Popper nur schwer vertretbar wäre. Aus diesem Grund plädiert diese Untersuchung für einen kritischen Rationalismus. Theorien sind demnach modellhafte Abbilder der Welt, die immer wieder auf ihre Gültigkeit bzw. auf ihren Gültigkeitsbereich hin zu überprüfen sind. Somit geht es beim Überprüfen einer Theorie darum, ob die Theorie noch aufrechterhalten werden kann oder ob diese widerlegt wurde – das heißt folglich, ob das Modell oder die Abbildung tatsächlich noch mit der Welt oder der Wirklichkeit im Einklang steht oder nicht (Rost, 2004, S.23ff.; Bergmann & Eder, 2005, S.37).

Insofern werden in der vorliegenden Arbeit aufgestellte Theorien deduktiv mittels Falsifikation auf deren vorläufige Gültigkeit hin überprüft (Franco, 2019, S.51; Döring & Bortz, 2016, S.37).

Sehr bedeutsam erscheint hierbei die Operationalisierung der Konstrukte. Schließlich ist es maßgeblich, dass für jeden ersichtlich wird, was unter den jeweiligen Konstrukten zu verstehen ist. Ist dies nicht gewährleistet, lassen sich keine einheitlichen Schlussfolgerungen aus dem entsprechenden Modell ziehen, wodurch es relativ leicht widerlegt werden kann und damit nicht mehr mit der Welt oder der Wirklichkeit übereinstimmt (Rost, 2004, S.24ff.; Döring & Bortz, 2016, S.228ff.).

Die Operationalisierung ist zudem im Hinblick auf die Evidenzen zur Validität bedeutsam (vgl. Kapitel 3.2), sodass der Test auch tatsächlich die Konstrukte hinreichend abbilden kann (Hartig, Frey & Jude, 2012, S.144).

Überdies ist es von zentraler Bedeutung, eine Theorie in ein formales mathematisches Modell (z. B. in Form einer Gleichung) zu übertragen, damit es für die wissenschaftliche Perspektive adäquat abgebildet ist. Wird das formal reduzierte Abbild der Wirklichkeit in Form der Mathematik nicht widerlegt, so kann es als Theorie aufrechterhalten werden (Rost, 2004, S.24ff.).

In dieser Untersuchung dienen Strukturgleichungsmodelle als entsprechende Abbilder der aufgestellten Theorien. Damit diese die operationalisierten Theorien angemessen abbilden können, ist eine geeignete Verbindung entscheidend. Diese lässt sich mit einem passenden Studiendesign, beispielsweise über eine adäquate Standardisierung, realisieren.

Neben einer angemessenen wissenschaftstheoretischen Grundposition muss Forschung neutral und ergebnisoffen sein. Wenn sich Forscher ihren Auftraggebern zu stark verpflichtet fühlen, wird Forschung lediglich auf einen Argumentationslieferanten reduziert. Zum anderen wird das Forschen belanglos, wenn es sich zu weit von der Praxis der Handelnden entfernt und damit in gewisser Weise nur noch der Befriedigung von Eitelkeit dient. Insofern gilt es, einen wohlwogenen Spagat zwischen beiden Extremen zu finden (Schlömerkemper, 2010, S.43).

Diese Untersuchung wird unabhängig von Interessen Dritter sowie ohne Zuhilfenahme externer finanzieller Mittel durchgeführt. Sie zielt direkt auf die Unterrichtsgestaltung und somit auf den handelnden Lehrer in der Fachschule Maschinenbau ab, wodurch ein angemessener Praxisbezug etabliert wird.

1.3 Die Annäherung an das Forschungsthema

In empirischen Arbeiten ist es essenziell, theoretische Konstrukte so zu operationalisieren, dass sie mit adäquaten Tests und dafür geeigneter Stichprobe gemessen werden können. Dabei spielen Gütekriterien wie die Objektivität eine wichtige Rolle (vgl. Kapitel 3.2). Auch die vorhandenen Auswertungsmöglichkeiten müssen von Beginn an mitberücksichtigt werden. Schließlich ergibt sich beispielsweise ein eklatanter Unterschied hinsichtlich des Designs, je nachdem, ob die Auswertung via Kovarianzanalyse oder Strukturgleichungsmodellierung erfolgt. Auch während der Planung zur Auswertung dichotomer Daten mit einem Strukturgleichungsmodell ist eine angemessene Software von Beginn an mit einzuplanen.

Insofern geschieht die Annäherung an den Forschungsgegenstand simultan zwischen Forschungsfrage, Forschungsmethodik und theoretischer Perspektive (vgl. Abbildung 1.4). Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die erfassten Daten durch eine entsprechende Auswertung zu verwertbaren Ergebnissen führen (Mittenecker, 1977, S.2ff.).

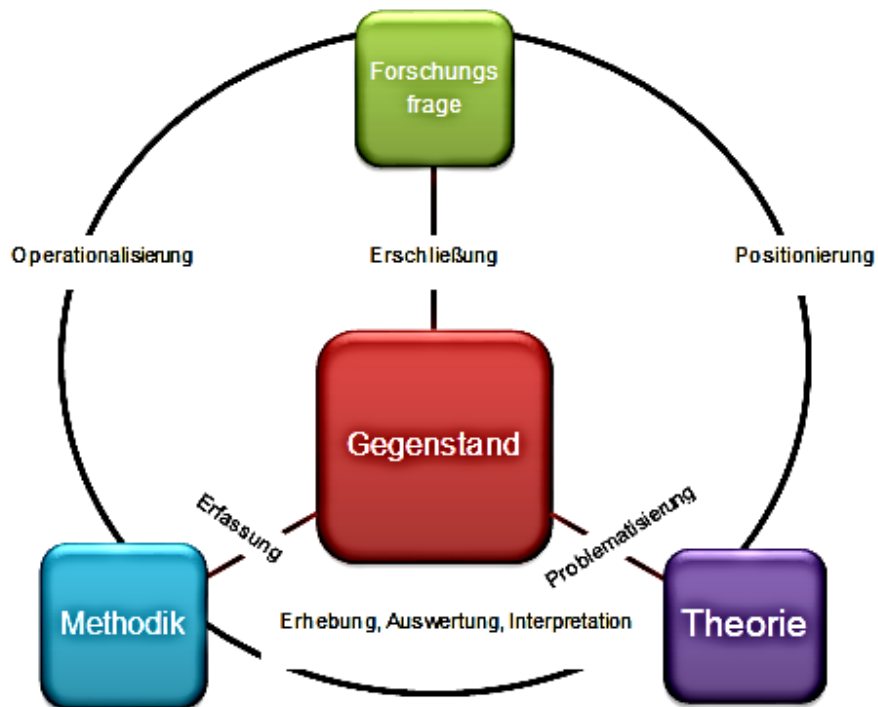


Abbildung 1.4: Überblick Grundstruktur von Forschungsprozessen (eigene Darstellung) (Hoffmann, 2012)

Technische Zeichnungen sind als Kommunikationsmedium im Maschinenbau sehr bedeutsam und werden analog hierzu in den Fachschulen von Rheinland-Pfalz behandelt (vgl. Kapitel 1.1).

Infolge der Relevanz Technischer Zeichnungen in der Produktdokumentation des Maschinenbaus wären somit aus forschungsthematischer Perspektive folgende Überlegungen anzustellen:

- Wie könnte das Lesen Technischer Zeichnungen am effizientesten in der Fachschule gelernt werden?
- Welche kognitiven Ressourcen sind für das Lesen Technischer Zeichnungen bedeutsam?
- Welches Lernarrangement könnte als dafür passend angesehen werden?

1.4 Derzeitiger Forschungsstand im Bereich Diagnose und Förderungsmöglichkeiten beim Lesen Technischer Zeichnungen

Zur forschungsthematischen Perspektive aus Kapitel 1.3 wird nach derzeit vorhandenen Forschungsarbeiten in der Fachschule des Maschinenbaus recherchiert. Diese Recherche dient zur Aufdeckung einer Forschungslücke in puncto kognitiver Kontextfaktoren zum Lesen einer Technischen Zeichnung und deren Erlernbarkeit mittels adäquaten Lernarrangements.

Zur Herleitung eines Forschungsbedarfs werden geeignete Suchbegriffe (*key words*) differenziert, um mit deren Hilfe in den für das Thema bedeutsamen wissenschaftlichen Datenbanken (u. a. der Datenbank für Maschinen- und Anlagenbau (DOMA), Google Scholar, OLC, ERIC und FIS-Bildung) zu recherchieren (Döring & Bortz, 2016, S.158).

Die Dissertationsschrift von Markus Hahne der Technischen Universität Dortmund beschäftigt sich zwar mit dem Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen im Maschinenbau, eine Identifikation von Fehlern ist hier jedoch kein Bestandteil (Künne & Hahne, 2012, S.1-147).

Aktuell gibt es zwei veröffentlichte Untersuchungen zur Fachkompetenzstruktur des Technikers als höchste Weiterbildungsmöglichkeit an berufsbildenden Schulen (BBS) in der Bundesrepublik Deutschland, die eine einjährige und einschlägige Berufsausbildung als Eingangsbedingung voraussetzt:

Bei der einen Studie handelt es sich um eine Untersuchung zu Technikern (Fachrichtung Elektrotechnik), im Rahmen derer sich eine dreidimensionale Struktur des Fachwissens zu Beginn und am Ende der Weiterbildung herauskristallisierte (Velten, Nitzschke, Nickolaus & Walker, 2018, S.201-220).

Die andere Studie ist eine Untersuchung zu Technikern (Fachrichtung Bautechnik), bei der ebenfalls ein dreidimensionales Strukturmodell zur Kompetenzmessung sichtbar wurde (Zinn & Wyrwal, 2017, S.245).

Im Fokus stehen hierbei jedoch andere berufliche Domänen und Inhalte. Die drei genannten Studien liefern folglich lediglich teilweise einen Ansatz zur vorliegenden Arbeit und werden deshalb mitberücksichtigt.

In der Untersuchung zu Technikern (Fachrichtung Elektrotechnik), die in den beiden Bundesländern Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen mit 278 Studierenden in der Eingangsstichprobe longitudinal über drei Messzeitpunkte durchgeführt wurde, konnte eine dreidimensionale Struktur des Fachwissens zu Beginn und am Ende der Weiterbildung festgestellt werden. Die drei Dimensionen des Fachwissens bestanden aus Grundlagen der Elektrotechnik, elektrische Anlagen sowie Systeme und Steuerungstechnik, bei denen sich am Ende der Weiterbildung vermutlich verstärkte integrative Verarbeitungsprozesse zeigten (Velten et al., 2018, S.201-220).

Die Grundlage dieser dreidimensionalen Fachwissenstruktur lieferten bereits bekannte Ergebnisse aus der beruflichen Erstausbildung des Berufs Elektroniker für Automatisierungstechnik (Walker, 2013, S.145ff.).

In der Querschnittsuntersuchung zu Technikern (Fachrichtung Bautechnik) berichten Wyrwal und Zinn von einem dreidimensionalen Strukturmodell zur Kompetenzmessung, das durch die Dimensionen Baustatik/Tragwerkslehre, Baukonstruktion/Bauphysik und fachspezifische Problemlösefähigkeit aufgespannt wird. Als Beispiel-Item für die fachspezifische Problemlösefähigkeit geben die Forscher eine statische Berechnungsaufgabe an, zu deren Lösung mathematische Fähigkeiten und entsprechendes physikalisches Wissen Synergieeffekte ergeben müssen. Dazu wurden die Daten von 428 Studierenden aus 17 berufsbildenden Schulen (BBS) der Länder Baden-Württemberg, Hessen und Bayern in die statistischen Berechnungen von Strukturgleichungsmodellen mit der Software Mplus7 nach der Item-Response-Theorie (IRT) berechnet. Hierzu wurden insgesamt vier Modelle theoretisch konzipiert und via Chi-Quadrat-Differenztest im Modellvergleich gegeneinander getestet. Obwohl der Modellvergleich zwischen dem vier- und dem dreidimensionalen Modell einen signifikanten Chi-Quadrat-Differenztest aufzeigte, entschieden sich die Wissenschaftler aufgrund der besseren *Modelfit*-Werte für das dreidimensionale Strukturmodell zur Kompetenzmessung (Zinn & Wyrwal, 2017, S.234-245).

Die skizzierte Studie aus der Fachschule Elektrotechnik enthält zur Erfassung des Fachwissens u. a. Items, die auf kleine Berechnungen wie beispielsweise elektrische Widerstandsberechnung abzielen (Velten et al., 2018, S.209f.).

In der Studie der Fachschule Bautechnik werden derartige Aufgabenstellungen, die aus Wissenselementen und mathematischen Fähigkeiten kombiniert sind, jedoch zur Messung der fachspezifischen Problemlösefähigkeit verwendet (Zinn & Wyrwal, 2017, S.237).

In diesem Kontext tritt die Relevanz einer geeigneten Operationalisierung in Erscheinung, damit eine adäquate kausale Interpretation der Ergebnisse begünstigt werden kann (Hartig et al., 2012, S.147).

Aus diesem Grund werden für die vorliegende Untersuchung u. a. die Begriffe „Fachwissen“ und „Problemlösen“ vorab aus wissenschaftlicher Perspektive heraus operationalisiert.

Aufgrund der skizzierten Datenbankrecherchen und der großen Bedeutung des korrekten Interpretierens Technischer Zeichnungen von staatlich geprüften Technikern im Maschinenbau, lässt sich ein wissenschaftlicher Bedarf hinsichtlich des in der vorliegenden Arbeit verfolgten Forschungsansatzes konstatieren. Hieraus resultierend ergibt sich somit das Forschungsproblem dieser Arbeit:

„Diagnose und Förderung der berufsfachlichen Kompetenz zur Erfassung und Interpretation Technischer Zeichnungen bei Technikern.“

1.5 Fazit: Hinführung zum Forschungsproblem

Technische Zeichnungen nach DIN EN ISO sind als Untersuchungsgegenstand aus praktischer Perspektive wertvoll, da sie als Kommunikationsmedium in der konventionellen Auftragsabwicklung dienen. Da gelingende Kommunikationsprozesse als solche im Rahmen menschlicher Interaktion entscheidend sind, erscheint der Stellenwert Technischer Zeichnungen im Maschinenbau insbesondere in Anbetracht einer globalen Weltwirtschaft als plausibel.

Deshalb ist das Lesen Technischer Zeichnungen im Lehrplan der Fachschule Maschinenbau des Landes Rheinland-Pfalz in Modul 06 „Dokumentieren und Analysieren von Baugruppen“ thematisiert (Hrsg., 2003, S.22).

Aus diesem Grund stellen sich forschungsthematisch folgende Fragen: Wie kann das Interpretieren Technischer Zeichnungen durch die Lernprozesse in der beruflichen Weiterbildung der Fachschule Maschinenbau begünstigt werden? Welche hierfür notwendigen kognitiven Kontextfaktoren erscheinen als relevant? Die derzeitige Forschungslandschaft bietet zu deren Beantwortung in der beruflichen Domäne Fachschule Maschinenbau keine wissenschaftlich fundierten Alternativen, wodurch sich eine Forschungslücke feststellen lässt. Als Resultat ergibt sich das Forschungsproblem dieser Untersuchung:

„Diagnose und Förderung der berufsfachlichen Kompetenz zur Erfassung und Interpretation Technischer Zeichnungen bei Technikern.“

2 Operationalisierung und theoretische Orientierung aufgefächert in drei Säulen

Hinsichtlich des Themas „Diagnose und Förderung der berufsfachlichen Kompetenz zur Erfassung und Interpretation Technischer Zeichnungen bei Technikern“ lassen sich drei Fragen formulieren, die es mit wissenschaftlich verifizierten Theorien zu erörtern gilt:

- A) *Was* ist das Themengebiet, das von den Studierenden gelernt werden soll (vgl. Kapitel 2.1)?
- B) Mit *welchen* theoretischen Konstrukten lassen sich die lernpsychologischen Kontexte im Erwachsenenalter während des Lernprozesses modellieren (vgl. Kapitel 2.2)?
- C) *Wie* können Kompetenzen zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen nach DIN EN ISO mithilfe eines adäquaten Lernarrangements gefördert werden (vgl. Kapitel 2.3)?

Basierend auf diesen Fragestellungen wird das vorliegende Kapitel in drei Säulen aufgefächert, die nachfolgend eingehend theoretisch beleuchtet werden. Im Experimentaldesign der vorliegenden Arbeit lassen sich nicht alle denkbaren Informationen Technischer Zeichnungen erlernen, da die zeitlichen Ressourcen begrenzt sind. Demnach müssen wesentliche Merkmale einer Technischen Zeichnung für das Lernarrangement zwischen Prä- und Posttest ausgewählt werden. In dieser Studie wird sich theoretisch begründet für Schnittdarstellungen nach DIN EN ISO entschieden. An dieser Stelle ist darüber hinaus zu betonen, dass sich Technische Zeichnungen deutlich von Skizzen oder Plänen abgrenzen (vgl. Kapitel 2.1). Somit gilt es, Fehler in Schnittdarstellungen Technischer Zeichnungen zu diagnostizieren und zu interpretieren. Hierfür sind angemessene Kompetenzen zwingend erforderlich. Wie ließe sich nun ein geeignetes Rahmenmodell zur Kompetenzentwicklung konzipieren, mittels dessen sowohl die Diagnose als auch die Interpretation von Fehlern in Schnittdarstellungen ermöglicht werden?

Hierzu liefert Phillip L. Ackermans *Theory of Adult Intellectual Development: Process, Personality, Interests, and Knowledge (PPIK)* einen integrativen Ansatz der intellektuellen Kompetenzentwicklung im Erwachsenenalter. Dies bedeutet ferner, dass die entsprechenden kognitiven Konstrukte aus diesem Modell abgeleitet werden können. In diesem Zusammenhang liefert sozusagen die fluide Intelligenz (Horn & Cattell, 1967), die bei Ackerman im Kern als *intelligence-as-process* bezeichnet wird, den kognitiven Rahmen. Dieser steht in enger Beziehung zum Arbeitsgedächtnis (Baddeley & Hitch, 1974) und erscheint als vergleichsweise determiniert. Durch adäquate Synergieeffekte mit dem Konstrukt *intelligence-as-knowledge*, das an die kristalline Intelligenz von Cattell als Wissen angelehnt ist, lassen sich spezifische Kompetenzen entwickeln (Ackerman, 1996, S.232-239).

In der vorliegenden Arbeit stellt *intelligence-as-knowledge* die möglichen Dimensionen von Fachwissen – hier *deklaratives Sachwissen* (Süß, 1996) – aus dem Vortest dar. Es ist jedoch

nicht nur die reziproke Entwicklung zwischen *intelligence-as-process* und *intelligence-as-knowledge* zur spezifischen Kompetenzentwicklung ausschlaggebend, auch der Gegenstand selbst kann bei verschiedenen Individuen ein unterschiedliches Interesse hervorrufen. Demzufolge geht es nicht nur um die reziproke Entwicklung zwischen Fähigkeiten und Wissen – von zentraler Bedeutung ist gleichermaßen die Frage, in welchen domänenspezifischen Bereich Individuen kognitive Ressourcen investieren.

Ein solches berufliches Interesse (Holland, 1997) kann als Ausdruck der Persönlichkeit interpretiert werden (Todt, 1978, S.199).

Sowohl *intelligence-as-process*, *intelligence-as-knowledge* als auch die beruflichen Interessen nach Holland wirken sich reziprok als bereits erworbene Kontextfaktoren auf den Lernprozess aus und sind dafür verantwortlich, welche neuen berufsfachlichen Kompetenzen, aufgefächert in die Dimensionen des Fachwissens und der analytischen Problemlösekompetenz, zukünftig erworben werden. Zur Standardisierung der longitudinalen experimentellen Studie im Prä-Posttest-Design wird sich für das Lernarrangement des selbstregulierten Lernens entschieden. Infolgedessen ist der Lernprozess weitestgehend auf das entsprechende Individuum zurückzuführen und damit beispielsweise von Lehrpersonen oder Interaktionen zwischen den Lernenden unabhängig. Dieses Lernarrangement wird sowohl aus einer lernpsychologischen als auch einer didaktisch-pädagogischen Perspektive heraus modelliert und weist eine Verwandtschaft zum kybernetischen Regelkreis auf. Demgemäß lassen sich weitere Konstrukte ableiten, die als integrativer Bestandteil des selbstregulierten Lernens angesehen werden können. Zum selbstregulierten Lernen sind entsprechende internale und externale Ziele bedeutsam. Diese sind in Analogie zum kybernetischen Regelkreis mit der Führungsgröße vergleichbar. Da die Ziele des Lernarrangements im günstigsten Fall von den Lernenden als die eigenen übernommen werden können, diese Ziele jedoch – erfreulicherweise – nicht von außen in den Lernenden „injizierbar“ sind, erscheint es plausibel, dass es sich lediglich um eine Ähnlichkeit zum kybernetischen Regelkreis handeln kann. Damit wird bereits die Differenzierung zwischen internen und externen Prozessen während des selbstregulierten Lernens angesprochen. Vergleichbares ist auch im Hinblick auf die Verwendung von Feedback feststellbar. Demnach lassen sich während des Lernarrangements innere Prozesse wie beispielsweise das selbstregulierte Lernen (Boekaerts, 1999), interner Feedback-Regelkreis (Narciss, 2006) und internale Ziele (Künsting, 2007) von externen Prozessen wie etwa selbstreguliertes Lernen (Arnold & Mueller, 1993), externer Feedback-Regelkreis (Narciss, 2006) und externale Ziele (Künsting, 2007) differenzieren. Interne und externe Prozesse des Lernarrangements können in das übergeordnete Gesamtmodell zum selbstregulierten Lernen von Schiefele und Pekrun (1996) integriert werden.

Die Säule (A) – *was* von den Lernenden zu lernen ist – wird durch das Gesamtmodell Lesen und Interpretieren von Fehlern in Technischen Zeichnungen nach DIN EN ISO gebildet. Die dafür notwendigen kognitiven Prozesse werden via PPIK-Theorie als zweite Säule (B) behandelt. Die dritte und letzte Säule (C) erklärt das verwendete Lernarrange-

ment selbstreguliertes Lernen, das weitere theoretische Konstrukte wie beispielsweise Feedback und Zielsetzungen beinhaltet.

Nachfolgend werden die Konstrukte aus theoretischer Perspektive operationalisiert und im letzten Kapitel 2.4 als Fazit in ein Gesamtmodell überführt. Zur Einordnung in die Arbeit dient Abbildung 2.1.

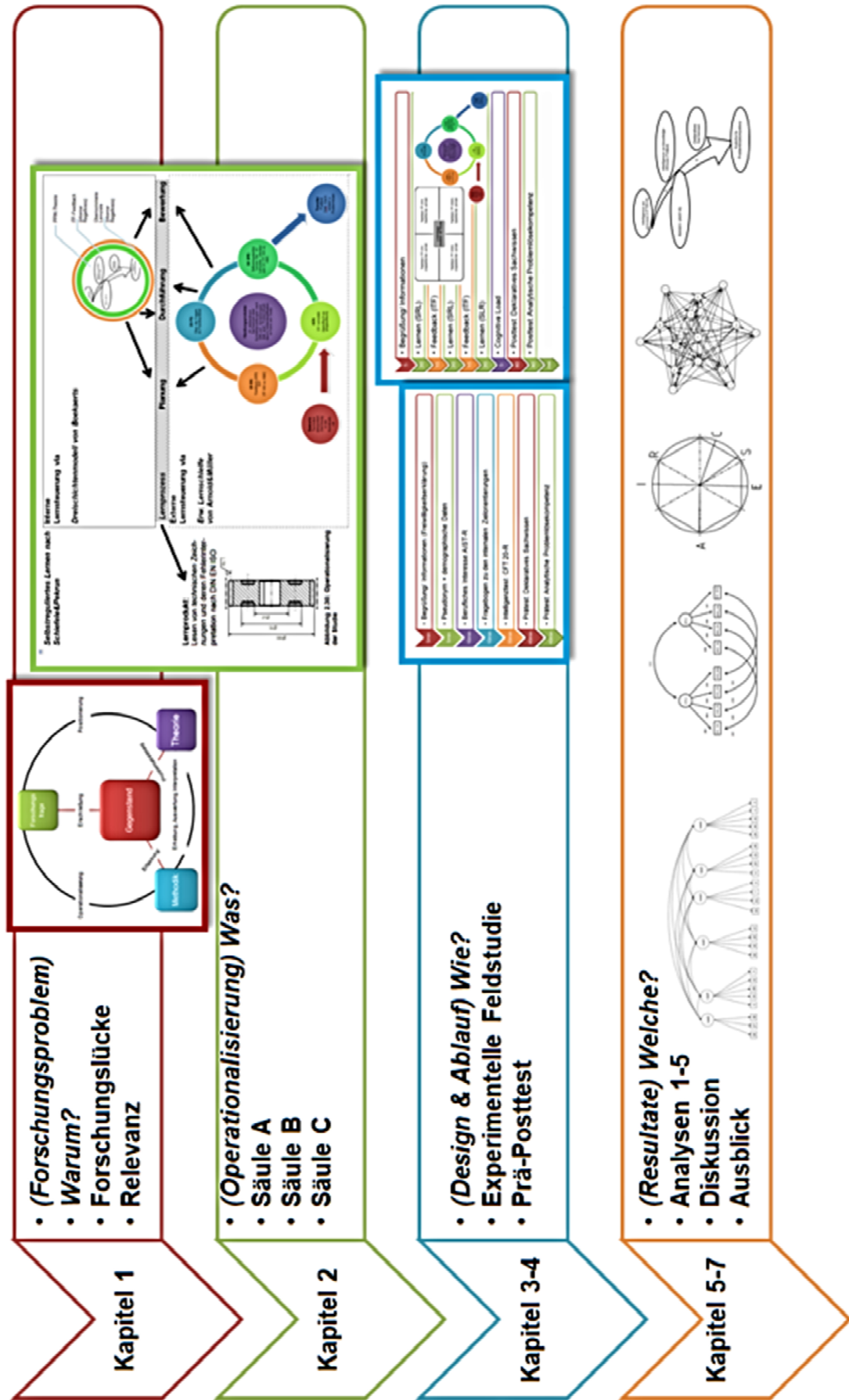


Abbildung 2.1 Operationalisierung im Gesamtkontext der Studie



2.1 Säule (A) – Was sollen die Studierenden lernen? – Technische Zeichnungen nach der DIN EN ISO

Damit geeignete psychologische Konstrukte, die zum Lesen und zur Fehleridentifikation Technischer Zeichnungen erforderlich sind, operationalisiert werden können, ergeben sich zu Beginn folgende Fragen als Teil dieser Untersuchung: Was sind Technische Zeichnungen nach DIN EN ISO und wie lassen sich diese von Skizzen oder Plänen abgrenzen? Welche spezifischen Aspekte Technischer Zeichnungen werden zur Untersuchung herangezogen? Es ist zu berücksichtigen, dass im Experimentaldesign nicht alle Informationen, die in einer Technischen Zeichnung enthalten sind, von den Studierenden erlernt werden können. Ferner sind in unterschiedlichen Bauteilen verschiedene Informationen enthalten. Zur Standardisierung der Untersuchung lässt sich deshalb lediglich ein Themenbereich Technischer Zeichnungen im Maschinenbau eingehender betrachten. Dieser sollte im Rahmen der in der Untersuchung stattfindenden Lerneinheit zeitlich umsetzbar sein. Zusätzlich muss gewährleistet sein, dass der Themenbereich das Lesen Technischer Zeichnungen im Wesentlichen widerspiegelt. Dabei spielen zum einen das räumliche Vorstellen von 2-D in 3-D sowie umgekehrt, und zum anderen das Fachwissen über die DIN-konforme Zeichnungsdarstellung eine zentrale Rolle. Infolgedessen ergibt sich an dieser Stelle die Frage, *was* durch den Lernprozess der Studierenden gelernt werden soll als erste Säule (A). Aus diesen Gründen wird sich für den Themenbereich Schnittdarstellungen in Technischen Zeichnungen nach der DIN EN ISO entschieden. Durch das Schneiden von Bauteilen bzw. Baugruppen werden die kognitiven Prozesse beim Denken von 2-D in 3-D und umgekehrt entsprechend provoziert. Fachwissen über die beispielsweise korrekte Schraffur der Schnittflächen in der Zeichnungsdarstellung spielt ebenfalls eine entscheidende Rolle. Bedeutsame Verhaltensregeln zur Darstellung von Schnitten nach der DIN werden in den Normen DIN ISO 128-40, DIN ISO 128-44 und DIN ISO 128-50 beschrieben. Außerdem wird der Begriff der Technischen Zeichnung vorab differenziert.

2.1.1 Technische Zeichnung – eine Differenzierung

Derzeit kann auf die Technische Zeichnung trotz Digitalisierung noch nicht verzichtet werden. Der wesentliche Grund hierfür ist eine bisher unzureichend ausgereifte Software, wodurch das Erfassen, Ergänzen und Weiterverarbeiten von Produktdaten noch immer von Menschen umgesetzt werden muss (Künne & Hahne, 2012, S.1).

Technische Zeichnungen und Stücklisten stellen die Grundlage der technischen Produktdokumentation dar (Fritz, 2016, S.9).

Als Kommunikationsmedium kommt der Technischen Zeichnung besonders aus dem Blickwinkel der globalisierten Auftragsabwicklung ein bedeutender Stellenwert zu (vgl. Kapitel 1.1; Kiehl et al., 2001, S.3).

Unter dem Begriff der technischen Produktdokumentation ist Folgendes zu verstehen:

Die Gesamtheit aller technischen Informationen auf die Lebensphasen eines Produkts, die in Dokumenten festgelegt sind, wird mit der Benennung „Technische Produktdokumentation“ zusammengefasst. Hierzu gehören im Wesentlichen neben den Technischen Zeichnungen und Stücklisten auch solche Dokumente, die z. B. während der Marktanalyse entstehen, aber auch Lasten- und Pflichtenhefte, Vertragsunterlagen mit technischem Inhalt sowie Arbeitsanweisungen, Ersatzteillisten, Freigabedokumente, Gebrauchsanweisungen usw. (Kiehl et al., 2001, S.73).

Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, muss das abstrakte Abbild der Technischen Zeichnung eines Bauteils oder einer Baugruppe als Grundlage der technischen Produktdokumentation, bestehend aus Linien, Symbolen und alphanummerischen Zeichen (Zahlen und Buchstaben), zur Kommunikation vollständig, eindeutig und gut verständlich sein (Labisch & Weber, 2013, S.1).

Die Technische Zeichnung kann von einem technischen Plan, einem Schema oder einer Skizze wie in Abbildung 2.2 dargestellt abgegrenzt werden.

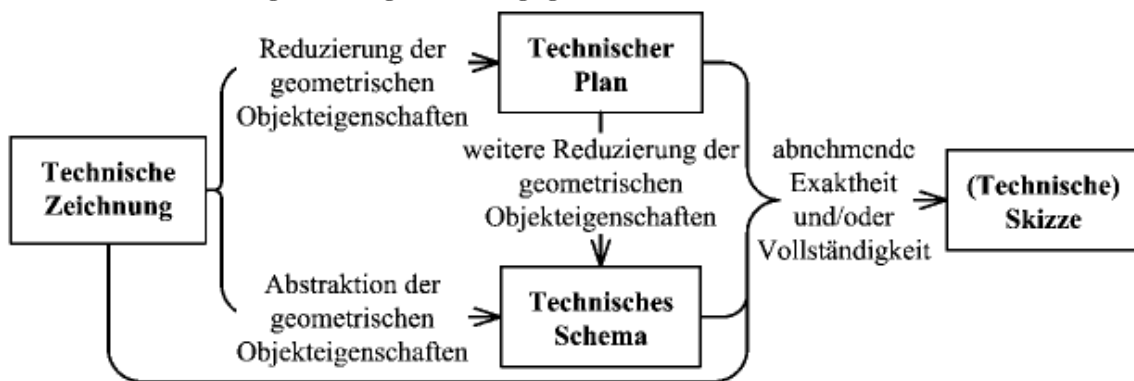


Abbildung 2.2: Differenzierung Zeichnung, Plan, Schema und Skizze (Künne & Hahne, 2012, S.8)

Es wird ersichtlich, dass insbesondere der Informationsgehalt der geometrischen Objekteigenschaften in Technischen Zeichnungen mit der Referenz zum Bauteil – im Gegensatz zu einem technischen Plan bzw. Schema oder einer Skizze – als relativ hoch einzustufen ist. Technische Zeichnungen beinhalten darüber hinaus technologische Informationen wie z. B. der verwendete Werkstoff, der im Schriftfeld der Zeichnung eingetragen wird, oder Angaben zur Oberflächenbeschaffenheit, die symbolisch in der Zeichnung vermerkt werden. Als organisatorische Informationen in der Technischen Zeichnung gelten beispielsweise die Maßstabsangabe oder der entsprechende Freigabevermerk (vgl. Abbildung 2.3) (Fritz, 2016, S.155).

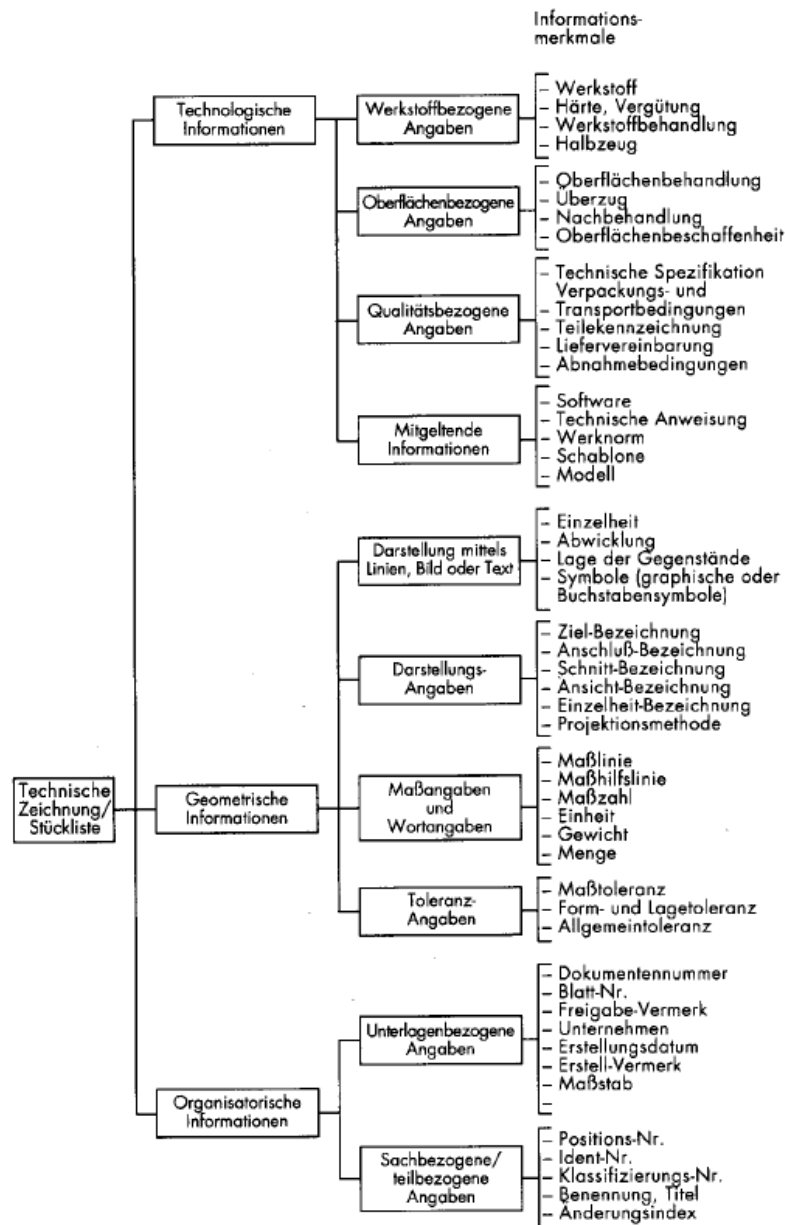


Abbildung 2.3: Informationen in Technischen Zeichnungen und Stücklisten (Fritz, 2016, S.156)

In der technischen Produktdokumentation werden häufig die Begriffe Technische Zeichnung, Bauteilzeichnung und Baugruppenzeichnung verwendet. Um diese voneinander unterscheiden zu können, erscheint eine angemessene Charakterisierung als hilfreich. Eine relativ konkrete und ausführliche Charakterisierung dieser drei eben genannten Begriffe nehmen hierbei Künne und Hahne (2012) vor. Demnach ist unter einer Technischen Zeichnung Folgendes zu verstehen:

Technische Zeichnungen sind primäre technische Produktdokumentationen, welche technische Objekte in ihrem – bezüglich eines bestimmten Entwicklungsstandes – beabsichtigten Endzustand hinreichend vollständig und genau darstellen.

Die Darstellung erfolgt überwiegend in der Form eines ikonisch-repräsentativen Linienbildes, welches eine bildhafte Ähnlichkeit mit

dem dargestellten Objekt aufweist und welche nach festen Regeln in einer proportionalen Orthogonalprojektion erstellt ist.

Technische Zeichnungen können sowohl nur die qualitative Objektgestalt als auch die qualitative und die quantitative Objektgestalt beschreiben (Künne & Hahne, 2012, S.13).

Unter einer ikonischen Darstellung kann eine Darstellungsvereinfachung verstanden werden, die weitestgehend eine bildhafte Ähnlichkeit zum Objekt aufweist. Im Gegensatz dazu hat ein Symbol (z. B. ein Oberflächensymbol) keine bildhafte Ähnlichkeit zum Referenzobjekt (Künne & Hahne, 2012, S.7).

Basierend auf dieser Beschreibung der Technischen Zeichnung kann unter dem Begriff der qualitativen Objektbeschreibung eine bildhaft realistische bis ähnliche Darstellungsform des Objekts verstanden werden, wohingegen die quantitative Bildbeschreibung mit dem Objekt keine Ähnlichkeit aufweist (Künne & Hahne, 2012, S.13).

Die Bauteilzeichnung kategorisiert Künne und Hahne folgendermaßen:

In Bauteilzeichnungen werden einzelne technische Objekte, die als eine untrennbare Einheit aufgefasst werden und die nicht zerstörungsfrei zerlegt werden können, bezüglich ihrer Gestaltmerkmale qualitativ und quantitativ vollständig und exakt dargestellt.

Der Präsentationsumfang bezieht sich vornehmlich auf die geometrischen und auf die technologischen Produktdaten, ohne hierbei auf andere Bauteile Bezug zu nehmen (Künne & Hahne, 2012, S.13).

Eine Baugruppenzeichnung lässt sich wie anschließend dargelegt beschreiben:

In Baugruppenzeichnungen werden einfache technische Systeme dargestellt, die aus zwei oder mehr Teilen und/oder Unterbaugruppen bestehen, die in sich geschlossen sind und die eine vollständige Funktion erfüllen.

Der Präsentationsumfang bezieht sich vornehmlich auf die räumlichen Beziehungen der Bauteile sowie auf eine reduzierte Darstellung der qualitativen Objektgestalt, welche die Funktion der Bauteile fokussiert. Eine quantitative Beschreibung des technischen Systems erfolgt nur sehr eingeschränkt (Künne & Hahne, 2012, S.14).

Des Weiteren lassen sich Technische Zeichnungen hinsichtlich der Funktion unterscheiden. Sie können eine instrumentelle Funktion aufweisen, wenn sie z. B. zur Lösung mechanischer Probleme beitragen. Eine weitere Funktion besteht in der Deskription von Bauteilen oder Baugruppen, worunter die Beschreibung der geometrischen, technologischen und organisatorischen Daten verstanden wird. Außerdem existiert eine explikative Funktion, wonach Technische Zeichnungen die Sachverhalte und Prozesse – wie etwa von Baugruppen – herleiten (Künne & Hahne, 2012, S.14f.).

Künne und Hahne (2012) differenzieren in Bezug auf das Lesen von Zeichnungen die drei Grundformen: Zeichnungslesen, Zeichnungsinterpretation und Zeichnungsreferen-

zierung. Beim Zeichnungslesen erfüllt die Zeichnung eine ausschließlich deskriptive Funktion. Dabei werden die in der Technischen Zeichnung vorhandenen Informationen in ein geeignetes Gedankenmodell transformiert. Als Beispiel kann hier eine Bauteilzeichnung zur Fertigung herangezogen werden. Durch diese alleine lässt sich eine Funktion der Baugruppe jedoch nicht herleiten. Durch die Zeichnungsinterpretation können neben den beschreibenden, explizit enthaltenen Zeichnungsinformationen auch implizite Informationen, wie etwa hinsichtlich der Baugruppenfunktion, entnommen werden. Somit kommt neben der deskriptiven ebenfalls eine explikative Funktion zum Tragen. Als Beispiel kann hier die Funktionsbeschreibung einer Baugruppe mithilfe einer Baugruppenzeichnung aufgeführt werden. Im Rahmen einer Zeichnungsreferenzierung werden ausschließlich bestimmte Daten des Produkts entnommen, das heißt, das Augenmerk wird nur auf einen bestimmten Teilbereich des Zeichnungslesens gelegt (Künne & Hahne, 2012, S.17-18).

Die erläuterten drei grundlegenden Arten des Zeichnungslesens sind zur besseren Veranschaulichung in Abbildung 2.4 visualisiert. In dem hier skizzierten Modell bezieht sich die primäre technische Produktdokumentation auf die Technische Zeichnung. Letztere dient zur Ergänzung des primären Produktdatenmodells und hat eine vorwiegend deskriptive Funktion. Das Technikdatenmodell beinhaltet alle produktbezogenen Daten mit denen das Produkt entwickelt wurde. Daneben existieren das Herstellungs-, Nutzungs-, und Zensurdatenmodell, die allesamt explikative Funktionen aufweisen. Das Herstellungsdatenmodell basiert hierbei auf den Daten, die zur konkreten Fertigung notwendig sind. Die Daten des Nutzungsdatenmodells liefern z. B. Informationen zur Wartung und Entsorgung des Produkts, während das Zensurdatenmodell nichttechnische Informationen wie beispielsweise Arbeitssicherheit und Umweltschutz zum Fokus hat. Alle diese Datenmodelle können beim Zeichnungslesen eine mentale Repräsentation hervorrufen. Die sekundären/tertiären bzw. nichttechnischen Produktdaten sind beispielsweise zur Dokumentation einer Gefährdungsbeurteilung notwendig (Künne & Hahne, 2012, S.9-12).

Diese drei Grundarten des Lesens Technischer Zeichnungen beziehen sich jedoch nicht auf die Identifikation bzw. Diagnose von Fehlern einer Technischen Zeichnung während ihres Entstehungsprozesses. Stattdessen wird hier von der korrekten Technischen Zeichnung ausgegangen, mit dem Ziel der kognitiven Informationstransformation zwischen der abstrakten 2-D-Darstellung und dem realen 3-D-Bauteil. Von diesen drei Grundarten des Zeichnungslesens würde das Zeichnungslesen inklusive der deskriptiven Funktion für diese Untersuchung zutreffen. Allerdings geht es in dieser Arbeit nicht nur um das Lesen der Technischen Zeichnung, sondern zugleich um Ergänzungen bzw. Korrekturen von Darstellungen, die von der DIN abweichen und damit zu Missverständnissen in der Auftragsabwicklung führen können.

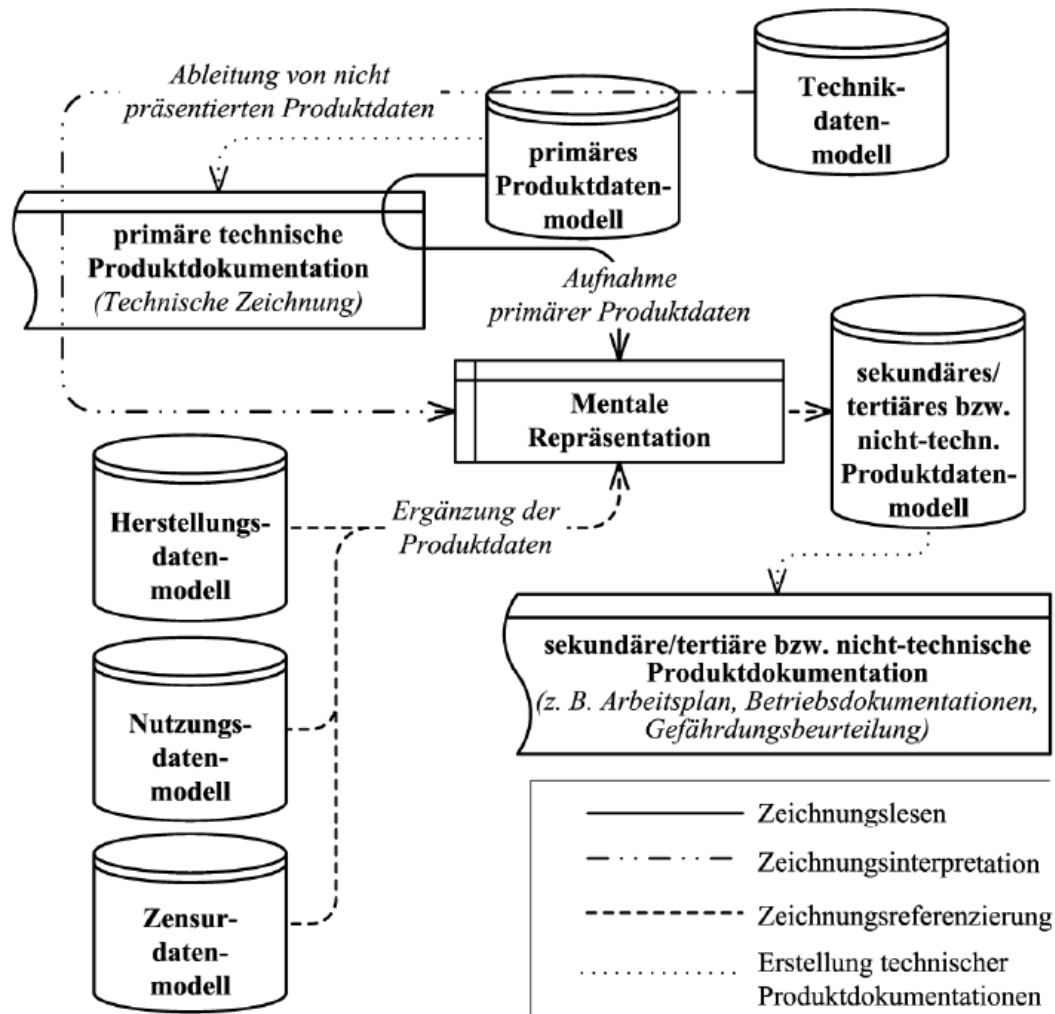


Abbildung 2.4: Lesen, Interpretieren und Referenzieren Technischer Zeichnungen (Künne & Hahne, 2012, S.19)

Zusätzlich sollen in der vorliegenden Arbeit die dafür notwendigen Fähigkeiten angehenden Techniker während ihrer einschlägigen Weiterbildung an der Fachschule gefördert werden. Diesbezüglich nehmen die entsprechenden Lernprozesse zum Lesen und Korrigieren Technischer Zeichnungen vor ihrer Freigabe eine zentrale Rolle ein.

2.1.2 Wesentliche DIN-Aspekte bezüglich Schnittdarstellungen im Maschinenbau und mögliche Fehler, auf die sich der Untersuchungsgegenstand bezieht

Zuvor wurde bereits angedeutet, dass aufgrund des Experimentaldesigns wesentliche charakteristische Teilaspekte zum Lesen einer Technischen Zeichnung ausgewählt werden müssen, da das Lernarrangement zwischen Prä- und Posttest zeitlich begrenzt ist. Als wesentlicher charakteristischer Teilaspekt lässt sich hierbei die Darstellung von Schnitten feststellen. Welche Charakteristik Schnittdarstellungen nach DIN EN ISO aufweisen wird nachfolgend erläutert.

Bauteile und Baugruppen werden im Schnitt dargestellt, um das Innenleben sichtbar zu machen. Folglich betrifft dies ausschließlich hohle Bauteile und Baugruppen. Volle Bauteile werden somit nicht geschnitten; schließlich sind bei diesen die geometrischen Abmessungen auch ohne Schnitt erkennbar. Durch den Schnitt sichtbare Körperkanten werden regulär als breite Volllinie gezeichnet. Verdeckte Körperkanten werden im Schnitt nicht gezeichnet, da durch den Schnitt das Innenleben ohnehin veranschaulicht wird (Fritz, 2016, S.64f.).

Die breite Volllinie beträgt in der im Maschinenbau üblichen 0,5er-Vorzugsliniengruppe 0,5 mm. Aus der 0,5er-Liniengruppe resultierend gestaltet sich die schmale Volllinie mit 0,25 mm (Fritz, 2016, S.24f.).

Schnittflächenschraffuren von Bauteilen und Baugruppen werden in einem Winkel von 45° mit der schmalen Volllinie gezeichnet (vgl. Abbildung 2.5). Dabei werden aneinander stoßende Bauteile in der Gesamtzeichnung entgegengesetzt und somit im Winkel von 135° schraffiert. Geschnittene Hohlräume sind keine Schnittflächen und werden folglich nicht schraffiert. Ausschließlich geschnittenes Material wird infolge des Schnitts durch den Werkstoff schraffiert. Die Größe der Bauteile in einer Baugruppenzeichnung wird über den Abstand der im Winkel von 45° parallel verlaufenden Schraffurlinien dargestellt. Befinden sich Maßzahlen oder Beschriftungen in den Schnittflächen, werden die Schraffurlinien unterbrochen. Schmale Schnittflächen, z. B. von dünnen Buchsen, werden geschwärzt veranschaulicht (Fritz, 2016, S.64).

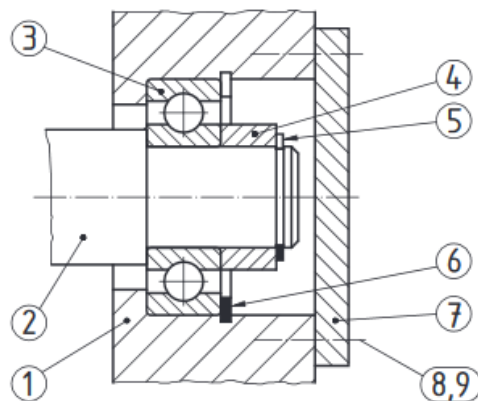


Abbildung 2.5: Welle, Lager Gehäuse (Schellmann & Stephan, 2014, S.9)

In der Regel wird in der Gesamtzeichnung die allgemeine Schraffur verwendet. Sollte es notwendig sein, können spezielle Werkstoffschraffuren nach der DIN ISO 128-50 angewendet werden (vgl. Abbildung 2.6). Diese speziellen Werkstoffschraffuren entbinden jedoch nicht von der verpflichteten Werkstoffangabe im Schriftfeld bzw. in der Stückliste (Fritz, 2016, S.68).

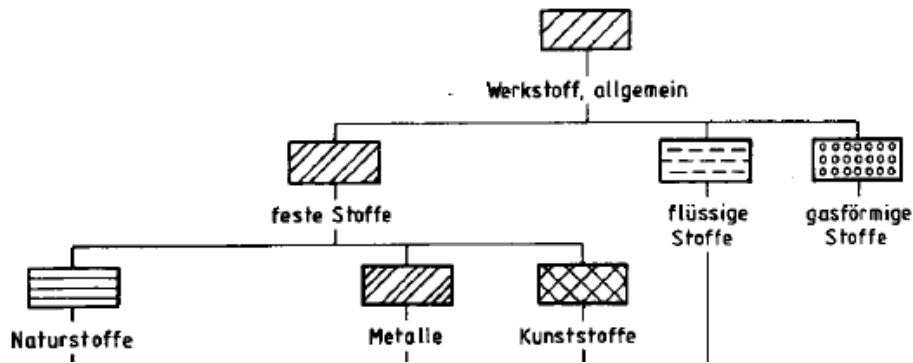


Abbildung 2.6: Werkstoffschaffuren (Fritz, 2016, S.68)

Schnitte symmetrischer Bauteile lassen sich als Voll- bzw. Halbschnitt zeichnen. Beim Vollschnitt wird das Bauteil halbiert. Beim Halbschnitt wird ein Viertel entfernt. Dieses entfernte Viertel des Halbschnitts wird je nach Körperlage in der unteren Hälfte bzw. rechts dargestellt. Auf diese Weise wird mittels Halbschnitt das Bauteil sowohl ganz als auch geschnitten gezeichnet. Somit stellt der Halbschnitt insbesondere bei rotarischen Körpern mit Hohlräumen eine interessante Alternative dar (Fritz, 2016, S.65).

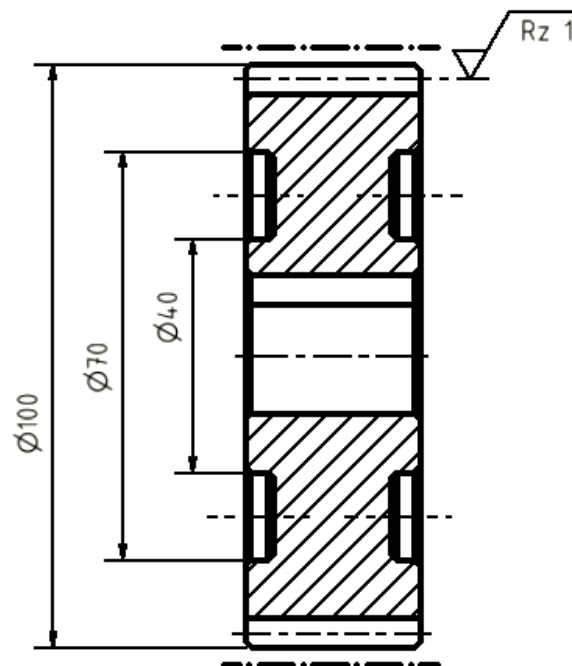


Abbildung 2.7: Vollschnitt eines Zahnrads

Da der Schnittverlauf in Abbildung 2.7 beim Voll- bzw. Halbschnitt offensichtlich ist, wird dieser weder durch einen gesonderten Schnittverlauf noch durch eine Schnittbenennung dargestellt (Fritz, 2016, S.66).

Schnittdarstellungen von Zahnrädern sind in der DIN ISO 2203 festgelegt. Alle Zahnräder werden in der Ebene als Stirnrad dargestellt, welches auf beiden Seiten ungeschnittene Zähne aufweist. Die Strichpunktlinie in den Zähnen stellt dabei den

Beim Voll- bzw. Halbschnitt wird somit die eindeutige Symmetrie des geschnittenen Bauteils sofort erkannt. Im Gegensatz dazu stehen asymmetrische Bauteile wie etwa Gehäuse von Getrieben, die, um das Innenleben adäquat darzustellen, nicht symmetrisch geschnitten werden können. Deshalb ist hier eine Kennzeichnung in der Erstante durch den Schnittverlauf und die Benennung der Schnittansicht zwingend erforderlich. Dieser nicht eindeutige Schnitt wird als Schnitt mit komplexem Schnittverlauf bezeichnet.

Der komplexe Schnittverlauf wird durch breite, kurze strichpunktierte Linien wie in Abbildung 2.9 zu sehen gezeichnet. Die Linie des Schnittverlaufs entspricht der breiten Volllinie und beträgt in der 0,5er-Vorzugsliniengruppe des Maschinenbaus 0,5 mm (Fritz, 2016, S.24f.).

Die Pfeile der Blickrichtung auf den Schnitt werden auf die Schnittverlaufslinie außerhalb des Bauteils liegend gesetzt. Die parallel versetzten Schnittflächen infolge des Schnitts werden so gezeichnet, als ob diese in einer Ebene liegen würden. Kanten, die aus dem Schnittverlauf resultieren, werden somit nicht dargestellt. Das Gleiche gilt ebenfalls für rotatorische Schnitte. Auch hier werden die Schnittflächen in eine Ebene geklappt. Sollte in der Mitte der Schnitt durch den Werkstoff gehen, wird die ausschließlich durch den Schnittverlauf resultierende Körperkante nicht gezeichnet. Der Schnittverlauf in der Erstante sowie der Schnitt selbst werden mit zwei gleichen Großbuchstaben versehen. Somit wäre der erste Schnitt mit komplexem Schnittverlauf der Zeichnung der Schnitt A-A, der zweite Schnitt mit komplexem Schnittverlauf der Schnitt B-B usw. Die Eintragung der Großbuchstaben richtet sich nach der Schreibrichtung in der Zeichnung. Die Großbuchstaben werden eine Schriftgröße größer als die Bemaßung geschrieben (Fritz, 2016, S.66).

Für die 0,5er-Liniengruppe beträgt die Schriftgröße 3,5 mm. Als nächst höhere Schriftgröße werden somit die Schnittbuchstaben mit 5 mm eingetragen (Fritz, 2016, S.24-28).

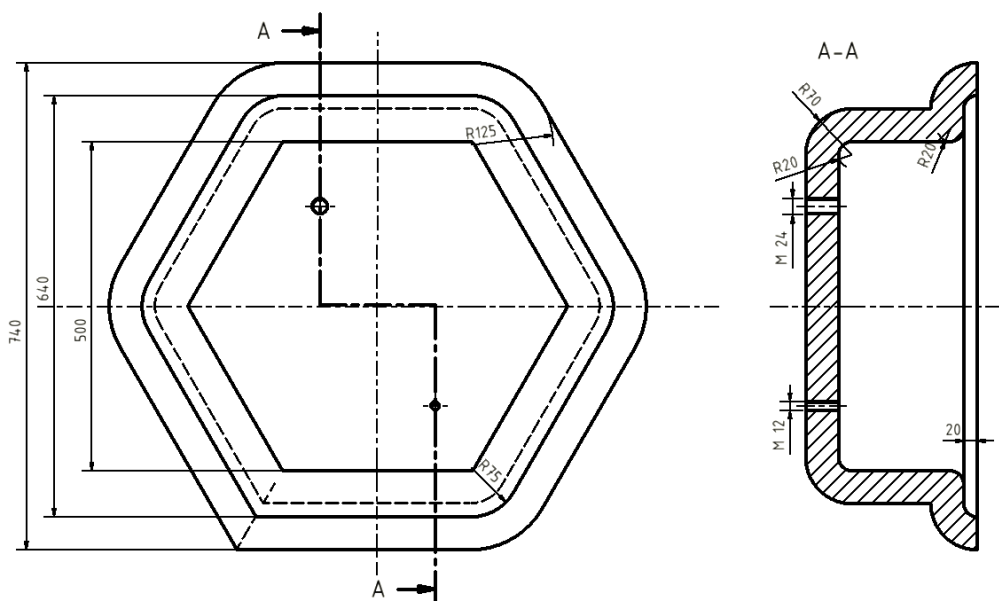


Abbildung 2.9: Schnittverlauf

Probleme seitens der komplexen Schnittdarstellung können sich während der Überführung aus dem 3-D- ins 2-D-Modell ergeben. Dabei werden die Kanten, die aus dem Schnittverlauf resultieren, in der 2-D-Ebene nicht in eine Zeichnungsebene geklappt. Folglich müssen diese DIN-Abweichungen mit der CAD-Software entsprechend abgeändert werden. Abbildung 2.10 verrät mithilfe der Umrandungen die fehlerhaften Kanten im Kolben. In diesem Zusammenhang ist das erforderliche Fachwissen der DIN ebenfalls unverzichtbar.

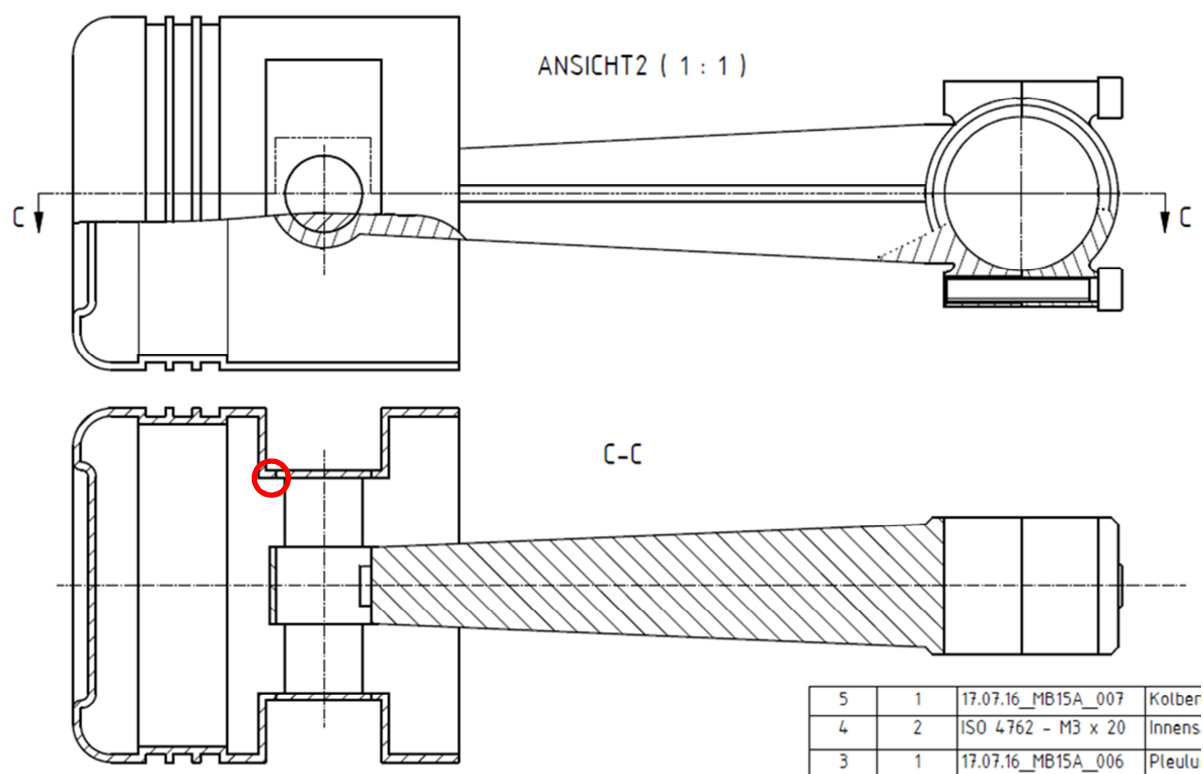


Abbildung 2.10: Zeichnungsausschnitt aus der Testzeichnung inklusive Fehler

Eine weitere Schnittalternative ist der Teilschnitt. Beim Teilschnitt wird ein kleiner Ausbruch im Bauteil erzeugt, um das Innenleben sichtbar zu machen. Hierbei wird die Begrenzung durch eine schmale Freihandvolllinie gestaltet. Für die Vorzugsliniengruppe 0,5 im Maschinenbau bedeutet dies eine Linienbreite von 0,25 mm (Fritz, 2016, S.65).

Eine zielgerichtete Anwendung von Teilschnitten ergibt sich z. B. bei Bohrungen und Passfedernuten von Wellen. Auf diese Weise wird die womöglich ansonsten aus Vollmaterial bestehende Welle nur an den zur Bemaßung notwendigen Stellen geschnitten. Eine Veranschaulichung von Teilschnitten nach der hierfür heranzuziehenden DIN liefert die Abbildung 2.11.

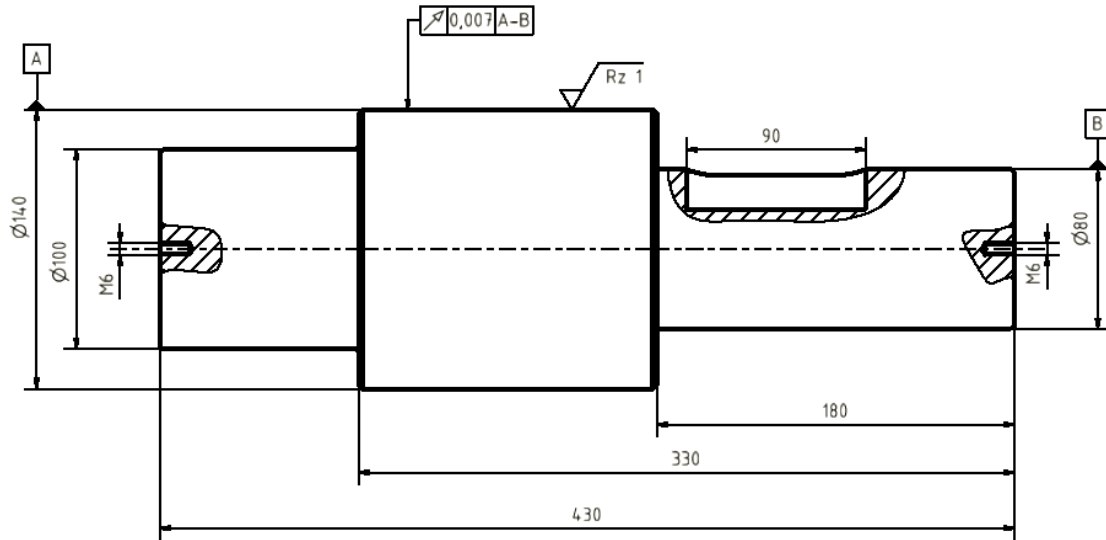
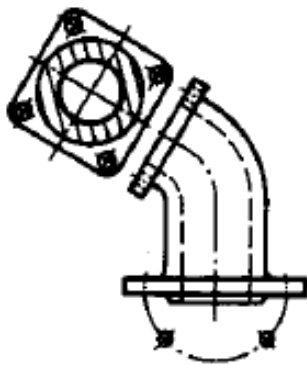


Abbildung 2.11: Teilschnitt Welle



Fällt bei einem Schnitt die Körperkante auf die Mittellinie, so ist die Kante zu zeichnen (Fritz, 2016, S.65).

Schnitte werden zur Vermeidung von schiefen Projektionen um schrägliegende Körperkanten geklappt (vgl. Abbildung 2.12). Sollte es notwendig sein, darf ein Schnittverlauf teilweise außerhalb des Bauteils verlaufen (Fritz, 2016, S.67).

Abbildung 2.12: Klappung um schrägliegende Körperkante (Fritz, 2016, S.67)

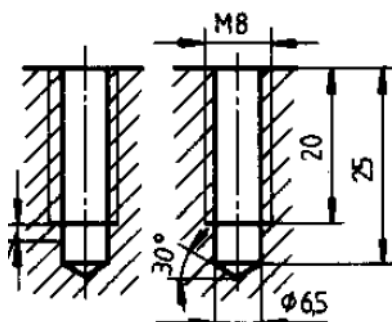


Abbildung 2.13: Innengewinde Schnitt (Fritz, 2016, S.71)

Schnittdarstellungen von Gewinden (vgl. Abbildung 2.13) werden in der DIN ISO 6410 beschrieben. Innengewinde werden im Schnitt durch den Kerndurchmesser mit breiter Volllinie (0,5 mm) und durch den Außendurchmesser mit schmaler Volllinie (0,25 mm) gezeichnet. Das Gewinde wird entsprechend mitschraffiert (Fritz, 2016, S.71).

Technische Zeichnungen werden außerdem analog der Ansichtenanzahl auf die notwendigsten beschränkt (Fritz, 2016, S.61).

Dies betrifft damit auch die Schnittansichten. Häufig setzt das CAD-System automatisch den Maßstab neben die Schnittbenennung. Eine solche Maßstabsangabe erfolgt allerdings ausschließlich dann, wenn der Maßstab der be-

trachteten Ansicht von der Maßstabseintragung im Schriftfeld abweicht (Fritz, 2016, S.21).

Ist der Maßstab der betreffenden Schnittansicht gleich dem Maßstabseintrag im Schriftfeld und trotzdem eingetragen, so ist dieser aus der Schnittbenennung zu entfernen.

Noch leitet das CAD-System keine DIN-gerechte Zeichnung automatisch aus dem 3-D-Modell ab. Die jeweilige Ansicht mit den entsprechenden Körperkanten kann jedoch dennoch weitestgehend aus dem 3-D-Modell übernommen werden. Dieser Vorgang stellt bereits eine enorme Arbeitserleichterung dar. In Analogie hierzu wird ein deutschsprachiger Text in Google-Übersetzer auch nicht vollständig korrekt ins Englischsprachige übertragen, da sich die jeweilige Sprache auch nicht dem jeweiligen Übersetzungsprogramm anpasst. Die nach DIN gestalteten Zeichnungen sind als einheitliche Referenz so entworfen, dass sie von den in der Konstruktion und Fertigung beteiligten Personen (z. B. Ingenieure, Techniker, Meister und Zerspanungsmechaniker) möglichst reibungslos gelesen und Missverständnisse folglich weitestgehend ausgeschlossen werden können. In diesem Kontext ist es eine bedeutsame Erkenntnis, dass die vollständige Abbildung eines dreidimensionalen Körpers in der zwei-dimensionalen Ebene einige Modifikationen erfordert. Dazu zählen in der Regel mehrere Ansichten in Form der Projektionsmethode 1 sowie angemessene Schnittdarstellungen, sollte eine Darstellung von Hohlräumen zur Bemaßung notwendig sein. Diesbezüglich können sich während des Entwurfs einer Technischen Zeichnung Abweichungen von der DIN und, damit einhergehend, eine fehlerhafte Darstellung der Technischen Zeichnung ergeben. Dieser Sachverhalt liefert den Ansatz der vorliegenden Arbeit, woraus sich die Frage nach der Erlernbarkeit einer Fehleridentifikation in Technischen Zeichnungen ableitet. Wie bereits erläutert, spielen Technische Zeichnungen als Kommunikationsmedium in der globalen Weltwirtschaft eine maßgebliche Rolle. Deswegen kommt Erkenntnissen zu lernpsychologischen Rahmenbedingungen und deren Förderung mittels adäquater Lernarrangements eine große Relevanz zu.

2.1.3 Fazit Säule (A): Technische Zeichnungen nach der DIN EN ISO

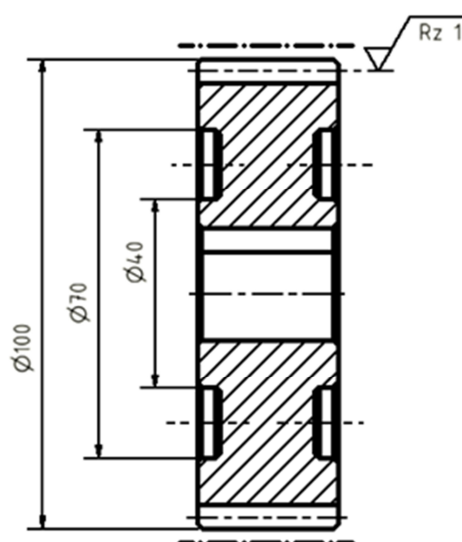


Abbildung 2.14: Säule (A)

Im zuvor behandelten Kapitel ging es um einen Teilbereich des vorliegenden Untersuchungsgegenstandes. In diesem Sinne wurde die Technische Zeichnung (vgl. Abbildung 2.14) von Skizzen oder Plänen abgegrenzt, da es sonst möglicherweise zu Missverständnissen in Bezug auf die dafür notwendigen lernpsychologischen Kontextfaktoren kommen könnte. Vor diesem Hintergrund findet in dieser Untersuchung der Prozess des Zeichnungslesens inklusive einer deskriptiven Funktion statt, wengleich darauf verwiesen wird, dass es hier

nicht einzig und allein um die Informationsaufnahme einer fertigen und korrekten Technischen Zeichnung geht. Stattdessen nehmen die Diagnose von Fehlern während des Entstehungsprozesses der Technischen Zeichnung und die dafür notwendigen Lernprozesse zur Entwicklung der hierfür erforderlichen Kompetenzen eine zentrale Rolle ein. Ferner wurden die Schnittdarstellungen spezifiziert, da aufgrund des Experimentaldesigns nur zeitlich begrenzte Ressourcen für das Lernarrangement zur Verfügung stehen. Hierzu wurde auf mögliche Fehler aus der CAD-Ableitung eingegangen, die von Hand diagnostiziert und verändert werden müssten. Die Erlernung dieser Kompetenzen und die Modellierung gegebener lernpsychologischer Rahmenbedingungen stehen folglich im Zentrum des nächsten Kapitels.

2.2 Säule (B) – Welche lernpsychologischen Kontextfaktoren sind für den Lernprozess entscheidend? – Ackerman's Theory of Adult Intellectual Development: Process, Personality, Interests and Knowledge (PPIK)

Wie zuvor beschrieben, stehen das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen nach DIN EN ISO im Zentrum der vorliegenden Studie. Angesichts der mit dem Lernarrangement verbundenen zeitlich begrenzten Ressourcen hinsichtlich des Experimentaldesigns im Prä-Posttest-Format, geht es vorrangig um das Lesen und Interpretieren fehlerbehafteter Schnittdarstellungen als Folge einer automatischen Ableitung aus dem dreidimensionalen virtuellen Modell des *Computer-Aided Design* (CAD). Daher stellt sich nun die Frage, mit *welchen* kognitiven Theorien als geeignete Schnittstelle das Lesen und Interpretieren von Fehlern in Schnittdarstellungen erklärt werden könnte. Hierzu bietet sich der integrative Kompetenzmodellierungsansatz der Informationsverarbeitungstheorie von Ackerman an.

Ackermans PPIK-Theorie erweitert Cattells *investment theory* um interindividuelle und intellektuelle Leistungsunterschiede im Erwachsenenalter. Dieser integrative Ansatz generiert eine erweiterte Kompetenzentwicklung, die aus reziproken Prozessen zwischen Wissen, Fähigkeiten und Persönlichkeit entsteht (Ackerman, 1996, S.237ff.).

Im Kindes- und Jugendalter wird die Investition kognitiver Ressourcen relativ unspezifisch vom schulischen Alltag durch allgemeinbildende Fächer wie Deutsch oder Mathematik geprägt. Mit der Entscheidung für einen Beruf erfolgt eine Spezialisierung, aufgrund derer kognitive Substanz interessensspezifischer platziert wird und werden muss. Allerdings findet sich diese domänenspezifische Investition kognitiver Ressourcen in den üblichen Intelligenztests nicht wieder (Ackerman, 2000, S.69f.; Ackerman, 1996, S.238f.).

Hier setzt nun die PPIK-Theorie an, wodurch auch Persönlichkeitsmerkmale wie beispielsweise das Interesse miteinbezogen werden. Diese Faktoren entscheiden nach der

Adoleszenz ebenfalls darüber, in welche individuell präferierten Domänen kognitive Ressourcen, wie beispielsweise die fluide Intelligenz, investiert werden (Ackerman, 1996, S.240).

Das hierarchische Intelligenzmodell von Cattell leitet sich teilweise von Spearman ab, wonach Intelligenz aus einer generellen, eher genetisch festgelegten Disposition – dem *g-factor* – und einem eher durch Bildungserfahrungen beeinflussbaren spezifischen *s-factor* differenziert werden kann. Dabei wird der spezifische *s-factor* durch den generellen *g-factor* vorbestimmt und ist somit von diesem ebenfalls abhängig (Cattell, 1987, S.22ff.).

Nach ähnlichem theoretischen Prinzip differenziert Cattell zwischen *fluid intelligence* (*gf*) als generelle kognitive Leistungsfähigkeit und *crystallized intelligence* (*gc*), die zwar durch die fluide Intelligenz begrenzt, gleichzeitig jedoch auch davon abhängig ist, in welche Domänen kognitive Ressourcen vom Individuum investiert werden (Cattell, 1987, S.109ff.).

Ackerman hingegen unterscheidet zwischen *intelligence-as-process*, die weitestgehend die Fähigkeiten der fluiden Intelligenz umfasst, und *intelligence-as-knowledge*, die größtenteils die Fähigkeiten der kristallinen Intelligenz aufweist, ohne indes mit den Intelligenzformen der Investment-Theorie Cattells äquivalent zu sein. Schließlich lassen sich der Inhalt und die Fähigkeiten in Intelligenztests nicht vollständig voneinander trennen (Ackerman, 1996, S.238f.; Ackerman & Beier, 2003, S.6ff.).

Die Wurzeln der Form von Intelligenz als Wissen finden sich in den ersten Intelligenztests Anfang des 20. Jhd. beispielsweise bei Binet und Simon. Dabei kann diese Form historisch zum einen domänenspezifisch, z. B. in Form von Intelligenz als Wissen in der Physik, und zum anderen eher in allgemeinerer Form erfahrungsabhängig wachsen. Folglich steigt diese Intelligenzform im Laufe des Alters an, während hinsichtlich der Intelligenz als Prozess ein entsprechender Rückgang zu verzeichnen ist. Gleichwohl lassen sich „Wissen“ und „Intelligenz als Wissen“ voneinander unterscheiden (Ackerman, 1996, S.241ff.).

Bisher können die Zusammenhänge zwischen Wissen, Fähigkeiten und Persönlichkeit wie folgt modelliert werden:

Das Konstrukt Intelligenz als Prozess (*intelligence-as-process*) korreliert verstärkt mit den Persönlichkeitsfaktoren mathematisches und räumliches Denken. Die Persönlichkeitsmerkmale *openness* (z. B. Kultur) und *typical intellectual engagement* (TIE, hohe Bereitschaft für intellektuelle Leistungen) korrelieren verstärkt mit Intelligenz als Wissen (*intelligence-as-knowledge*). Im Gegensatz dazu korrelieren *Openness* und TIE als Persönlichkeitsmerkmale in Form von *traits* nicht mit der Intelligenz als Prozess (Ackerman, 1996, S.239ff.).

Eine weitere Studie mit 201 Studenten konnte ebenfalls die Bedeutung der Persönlichkeit im Hinblick auf die Progression kristalliner Intelligenz darlegen (Chamorro-Premuzic, Furnham & Ackerman, 2006, S.419-429).

Insbesondere die Interessen *realistic*, *artistic* und *investigative* nach dem hexagonalen Interessensmodell von Holland (vgl. Kapitel 2.2.8) spielen im Zusammenhang mit der Intelligenz eine entscheidende Rolle. Demnach korrelieren die Interessen *realistic* (Interesse an Hand-

lungen, die zu klaren Ergebnissen führen) und *investigative* (Interesse an systematischen, eher forschenden Handlungen) verstärkt mit der Intelligenz als Prozess, während *artistic* (Interesse an freien, unsystematischen Handlungen) und *investigative* als Interesse mit der Form „Intelligenz als Wissen“ korreliert (Ackerman, 1996, S.239f.).

Diese Zusammenhänge zwischen Intelligenz, Persönlichkeit und Interesse wurden zudem von Rolfhus und Ackerman mit dem Vergleich von Collegestudenten und Erwachsenen via 20 akademisch und technisch orientierten Tests untersucht. Im Ergebnis bestätigten die Korrelationen die PPIK-Theorie (Ackerman & Beier, 2003, S.8ff.; Ackerman, 1998, S.7ff.).

Interessante Befunde ergeben sich zudem bezüglich Korrelationen der Wissensdomänen mit sprachlichen Fähigkeiten (*verbal abilities*) und räumlichem Denken (*spatial ability*). Hier werden u. a. die relativ hohen Korrelationen zwischen Wissensformen aus Kunst und Geisteswissenschaften mit den sprachlichen Fähigkeiten (*verbal abilities*) und den im Gegenzug geringen Korrelationen mit dem Wissen aus den Bereichen von Natur- und Ingenieurwissenschaften ersichtlich (Ackerman, 1996, S.250).

Ebenso finden sich Studien im berufsbildenden Forschungssektor, die den stärkeren Einfluss von Fachwissen gegenüber fluider Intelligenz hervorheben (Abele, 2014, S.282ff.; Walker et al., 2016, S.160ff.).

In Anbetracht der bisherigen Ausführungen ergibt sich mittels der PPIK-Theorie eine Inspiration zur Modellierung der lernpsychologischen Kontextfaktoren, die zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen als notwendig zu erachten sind. Vor diesem Hintergrund erscheint dieses integrative Modell zur intellektuellen Kompetenzentwicklung hinsichtlich des Alters der Studierenden in der Fachschule als angemessen. Insofern sollte *intelligence-as-process* neben dem Arbeitsgedächtnis als entscheidender Faktor zur Informationsverarbeitungskapazität aufgrund zuvor verarbeiteter Informationen die bereits erworbene *intelligence-as-knowledge* gerichtet beeinflussen. *Intelligence-as-knowledge* steht dem Individuum somit neben *intelligence-as-process* und dem Arbeitsgedächtnis ebenfalls zur kognitiven Informationsverarbeitung zur Verfügung. Angesichts der bisherigen Erläuterungen wird ferner erwartet, dass *intelligence-as-process* auf die beruflichen Interessen *realistic* und *investigative* entsprechende Regressionen (β) aufzeigt. Überdies sollte *intelligence-as-process* sowohl auf die verschiedenen Dimensionen des Fachwissens (deklaratives Sachwissen) als auch auf die verschiedenen Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz, als die zwei erlernbaren Säulen berufsfachlicher Kompetenz, Regressionen (β) zeigen. Die höchsten standardisierten Regressionen (β) bereits erworbener kognitiver Kontextfaktoren auf die beiden Dimensionen erlernbarer berufsfachlicher Kompetenz werden allerdings von dem Konstrukt *intelligence-as-knowledge* erwartet. Dieses resultiert in der vorliegenden Arbeit aus den unterschiedlichen Dimensionen des deklarativen Sachwissens im Prätest. Des Weiteren sollten sich die beruflichen Interessen *realistic* und *investigative* in puncto standardisierten Regressionen (β) auf die beiden erlernbaren Dimensionen berufsfachlicher Kompetenz bemerkbar machen.

Generell ist zu erwarten, dass die verschiedenen Dimensionen des deklarativen Sachwissens die unterschiedlichen Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz am stärksten beeinflussen.

Nachfolgend hierzu eine spezifizierte Visualisierung der PPIK-Theorie dieser Studie in Abbildung 2.15.

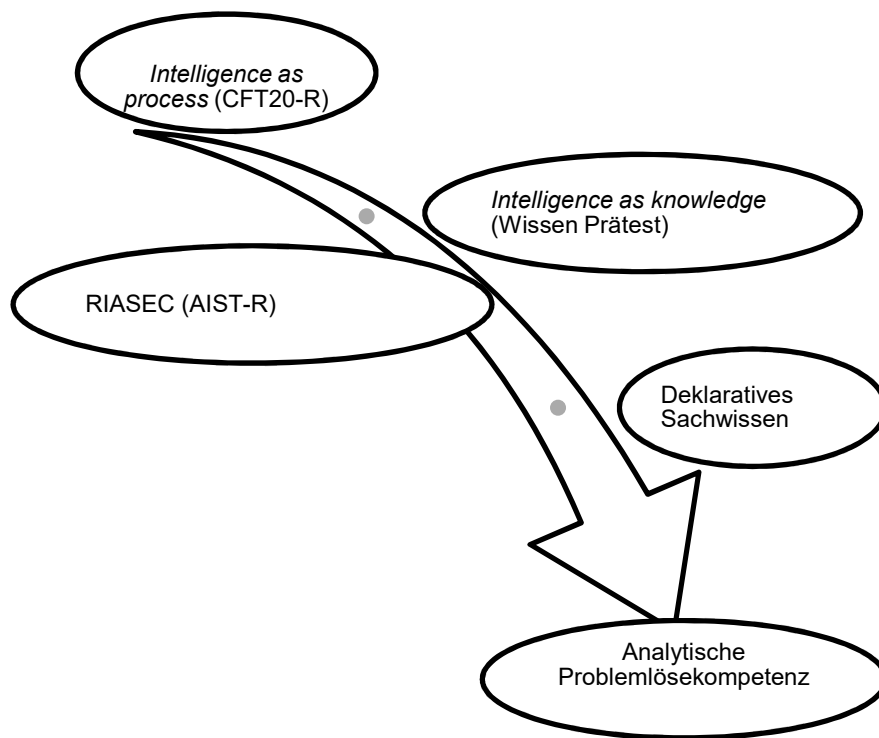


Abbildung 2.15: PPIK-Theorie modifiziert für diese Studie (Ackerman, 1996, S.238)

2.2.1 *Intelligence-as-process* bzw. fluide Intelligenz

Zuvor wurde auf die Rolle von *intelligence-as-process* im Gesamtkontext mit anderen Variablen zur intellektuellen Kompetenzentwicklung in der PPIK-Theorie hingewiesen (vgl. Kapitel 2.2). Im Folgenden wird nun der Begriff *intelligence-as-process* als konkretere Arbeitsgrundlage weiter spezifiziert.

Mit *intelligence-as-process* lässt sich bei Ackerman prinzipiell die fluide Intelligenz nach Cattell verstehen, die zur Informationsverarbeitung die vier Komponenten Verarbeitungskapazität, Wahrnehmungsgeschwindigkeit, Gedächtnisspanne und räumliche Rotation umfasst (Ackerman, 1996, S.239).

Hierbei handelt es sich um die allgemeine kognitive Leistungsfähigkeit, die an keinen konkreten Kontext gebunden ist. Demzufolge tritt fluide Intelligenz vor allem dann in

Erscheinung, wenn die Situation neu, unerwartet und von keinen bereits vorhandenen Vorerfahrungen abhängig ist (Cattell, 1987, S.87ff.).

Mit *intelligence-as-process* und der Bezeichnung „prinzipiell“ wird darauf hingewiesen, dass sich Bildungsvorerfahrungen und die Fähigkeiten in Intelligenztests nicht vollständig voneinander trennen lassen, wie es bei der fluiden Intelligenz propagiert wird (Ackerman, 1996, S.238f.; Ackerman & Beier, 2003, S.6ff.).

Außerdem zeichnet sich fluide Intelligenz dadurch aus, dass sie bis zur Vollendung der Adoleszenz im Vordergrund steht, während sie im Erwachsenenalter zurücktritt und an deren Stelle zunehmend die kristalline Intelligenz zu treten scheint (Horn & Cattell, 1967, S.107-129).

Da im 20. Jahrhundert Studien scharenweise den Fokus auf die fluide Intelligenz legten, entstand teilweise der Eindruck, jüngere Menschen seien intelligenter als ältere. Allerdings wurde die intellektuelle Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter mit Methoden gemessen, die diese nicht angemessen abbilden können (Ackerman, 2000, S.69f.).

Besonders zur Messung der generellen (allgemeinen) Intelligenz hat sich das hierarchische Intelligenzmodell von Cattell, welches zwischen fluider und kristalliner Intelligenz differenziert, im Zusammenhang mit der Erforschung von Lernprozessen in der Schule etabliert. Dies wird z. B. durch die Verwendung des CFT-Tests zur Messung der Grundintelligenz hinreichend verdeutlicht (Funke & Vaterrodt, 2004, S.47).

Solche kulturfairen Tests wie beispielsweise der CFT 20-R erfolgen sprachfrei mittels grafisch exponierten Klassifikations-, Matrizen- sowie Analogieaufgaben (Cattell, 1987, S.114).

An dieser Stelle gilt zu betonen, dass das Konstrukt Intelligenz als Prozess (*intelligence-as-process*) verstärkt mit den Persönlichkeitsfaktoren mathematisches und räumliches Denken korreliert. Ebenfalls erscheint es im Zusammenhang mit dieser im beruflichen Kontext stehenden Untersuchung bedeutsam, dass *intelligence-as-process* einen gerichteten Einfluss auf die beruflichen Interessen *realistic* und *investigative* zeigen sollte (Ackerman, 1996, S.239f.).

Die grundlegende kognitive Leistungsfähigkeit *intelligence-as-process* ist an allen kognitiven Prozessen beteiligt. Demzufolge wird erwartet, dass *intelligence-as-process* auf alle anderen lernpsychologischen Konstrukte – sowohl auf die, die bereits erworben wurden, als auch auf jene, die noch erlernt werden – einen gerichteten Einfluss ausübt.

2.2.2 *Intelligence-as-knowledge* bzw. Kristalline Intelligenz

Im Gegensatz zu Cattells kristalliner Intelligenz, die überwiegend auf kulturell erworbene Fähigkeiten aus dem allgemeinbildenden Bildungssektor der Schule abzielt, wird beim Konstrukt der *intelligence-as-knowledge* von Ackerman eine Integration domänenspezifischer

Wissenselemente, beispielsweise berufliche Bildung im Erwachsenenalter, mitberücksichtigt (Ackerman, 2000, S.69ff.).

Dementsprechend lässt sich technisches Vorwissen als Anknüpfungspunkt für neue Wissenselemente infolge eines Lernprozesses nutzen, da technische Fähigkeit und Vorwissen im beruflichen Kontext nicht separiert werden können (Abele, 2014, S.95).

Ebenso in diesem Zusammenhang steht im Hinblick auf die Informationsverarbeitungstheorie das Expertenwissen. Hier werden die sogenannten *chunks* als kleinste vom Arbeitsgedächtnis verarbeitbare Informationseinheiten durch bereits erworbenes Wissen weitreichend beeinflusst. Während beispielsweise für einen Novizen ohne Vorwissen zur Umstellung der Gleichung nach P_1 in der Formel 2.1 unter Umständen jede mathe-

$$P_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w_1^2 = P_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w_2^2$$

Formel 2.1: Bernoulligleichung (eigene Darstellung) (Sigloch, 2017, S.115)

matische Operation und jede Variable einen sogenannten *chunk* darstellt, lassen sich die Operationen und Variablen beim vorhandenen Expertenwissen adäquat kombinieren. Demgemäß können kognitive Ressourcen effizienter investiert werden, wenn ein geeignetes Vorwissen zur Anknüpfung als sogenanntes Expertenwissen zuvor erworben wurde (Chi, Glaser & Rees, 1982, S.7-72).

Hiervon ausgehend lässt sich *intelligence-as-knowledge* im Rahmen dieser Untersuchung als das bereits erworbene Fachwissen, das die Studierenden der Fachschule zuvor in ihrer Ausbildung erworben haben und das in der vorliegenden Arbeit via Prätest gemessen wird, etablieren. Dieses Vorwissen fungiert später im Strukturgleichungsmodell des Posttests aufgrund einer vorliegenden Äquivalenz im Quer- und Längsschnitt als *intelligence-as-knowledge*.

2.2.3 Das Arbeitsgedächtnis nach Alan D. Baddeley und Graham J. Hitch

Das menschliche Gedächtnis ist in Anlehnung an die Informationsverarbeitungstheorie in der kognitiven Psychologie hinsichtlich des sensorischen Speichers, dem Kurzzeit- (bzw. Arbeits-) und dem Langzeitgedächtnis kategorisierbar (Anderson, 2007, S.211).

Im Vorfeld wurde bereits die Relevanz des Arbeitsgedächtnisses in puncto *intelligence-as-knowledge* angedeutet. Aufgrund der begrenzten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses lässt sich eine effizientere Überführung von Informationen vom Arbeitsgedächtnis dank einer adäquaten Wissensvernetzung mit dem bereits erworbenen Vorwissen provozieren.

Auch *intelligence-as-process* oder die fluide Intelligenz ist an dieser Stelle nicht unwesentlich beteiligt. Als genereller umfassender Rahmen kognitiver Leistungsfähigkeit erscheint es plausibel, dass die fluide Intelligenz ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf die Überführung von Informationen vom Arbeits- ins Langzeitgedächtnis ausübt. Strittig ist an dieser

Stelle, ob es sich zwischen dem Arbeitsgedächtnis und der fluiden Intelligenz um dasselbe oder um zwei sehr verwandte Konstrukte handelt (Abele, 2014, S.112).

Einige Forschungsarbeiten tendieren zur Annahme, dass es sich um dasselbe Konstrukt handle, da eine Korrelation von ($r = .85$) konstatierbar ist (Oberauer, Schulze, Wilhelm & Süß, 2005, S.61-65).

Zu diesen Positionen gibt es allerdings auch kritische Stimmen, die das Arbeitsgedächtnis und die fluide Intelligenz zwar für eng verwandte, jedoch unterscheidbare Modelle halten (Ackerman, Beier & Boyle, 2005, S.30-60).

Das Modell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley und Hitch (1974) in Abbildung 2.16 ist eine Präzisierung des Kurzzeitgedächtnisses von Atkinson und Shiffrin. Nach dem Multikomponentenmodell besteht es aus einem Aufmerksamkeitskontrollsystem – die zentrale Exekutive (*central executive*) –, den zwei Subspeichersystemen „phonologische Schleife“ (*phonological loop*) sowie dem „visuell-räumlichen Notizblock“ (*visual-spatial sketchpad*). Diese drei Systeme weisen begrenzte Ressourcen auf, die sich allerdings unterschiedlich äußern. Visuell-räumliche Informationen und sprachliche Informationen werden demnach in den zwei unterschiedlichen Speichersystemen visuell-räumlicher Notizblock und phonologische Schleife festgehalten. Infolgedessen greifen räumlich-visuelle und sprachliche Informationen auf unterschiedliche kognitive Ressourcen zurück, wodurch sie nebeneinander verlustfrei realisiert werden können (Baddeley, 2007, S.3ff.; Baddeley & Hitch, 1974, S.74-81).

Dieses ursprüngliche Multikomponentenmodell wurde um eine vierte Komponente, den episodischen Puffer (*episodic buffer*), erweitert (Baddeley, 2000, S.417).

Die phonologische Schleife (*phonological loop*) ist maßgeblich an der Kodierung sprachbasierter Informationen beteiligt. Werden die Sprachwahrnehmungen nicht in einen artikulatorischen Kontrollprozess eingebettet oder ausreichend wiederholt sowie neu eingelesen, kann es nach einigen Sekunden zum Verblässen von Gedächtnisspuren im phonologischen Speicher kommen. Die phonologische Schleife ist experimentell relativ gut erforscht und lässt sich des Weiteren in die beiden Systeme der Sprachproduktion (*articulatory rehearsal mechanism*) und der Sprachwahrnehmung (*phonological store*) unterteilen (Baddeley, 2007, S.7ff.).

Die phonologische Schleife erklärt die drei Phänomene:

1. *The phonological similarity effect*: Dieser zeigt die geringere Merkfähigkeit von ähnlich klingenden Buchstaben oder Wörtern gegenüber Buchstaben oder Wörtern auf, die sehr unterschiedlich klingen (Baddeley, 2007, S.8f.).
2. *The word-length effect*: Dabei werden kurze Wörter wie *wit*, *sum*, *pad*, *beg* und *top* in 90% der Versuche korrekt wiedergegeben, während lange Wörter im Vergleich (z. B. *university*, *refrigerator*, *hippopotamus*, *tuberculosis* und *auditorium*) nur zu 50% korrekt wiedergegeben werden (Baddeley, 2007, S.9).

3. *The effect of articulatory suppression*: Bezeichnet die sinkende Leistung einer sprachlichen Gedächtnisaufgabe infolge sprachlicher Hintergrundgeräusche (Baddeley, 2000, S.419).

Der visuell-räumliche Notizblock (*visual-spatial sketchpad*) erfüllt, ebenso wie die phonologische Schleife, gleichermaßen Aufgaben in zwei geteilte Richtungen. Er speichert temporäre, visuelle und räumliche Informationen getrennt voneinander ab. Räumliche und visuelle Aufgaben lassen sich folglich störungsfrei nebeneinander realisieren, weil sie auf unterschiedliche Ressourcen zurückgreifen und somit die begrenzte Speicherkapazität nicht untereinander aufteilen müssen (Baddeley, 2007, S.10).

Der episodische Puffer (*episodic buffer*) ist ein multidimensionales Speicherungssystem, das mit dem Langzeitgedächtnis und den beiden Subsystemen phonologische Schleife sowie räumlich-visueller Notizblock kommuniziert. Diese Prozesse werden von der zentralen Exekutiven geregelt und können in kohärente Episoden zusammengefasst werden. Auf diese Weise sind sie bewusst abrufbar (Baddeley, 2000, S.421).

Die zentrale Exekutive (*central executive*) hat eine begrenzte Kapazität, schlägt die Brücke vom Kurzzeit- zum Langzeitgedächtnis, ist maßgeblich an der Aufmerksamkeitsregulierung beteiligt und reguliert die drei Subsysteme phonologische Schleife, räumlich-visueller Notizblock und episodischer Puffer (Baddeley, 2007, S.117ff.).

Nachfolgend wird das Kurzzeitgedächtnis nach dem Multikomponentenmodell veranschaulicht:

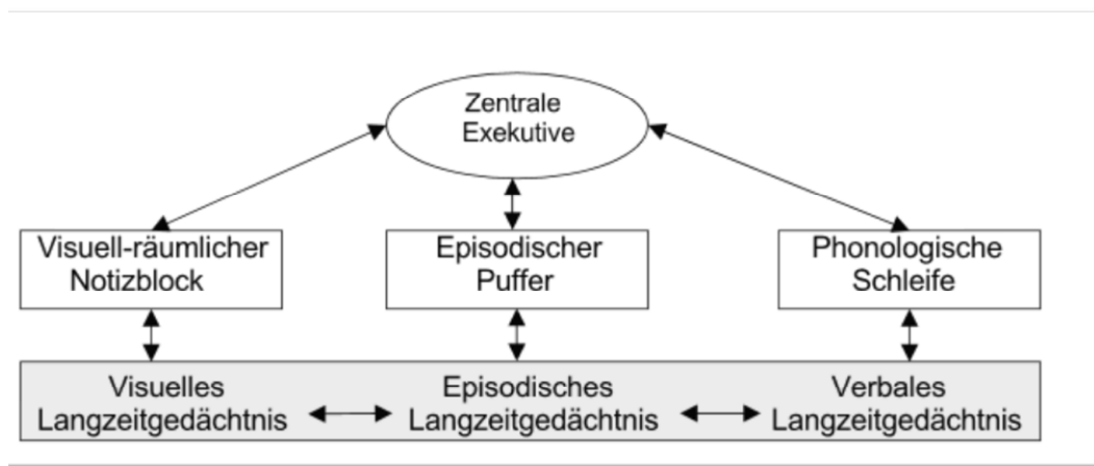


Abbildung 2.16: Modell Arbeitsgedächtnis (in Anlehnung an Baddeley) (Baddeley, 2000, S.421)

Es wird ersichtlich, dass das Modell des Arbeitsgedächtnisses für den Lernprozess eine zentrale Rolle spielt. Schließlich gelangen die Informationen über diese Wechselbeziehungen im Rahmen der Informationsverarbeitung mehr bzw. weniger effektiv in das Langzeitgedächtnis. Zwar geht es beim tatsächlichen Lesen Technischer Zeichnungen in erster Linie um die Verarbeitungsprozesse im visuell-räumlichen Notizblock, allerdings sind beispielsweise die Aufgabenstellungen (externale Zielsetzungen) während des Lernprozesses

ses in schriftlicher Form gestellt. Insofern ist in diesem Zusammenhang die phonologische Schleife ebenfalls entscheidend an diesen Prozessen beteiligt. Eine weitere Theorie, die an das Modell des Arbeitsgedächtnisses von Baddeley und Hitch zu Lernprozessen ansetzt, ist die *Cognitive-Load*-Theorie von John Sweller. Diese wird nachstehend in Kapitel 2.2.4 vorgestellt.

2.2.4 Die *Cognitive-Load*-Theorie von John Sweller

Im vorangegangenen Abschnitt wurde das Arbeitsgedächtnis nach Baddeley und Hitch spezifiziert. Wie werden kognitive Ressourcen jedoch aufgeteilt? Lassen sich kognitive Inventare durch entsprechende Lernarrangements möglicherweise effizienter realisieren? Zur Klärung dieser Fragen erscheint die *Cognitive-Load-Theory* in Abbildung 2.17 als besonders geeignet.

Bei Swellers *Cognitive-Load*-Theorie handelt es sich um eine Theorie der Informationsverarbeitung. Er sieht das domänenspezifische Wissen als einen entscheidenden Faktor an, der Experten beim Problemlösen von Novizen unterscheidet. Experten besitzen demnach ein umfangreicheres domänenspezifisches Wissen in Form von Schemata als Novizen (Sweller, 1988, S.257).

Ein Schema ist ein kognitives Konstrukt, das Informationen so organisiert, dass diese vom System entsprechend weiterverarbeitet werden können. Diese Schemata sind aufgrund der begrenzten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses entscheidend. Sie fassen mehrere Speichereinheiten (*chunks*) zu einem zusammen. Beispielsweise kann ein Experte das Wort „Gedächtnis“ als eine Speichereinheit (*chunk*) abspeichern, nachdem er es gelesen und zugleich verstanden hat. Es müssen somit keine zehn *chunks* aufgrund der zehn Buchstaben im Gedächtnis verankert werden. Dieses Beispiel stellt ein Schema für deklaratives Wissen dar. In vergleichbarer Weise werden solche Schemata auch für Problemlöseprozesse erworben. Die Gleichung $(a+b)/c=d$ lässt sich mit dem geeigneten Schemaerwerb zum Lösen derartiger Gleichungen deutlich besser nach a umstellen. Schemata können zum einen neu erworben werden (*acquisition*); zum anderen können sie automatisch (*automation*) angewendet werden, was in Bezug auf das Arbeitsgedächtnis keine Ressourcen in Anspruch nimmt. Durch die automatischen Anwendungen von Schemata werden somit benötigte Kapazitäten im Arbeitsgedächtnis frei, die beim Schemaneuerwerb hilfreich sein können. Das bedeutet also, dass beide Prozesse, *acquisition* und *automation*, für den Lernprozess entscheidend sind (Sweller, 1994, S.296ff.).

Beim Problemlösen von beispielsweise Physikaufgaben kommt es dazu, dass Novizen in erster Linie die Probleme von hinten nach vorne zu lösen versuchen. Dafür verwenden sie hauptsächlich Strategien wie etwa die Mittel-Ziel-Analyse. Im Gegensatz dazu verstehen es Experten, derartige Gleichungen so aufzustellen, dass die unbekanntenen Variablen berechnet werden können (Larkin, McDermott, Simon & Simon, 1980, S.208ff.).

Experten lösen Probleme somit ausgehend von den gegebenen Größen hin zum Endzustand. Dieses Problemlösen mit einer nach vorwärts gerichteten Struktur und entsprechend zusammengefassten Lösungsansätzen kann als Schema aufgefasst werden (Sweller, 1988, S.258).

Letzteres ermöglicht den Experten eine gesteigerte Geschwindigkeit beim Problemlösen infolge einer höheren Effizienz. Zusätzlich erkennen Experten vergleichbare Muster (*chunks*). Dies setzt jedoch ein ausreichend fundiertes Wissen, z. B. über physikalische Gesetzmäßigkeiten, während des Lösens physikalischer Probleme voraus (Chi et al., 1982, S.17).

Vor diesem Hintergrund lassen sich ebenfalls Problemlösungen im beruflichen Kontext auf Grundlage analogischer Schlussfolgerungen begründen, die auf das Anknüpfen an vorhandenes Vorwissen bzw. vorhandene *chunks* zurückführbar sind (Abele, 2014, S.68f.).

Beim Anwenden der Mittel-Ziel-Analyse bilden sich keine Schemata. Der Grund hierfür ist das rückwärtsgerichtete Problemlösen, bei dem infolge einer selektiven Aufmerksamkeit bzw. beschränkten Verarbeitungskapazität zu viele kognitive Ressourcen in Anspruch genommen werden. Der hierbei zu verzeichnende Lernerfolg ist demnach nur gering. Durch Anwendung der Mittel-Ziel-Analyse als Problemlösestrategie kann der Problemlöser die entscheidenden Operatoren zur Überwindung der Barriere selektiv ausblenden (Sweller, 1988, S.260ff.).

Darüber hinaus ist zu betonen, dass es in Anlehnung an das Dual-Task-Paradigma zu einer Überforderung des Arbeitsgedächtnisses kommt, da das Problemlösen nach der Mittel-Ziel-Analyse zu viele kognitive Ressourcen bindet. Folglich stehen für den Lernprozess zu geringe kognitive Ressourcen zur Verfügung (Sweller, 1988, S.260ff.).

Diese Theorie ist indirekt nachweisbar, beispielsweise anhand von geo- und trigonometrischen Mathematikaufgaben innerhalb eines Produktionssystems. Dabei werden zum einen spezifische Problemlöseziele (z. B. „Berechne die Beschleunigung des Rennwagens“) für die eine Gruppe gesetzt, während die andere Gruppe unspezifische Problemlöseziele (z. B. „Berechne den Wert von so vielen Variablen wie möglich“) erhält. Beide Gruppen schneiden am Ende erwartungskonform ab. Die spezifischen Problemlöseziele lassen durch den höheren Informationsgehalt weniger Raum für Lernprozesse (Sweller, 1988, S.260ff.).

Der *cognitive load* lässt sich theoriegemäß in drei Kategorien unterscheiden. Somit kann zwischen *intrinsic*, *germane* und *extraneous load* differenziert werden (Paas, Renkl & Sweller, 2004, S.2).

Intrinsic load ist die Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch die Aufgabe oder das Problem selbst. Somit steht diese Belastung entsprechend fest und ist abhängig von der Anzahl der Elemente sowie von deren Vernetzung untereinander. Entsteht ein *intrinsic load* im quantitativen Sinne, so sind die Elemente nicht miteinander vernetzt. Beispielsweise trifft dies auf das Vokabellernen einer Fremdsprache zu. Aufgrund der fehlenden Vernetzung der Wörter untereinander können sich Novizen relativ schnell Vokabeln aneignen. Anders sieht es hingegen beim Lernen der Grammatik dieser Fremdsprache aus. Hier müs-

sen die Wörter nicht nur verstanden, sondern auch derart angeordnet werden, dass durch die daraus resultierende Vernetzung sinnvolle Sätze entstehen. Folglich besteht diesbezüglich ein *intrinsic load* im qualitativen Sinne. Selbstverständlich können diese beiden Erscheinungsformen des *intrinsic load* gleichzeitig auftreten. Vernetzte Elemente in einer Aufgaben- oder Problemstellung produzieren somit einen hohen *cognitive-load*. Der einzige Weg, den *intrinsic load* zu reduzieren, ist der Erwerb von Schemata, bei denen die Elemente zu größeren Einheiten verbunden werden (van Merriënboer & Sweller, 2010, S.87).

Als Kontrast zum *intrinsic load* ist der *extraneous load* anzusehen. Hierunter wird die kognitive Belastung des Arbeitsgedächtnisses verstanden, die durch instruktionale Bedingungen hervorgerufen wird. Dies geschieht u. a. durch geeignete Methoden während des Lösens von Problemen (z. B. Versuch und Irrtum) oder durch Methoden zur Informationsbeschaffung (z. B. Recherche im Internet), um nur einige zu nennen. Das visuelle und auditive Arbeitsgedächtnis ist weitestgehend unabhängig. Folglich lässt sich der Lernerfolg einer Graphik mit entsprechendem Text gewinnbringend steigern, wenn der Text zusätzlich auditiv präsentiert wird. Auf diese Weise lässt sich *der extraneous load* merklich reduzieren (van Merriënboer & Sweller, 2010, S.87).

Der *germane load* ist direkt für das Lernen verantwortlich. Der *germane load* umfasst die kognitiven Ressourcen, die dem Lernenden abzüglich von *intrinsic* und *extraneous load* zur Transformation vom Arbeits- ins Langzeitgedächtnis zur Verfügung stehen. Diese kognitiven Ressourcen sind nutzbar zum Erwerb neuer Schemata oder zum Abspeichern einzelner unabhängiger Elemente im Langzeitgedächtnis.

Daraus lässt sich ableiten, dass der *germane Load* zum Lernen möglichst hoch sein sollte. Realisiert werden kann dies durch eine Optimierung des *extraneous load* auf das unabdingliche Minimum. Wird der *extraneous load* zu stark reduziert, kann dies eine unerwünschte Reduktion des *cognitive load* insgesamt mit sich bringen, wodurch der Lernerfolg ebenfalls ausbleibt. Im Folgenden werden drei mögliche Zustände des *cognitive load* veranschaulicht (van Merriënboer & Sweller, 2010, S.88).

- a) Hier ist eine Überlastung des *cognitive load* aufgrund eines zu hohen *extraneous load* zu verzeichnen.
- b) Der *cognitive load* ist insgesamt zu gering.
- c) Gewünschte Passung aus *intrinsic*, *extraneous*, *germane* und *cognitive load*, die zum optimalen Lernerfolg führt.

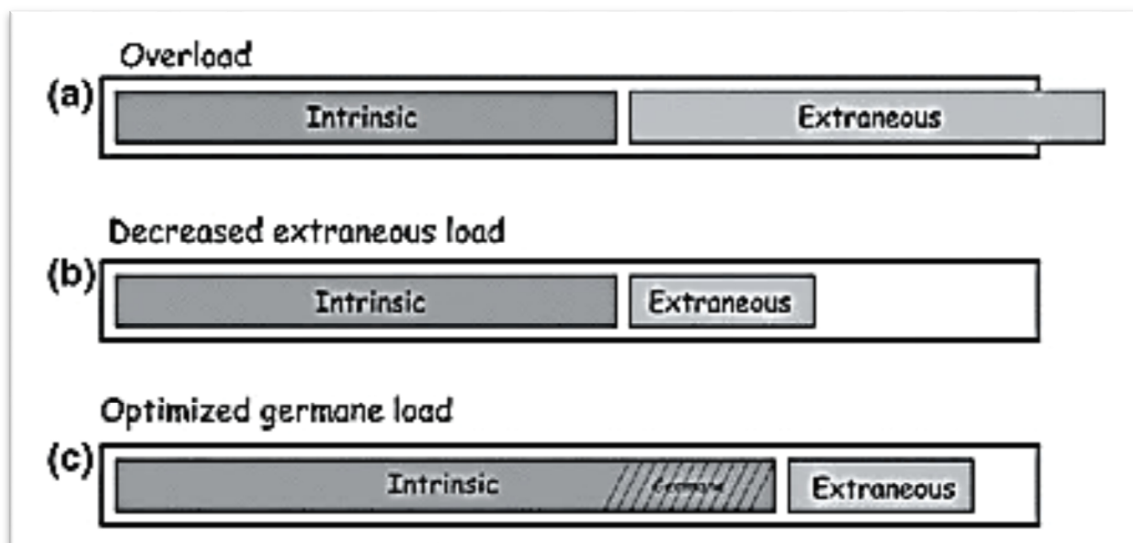


Abbildung 2.17: Cognitive-Load (van Merriënboer & Sweller, 2010, S.88)

Das Arbeitsgedächtnis bietet nach bisheriger Erörterung eine Möglichkeit für die aufgenommenen Informationen, um ins Langzeitgedächtnis übertragen zu werden. Beim Lesen Technischer Zeichnungen kommt es u. a. darauf an, Fehler zu analysieren. Somit ist zu erwarten, dass der *intrinsic load* infolge der Zeichnungsfehler als feststehende Aufgabenstellung vernetzt und unvernetzt entsteht. Deshalb sollte für den Experten die Diagnose gleicher Zeichnungsfehler, die in diesem Schnitt vorkommen können (z. B. fehlende Körperkanten), mithilfe einer entsprechenden kognitiven Repräsentation eines Schnittes möglich sein. Dies wird durch die bereits erworbenen kognitiven Kontextfaktoren wie beispielsweise *intelligence-as-knowledge* ermöglicht. Diese bilden die entscheidenden Anknüpfungspunkte für den neuen Wissenserwerb, infolgedessen jeweils kleinere oder größere *Chunk*-Netzwerke expandieren können. Dennoch ist *intelligence-as-process* in der Phase der akuten Informationsverarbeitung generell ebenfalls maßgeblich aktiv. Während die Zeichnungsfehler eher das Problemlösen betreffen, gilt das Gleiche für symbolische Darstellungen von Schnitten in Technischen Zeichnungen. So lässt sich beispielsweise die Schnittbezeichnung ausschließlich dann rechtfertigen, wenn ein komplexer Schnittverlauf vorliegt, wodurch auch diese Vernetzung zuerst erkannt werden muss. Diese Zusammenhänge der eher symbolischen Darstellung in Technischen Zeichnungen und dem ebenso quantitativ und qualitativ vorkommenden *intrinsic load* beziehen sich auf das jeweilige deklarative Sachwissen. Bezugnehmend auf die eingangs gestellte Frage wäre es möglich, nach diesem Modell mittels einer Reduktion von unnötigen Informationen tatsächlich effizientere Lernarrangements zu gestalten. Hierzu wäre eine Senkung des *extraneous load* auf das unabdingbare Minimum ratsam. Gleichwohl wäre der Lernprozess nach wie vor vom Individuum selbst abhängig. Letztendlich lässt sich das Lernarrangement in Abhängigkeit von den jeweils vorhandenen Voraussetzungen allenfalls optimal für die Lernenden ermöglichen. Der eigentliche Lernprozess wird vom Lernenden selbst entweder aktiv mitgestaltet oder eben nicht. Somit wäre es denkbar, dass der Lernende trotz adäquater

Lernumgebung beispielsweise aufgrund mangelnden Interesses an jenem domänenspezifischen Kontext keine kognitiven Ressourcen mobilisiert bzw. für diesen investiert.

2.2.5 Modell der berufsfachlichen Kompetenz

Bisher wurden die zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen erforderlichen psychologischen Konstrukte *intelligence-as-knowledge*, *intelligence-as-process*, Arbeitsgedächtnis und die *Cognitive-Load*-Theorie in Verbindung mit der PPIK-Theorie behandelt. Diese stehen bereits vor dem eigentlichen Lernprozess als kognitiver Kontext fest. Indessen stellt sich die Frage, wie die mithilfe des Lernarrangements von den Studierenden neu erworbenen kognitiven Kontextfaktoren zu modellieren wären. Eine Möglichkeit besteht durch Modellierung unter Einbeziehung der berufsfachlichen Kompetenz wie in Abbildung 2.18 dargestellt.

Allerdings ist der Kompetenzbegriff generell von der jeweiligen wissenschaftlichen Disziplin abhängig. Interdisziplinär schließen sich einige Begriffsverständnisse sogar aus, wodurch der Begriff der Kompetenz ausschließlich in Verbindung mit der in der jeweiligen wissenschaftlichen Disziplin verankerten Definition heraus betrachtet werden sollte (Nickolaus, 2011, S.11ff.; Stemmann, 2016, S.49; Nickolaus & Seeber, 2013, S.167ff.; Klieme & Hartig, 2008, S.11ff.).

Somit geht es nicht um „richtige“ oder „falsche“ Perspektiven. In diesem Sinne ist beispielsweise die Perspektive von Lehrerinnen und Lehrern zur Organisation geeigneter Lernarrangements teilweise eine andere, als eine kognitionspsychologische Perspektive zur Grundlagenforschung (Euler, 2020, S.213).

Aus kognitionspsychologischer Perspektive erscheint u. a. die nachfolgende Definition von Franz Weinert aus der pädagogischen Psychologie treffend:

Dabei versteht man unter Kompetenzen die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können (Weinert, 2002, S.27f.).

Oftmals bleibt eine scharfe Trennung zwischen den Begriffen „Kompetenzen“ und „Fähigkeiten“ aus, was dazu führt, dass diese Begriffe teilweise sogar synonym verwendet werden (Gnahn, 2010, S.26).

Der eben zitierte Kompetenzbegriff nach Weinert beinhaltet bereits die Erlernbarkeit von Kompetenzen als Abgrenzung zum Fähigkeitsbegriff.

Demnach lassen sich Fähigkeiten überwiegend als Dispositionen verstehen (z. B. fluide Intelligenz), wohingegen Kompetenzen erlernbar sind und damit aus dem Zusammenspiel

von Fähigkeiten eines Individuums mit seiner Umwelt heraus resultieren (Mayer, 2003, S.263-265; Abele, 2014, S.47).

Vor diesem Hintergrund erscheint es relativ einfach, „Kompetenz“ und „fluide Intelligenz“ voneinander abzugrenzen. So geht es bei dem Begriff der fluiden Intelligenz generell um kognitive Fähigkeiten, die nicht an domänenspezifische Kontexte gebunden sind. Die Kompetenzdiagnostik zielt mit ihren Tests jedoch exakt auf diese domänenspezifischen Kontexte ab, um menschliches Handeln möglichst adäquat abbilden zu können (Wilhelm & Nickolaus, 2013, S.25; Abele, 2014, S.47).

Klieme und Hartig definieren in der Kompetenzdiagnostik Kompetenzen wie folgt:

Zusammenfassend werden Kompetenzen in dieser psychologischen Tradition als erlernbare kontextspezifische Leistungsdispositionen verstanden, die sich funktional auf Situationen und Anforderungen in bestimmten Domänen beziehen. Die Breite dieser Domänen bzw. der relevanten Situationen kann zwischen spezifischen Kompetenzen und Schlüsselkompetenzen variieren, aber grundlegend sind ein Kontextbezug und die Erlernbarkeit (Klieme & Hartig, 2008, S.17f.).

Im Gegensatz zu Weinert verzichten Klieme und Hartig aus ihrer kompetenzdiagnostischen Perspektive heraus bewusst darauf, motivationale, volitionale und soziale Bereitschaften in ihrem Kompetenzbegriff miteinzuschließen. Damit beschränkt sich hier der Kompetenzbegriff ausschließlich auf kontextspezifische Leistungsdispositionen, die sich funktional auf Situationen und Anforderungen in bestimmten Domänen beziehen (Klieme & Hartig, 2008, S.17f.).

Wird der Kompetenzbegriff aus diagnostischer Sichtweise mit der Referenz zu einer beruflichen Domäne benutzt (z. B. staatlich geprüfter Techniker Maschinenbau), so lassen sich hierbei im Gegensatz zu klassischen wissenschaftlichen Disziplinen wie der Mathematik keine eindeutigen Grenzen ziehen. Schließlich werden zum einen in einer beruflichen Domäne sehr spezifische Kompetenzen wie beispielsweise das Lesen einer Fertigungszeichnung, und zum anderen domänenübergreifende Kompetenzen wie beispielsweise der Umgang mit Rechtsvorschriften, abverlangt (Nickolaus & Seeber, 2013, S.169).

Zusätzlich können über die gesamte Ausbildungszeit einerseits Verschmelzungsprozesse und andererseits Ausdifferenzierungen der Subdimensionen verzeichnet werden (Gschwendtner, Geißel & Nickolaus, 2010, S.264ff.; Nickolaus, 2011, S.333; Nickolaus & Seeber, 2013, S.177; Seeber, 2014, S.57).

Eine valide Kompetenzdiagnostik erscheint somit nur möglich, wenn zuerst adäquate Tests für zentrale Teilaspekte der Kompetenz entwickelt werden. Deshalb muss in diesem Zusammenhang vorerst auf eine umfassende und valide Abschätzung beruflicher Handlungskompetenz verzichtet werden. Im Bereich der beruflichen Bildung erscheint es als gewinnbringend, dies zuerst auf der Ebene der Fachkompetenz zu verwirklichen (Nickolaus, Abele & Gschwendtner, 2011, S.57).

Der Begriff der berufsfachlichen Kompetenz wird aus dieser empirischen Perspektive heraus betrachtet und verwendet. Diesbezüglich manifestieren sich in zahlreichen Untersuchungen domänenübergreifend zwei grundsätzliche Subdimensionen der beruflichen Fachkompetenz: zum einen das Fachwissen und zum anderen die Fähigkeit, dieses Fachwissen in problemhaltigen Situationen anwenden zu können. Weitere, nicht domänenübergreifende Subdimensionen gilt es durch eingehende empirische Forschung hinsichtlich des jeweiligen Berufs ausfindig zu machen (Nickolaus & Seeber, 2013, S.177f.).

Hinsichtlich der beim Lesen Technischer Zeichnungen involvierten Lernprozesse und der Identifikation fehlerhafter Darstellungen als reale Handlungssituation eines staatlich geprüften Technikers Maschinenbau (z. B. in der Konstruktion), erscheint u. a. das nachfolgend dargestellte Modell als adäquat. Kennzeichnend ist hier eine zweidimensionale Grundstruktur berufsfachlicher Kompetenz, die durch das Fachwissen und die berufsfachliche Problemlösekompetenz verwirklicht wird (Nickolaus & Seeber, 2013, S. 177-182; Nickolaus, 2011, S.333).

Diese Grundstruktur berufsfachlicher Kompetenz verfolgt im Gegensatz zu holistisch vertretenen Ansätzen das Ziel, mithilfe entsprechender Subdimensionen sowohl reliable als auch valide Kompetenzmessungen zu verwirklichen (Nickolaus, 2011, S.333; Nickolaus & Seeber, 2013, S.170).

Außerdem wird diese Struktur durch belastbare empirische Befunde bestätigt: Bei fast allen untersuchten Ausbildungsberufen konnte bisher gegen Ende der Ausbildung eine mehrdimensionale Fachwissensstruktur festgestellt werden (Seeber, 2014, S.61ff.; Walker et al., 2016, S.162; Abele, Behrendt, Weber & Nickolaus, 2016, S.58ff.; Waveren & Nickolaus, 2015, S.73ff.).

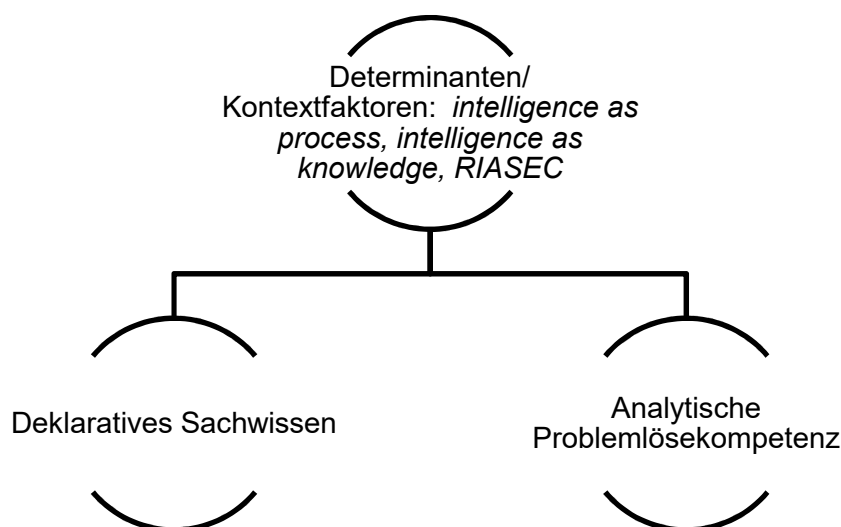


Abbildung 2.18: Modifizierung der dualistischen Grundstruktur berufsfachlicher Kompetenz mit Referenz zu dieser Untersuchung (Nickolaus & Seeber, 2013, S.177-182; Nickolaus, 2011, S.333)

So wurden beispielsweise in der Studie von Walker und Mitarbeitern im Rahmen von ASCOT (KOKO EA: Kompetenzmessung und -modellierung bei Elektronikern für Au-

tomatisierungstechnik) Elektroniker für Automatisierungstechnik mit Bezug hierauf untersucht. Auf eine Erhebung des Handlungswissens wurde verzichtet. Stattdessen entwickelten die Forscher insgesamt drei Tests zur Messung der Grundstrukturen fachsystematisches Wissen, analytische sowie konstruktive Problemlösekompetenz (Walker et al., 2016, S.142f.).

Hinsichtlich des fachsystematischen Wissens konnte über die Stichprobe mit 1011 Probanden von 33 berufsbildenden Schulen aus neun Bundesländern eine dreidimensionale Struktur zu den Bereichen Automatisierungstechnik/SPS (AT/SPS), elektrische Energietechnik (EET) sowie elektrotechnische Grundlagen (G) nachgewiesen werden.

Zur Messung der analytischen Problemlösekompetenz erhielten die 319 Schüler der betreffenden Stichprobe z. B. die Aufgabe, eine mit Fehlern versehene speicherprogrammierte Steuerung (SPS) in Betrieb zu nehmen. Die hierfür notwendigen kognitiven Voraussetzungen lassen sich dabei als analytische Problemlösekompetenz verstehen. Im Gegensatz dazu steht die konstruktive Problemlösekompetenz, deren kognitiven Voraussetzungen beispielsweise auf das Neuprogrammieren einer speicherprogrammierten Steuerung (SPS) ausgerichtet sind. Die Stichprobe zur konstruktiven Problemlösekompetenz setzte sich hierbei aus 278 Schülern zusammen (Walker et al., 2016, S.154).

Bereits zuvor hatte sich gezeigt, dass mit Computersimulationen berufsfachliche Kompetenzen verhältnismäßig realitätsnah gemessen werden können (Nickolaus et al., 2011, S.83-92).

Insofern wurden in der Studie von Walker und Mitarbeitern acht Problemstellungen via Computersimulationen im Vergleich zum Realmodell getestet. Der Vergleich zwischen denen am Computer simulierten und den real gestellten Problemlöseaufgaben kam ebenfalls zu dem Ergebnis, dass sich berufsfachliche Kompetenzen valide und reliabel mithilfe geeigneter Computersimulationen testen lassen (Walker et al., 2016, S.154ff.).

Auch Abele und Mitarbeiter konnten in der von ihnen im Kfz-Bereich durchgeführten Studie von 2016 die Praktikabilität von Computersimulationen bestätigen (Abele et al., 2016, S.183ff.).

Um die Zusammenhänge und Interaktionen zwischen der Intelligenz, dem dreidimensionalen fachsystematischen Wissen und der analytischen sowie kreativen Problemlösekompetenz sichtbar zu machen, konzipierten Walker und Mitarbeiter (vgl. Abbildung 2.19) ein entsprechendes Strukturgleichungsmodell, das die Stichprobe von 211 Probanden statistisch auswertete. In einem separaten Strukturgleichungsmodell konnte zwischen der analytischen und kreativen Problemlösekompetenz zum einen eine Korrelation von ($r = .77$) diagnostiziert werden. Zum anderen passte das zweidimensionale Modell im Vergleich zum eindimensionalen Modell besser, wodurch die analytische von der konstruktiven Problemlösekompetenz zu unterscheiden ist. Eine umfassende Darstellung des Strukturgleichungsmodells erfolgt in Abbildung 2.19. Die fluide Intelligenz hatte hierbei auf das Fachwissen den größeren signifikanten Einfluss. Trotzdem konnten Einflüsse der fluiden Intelligenz, getestet via CFT 20-R (Weiß & Weiß, 2006), auf die analytische und konstruktive Problemlösekompetenz aufgezeigt werden. Insgesamt jedoch hatte das

Fachwissen den größten Einfluss auf die analytische und konstruktive Problemlösekompetenz (Walker et al., 2016, S.161f.).

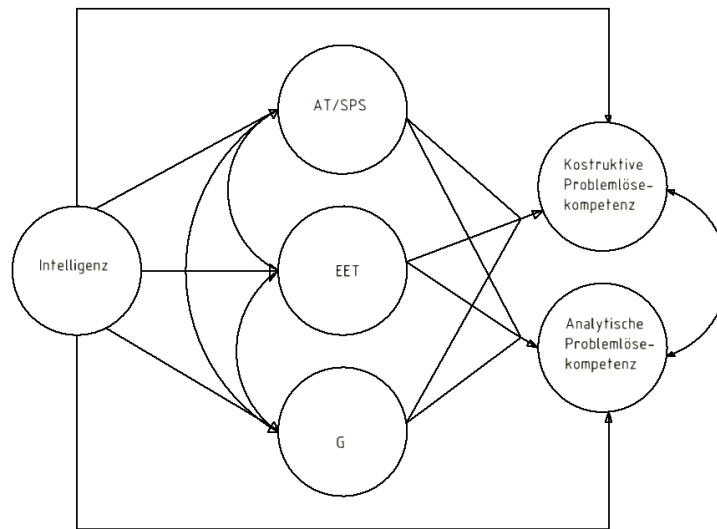


Abbildung 2.19: Strukturmodell berufsfachliche Kompetenz von Elektronikern für Automatisierungstechnik (eigene Darstellung) (Walker et al., 2016, S.161)

Weitere Befunde, bei denen das Fachwissen den größten Einfluss auf die Problemlösekompetenz aufweist, finden sich bei Abele und Mitarbeitern zum Thema „Berufsfachliche Kompetenzen von Kfz-Mechatronikern – Messverfahren, Kompetenzdimensionen und erzielte Leistungen (KOKO Kfz)“ (Abele et al., 2016, S.196ff.).

Bei Abele und Mitarbeitern stehen diese Befunde darüber hinaus auch im Zusammenhang mit dynamischem Problemlösen (Abele et al., 2012, S.383ff.).

Ebenso bei Rausch, in dessen Studie mit Industriekaufleuten das Fachwissen als stärkster Prädiktor für das Problemlösen hervortrat (Rausch, 2017, S.191).

Eine zusätzliche Studie von Geißel zu den Berufsgruppen Elektroniker für Energie und Gebäudetechnik sowie Kraftfahrzeugmechatroniker zeigt ähnliche Indizien auf (Geißel, 2008, S.14ff.).

Summa summarum traten die drei Konstrukte Fachwissen (mit mehrdimensionalen Subdimensionen), analytische Problemlösekompetenz und die konstruktive Problemlösekompetenz als getrennte, im Modell der berufsfachlichen Kompetenz eingebettete Dimensionen in Erscheinung. Ausgehend von diesem dualistischen Modell wird die für die vorliegende Untersuchung geeignete Struktur in enger Anlehnung an die zuvor von Walker und Mitarbeitern ausgearbeitete Struktur entwickelt. Wie zuvor in Abbildung 2.19 zu erkennen, wird als Fachwissen das deklarative Sachwissen nach Süß operationalisiert. Zwar muss der angehende staatlich geprüfte Techniker nicht unbedingt selbst die Technische Zeichnung erstellen, da dies in der Regel vom technischen Zeichner oder Produktdesigner absolviert wird. Das diesem Schritt zugrundeliegende prozedurale Wissen ist für den Techniker somit nicht zwingend erforderlich. Allerdings muss er in der Lage sein, dem technischen Zeichner oder anderen am Produkt beteiligten Personen zu kommuni-

zieren, weshalb sich das deklarative Sachwissen für den Techniker als unerlässlich manifestiert. Da im Rahmen dieser Untersuchung Fehler in der Technischen Zeichnung diagnostiziert werden müssen, handelt es sich bei den hierfür notwendigen kognitiven Ressourcen um die analytische Problemlösekompetenz. Für das Lesen Technischer Zeichnungen ist ein ausreichend fundiertes Wissen über die DIN-gerechte Darstellung, z. B. von Schnittflächen, zwingend erforderlich. Außerdem ist ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen, das in Teilen der fluiden Intelligenz zugesprochen werden kann, ebenfalls von Vorteil. Schließlich müssen die Schnittflächen als solche erkannt werden, wofür ein Denken von 2-D in 3-D und umgekehrt notwendig ist. Zur Durchführung der Fehlerdiagnose einer Technischen Zeichnung sind folglich zuerst kognitive Hindernisse zu überwinden. Diese Hindernisse können als Probleme aufgefasst werden und die damit verbundene Überwindung als Problemlösen.

Das Lösen von Problemen macht gewisse Denkprozesse erforderlich, die im Innern des Problemlösers stattfinden und für Außenstehende somit unzugänglich sind. Dabei ist zu betonen, dass diese Denkprozesse nicht automatisch aus dem Gedächtnis abgerufen werden können (Hussy & Selg, 1998, S.18ff.).

2.2.6 Problemlösen und die analytische Problemlösekompetenz dieser Untersuchung

Im vorausgehenden Kapitel wurde angedeutet, dass das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen besonders im Hinblick auf deren Erlernbarkeit dem Konstrukt Problemlösen zuzuschreiben ist. Allerdings wird der Begriff des Problemlösens – wie beispielsweise auch der Kompetenzbegriff – durch verschiedene wissenschaftliche Traditionen geprägt. Was zeichnet eigentlich Probleme aus? Worin unterscheiden sie sich in Bezug auf Aufgabenstellungen und von welchen Bedingungen werden Problemstellungen beeinflusst? Diese Fragestellungen werden nachfolgend näher untersucht.

Probleme entstehen dadurch, dass Organismen ihre gesetzten Ziele nicht direkt erreichen. Dabei ist die Situation für sich alleine genommen nicht das Problem. Als Problem kann stattdessen vielmehr das Zusammenspiel aus einer gegebenen Situation, dem Organismus und dem Ziel des Organismus betrachtet werden (Funke, 2003, S.18).

Entscheidend ist hierbei eine Barriere, welche die Transformation des störenden Anfangszustands in den gewünschten Endzustand verhindert. Das Dividieren von 133 durch 7 stellt für die meisten Menschen somit kein Problem dar, weil keine Barriere vorhanden ist, da die meisten Menschen eine Division beherrschen. Für den Chemiker ist die Herstellung von Ammoniak ebenfalls kein Problem, da dies zu seinem routinemäßigen Repertoire gehört. Auch hier gibt es für den Chemiker keine Barriere, die er überwinden muss. Es handelt sich hierbei folglich um das Lösen von Aufgaben. Anders sieht es bei einem Novizen aus, der Ammoniak herstellen möchte – hier existiert sehr wohl eine Barriere.

Letztere ist somit die entscheidende Komponente, die bei Problemen vorhanden ist und bei Aufgaben fehlt. Demgemäß hängt es für das Individuum von seinen Vorerfahrungen ab, ob eine Barriere zwischen störendem Anfangs- und angestrebtem Endzustand besteht oder nicht (Dörner, 1976, S.10f.).

Menschen stoßen zwangsläufig durch ihre Handlungen auf Probleme, wenn sie das Ziel nicht direkt erreichen. Infolge des häufig zielgerichteten menschlichen Handelns werden Probleme demnach sogar provoziert (Funke, 2003, S.18).

Problemlöseprozesse sind vielschichtige geistige Abläufe, die im Innern des Problemlösers ablaufen. Dadurch sind die Problemlöseprozesse als interne Repräsentation des Problemlösers nicht direkt für Außenstehende zu beobachten. Zusätzlich lassen sich Probleme hinsichtlich des dafür notwendigen Vorwissens differenzieren. Dabei ist das Überwinden der Barriere vom Anfangs- zum Zielzustand entscheidend. Analog hierzu impliziert die Barriereüberwindung ein zielgerichtetes Neuverknüpfen der Merkmale Anfangszustand, Zielzustand und Barriere. Dieser Prozess kann nicht automatisch aus dem Gedächtnis abgerufen werden, stattdessen sind dafür Denkprozesse notwendig (Hussy & Selg, 1998, S.18ff.).

Dörner differenziert in Bezug auf „Barriere“ zwischen Interpolations-, Synthese- und dialektischer Barriere (vgl. Tabelle 2.1). Sind dem Problemlöser Anfangs- und Zielzustand sowie die dafür notwendigen Operatoren zum Erreichen des Zielzustands bekannt, wird von einer Interpolationsbarriere gesprochen. Die Barriere besteht somit aus der geeigneten Kombination bekannter Operatoren, um vom störenden Anfangszustand zum gewünschten Zielzustand zu gelangen. Dem geübten Schachspieler ist nicht nur das Ziel, den gegnerischen König schachmatt zu setzen, bekannt. Er kennt auch entsprechende Operatoren in Form von regelkonformen Spielzügen, mittels derer er dieses Ziel zu erreichen vermag. Sind dem Problemlöser die zur Barriereüberwindung notwendigen Operatoren hingegen nicht bekannt, wird von einer Synthesebarriere gesprochen. Hier müssen zuerst noch unbekannte Operatoren gefunden werden, um einen Zustandswechsel herbeizuführen (Dörner, 1976, S.11f.).

Dem Schachanfänger ist z. B. das Ziel, den gegnerischen König zu besiegen, ebenfalls bekannt. Anders sieht es bezüglich den dafür notwendigen regelkonformen Spielzügen (Operatoren) aus. Diese müssen vom Schachanfänger erst synthetisiert werden (Abele et al., 2012, S.66).

Sind jedoch die Operatoren sowie der Ausgangs- oder Zielzustand unbekannt, wird von einem dialektischen Problem gesprochen. „Verbessere die Lebensqualität deiner Familie“ wäre etwa ein derartiges Problem. Schließlich sind hier die dafür notwendigen Operatoren sowie der Anfangs- und Endzustand unbekannt und müssen erst gefunden werden (Hussy & Selg, 1998, S.95).

Außerdem können die drei beschriebenen modellhaften Barrieretypen simultan auftreten (Dörner, 1976, S.14).

Tabelle 2.1: Barrieretypen (Hussy & Selg, 1998, S.95; Dörner, 1976, S.14)

Barrieretyp	Anfangszustand	Zielzustand	Operatoren	Problemart
Interpolationsbarriere	bekannt	bekannt	bekannt	geschlossen
Synthesebarriere	bekannt	bekannt	unbekannt	geschlossen
Dialektische Barriere	unbekannt	unbekannt	unbekannt	offen

Eine weitere Differenzierung kann in Bezug auf die Realität von Problemen vorgenommen werden. Ein politisches Problem entwickelt sich z. B. über die Zeit hinweg weiter, ohne dass jemand eingreift. Im Schachspiel bleibt hingegen die Situation hinsichtlich des Spielzugs über die Zeit hinweg konstant. Erst durch das Eingreifen des Spielers findet eine Veränderung statt. Darüber hinaus kann ein politisches Problem aus relativ vielen Variablen bestehen, die nicht alle überblickt werden. Im Schachspiel bleibt die Variablenanzahl zumindest im Hinblick auf den nächsten Zug relativ überschaubar (Dörner, 1976, S.11).

Funke vertritt indes den Standpunkt, dass beim Barrieretyp „Interpolationsbarriere“ nach Dörner eher von einer Aufgabenbewältigung gesprochen werden muss, da hier keine Lücken nach seiner Definition geschlossen werden (Funke, 2003, S.25).

Anderson trifft eine derartige Differenzierung allerdings nicht:

„Problemlösen ist zielgerichtetes Verhalten, das oft das Aufstellen von Teillösungen beinhaltet, um die Anwendung von Operatoren zu ermöglichen (Anderson, 2007, S.292).“

Bezüglich technischer Probleme kann das Differenzieren zwischen Problem- und Aufgabenlösen somit als schwierig angesehen werden. Ein Schachanfänger kann beispielsweise zum Experten werden. Dadurch sind ihm ebenfalls die jeweiligen Operatoren zur Barriereüberwindung bekannt. Im beruflichen Kontext entstehen zahlreiche Lerngelegenheiten und Lernprozesse, die miteinander interagieren. Aufgaben, die klare Differenzierungen zwischen Aufgaben- und Problemlösen berücksichtigen, verlieren beträchtlich an inhaltlicher Validität. So lässt sich technisches Problemlösen in kreatives und analytisches Problemlösen aufgliedern. Kreatives Problemlösen beinhaltet das divergente Streben nach Problemlösungen, wie z. B. die Entwicklung einer neuen Bremsanlage am Kraftfahrzeug. Analytisches Problemlösen zielt im Gegensatz dazu darauf ab, ein komplexes System zu vereinfachen. Dazu kann die Funktions- und Fehlerdiagnose gezählt werden. Des Weiteren stehen diese beiden Typen technischen Problemlösens in Abhängigkeit von der jeweiligen beruflichen Domäne (Abele et al., 2012, S.65ff.).

Ein umfangreiches Fachwissen in der jeweiligen Domäne befähigt einen Experten infolge einer Mustererkennung (*chunks*) überdies zu gewinnbringenderen Problemlösungsstrategien, als einen Novizen, dem das erforderliche Fachwissen fehlt (Chi et al., 1982, S.17).

Gerade bei domänenspezifischen Problemen, wie sie im beruflichen Kontext verhältnismäßig oft vorkommen, spielt das domänenspezifische Fachwissen eine entscheidende Rolle (Walker et al., 2016, S.163, Rausch, 2017, S.178).

Somit ist zwischen domänenspezifischen Problemlösen und allgemeinem Problemlösen zu differenzieren.

Durch die enge Vernetzung des Problemlösens mit dem deklarativen Sachwissen, das zur Fehleridentifikation beim Lesen Technischer Zeichnungen zwingend erforderlich ist, ergibt sich folglich eine Abgrenzung zum Begriffsverständnis einer allgemeinen fächerübergreifenden Problemlösekompetenz, etwa in Verbindung mit der PISA-Studie (vgl. Leutner, Funke, Klieme & Wirth, 2012, S.12f.).

Unter dem hier verwendeten Begriff der analytischen Problemlösekompetenz werden die zur Fehleridentifikation in Technischen Zeichnungen notwendigen kognitiven Ressourcen und das damit verbundene, individuell durch Lernen erworbene, Wissen zur Barriereüberwindung verstanden (Walker et al., 2016, S.153f.).

Zur Spezifikation analytischer Problemlösekompetenz in der vorliegenden Studie wird auf das Beispiel in Abbildung 2.10 in Kapitel 2.1.2 verwiesen. In dieser unteren Schnittansicht werden aus dem 3-D Modell des CAD automatisch Kanten abgeleitet, die nach DIN EN ISO im Schnitt nicht zu sehen sein dürften. In jener Abbildung lassen sich noch zahlreiche weitere Fehler erkennen, die nicht im Einklang mit der Darstellungsform von Technischen Zeichnungen nach DIN EN ISO stehen. Verhältnismäßig leicht nachvollziehbar sind die Schraffurwinkel, die in der oberen Ansicht von denen nach DIN EN ISO geforderten 45° und 135° abweichen.

Analog hierzu wird in der vorliegenden Studie das Diagnostizieren und Interpretieren solcher Fehler in Technischen Zeichnungen als analytische Problemlösekompetenz aufgefasst.

2.2.7 Deklaratives Sachwissen nach Heinz-Martin Süß

Im Vorfeld wurde der Begriff der analytischen Problemlösekompetenz als eine der beiden erlernbaren Säulen berufsfachlicher Kompetenz erörtert. Nun wird die andere Säule berufsfachlicher Kompetenz, das Fachwissen, behandelt. In Technischen Zeichnungen stecken zahlreiche Informationen, z. B. hinsichtlich der Geometrie und der zur Fertigung notwendigen Angaben. Um diese Angaben interpretieren zu können, ist ein ausreichendes, einschlägiges deklaratives Wissen zwingend erforderlich. Hieraus ergibt sich die folgende Differenzierung im Hinblick auf Wissen:

Bezugnehmend auf den Umgang mit komplexen Systemen unterscheidet Süß zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen in der Form, dass deklaratives Wissen ein bewusstes Wissen und somit explizit verbalisierbar ist (z. B. das schriftliche Beantworten von Fragen) (Süß, 1996, S.62ff.).

Deklaratives Wissen kann in semantischer und episodischer Form im Gedächtnis verankert werden. Die semantische Form bezeichnet dabei ein Faktenwissen (Anderson, 2007, S.285f.).

Fakten sind beispielsweise Wörter, Sätze, Gesichter und Geschichten (Squire, 1992, S.232).

Wird das Ergebnis der Rechenaufgabe $1+1=2$ aus dem Gedächtnis abgerufen, handelt es sich ebenfalls um Faktenwissen. Definitionen wie etwa „Zwei Brüche werden dividiert, indem man den ersten Bruch mit dem Kehrwert des zweiten Bruchs multipliziert“, gehören auch dazu. Somit handelt es sich hierbei keinesfalls um minderwertiges Wissen. Schließlich setzt Faktenwissen auf diese Weise kognitive Ressourcen frei, da die Information bereits zur Verfügung steht und somit nicht zuerst konstruiert werden muss (Stern & Hardy, 2002, S.159).

Neben der semantischen Form liefert das episodische Gedächtnis hingegen Erinnerungen daran, wo und wann gelernt wurde (Anderson, 2007, S.285).

So ist es beispielsweise an Erinnerungen beteiligt, was beim letzten Thanksgiving geschah, oder wo beim Golfspielen das letzte Mal abgeschlagen wurde (Schacter, 2001, S.275).

Auch beim Zeichnungslesen kann es entscheidend sein zu wissen, wo Informationen über Zeichnungseintragungen nachgeschlagen werden können. So wird z. B. die korrekte Eintragung der Freihandlinie eines Teilschnitts vermutlich schneller in der Fachliteratur nachgeschlagen, wenn die Stelle im Text noch bekannt ist. Die Unterscheidung zwischen deklarativ-semantischem und deklarativ-episodischem Wissen ist nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Gemessen wird das gesamte deklarative Sachwissen einschließlich der semantischen und episodischen Wissensanteile mithilfe eines digitalen Multiple-Choice-Tests. Die Studierenden verwenden diesbezüglich während des Multiple-Choice-Tests die bereitgestellte Fachliteratur.

Im Gegensatz zu dem zuvor beschriebenen deklarativen Wissen drückt sich prozedurales Wissen durch den Vollzug kognitiver oder motorischer Handlungen unbewusst (implizit) aus und kann nicht sprachlich ausgedrückt werden. Rein deklaratives und rein prozedurales Wissen stellen hierbei zwei extreme Pole dar. Beide Wissensformen – deklaratives und prozedurales Wissen – sind ineinander überführbar. Somit lässt sich eine Handlung verbal mit einem gewissen deklarativen Wissensanteil ausdrücken, auch wenn für die Handlung selbst prozedurales Wissen notwendig wäre. Implizites Wissen ist als der Teil prozeduralen Wissens anzusehen, der unbewusst ist und somit nicht versprachlicht werden kann. In diesem Zusammenhang unterscheidet Süß zwischen Sach- und Handlungswissen. Beide können dabei in deklarativer und in prozeduraler Form vorliegen. Sachwissen gibt Auskunft über Sachverhalte, Handlungswissen über situationsgemäße Handlungen. Sachwissen muss somit zum Ausführen einer Handlung in ein Handlungswissen überführt werden. Folglich lassen sich Strategien zum Problemlösen ebenfalls ins Handlungswissen integrieren. Diese Differenzierung zwischen Sach- und Handlungswissen ermöglicht eine exaktere Form der Wissenskategorisierung. Schließlich bedeutet ein deklaratives Wissen über eine Handlung nicht automatisch, dass diese Handlung durchgeführt werden kann. Ebenfalls ist es nicht zwingend erforderlich, dass sich prozedurales Wissen in Handlungsabläufen ausdrückt. Auch kognitive Fertigkeiten, z. B. die Identifikation von Röntgenbil-

dern, sind diesem Wissen zuzuordnen. Aus dieser Perspektive heraus leiten sich vier verschiedene Wissenskategorien zur Steuerung komplexer Systeme ab (Süß, 1996, S.63ff.).

In Anlehnung an diese Kategorisierungen ergibt das deklarative Sachwissen (vgl. Tabelle 2.2) eine inspirierende Komponente in Bezug auf das Lesen Technischer Zeichnungen. Denn zur Kommunikation (z. B. mit dem technischen Zeichner) ist eine Verbalisierung der Informationen unerlässlich. Vor allem jedoch wird sich die diesbezügliche Kommunikation dabei auf die Sache selbst beziehen. Nachfolgend wird die Tabelle der Wissensarten nach Süß mit Beispielen des Zeichnungslesens in Tabelle 2.3 versehen.

Tabelle 2.2: Taxonomie der Wissensbegriffe (Süß, 1996, S.66)

	Deklaratives Wissen	Prozedurales Wissen
Sachwissen	Deklaratives Sachwissen (z. B. Variablenwissen, Relationswissen, Wissen über Eigenschaften)	Prozedurales Sachwissen
Handlungswissen	Deklaratives Handlungswissen (z. B. Strategien, Heuristiken)	Prozedurales Handlungswissen

Unter deklarativem Sachwissen wird in dieser Studie somit ein verbalisierbares Faktenwissen verstanden, das mit dem dazugehörigen Multiple-Choice-Test inklusive Items digital abgegriffen werden kann (vgl. Tabelle 3.4).

Tabelle 2.3: Wissensbegriffe von Süß für diese Untersuchung

	Deklaratives Wissen	Prozedurales Wissen
Sachwissen	Deklaratives Sachwissen (z. B. Wissen über korrekte Schraffur)	Prozedurales Sachwissen (z. B. Identifikation eines Halbschnitts in einer Technischen Zeichnung)
Handlungswissen	Deklaratives Handlungswissen (z. B. Beschreibung des Vorgehens beim Eintrag eines Schnittverlaufs)	Prozedurales Handlungswissen (z. B. die Skizzierung eines Schnittverlaufs in einer Technischen Zeichnung)

2.2.8 Interesse als Ausdruck von Persönlichkeit im RIASEC-Modell beruflicher Interessen nach John L. Holland

Die Entwicklung von Fähigkeiten und Kompetenzen einer Person erfolgt nach der PPIK-Theorie u. a. in Wechselwirkung mit dem Interesse. Ein großes Interesse einer Person in einer bestimmten Domäne entscheidet darüber, wie die kognitiven Ressourcen platziert werden. Während für ein gesteigertes Interesse an einem Gegenstand demnach große kognitive Ressourcen zur Verfügung gestellt werden, verhält es sich im Fall eines geringen Interesses entgegengesetzt. Zusätzlich wirken die damit verbundene kognitive Aufmerksamkeit und die Motivation als Synergismen. Es wird ersichtlich, dass dem Interesse im Hinblick auf Lernprozesse eine fundamentale Funktion zugesprochen werden kann. Auf-

grund dessen erscheint eine interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener wissenschaftlicher Forschungsgebiete als sinnvoll, beispielsweise die der Motivations- und Wissenspsychologie (Schiefele, 1988, S.357f.; Nagy, 2005, S.20ff.).

Die Interessensforschung differenziert Interesse zum einen hinsichtlich eines zeitlich überdauernden individuellen Zustands einer Person und zum anderen hinsichtlich eines über die Zeit instabilen und an eine bestimmte Situation geknüpften Zustands (Schiefele, 2009, S.163).

In Anbetracht dessen existieren unterschiedliche Auffassungen angesichts der Steuerung bzw. Verstärkung von Interesse. Während nach der Auffassung von Interesse als *trait* eine Steuerung von innen heraus propagiert wird, versteht man unter Interesse als *state* eine Außensteuerung. Als *trait* wird ein stabiler Zustand verstanden, der einen integralen Bestandteil der Persönlichkeit darstellt und somit von der Situation weitestgehend unbeeinflusst bleibt. Im Gegensatz dazu steht Interesse als *state*, das durchaus situationsabhängig und daher vom Gegenstand gesteuert bzw. verstärkt wird (Deci & Ryan, 1993, S.223-238).

Ferner kann Interesse als antreibende, dynamische Kraft verstanden werden, die handlungsverursachend wirkt. Weitere Merkmale von Interesse sind hinsichtlich des damit verbundenen Wertebewusstseins, der Kognition und des Gefühls zu differenzieren. Dabei bezieht sich das Wertebewusstsein nicht ausschließlich auf den Gegenstand, sondern gleichermaßen auf die Handlung selbst. Kognitiv werden das Erfassen und Erkennen des Gegenstands, die kognitiven Prozesse während des Handelns mit dem Gegenstand, das Ergebnis von Interesse und Interesse als Zielrichtung unterschieden. Außerdem wird die Dynamik des Gegenstands von den Gefühlen und Wahrnehmungen des Individuums mitbegleitet (Prenzel, 1988, S.35ff.).

In diesem Kontext definiert Schiefele Interesse wie folgt:

Das individuelle Interesse kann als relativ dauerhaftes, dispositionales Merkmal einer Person verstanden werden, das sich in der Auseinandersetzung mit einem Gegenstandsbereich (z. B. Schulfach) entwickelt und als mehr oder weniger starke Wertschätzung dieses Bereichs zum Ausdruck kommt. Das situationale Interesse bezeichnet dagegen den durch äußere Umstände (z. B. einen spannenden Vortrag) hervorgerufenen Zustand des Interessiertseins, der u. a. durch eine erhöhte Aufmerksamkeit und Gefühle der Neugier und Faszination gekennzeichnet ist (Schiefele, 2009, S.163f.).

Zwar bezieht sich diese Definition gezielt auf Schulfächer, allerdings wird deutlich auf den zeitstabilen Charakter des Interesses als *trait* verwiesen, wodurch ein Ausdruck der Persönlichkeit erkennbar wird, der seitens der PPIK-Theorie eine zentrale Rolle spielt.

Des Weiteren erscheint im Zusammenhang mit dem Interesse der Begriff der Selbstintentionalität als bedeutsam. Darunter ist zu verstehen, dass ein Interesse inklusive der damit verbundenen Handlungen ausschließlich auf einen Gegenstand bezogen ist und in diesem

liegt. Handlungen bzw. eine Beschäftigung mit dem Gegenstand aufgrund materieller Anreize haben nach diesem Verständnis mit Interesse nichts zu tun (Krapp, Schiefele & Schreyer, 1993, S.125; Bergmann & Eder, 2005, S.13).

Diese Perspektive von Interesse steht im Einklang mit dem Konzept der Motivation durch die Tätigkeit selbst, wie beispielsweise beim Flowkonzept. Hier sind ebenfalls die Handlungen auf den Gegenstand bezogen (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2009, S.195-206).

Die pädagogische Interessensforschung richtet das Hauptaugenmerk u. a. auf den Zustand bzw. den Prozesscharakter von Interesse. So lassen sich z. B. Lernprozesse durch einen entsprechenden Interessenskontext begünstigen. In der psychologischen Interessensforschung werden zumeist differenzialpsychologische bzw. diagnostische Fragestellungen eingesetzt, die Interesse als zustandsstabiles Persönlichkeitsmerkmal (*trait*) erfassen und welche speziell in berufspsychologischen Zusammenhängen zum Tragen kommen (Bergmann & Eder, 2005, S.12).

In einer Meta-Studie von Krapp, Schiefele und Schreyer wurde der Einfluss von Interesse auf den Lernprozess untersucht. Dabei wurden 21 Untersuchungen im Zeitraum von 1965-1990 ermittelt, die 127 Korrelationskoeffizienten von unabhängigen Stichproben umfassten. Der Mittelwert der 127 Korrelationen betrug ($r = .30$) mit einer Standardabweichung von ($SD_r = .134$). Diese Meta-Analyse propagiert eine Varianzaufklärung der Schulleistung von 10%, die dem entsprechenden Interesse zuzuschreiben ist. Krapp, Schiefele und Schreyer sehen damit ihre These betätigt, dass Interesse für den Lernerfolg einen entscheidenden Beitrag leisten kann. Den relativ niedrigen Wert der Varianzaufklärung erachten sie angesichts der nachfolgenden Umstände indessen dennoch für bedeutsam: zum einen aufgrund in diesem Kontext sonst üblicher Werte von ca. 50%, zum anderen aufgrund höherer Werte in einzelnen Fachgebieten und schließlich nicht zuletzt deshalb, weil dieser Wert keinen isolierenden Interessenseffekt darstellt (Krapp et al., 1993, S.120-148).

Nagy differenziert den verwendeten Interessensbegriff zusätzlich hinsichtlich Interesse an einem Schulfach (Fachinteresse) und beruflichem Interesse in zwei Punkten.

Berufliches Interesse beinhaltet als Interessensgegenstand die berufliche Handlung, während das Fachinteresse auf das Schulfach abzielt. Außerdem betrifft das berufliche Interesse eine umfassende Repräsentation der Berufslandschaft. Allerdings wird auch hier auf die große Vielzahl von Gemeinsamkeiten zwischen dem sogenannten Fachinteresse und dem beruflichen Interesse hingewiesen (Nagy, 2005, S.7-10).

Folglich wird somit in dieser Untersuchung der Interessensbegriff durch den beruflichen Bezug als Gegenstand weiter spezifiziert.

Im Zusammenhang mit der Berufswahl sind, in Anlehnung an Holland, Interessen als fundamentale Persönlichkeitsorientierungen anzusehen (vgl. Kapitel 2.2; Todt, 1978, S.199.).

Demgemäß handelt es sich nach Holland sowohl beim Fachinteresse als auch beim beruflichen Interesse um einen Ausdruck der Persönlichkeit, die für die PPIK-Theorie als es-

senziell angesehen werden kann (vgl. Kapitel 2.2). Im beruflichen Kontext lernen Individuen, bestimmte Handlungen anderen vorzuziehen. Diese werden verstärkt aufgesucht, wodurch sich ein Interesse ausbildet. Dieses Interesse wird über die Aktivitäten weiterhin gesteigert, bis am Ende aus den Interessen eine Disposition (*trait*) hervorgeht, die wiederum das Individuum bei seinen Gedanken, Gefühlen und Handlungen beeinflusst. Insofern besitzt jede Persönlichkeit ein charakteristisches Repertoire an Fähigkeiten, um mit Problemen und Aufgaben zurechtzukommen, die aus der Umwelt an das Individuum gestellt werden. In diesem Zusammenhang ordnet Holland dem jeweiligen Individuum aus sechs unterschiedlichen Umwelten die seinen Interessensdispositionen am ehesten entsprechende zu (Holland, 1997, S.2ff.).

Hierbei kategorisiert Holland sechs unterschiedliche Persönlichkeitstypen (Holland, 1997, S.2):

1. *Realistic* – Praktisch-technische Orientierung
2. *Investigative* – Intellektuell-forschende Orientierung
3. *Artistic* – Künstlerisch-sprachliche Orientierung
4. *Social* – Soziale Orientierung
5. *Enterprising* – Unternehmerische Orientierung
6. *Conventional* – Konventionelle Orientierung

Realistic: Diese Personen bevorzugen Handlungen, die zu deutlich erkennbaren Ergebnissen führen und die sich verstärkt in technischen Berufen wiederfinden. Auch handwerkliche Tätigkeiten werden favorisiert, während erzieherische bzw. soziale Handlungen eher gemieden werden (Holland, 1997, S.21f.).

Investigative: Systematische Handlungen werden von Personen dieses Typs favorisiert. Diese finden sich besonders in wissenschaftlichen, forschenden Berufen wieder. Monotone Handlungen werden eher gemieden (Holland, 1997, S.22f.).

Artistic: Diese Personen streben nach divergenten, freien, unsystematischen Handlungen, die sich in künstlerischen Bereichen wie z. B. der Malerei oder Musik realisieren lassen. Weniger kompatibel erweisen sich hierbei geistliche bzw. ökonomisch orientierte Handlungen (Holland, 1997, S.23f.).

Social: Personen dieses Typs präferieren Handlungen, die auf zwischenmenschlichen Beziehungen aufbauen. Derartige Handlungen sind beispielsweise Unterrichten, Versorgen oder Pflegen. Gemieden werden tendenziell technische Handlungen (Holland, 1997, S.23f.).

Enterprising: Diese Personen manipulieren andere durch ihre Handlungen, um organisatorische Ziele zu erreichen. Eher weniger finden sich diese Personen im Kontext wissenschaftlicher Handlungen wieder (Holland, 1997, S.25f.).

Conventional: Dieser Personentyp handelt z. B. verstärkt im Bereich des Ordnen von Daten, der systematischen Aufbereitung von Fakten und des Konservierens von Datenmaterial. Er vermeidet verstärkt freie, unsystematische Handlungen (Holland, 1997, S.26ff.).

Diese sechs Idealtypen können gegebenenfalls kombiniert werden, wodurch sich das jeweilige Persönlichkeitsmuster differenzieren lässt. So ist es möglich, dass eine Person nicht nur dem *Realistic*-Typ zugeordnet werden kann, sondern zusätzlich auch noch dem *Investigative*-Typ folgt. Demnach wäre das hier vorliegende Persönlichkeitsmuster der RI-Typ. Der jeweils antagonistische Typ als Kontrast hierzu wäre der *Enterprising-Social*-Typ. Diese Persönlichkeitstypen lassen sich erweitern, sodass auch Dreierkombinationen denkbar sind (Holland, 1997, S.26ff.).

Derartige Persönlichkeitskombinationen können in Hollands hexagonalem Interessensmodell (RIASEC) veranschaulicht werden. Je kürzer die Wegstrecke zwischen zwei Typen ist, desto besser ist ihre Passung. Die Passung zwischen *realistic* und *investigative* ist z. B. stärker als die Passung zwischen *realistic* und *social* (Holland, 1997, S.34ff.).

Das hexagonale Modell von Holland (vgl. Abbildung 2.20) lässt sich ebenfalls auf einem Kreis als Circumplex aufzeichnen. Die Form psychometrischer Profile ist unstrukturiert. Somit folgt die Reihenfolge der Skalenausprägung im Gegensatz zur zirkulären Gestalt individueller Profile keiner Funktion. Mit der Referenz zu RIASEC bedeutet dies, dass die Funktion an einem Punkt den höchsten Wert als Maximum erreicht. Dieses Maximum entspricht der beruflichen Orientierung einer Person, vorausgesetzt, dass die hexagonale Struktur des RIASEC-Modells passt. Somit müssen sich die anderen Messwerte einer Person je mehr reduzieren, desto weiter sie sich von ihrem Maximum als Interessensorientierung auf der Circumplexstruktur entfernen (Nagy, 2005, S.90).

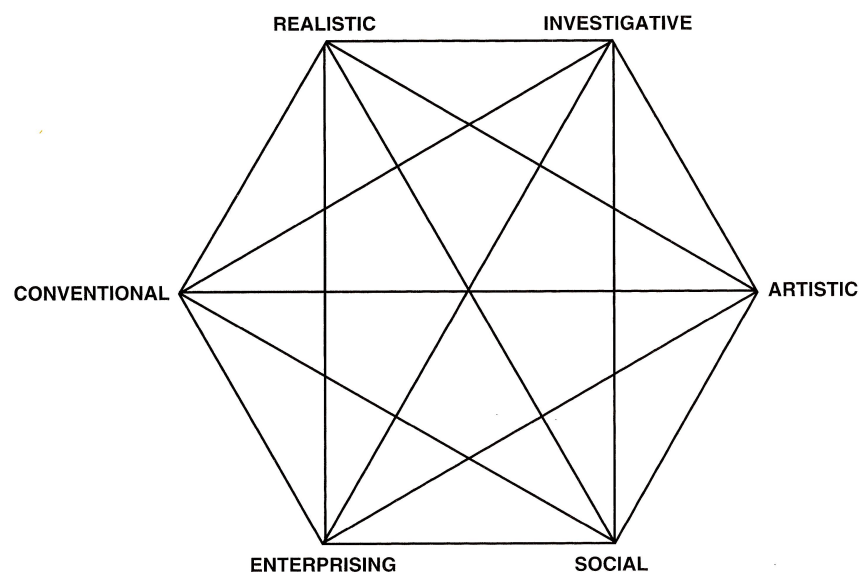


Abbildung 2.20: Hexagonales Interessensmodell (Holland, 1997, S.41ff.)

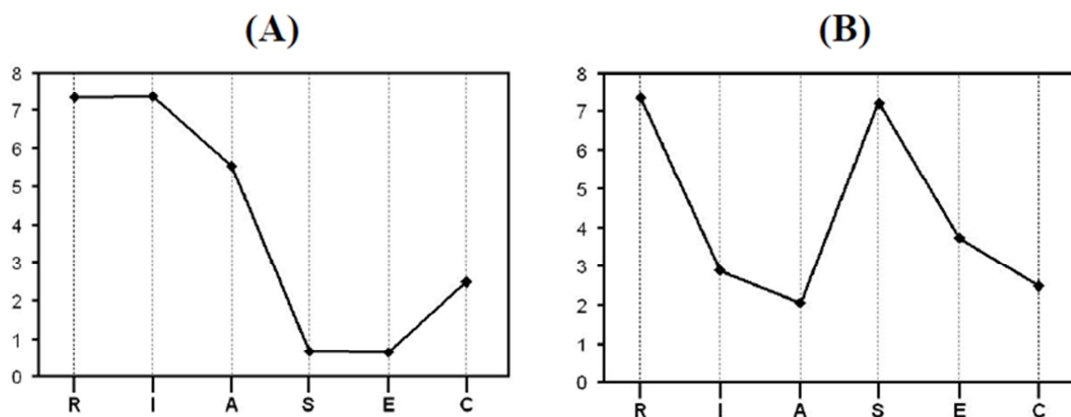


Abbildung 2.21: Konsistenz (A) und Inkonsistenz (B) hypothetischer Interessensprofile (Nagy, 2005, S.47)

In Analogie zu den sechs Persönlichkeitstypen gibt es ebenfalls die sechs Umwelten *realistic*, *investigative*, *artistic*, *social*, *enterprising* und *conventional*. Diese können etwa durch die Personenanzahl in einer Umwelt (wie Beruf etc.) gemessen oder durch Vordefinitionen (wie dem Lehrplan) spezifiziert werden. Insofern können beide hexagonalen Modelle, das Persönlichkeitsmodell und das Umweltmodell, übereinander gelegt werden. Der höchste Ertrag ergibt sich, wenn die Persönlichkeit mit der Umwelt übereinstimmt. Umgekehrt ist z. B. eine Person vom *Realistic*-Typ in einer *Social*-Umgebung eher deplatziert (Holland, 1997, S.41ff.).

Diesem Modell können drei bedeutsame Informationen im Hinblick auf die Interessensprofile entnommen werden. Erstens unterscheiden sich Personen hinsichtlich der dominanten Interessensorientierung durch den jeweiligen Typus (z. B. RI). Zweitens können Informationen über die Konsistenz des Interessensprofils gewonnen werden. Konsistenz liegt dann vor, wenn die tatsächliche individuelle Reihenfolge der sechs Interessentypen als Istwert dem theoretischen Hexagon-Modell RIASEC als Sollwert weitestgehend entspricht. Ist die Reihenfolge anders oder stark verzerrt, liegt eine Inkonsistenz des Interessensprofils vor (vgl. Abbildung 2.21). Drittens gibt die Differenziertheit eines Interessensprofils darüber Aufschluss, wie klar und eindeutig die Interessensausprägung vorliegt. Dabei geht ein relativ hohes Interesse in dem einen Bereich (z. B. *realistic*) grundsätzlich mit einem vergleichbar niedrigen Interesse im gegenläufigen Bereich (z. B. *social*) einher (Nagy, 2005, S.46f.).

Holland versteht Interesse strikt als dispositionale Persönlichkeitsstruktur. Durch den Bezug der Persönlichkeiten auf die unterschiedlichen Umwelten entsteht in seinem Modell eine hohe Dynamik, was den Anwendungszwecken seiner Fragestellung in Form einer optimierten Zuordnung von Menschen zu den entsprechenden Arbeitsplätzen zuzuschreiben ist (Prenzel, 1988, S.84f.).

In dieser Studie werden Fachschüler des gleichen beruflichen Milieus untersucht. Die Fachschüler zeichnen sich – erfreulicherweise – als Individuen aus, die womöglich zahlreiche Unterschiede haben. Nichtsdestoweniger haben sie durch ihre berufliche Vita eine für diese Studie entscheidende Gemeinsamkeit, die sie von zahlreichen anderen Mitmenschen unterscheidet. Einerseits wurden sie durch das berufliche Milieu beeinflusst, ande-

rerseits haben sie dieses mit beeinflusst. Demzufolge lässt sich annehmen, dass die Studierenden ähnlichere Interessensstrukturen zur Studie mitbringen, als Studierende aus Fachschulen anderer beruflicher Domänen (z. B. Betriebswirtschaft oder Sozialpädagogik).

2.2.9 Fazit zur Säule (B): Ackermans Theory of Adult Intellectual Development: Process, Personality, Interests, and Knowledge (PPIK)

Zu Kapitelbeginn stellte sich die Frage, mit welcher lernpsychologischen Modellierung das Lesen und Interpretieren von Fehlern in Technischen Zeichnungen nach DIN EN ISO erklärt werden könnte. Als Erklärungsmodell kommt die *Theory of Adult Intellectual Development: Process, Personality, Interests, and Knowledge (PPIK)* von Ackerman zum Tragen (vgl. Abbildung 2.22). In dieser Theorie der integrativen und intellektuellen Kompetenzentwicklung im Erwachsenenalter spielen neben erlernbaren Kompetenzdimensionen wie dem deklarativen Sachwissen und der analytischen Problemlösekompetenz drei Faktoren eine wesentliche Rolle: das bereits zuvor erworbene Konstrukt *intelligence-as-knowledge* sowie die beiden eher genetisch bedingten Konstrukte *intelligence-as-process* und das Arbeitsgedächtnis. Auch die Aufteilung kognitiver Ressourcen während des Lernprozesses durch den *cognitive load* und die entsprechende Aktivierung kognitiver Ressourcen infolge beruflicher Interessen als Ausdruck der individuellen Persönlichkeit werden hier konzipiert. Während *intelligence-as-process* zusammen mit dem Arbeitsgedächtnis die allgemeinen kognitiven Ressourcen der Verarbeitungskapazität zur Verfügung stellt, lässt sich durch den Lernprozess neues Wissen in Form von kleinsten vernetzten Informationseinheiten (*chunks*) in bereits bestehende Strukturen in das Konstrukt der *intelligence-as-knowledge* adäquat integrieren. Es wird ersichtlich, dass diese Prozesse umso günstiger ausfallen, desto leistungsfähiger *intelligence-as-process*, *intelligence-as-knowledge* und das Arbeitsgedächtnis in Erscheinung treten. Zudem wird *intelligence-as-knowledge* in diesem Zusammenhang von *intelligence-as-process* und dem Arbeitsgedächtnis beeinflusst, da das zuvor erworbene Vorwissen ebenfalls aus der bereits vorhandenen kognitiven Substanz von Arbeitsgedächtnis und *intelligence-as-process* generiert wurde. Neben diesen im Vorfeld erworbenen Fähigkeiten sind die beiden erlernbaren Dimensionen Fachwissen und Problemlösekompetenz der berufsfachlichen Kompetenz von zentraler Bedeutung. Durch die Integration dieser beiden Dimensionen – hier in Form von deklarativem Sachwissen und analytischer Problemlösekompetenz –, wird einer individuellen und interaktiven Kompetenzmodellierung genüge getan. Analog hierzu wird antizipiert, dass das deklarative Sachwissen gerichtete Ladungen auf die analytische Problemlösekompetenz ausübt und gleichzeitig, wenn erworben, als *intelligence-as-knowledge* zukünftig neue Anknüpfungspunkte für geeignete *Chunk*-Netzwerke bilden kann. Des Weiteren lassen sich die beiden Kompetenzdimensionen deklaratives Sachwissen und analytische Problemlösekompetenz durch den Lernprozess der jeweiligen Domäne steigern, wenn neben den vorherrschenden kognitiven Rahmenbedingungen auch ein angemessenes, individuell abhängiges berufliches Interesse als

Ausdruck der Persönlichkeit vorhanden ist. Demnach sollten die Interessen *realistic* (R) und *investigative* (I) einen entsprechenden Einfluss auf die beiden beschriebenen domänenspezifischen Kompetenzdimensionen ausüben, und zugleich auch von der *intelligence-as-process* beeinflusst werden. Zur effizienteren Informationsverarbeitung durch das Arbeitsgedächtnis zeichnet sich neben dem Konstrukt „Interesse“ mithilfe adäquater Lernarrangements überdies ein angemessener *cognitive load* ab. Aufgrund der begrenzten kognitiven Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses wird demzufolge ein möglichst hoher *germane load* favorisiert, der infolge einer Reduktion des *extraneous load* durch optimierte Lernarrangements gewährleistet werden kann. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine unter Umständen adäquate Lernumgebung, in der die Lernenden theoretisch verhältnismäßig „gute“ Lernvoraussetzungen vorfinden, nicht als Garant für einen optimalen Lernprozess anzusehen ist. Schließlich trifft der Lernende selbst die Entscheidung, ob er an dem vorherrschenden Lernangebot partizipiert, oder eben nicht. Infolgedessen lassen sich mithilfe der übergeordneten PPIK-Theorie aus der bisherigen Betrachtung die zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen notwendigen Erklärungsmodelle zu lernpsychologischen Kontextfaktoren aufstellen. Die Überprüfung dieser Modelle durch die vorliegende experimentelle Feldstudie im Prä-Posttest-Design kann durch entsprechende Evidenzen der vorgestellten Konstrukte einen angemessenen Beitrag zur Erkenntnis dieser Theorien leisten. Aus diesem Grund wird die Überprüfung der vorgestellten Konstrukte via Strukturgleichungsmodellierung im Weiteren vorangetrieben. Zuvor wird jedoch die dritte theoretische Säule (C) im Hinblick auf die Frage, *wie* das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen gefördert werden könnte, erläutert.

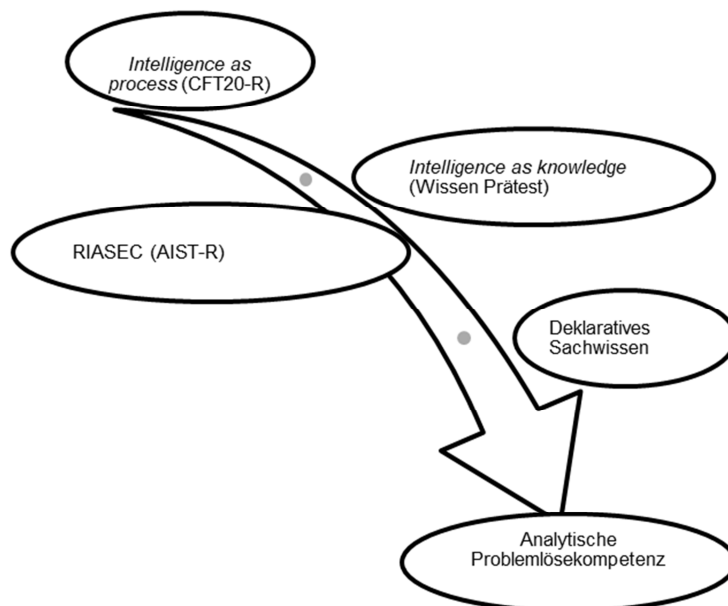


Abbildung 2.22: Säule (B)

2.3 Säule (C): *Wie* lässt sich das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen fördern? – Selbstreguliertes Lernen als Lernarrangement dieser Untersuchung

Zu Beginn des bisherigen Operationalisierungsprozesses (Säule A) stellte sich bereits die Frage, *was* explizit von den Studierenden gelernt werden soll. Hier kristallisierten sich das adäquate Lesen und Interpretieren von Schnittdarstellungen stellvertretend für das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen nach DIN EN ISO inklusive der darin enthaltenen Fehler infolge einer automatischen Ansichtenübernahme aus der 3-D Modellierung im CAD heraus (vgl. Kapitel 2.1). Anschließend wurde der Fokus auf die Frage gelegt, *welche* kognitiven Kontextfaktoren dieses Lesen und Interpretieren von Schnittdarstellungen im Erwachsenenalter lernpsychologisch erklären könnten. Diese Modellierung erfolgte mithilfe der PPIK-Theorie als Säule (B) (vgl. Kapitel 2.2). Offen blieb bisher die Frage nach einem geeigneten Lernarrangement zum Lernen und Interpretieren von Technischen Zeichnungen. Demzufolge wäre als Frage des Kapitels Säule (C) zu beantworten, *wie* der Lernprozess zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen nach DIN EN ISO zielgerichtet begleitet werden könnte. An dieser Stelle rückt das Konzept des selbstregulierten Lernens in den Mittelpunkt. Gerade aus der Perspektive einer longitudinalen empirischen Studie im Prä-Posttest-Design bietet das selbstregulierte Lernen einige Vorteile. So bringt dieses Konzept eine vergleichsweise hohe Standardisierung mit sich, da die Studierenden ihren eigenen Lernprozess selbst gestalten und somit die Lernresultate auf sie selbst zurückgeführt werden können. Damit ist die Lernprogression der Studierenden von Lehrern oder Kommilitonen unabhängig. Was lässt sich demzufolge unter dem Begriff des selbstregulierten Lernens verstehen?

Angesichts derzeitiger weltweiter Veränderungen (z. B. Globalisierung) scheint das selbstregulierte Lernen eine mögliche Perspektive im Zuge des Lernkulturwandels darzustellen (Arnold & Schüssler, 1998, S.1f.).

Eine weitere Begründung für diese Entscheidung beruht auf der Tatsache, dass in ein System, wie beispielsweise dem kognitiv-emotionalen System des Lernenden, keine Intervention von außen möglich ist. Eine Veränderung kann nur durch das System selbst geschehen (Arnold, 2007, S.118f.).

Aus diesen Gründen wird der Lernprozess der Lerneinheit zu Schnittdarstellungen nach DIN im Maschinenbau mit dem Modell des selbstregulierten Lernens konzipiert.

Für den Begriff des selbstregulierten Lernens werden auch weitere Begriffe, darunter selbstgesteuertes, autonomes und selbstorganisiertes Lernen, zum Teil synonym verwendet. Somit sind diese Begriffe nicht klar voneinander abgegrenzt (Schreiber, 1998, S.9ff.).

Siebert führt dies auf die Verwendung der Begriffe in unterschiedlichen Kontexten zurück. Auf diese Weise werden deskriptive und normative Ebenen vermischt. Außerdem sind Begriffe wie Selbststeuerung und Selbstbestimmung relative Bezeichnungen. Er-

schwert wird eine konkrete Begriffsdefinition zudem durch die Fragestellung, inwieweit Lernprozesse bewusst und unbewusst stattfinden. In diesem Zusammenhang ist selbstgesteuertes Lernen als Metapher zu verstehen (Siebert, 2006, S.24ff.).

Ein ähnlicher Standpunkt wird von Zimmerman vertreten, der einerseits zahlreiche Definitionen auf die theoretische Perspektive des jeweiligen Wissenschaftlers zurückführt, andererseits zugleich zentrale Gemeinsamkeiten propagiert. Vor diesem Hintergrund lässt sich selbstreguliertes Lernen aus operanter, phänomenologischer, sozial-kognitiver, volitionaler, attributions- sowie informationverarbeitungstheoretischer und konstruktivistischer Perspektive heraus betrachten (Zimmerman, 1989, S.4).

Aus der großen Anzahl an Definitionen kristallisieren sich vier Aspekte heraus, die als disziplinübergreifend verstanden werden können und damit eine gemeinsame Basis aufweisen:

Erstens wird der Lernprozess vom Lerner selbst und aktiv gestaltet. Damit beeinflusst der Lerner seine Kognition, Metakognition, Volition sowie sein Verhalten (Zimmerman, 1989, S.4ff.; Schiefele & Pekrun, 1996, S.258; Schreiber, 1998, S.9ff.; Künsting, 2007, S.21f.; Lockl, 2002, S.6f.).

Zweitens wird von den Lernern eine Feedbackschleife durchlaufen, in der ein Soll-Istwert-Vergleich zur Lernprozessregulation stattfindet (Zimmerman, 1989, 4ff.; Schiefele & Pekrun, 1996, S.258; Schreiber, 1998, S.11; Künsting, 2007, S.21f.; Lockl, 2002, S.6f.).

Drittens ist die Motivation für die im Innern der Lernenden stattfindenden Lernprozesse entscheidend (Zimmerman, 1989, S.4ff.; Schiefele & Pekrun, 1996, S.258; Schreiber, 1998, S.9ff.; Künsting, 2007, S.21f.; Lockl, 2002, S.6f.).

Viertens findet im Zuge der Volition eine Fokussierung des Lernens statt, wodurch bestehende Randbedingungen weitestgehend ausgeblendet werden (Corno, 1989, S.137f.; Schiefele & Pekrun, 1996, S.258; Schreiber, 1998, S.9ff.; Künsting, 2007, S.21f.; Lockl, 2002, S.6f.).

Zusammengefasst ergeben sich die folgenden vier Phasen:

1. Der Lernprozess wird vom Individuum selbst und aktiv gestaltet.
2. Der Lernende durchläuft eine Feedbackschleife.
3. Für den Lernprozess ist die innere Motivation des Lernenden bedeutsam.
4. Im Verlauf der Volition erfolgt eine Fokussierung des Lernens

In diesen zuvor beschriebenen vier Punkten bahnt sich bereits an, dass der Lernende während seines Lernprozesses auf Rückmeldungen zurückgreift, um letzteren zu optimieren.

Mit Augenmerk auf die beschriebenen Ausführungen definiert Schreiber in Anlehnung an Hacker und Weltner selbstreguliertes Lernen wie folgt.

Lernen kann dann als selbstregulierend beschrieben werden, wenn der Lerner seine Lernhandlung „selbst reguliert“, d. h. unter Einbeziehung von Informationen über seinen augenblicklichen Ist-Zustand Maßnahmen

men ergreift, die sein Lernen auf einen Soll-Zustand ausrichten (Schreiber, 1998, S.12).

Von dieser Definition ausgehend wird eine Brücke zum kybernetischen Regelkreis geschlagen. Selbstregulationsmodelle sind systemische Modelle, da Regulation nur an einem System möglich ist. Dabei wird in den Modellen nicht unbedingt das ganze System betrachtet, sondern es werden teilweise die Voraussetzungen bzw. einzelne Komponenten der Selbstregulation diskutiert. Auf diese Weise lässt sich ein innerer von einem äußeren Regelkreis unterscheiden (Götz, 2004, S.57ff.).

Analog zum kybernetischen Regelkreis sind für das selbstregulierte Lernen somit geeignete Ziele als Führungsgröße sowie eine adäquate Rückkopplung für den Soll-Istwert-Vergleich zu formulieren.

Selbstreguliertes Lernen lässt sich unter diesen gemeinsamen Gesichtspunkten dennoch unterschiedlich modellieren, wie anhand der folgenden drei Modelle aufgezeigt wird. Stark vereinfacht ausgedrückt lässt sich zwischen einer kognitionspsychologischen und einer pädagogisch-didaktischen Sichtweise differenzieren. Aus pädagogisch-didaktischer Sichtweise heraus gesehen geht es um die Bedingungen, die das selbstregulierte Lernen fördern, wie etwa verschiedene Lernformen. Die kognitionspsychologische Betrachtung wirft die Frage auf, wie der Lerner sein Lernen reguliert und welche inneren Prozesse dabei eine Rolle spielen (Schreiber, 1998, S.37).

In der vorliegenden Untersuchung wird selbstreguliertes Lernen demgemäß aus kognitionspsychologischer und pädagogisch-didaktischer Perspektive heraus operationalisiert. Zu diesem Zweck ist eine passende Schnittstelle für die im Innern der Lernenden ablaufenden Prozesse in Bezug auf die PPIK-Theorie zu generieren. Diese Schnittstelle wird durch das Dreischichtenmodell des selbstregulierten Lernens von Boekaerts (1999) realisiert. Die pädagogisch-didaktische Perspektive zur externen Regulation der Lernprozesse bildet das Modell der erweiterten Lernschleife von Arnold und Mueller (1993) ab. Im Fokus steht hierbei, für die Lernprozessgestaltung der Studierenden günstige Rahmenbedingungen zu kreieren. Beide Modelle, die denselben Begriff ausgehend von unterschiedlichen Betrachtungsweisen beleuchten, lassen sich im Modell des selbstregulierten Lernens von Schiefele und Pekrun (1996) vereinen.

Das Dreischichtenmodell veranschaulicht in Abbildung 2.23 die zum selbstregulierten Lernen erforderlichen kognitiven Prozesse in der inneren, die metakognitiven Prozesse in der dazwischen liegenden sowie die Selbstregulierungsprozesse des Lernenden in der äußeren Schicht des Modells. Die Regulation des Verarbeitungsmodus betrifft somit z. B. Lern- oder Problemlösestrategien, die direkt mit dem Lernprozess zusammenhängen. Im mittleren Bereich des Modells findet die Regulation des Lernprozesses statt. Hierunter können Planungs-, Monitoring- und Evaluationsstrategien des Lernprozesses verstanden werden. Im äußeren Bereich des Modells geht es um die Regulation des Selbst. Darunter sind Zielsetzungen, Ressourcen sowie die Motivation zu verstehen, die für den Regelkreis entsprechend bestimmt werden müssen. Zwischen diesen drei Schichten des Modells be-

steht hinsichtlich der Selbstregulation ein enger Zusammenhang (Boekaerts, 1999, S.445-457).

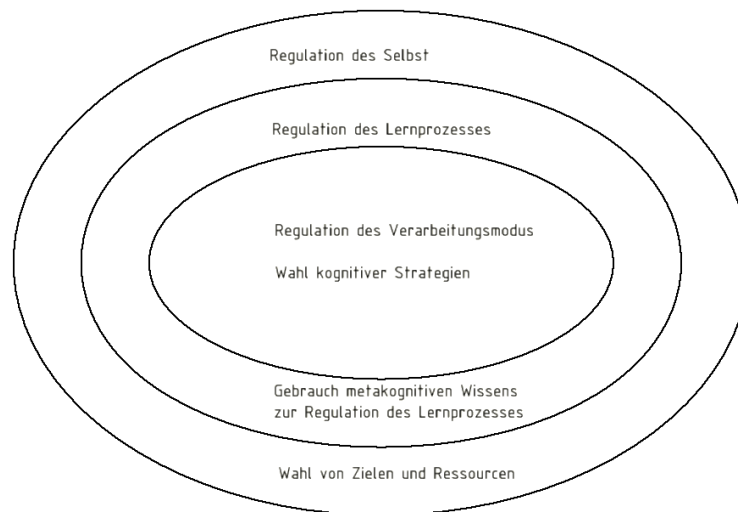


Abbildung 2.23: Das Dreischichtenmodell von Boekaerts (eigene Darstellung) (Götz & Ganser, 2006, S.11; Boekaerts, 1999, S.449)

Mit dem Dreischichtenmodell lassen sich folglich die kognitionspsychologischen Lernprozesse im Innern der Lernenden modellieren. Während die sich von den Lernenden übernommenen Ziele im äußeren Bereich wiederfinden, ist im intermediären Bereich eine adäquate Rückmeldung mithilfe einer geeigneten Feedbackvariante verankert. Die PPIK-Theorie als kognitive Modellierung einer integrativen und intellektuellen Kompetenzentwicklung bildet schließlich den Kern des Modells.

In Bezug auf die pädagogisch-didaktische Perspektive, die dem externen Bereich zum geeigneten Lernarrangement zugeordnet werden kann, findet die praktische Umsetzung des selbstregulierten Lernens über den organisatorischen Unterrichtsentwurf der Lernschleife statt (Arnold & Mueller, 1993, S.323ff.; Arnold & Schüssler, 1998, S.152ff.).

Diese Organisationsform der Lernprozesse erscheint u. a. insofern passend, als das Individuum selbst entscheidet, ob das von außen gesetzte Lernangebot angenommen oder abgelehnt wird (Arnold & Schüssler, 1998, S.122).

Die Lernschleife wird nachfolgend als Grundmodell bestehend aus vier Phasen veranschaulicht. Zuerst findet die Auftragsübergabesituation (AÜS) statt. In dieser Phase werden die Ziele des Lernprozesses festgelegt. Es wird erörtert, was, wie, warum und in welchem Umfang gelernt wird. An die Ziele des Lernprozesses setzt das selbstständig-produktive Erschließen (SPE) an. Hier lernen die Lernenden selbstständig, indem sie ein Handlungsprodukt herstellen. Anhand dieses Handlungsprodukts (Lernprodukts) werden die dafür notwendigen Kompetenzen in Form der daraus resultierenden Performanz sichtbar. Handlungsprodukte können beispielsweise Berechnungen, Schaubilder oder Texte sein. Anschließend folgt die Präsentationssituation (PS). Hier werden die Handlungsprodukte präsentiert, reflektiert und diskutiert, wodurch neue Denkanstöße für einen weiteren Durchlauf der bisherigen bzw. einer weiteren Lernschleife als Transfer folgen

können. In der abschließenden Phase des Grundmodells der Lernschleife (Besprechungssituation BS) erhalten die Lernenden z. B. vom Lehrenden ein verifizierendes und elaboratives Feedback, das die Lernenden für den anschließenden Lernprozess gewinnbringend integrieren können (Arnold & Mueller, 1993, S.326).

Nach Arnold darf dieses Konzept dabei nicht als unveränderbares Schema aufgefasst werden. Stattdessen liefert die Lernschleife eine mögliche Orientierung zur Lernprozessgestaltung (Arnold & Pätzold, 2002, S.110).

Sowohl das kognitionspsychologische Modell von Boekaerts (1999) als auch das pädagogisch-didaktische Modell des selbstregulierten Lernens von Arnold und Mueller (1993) lassen sich in ein Gesamtmodell integrieren. Schließlich bilden beide Modelle das selbstregulierte Lernen aus verschiedenen Blickwinkeln ab und sind demgemäß keine miteinander konkurrierenden, sondern sich disziplinübergreifend ergänzenden Modelle. Beide Modelle können in ein übergeordnetes Modell, dem des selbstregulierten Lernens nach Schiefele und Pekrun (1996), zusammengeführt werden (vgl. Abbildung 2.24).

Eine gemeinsame Betrachtung der Modelle des kybernetischen Regelkreises und des selbstregulierten Lernens von Schiefele und Pekrun lässt große Schnittmengen erkennen. In diesem Modell finden sich die grundlegenden Phasen Planung, Durchführung und Bewertung des *Self-Regulated-Learning*-Ansatzes (SRL) wieder. Zusätzlich werden zwei Regelkreise propagiert, ein externer und ein interner. Da sich der externe Regelkreis auf die Regelung äußerer Bedingungen bezieht, wird ihm u. a. eine besondere Bedeutung im Hinblick auf Instruktionen zuteil. Auch eine äußere Rückmeldung kann dazu gezählt werden. Der interne Regelkreis betrifft die Regulation der Planung, Durchführung und Bewertung durch den Lernenden selbst hinsichtlich seiner kognitiven, metakognitiven, motivationalen sowie volitionalen Ressourcen. Am Ende des Lernprozesses lässt sich bei beiden Regelkreisen zwischen dem Istwert in Form eines sichtbaren Lernprodukts und dem jeweils gesetzten Sollwert als vorherige Zielsetzung differenzieren. Zugunsten der Modellübersichtlichkeit wird an dieser Stelle nicht ferner auf komplexe Interrelationen sowie Feedbackbeziehungen eingegangen. Diese müssten unter Umständen weiter ausdifferenziert werden. Überdies kann es im Modell zu Überschneidungen der drei Phasen Planung, Durchführung und Bewertung kommen (Schiefele & Pekrun, 1996, S.270f.).

Diese Differenzierung von externem und internem Regelkreis lässt sich wie zuvor beschrieben mit den beiden komplementären Modellen – dem kognitionspsychologischen Blickwinkel von Boekaerts (1999) und dem Modell zur Gestaltung der Lernprozesse nach Arnold und Mueller (1993) – aus pädagogisch-didaktischer Perspektive initiieren. Sowohl die Ziele, die external von außen gesetzt werden, als auch das zur Verfügung gestellte Feedback lassen sich folglich der externen Lernsteuerung zuschreiben. Da von außen in das kognitiv-emotionale System des Lernenden nicht interveniert werden kann, ist die externe Lernsteuerung ausschließlich als Lernangebot zur Ermöglichung des Lernprozesses zu begreifen. Dazu liefert das pädagogisch-didaktische Modell der erweiterten Lernschleife von Arnold und Mueller (1993) eine adäquate Spezifizierung. Hier treten die cha-

rakteristischen Eigenschaften Planung, Durchführung und Bewertung des selbstregulierten Lernens gleichermaßen in den Vordergrund.

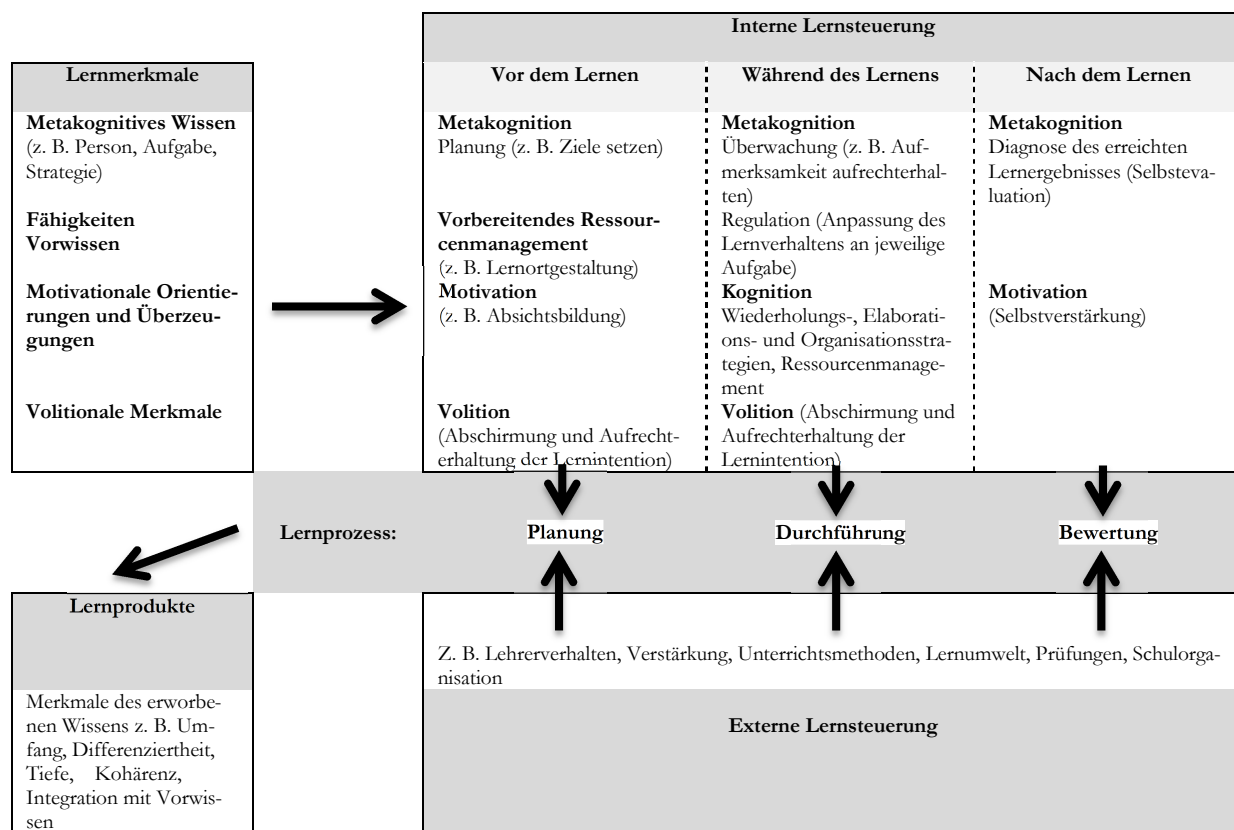


Abbildung 2.24: Selbstregulierendes Lernen (eigene Darstellung) (Schiefele & Pekrun, 1996, S.271)

Sollten diese Ziele und das Feedback als Rückmeldung in Analogie zum kybernetischen Regelkreis vom Lernenden übernommen werden, kommt die interne Lernsteuerung zum Tragen, die sich mit dem Dreischichtenmodell nach Boekaerts (1999) angemessen modellieren lässt. Dort ließen sich folglich die kognitiven Prozesse in Anlehnung an die PPIK-Theorie im Kern, die metakognitiven Prozesse wie z. B. Feedbackadaption im intermediären und die entsprechenden Zielsetzungen im äußeren Bereich verordnen. Interessanterweise wird diese Differenzierung zwischen innerem und äußerem Regelkreis auch von Narciss (2006) im Hinblick auf informatives tutorielles Feedback vorgenommen (vgl. Kapitel 2.3.2) und steht somit mit dem Modell des selbstregulierten Lernens von Schiefele und Pekrun (1996) im Einklang. Deshalb erscheinen beide Modelle als geeignete Passung für diese Untersuchung. Eine Spezifizierung des informativen tutoriellen Feedbacks erfolgt vor diesem Hintergrund im nachfolgenden (Kapitel 2.3.2). Ziele lassen sich im Sinne des selbstregulierten Lernens ebenfalls sowohl der externen als auch der internen Lernsteuerung zuordnen. Als inspirierendes Konzept hinsichtlich Zielsetzungen erscheint in diesem Kontext die Modellierung von Zielsetzungen nach Künsting (2007), die im Anschluss operationalisiert wird. In nachfolgender Abbildung 2.25 wird das spezifizierte Modell für das Lernarrangement dieser Studie dargestellt. Demgemäß wird das Modell des selbstregulierten Lernens von Schiefele und Pekrun (1996) bezüglich der internen Lernsteuerung nach Boekaerts (1999) und der externen Lernsteuerung nach Arnold und

2.3.1 Internale und externale Zielsetzung

Im Vorfeld wurde in Bezug auf das Modell des selbstregulierten Lernens von Schiefele und Pekrun (1996) bereits eine interne und externe Regulation zur Planung, Durchführung und Bewertung des Lernprozesses skizziert. In diesem Modell wird ersichtlich, dass Ziele zum einen von außen in Form einer Instruktion platzierbar sind und zum anderen vom Individuum als eigene interne Ziele übernommen oder abgelehnt werden können.

Zielorientierungen lassen sich demgemäß zwischen internalen und externalen Zielen unterscheiden (Künsting, 2007, S.36f.).

Die Forschung zur internalen Zielorientierung ist relativ stark verknüpft mit der Forschung zur Leistungsmotivation. Zielorientierungen werden jedoch als kognitiv repräsentierte und bewusste Merkmale verstanden. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die Forschung zur Zielorientierung deutlich stärker im Bereich Lernen und Leistung in der Schule stattfindet. Experimentelle Forschungen mit unterschiedlichen Zielvorgaben auf dem Gebiet Schule können dabei theoretisch postulierte Wirkungen von Zielvorgaben in kausaler Hinsicht überprüfen (Schiefele & Schaffner, 2015, S.164).

In diesem Sinne sind zwei gegensätzliche Pole modellierbar. Der eine Pol richtet sich auf Ziele, welche die innere Erweiterung von Kompetenzen inklusive des dafür notwendigen Wissens in den Fokus stellen. Der andere Pol richtet das Hauptaugenmerk auf Ziele, bei denen infolge einer erbrachten Leistung die damit verbundenen Konsequenzen (z. B. soziale Anerkennung) entscheidend sind. Damit dient das Lernen als Mittel zum Zweck, um leistungsbedingt positive Folgeerscheinungen zu generieren. Der Weg dorthin ist eher sekundär (Nicholls, 1984, S.328).

Diese beiden Pole werden zwar in zahlreichen Untersuchungen unterschiedlich bezeichnet, bedeuten jedoch das Gleiche (Künsting, 2007, S.37; Köller, 1998, S.6).

So stellt Nicholls basierend auf einem entwicklungspsychologisch ausgerichteten Ansatz die beiden Begriffe Aufgabenorientierung (*Task Involvement*) und Ichorientierung (*Ego Involvement*) gegenüber (Nicholls, 1984, S.333ff.).

Während Ames in einer schulisch ausgerichteten Studie von Bewältigungszielen (*Mastery Goals*) vs. Leistungsziele (*Performance Goals*) spricht, unterscheidet Dweck die Begriffe Lernziele vs. Leistungsziele (Ames, 1992, S.261f.).

Dabei steht der Kompetenzgewinn auch hier im Fokus innerer Lernziele. Bei inneren Leistungszielen geht es hingegen vor allem darum, Leistung zu demonstrieren und Schwächen zu verbergen. In diesem Zusammenhang steht die gelernte Hilflosigkeit als Resultat interner Leistungsziele in Verbindung mit niedrigen Fähigkeiten. Interne Lernziele verhindern hingegen ein derart passives Verhalten (Heyman & Dweck, 1992, S.235).

Es wird deutlich, dass Verhaltensmuster nicht ausschließlich von der Zielorientierung abhängig sind. Die Wahrnehmung der eigenen Fähigkeiten und der eigenen Begabung

sind dafür mitentscheidend. Lernzielorientierte Personen sollten grundsätzlich mit einer positiven Selbstwahrnehmung Aufgaben lösen. Der Grund dafür liegt in dem Ansporn, – selbst bei niedrigen Fähigkeiten – die Aufgabenstellung als herausfordernd zu betrachten und eine Überforderung eben nicht auf die eigene Person zurückzuführen. Insofern werden Aufgaben bei niedrigen Fähigkeiten als Chance begriffen, die eigenen Kompetenzen zu erweitern. Im Gegensatz dazu führen leistungszielorientierte Personen schwache Fähigkeiten auf mangelnde Begabung zurück, wodurch das Lernen aufgrund einer negativen Selbstwahrnehmung erschwert wird. Infolgedessen unterscheiden sich lernziel- und leistungszielorientierte Personen nicht grundsätzlich in ihren Leistungen. Erst der Umgang mit Schwierigkeiten bzw. mit Misserfolgen führt zu den entsprechenden Motivationsunterschieden (Dweck & Leggett, 1988, S.259ff.).

Außerdem wenden lernzielorientierte Lernende geeignetere Lernstrategien an, als leistungszielorientierte (Ames & Archer, 1988, S.264ff.).

Aufgrund dieser deutlich voneinander abgegrenzten Pole kommen zahlreiche Studien zu dem Ergebnis, dass Bewältigungsziele intrinsische Motivation begünstigen und Leistungsziele intrinsische Motivation eher verhindern. Eine Alternative dazu liefert die zusätzliche unabhängige Einteilung der beiden Ziele in Annähern und Verhindern. Dabei kann festgestellt werden, dass lediglich Leistungsziele, die das Lernen über das geforderte Maß hinaus verhindern, schlechtere Ergebnisse bezüglich intrinsischer Motivation aufzeigen und sich damit kontraproduktiv auf die intrinsische Motivation auswirken (Elliot & Harackiewicz, 1996, S.471ff.).

Motivationale Zielorientierungen können dabei als zeitlich stabile Personenmerkmale angesehen werden. Diese können zum einen die Lernmotivation und zum anderen die Leistungsmotivation situativ beeinflussen. Zielorientierungen werden hier grundsätzlich nicht als eine unveränderliche psychische Struktur (z. B. *Trait*-Ansatz) im Sinne der traditionellen Persönlichkeitspsychologie verstanden (Köller, 1998, S.6).

In diesem Zusammenhang lassen sich internale Zielorientierungen hinsichtlich habituellen und dispositionalen Persönlichkeitsmerkmalen differenzieren (Schiefele, 2009, S.153).

Ein Persönlichkeitsmerkmal kann als habituell angesehen werden, wenn eine Person in einer Lernsituation über längere Zeit und wiederholt versucht, die angestrebten Ziele zu erreichen. Somit ist das Persönlichkeitsmerkmal nicht kontinuierlich vorhanden, sondern taucht in limitierten Zeitabständen für eine individuelle Person als typisch anzusehende Charakteristik wiederholt auf. Als dispositionale wird ein Persönlichkeitsmerkmal verstanden, wenn das Ziel fest im Gedächtnis verankert ist. Somit weist es eine zeitüberdauernde Kontinuität auf (Pekrun, 1988, S.44).

Dieses Verständnis von Zielorientierungen propagiert die Interaktion zwischen Anlage und Umwelt in Bezug auf die Persönlichkeitsmerkmale eines Individuums (Mischel, 1973, S.279).

Somit zeigen dispositionale Zielorientierungen eine Verhaltenstendenz in unterschiedlichen Situationen auf. Dies ist nicht damit zu verwechseln, dass das gleiche Verhalten über verschiedene Situationen hinweg konstant bleibt (Dweck & Leggett, 1988, S.270).

Künsting begreift in seiner Untersuchung Zielorientierungen der Lernenden über die Lernsituationen hinweg als zeitlich stabil. Dabei können diese sowohl habituell als auch dispositional vorliegen. Eine scharfe Trennung zwischen habituellen und dispositionalen Persönlichkeitsmerkmalen in Bezug auf die interne Zielorientierung wird somit nicht getroffen (Künsting, 2007, S.39).

Im Hinblick auf die verhältnismäßig enge Verknüpfung zwischen internalen Zielorientierungen und der Motivation gilt es anzumerken, dass dispositionale Persönlichkeitsmerkmale motivationsunabhängig sind. Denn die Motivation an sich überdauert keine größeren Zeitintervalle. Motivation ist ein Zustand des Wünschens oder des Wollens, wodurch ein vorübergehender Erlebniszustand oder ein habituelles Auftreten beschrieben wird. Vor diesem Hintergrund wird ein engerer Zusammenhang zwischen Zielorientierungen und den individuellen Schülerinteressen angenommen (Schiefele, 2008, S.38ff.).

Nohlen propagiert für die Lern- bzw. Leistungsmotivation eine eher domänenübergreifende Stabilität. Das heißt, dass sich Lern- bzw. Leistungsmotivation z. B. über mehrere Schulfächer hinweg zeigt (Nohlen, 1988, S.276-279).

Durch Lern- und Leistungsziele werden Lernprozesse im Hinblick auf die Verarbeitungstiefe mithilfe von unterschiedlichen Lernstrategien bewältigt. Während durch Lernziele Lernstrategien eher in einer Tiefenstruktur verarbeitet werden, läuft der Lernprozess bei Leistungszielen vorrangig mittels oberflächlicher Lernstrategien ab.

Ein Beleg hierfür liefert eine regressionsanalytische Studie mit 525 Probanden von Wolters, in der mithilfe der von den Schülern wahrgenommenen äußeren Lernzielstruktur und den wahrgenommenen eigenen Lernzielorientierungen Lernstrategien prognostiziert werden konnten. Die Werte der signifikanten Aussagekraft betragen für die wahrgenommene Lernzielstruktur bei kognitiven Strategien ($\beta = .22$) und bei metakognitiven Strategien ($\beta = .16$) für ($p < .01$). Für kognitive und metakognitive Strategien beliefen sich die Werte der Lernzielorientierung jeweils auf ($\beta = .47$) bei einem Signifikanzlevel von ($p < .01$). Für die mit Vermeidung gekoppelten Leistungsziele waren derart signifikante Aussagen nicht möglich (Wolters, 2004, S.243ff.).

Somit sprechen für selbstreguliertes Lernen eher interne Lernziele statt interne Leistungsziele.

Im Vergleich zu internalen Zielen werden dem Lernenden externe Zielvorgaben durch Instruktion von außen, also durch die Umwelt, angeboten (Künsting, 2007, S.44f.).

Damit erfolgt eine Abgrenzung vom behavioristischen Zielverständnis, bei dem das Individuum nicht über seine Zielsetzung selbst bestimmt.

Gleichwohl liegen bei beiden Zielverständnissen die Zielvorgaben vorrangig external vor. Ziele können somit nur dann aus der Umwelt vom Individuum übernommen werden, wenn es sich diesen verpflichtet fühlt. Trotzdem haben behavioristische Aspekte – etwa in Form von Anreizen – bezüglich des Erreichens von Leistungszielen auch heute noch Bestand. Ebenfalls gehört die Abgrenzung von Bedürfnissen, Anreizen und zielgerichtetem Verhalten dazu (Oettingen & Gollwitzer, 2000, S.2).

In dieser Studie wird im Wesentlichen das Zielverständnis von Künsting übernommen. Ziele von außen und Ziele von der Person selbst sind hierbei von Anreizen und Bedürfnissen zu trennen. Die von außen gesetzten Ziele als eigene Ziele zu übernehmen, setzt bei den Studierenden Vertrauen in die zielsetzende Person voraus. Dabei beinhaltet die Zielvorgabe entweder eine Denk- oder eine Handlungsaufforderung, während die Zielart vorgibt, einen gewünschten Zustand herzustellen oder intendierte Kompetenzen zu erwerben (Künsting, 2007, S.46).

Mit „im Wesentlichen“ wird darauf hingewiesen, dass in der vorliegenden Arbeit die individuellen beruflichen Interessen mit berücksichtigt werden und sich somit möglicherweise auch auf die Zielübernahme auswirken. Demzufolge müssten die Studierenden infolge hoher beruflicher Interessen im Bereich *realistic* (R) und *investigative* (I) verstärkt die externen Ziele als eigene übernehmen.

Es gibt zahlreiche Befunde aus experimentellen Studien, die belegen, dass entsprechende Zielvorgaben den Erfolg von Lernprozessen und die Lernmotivation während des Lernprozesses beeinflussen. Zumeist liegt der Fokus auf der Differenzierung von Zielen hinsichtlich des Spezifitätsgrads. Folglich wird zwischen spezifischen und unspezifischen Zielen unterschieden. Spezifische Ziele sind sehr konkret und umfangreich, unspezifische Ziele eher allgemein bzw. vage formuliert (Sweller, 1988, S.257-285; Locke, Latham & Smith, 1990, S.49-52).

Locke und Latham propagieren eine höhere Wirkung spezifischer gegenüber vage formulierten Zielen. Dies begründen sie u. a. damit, dass unscharf formulierte Ziele einen relativ großen Interpretationsspielraum hinsichtlich der Frage, wie die Aufgabe zu verstehen ist, gewähren. Ein Indiz dafür liefern zehn Feldstudien, die in der Industrie durchgeführt wurden (Latham & Locke, 1979, S.75).

Ebenfalls spielt der Schwierigkeitsgrad der gesetzten Ziele eine Rolle. Dabei ist es möglich, dass ein Ziel für den einen als schwer und für den anderen als leicht angesehen wird. Insofern hängen die individuellen Fähigkeiten eng mit der Zielschwierigkeit und der damit verbundenen Leistung zusammen. Zurückführen lässt sich dies auf den herausfordernden Charakter schwierigerer Aufgaben, der mit einer maximalen Einsatzbereitschaft der Teilnehmer einhergeht (Latham & Locke, 1991, S.213f.).

Die Beziehung zwischen der Zielschwierigkeit und der Leistung ergibt modellhaft einen positiv linearen Zusammenhang in Form einer Regressionsgeraden. Diese wird in Abbildung 2.26 dargestellt (Locke et al., 1990, S.27ff.).

Im Gegensatz zu Atkinsons Modell beschränkt sich dieses Modell auf die Regressionsgerade zwischen Leistung und Schwierigkeitsgrad der Ziele (Latham & Locke, 1991, S.214).

Mento, Steel und Karren bestätigen in ihrer Meta-Studie diesen Zusammenhang zwischen hoher Zielschwierigkeit und korrespondierend hoher Leistung mit einer mittleren Effektstärke von ($d = .5813$). Für den Zusammenhang zwischen hoher Spezifität der Ziele inklusive hoher Zielschwierigkeit mit hoher Leistung wird ein Effekt von ($d = .4441$) festgestellt (Mento, Steel & Karren, 1987, S.76).

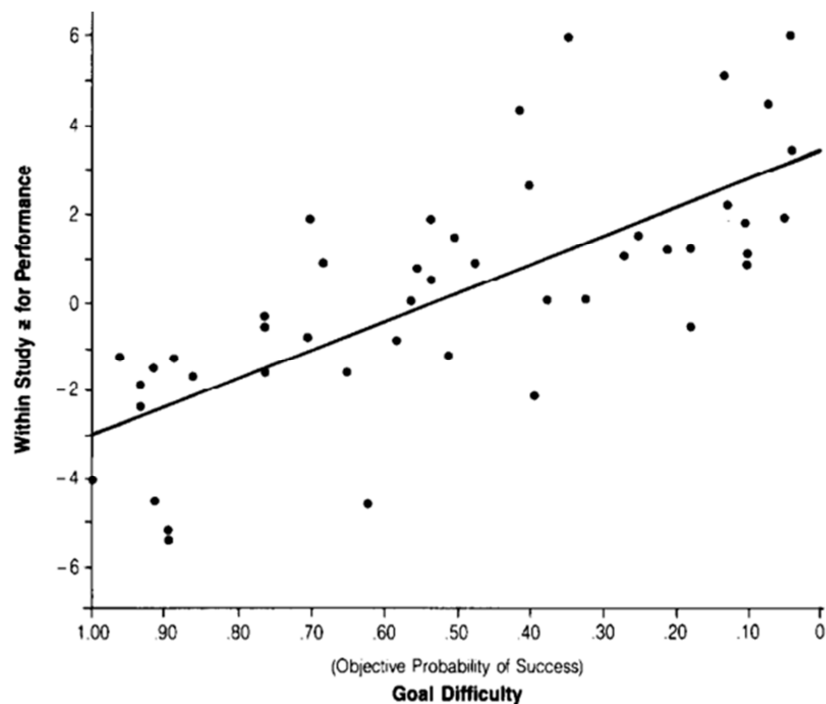


Abbildung 2.26: Leistung und Zielschwierigkeit (Latham & Locke, 1991, S.214)

Locke und Latham interpretieren ihre organisationspsychologischen Befunde als ebenfalls anwendbar auf andere Bereiche – darunter zählt insbesondere der Bildungssektor (Locke et al., 1990, S.267f.).

Allerdings räumt Locke später ein, dass spezifische Ziele nicht unter allen Umständen zu besseren Leistungen führen. So seien bei ungewissen Zielen (wie z. B. Entscheidungen von Managern bezüglich der eigenen Firma für die Zukunft) offene Zielformulierungen, die größere Handlungsspielräume mit sich bringen, von Vorteil (Locke, Chah, Harrison & Lustgarten, 1989, S.284f.).

Sweller und Lewin zeigen in der pädagogischen Psychologie bessere Leistungsergebnisse zugunsten unspezifischer Zielsetzungen auf. Dies geschieht im Zusammenhang mit Aufgaben zum Problemlösen, wobei hier die Person als Problemlöser und das Ziel als Problemlösezustand deklariert werden (Sweller & Levine, 1982, S.463).

Sweller begründet dies zum einen mit dem modellhaften Mechanismus der *Cognitive-Load*-Theorie, wonach die limitierte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses optimal eingesetzt werden sollte. Folglich ist eine zureichende Passung zwischen den interagierenden Elementen während des Lernprozesses bedeutend. Können einige Elemente vom Lernenden nicht rezipiert werden, so lässt sich ein Scheitern des Lernens vorhersagen, weil diese Elemente miteinander zusammenhängen und für den Lernprozess entscheidend sind (Sweller, 1994, S.310f.).

Ein weiterer Mechanismus ist die selektive Aufmerksamkeit, im Rahmen derer der Lernende die Problemlösestrategie Mittel-Ziel-Analyse verwendet. Hierzu blendet der Lernende den Weg zur Zielerreichung weitestgehend aus. Da hier allein die Zielerreichung im Vordergrund steht, kann sich kein entsprechendes Schema ausbilden. Somit bleibt der Lernende Novize, anstatt den Status eines Experten zu erlangen. Diese beiden Prozesse, *Cognitive-Load*-Theorie und selektive Aufmerksamkeit, arbeiten eng zusammen und sind relativ schwer voneinander zu trennen. Durch unspezifische Zielsetzungen kann die Anwendung der Mittel-Ziel-Analyse als Problemlösungsstrategie verhindert werden. In diesem Fall sind die Lernenden dazu verpflichtet, sich mit dem Weg zum Ziel in angemessener Weise auseinanderzusetzen. Demgemäß lassen sich neue Schemata erlangen, die den Lernenden zum Experten in der betreffenden Domäne verhelfen (Sweller, 1988, S.261f.).

So konnten z. B. in einer experimentellen Studie in Form eines Papier-Stift-Tests bessere Ergebnisse zugunsten unspezifischer Zielsetzung festgestellt werden. Dabei lösten die Schüler infolge einer vorangegangenen Lernphase sechs trigonometrische Aufgaben zu den Seitenlängen eines Dreiecks. Die Schüler entschieden dabei selbst, wann sie ihrer Auffassung nach genug gelernt hatten, um anschließend den Test zu absolvieren. Die spezifische Zielsetzung der einen Gruppe lag darin, eine bestimmte Seitenlänge des jeweiligen Dreiecks zu berechnen. Die unspezifische Zielsetzung der anderen Gruppe beinhaltete, eine maximale Anzahl an Seiten zu berechnen. Hinsichtlich der zur Aufgabenlösung verwendeten Zeit gab es nur eine relativ leichte Tendenz zu einer schnelleren Aufgabenlösung durch die Gruppe, der unspezifische Ziele gesetzt wurden. Das Hauptaugenmerk der Untersuchung lag allerdings auf der Fehlerproduktion der Schüler während des Problemlösens in einer vorgegebenen Anwendungsphase. Alle sechs Aufgaben wurden von den Schülern der unspezifischen Zielgruppe mit weniger Fehlern gelöst. Darüber hinaus absolvierte diese Gruppe vier von den sechs Aufgaben mit signifikant weniger Fehlern (Sweller, 1988, S.278ff.).

In einer weiteren Studie sollten die Schüler die Winkel in einem Dreieck ausrechnen. Dabei hing die Berechnung der Winkel im Dreieck voneinander ab. Auch hier bekam die Gruppe mit spezifischer Zielsetzung die Zielvorgabe, bestimmte Winkel zu berechnen, während die Gruppe mit unspezifischer Zielsetzung so viele Winkel wie möglich berechnen sollte. Letztere kam am Ende zu besseren Ergebnissen (Sweller, 1994, S.300f.).

Swellers Ergebnisse aus der pädagogischen Psychologie zeigen hingegen Vorteile unspezifischer gegenüber spezifischen Zielen auf. Bei Sweller wird ebenfalls das gewünschte Ergebnis als externes Ziel explizit vorgegeben. Allerdings ist der Kontext, in dem bei Sweller das Ziel gesetzt wird, im Gegensatz zu Locke und Latham ein anderer. Swellers Untersuchungen richten den Fokus auf das Problemlösen. Hierfür sind adäquate Handlungsspielräume für den Problemlöser bedeutsam, die durch spezifische Zielsetzungen eher verhindert werden. Sweller begründet diesen Effekt mit seiner *Cognitive-Load*-Theorie, im Rahmen derer der Problemlöser infolge einer kognitiven Überlastung des Arbeitsgedächtnisses durch spezifische Zielsetzungen am Anfang die Mittel-Ziel-Analyse anwendet. Dies ist eine typische Herangehensweise von Novizen, bei denen sich aufgrund der kognitiven

Überforderung und der selektiven Aufmerksamkeit keine Schemata ausbilden können, wie sie für die entsprechende Expertise notwendig wären.

Künsting geht einen anderen Weg, indem er zusätzlich die externale Zielsetzung in Bezug auf die Qualität differenziert (vgl. Abbildung 2.27). So geht aus seiner Studie (zum physikalischen Thema „Autrieb in Flüssigkeiten“) hervor, dass externale Lernziele in Bezug auf die Spezifität im Gegensatz zu externalen Problemlösezielen keinen Unterschied zeigen, da Lernziele generell explizit zum Lernen auffordern und damit die Anwendung der ergebnisorientierten Mittel-Ziel-Analyse aufgrund eines erhöhten *Cognitive-Load* und einer selektiven Aufmerksamkeit von Novizen entfällt (Künsting, 2007, S.71f.).

Der Zielspezifitätseffekt zeigt sich demnach auch bei Künsting ($d = .50$), allerdings ausschließlich bei der Vorgabe von Problemlösezielen. Lernziele lassen sich hingegen nicht bezüglich der Spezifität differenzieren. Analog hierzu sind die Mittelwerte der vier Zielsetzungen von Künsting zur Übersicht in Abbildung 2.28 veranschaulicht. Lernziele, die explizit zum Lernen auffordern, schneiden bezüglich des deklarativ-konzeptionellen Wissenserwerbs besser ab als Problemlöseziele. Deswegen schlägt Künsting vor, im Zusammenhang mit der naturwissenschaftlichen Unterrichtspraxis eine derartige Zieldifferenzierung hinsichtlich der Qualität vorzunehmen und somit Lern- statt Problemlöseziele zu setzen (Künsting, 2007, S.151ff.).

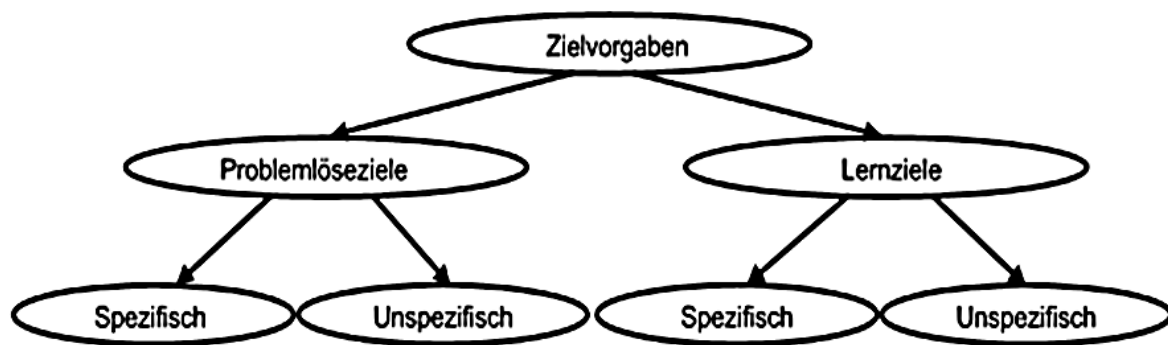


Abbildung 2.27: Externale Ziele der Künsting-Studie (Künsting, 2007, S.63)

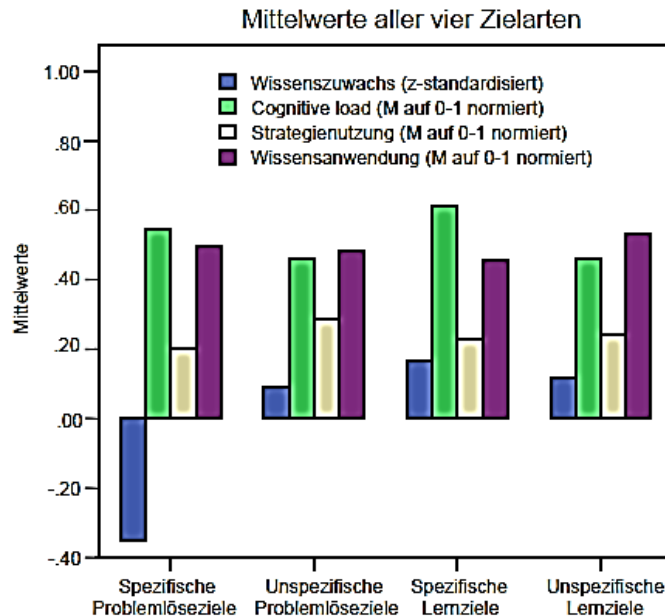


Abbildung 2.28: Künstlings externe Ziele (Künstling, 2007, S.142)

Demgemäß lassen sich die internalen Zielsetzungen der Lernenden im äußeren Bereich des Dreischichtenmodells von Boekaerts kognitionspsychologisch positionieren. Zur Vermeidung eines zu hohen *extraneous load* werden die externalen Lernziele, die zum Gelingen eines angemessenen Lernarrangements von außen zu setzen sind, hingegen in die Auftragsübergabesituation (AÜS) der erweiterten Lernschleife eingebettet. Durch die Übernahme der externalen Lernziele vom Lernenden wandern diese allerdings im günstigsten Fall von seiner externen in seine interne Lernsteuerung. Dort angekommen, könnten sie ebenfalls mit dem Dreischichtenmodell von Boekaerts im Randbereich modelliert werden. Als Beispiele externaler Lernziele dieser Studie lassen sich die unspezifischen und spezifischen Lernziele der Tabelle 3.4 aufführen. In diesem Sinne wäre das Lernziel: „Lernen Sie bitte alles über Schnittverläufe nach DIN in Technischen Zeichnungen.“ unspezifisch. Ein spezifisches Lernziel ist hingegen: „Lernen Sie bitte, wie parallele Schnittebenen in Schnittdarstellungen veranschaulicht werden. Richten Sie dabei bitte besondere Aufmerksamkeit darauf, ob die Schnittverlaufskante zwischen den parallel verlaufenden Schnittflächen in der Schnittdarstellung ebenfalls eingezeichnet wird.“

2.3.2 Informatives tutorielles Feedback

Zuvor wurde hinsichtlich des selbstregulierten Lernens bereits auf den Charakter eines kybernetischen Regelkreises hingewiesen. Analog zu diesem stellte die Art der Zielsetzung eine zentrale Führungsgröße dar (vgl. Kapitel 2.3). Doch wie lässt sich zum Dreischichtenmodell von Boekaerts (1999) und zur erweiterten Lernschleife nach Arnold und Muel-

ler (1993) – als spezifische Alternativen zur internen und externen Lernsteuerung im Modell zum selbstregulierten Lernen von Schiefele und Pekrun (1996) – eine Analogie zum Soll-Istwert-Vergleich modellieren? Eine Möglichkeit für eine angemessene Rückmeldung wird durch das Setzen von Feedback in Betracht gezogen.

Für das selbstregulierte Lernen gilt es vor diesem Hintergrund, die Zusammenhänge zwischen wahrgenommener Fähigkeit, Aufmerksamkeit und Motivation hinsichtlich des Feedbacks mit zu berücksichtigen. Der Lernende muss dabei die optimale Passung dieser Komponenten in Bezug auf die Lernaufgabe erzielen. Ausschließlich dann, wenn das Ziel als erreichbar und die erforderlichen Anstrengungen in einem adäquaten Verhältnis zur Zielerreichung angesehen werden, setzt der Lernende entsprechende Ressourcen ein. Er trifft somit die Entscheidung über seinen Einsatz von Aufmerksamkeit, Kognition und Organisation im Rahmen seiner Zielerreichung. Der Lernprozess wird selbstreguliert, wenn der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben nicht zu leicht und nicht zu schwierig, sozusagen optimal, gewählt wird. In diesem Zusammenhang werden innere Prozesse des Lernenden bezüglich der Selbstregulation positiv beeinflusst (Pommer, 2003, S.51).

Demgemäß lässt sich selbstreguliertes Lernen gewinnbringend mit externem Feedback unterstützen (Marschner, 2011, S.168ff.).

Dabei kann der Lernende erhaltenes Feedback zur Konstruktion seiner Wirklichkeit für den eigenen Erkenntnisgewinn nutzen. Feedback zeigt schließlich die für den selbstregulierten Lernprozess notwendigen Diskrepanzen zwischen erbrachter und angestrebter Leistung auf (Krause, 2007, S.49).

Wie könnte allerdings nun ein geeignetes Feedback in der erweiterten Lernschleife modelliert werden?

Feedback als Begriff findet sowohl im Alltag als auch in der Wissenschaft Anwendung. Entsprechend groß ist die Bandbreite darüber, was unter Feedback zu verstehen ist (Narciss, 2006, S.14).

Aus diesem Grund wird der Terminus „Feedback“ für diese Untersuchung im Folgenden näher beleuchtet, damit Transparenz über die für die vorliegende Studie relevante Begriffsauslegung herrscht.

Wie ein erfolgreiches Feedback generell generiert werden kann, lässt sich – ausgehend von den Ergebnissen zahlreicher Studien – nicht zufriedenstellend beantworten. Gründe dafür liegen im Facettenreichtum der Komplexität des Gegenstandsbereichs, der Lernenden sowie dem elaborierten Feedback (Pommer, 2003, S.55).

Jedoch lassen sich aufgrund bisheriger Forschungsergebnisse einige interessante Gestaltungsmerkmale für ein geeignetes Feedback, das zugleich als Grundlage dieser Untersuchung dienen soll, etablieren.

Grundsätzlich kann Feedback in der Lernpsychologie auf Basis einer behavioristischen oder kognitivistischen Sichtweise interpretiert werden. Während Feedback im Behaviorismus als Verbindung von Verhalten und Belohnung begriffen wird, postuliert der Kognitivismus Feedback als informative Rückmeldung zum Verhalten mit Bezug auf das zu erreichende Ziel (Pommer, 2003, S.52).

Diese beiden Perspektiven als mögliche Grundlage zur Interpretation von Feedback wurden durch die konstruktivistische Sichtweise ergänzt. Diese versteht Feedback als Angebot, das die Lernenden für die eigene Konstruktion von Wissen nutzen können (Krause, 2007, S.49).

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es nicht, eine erkenntnistheoretische Diskussion darüber zu führen, welche dieser drei Perspektiven – die des Behaviorismus, des Kognitivismus oder des Konstruktivismus – in Bezug auf die Lernpsychologie als die „richtige“ zu favorisieren ist. Stattdessen geht es darum, ein für das selbstregulierte Lernen und zum Untersuchungsdesign passendes Feedback zu operationalisieren. Allerdings ist zu betonen, dass Feedback hier weitestgehend aus einer kognitivistischen und konstruktivistischen Sicht heraus verstanden wird.

Grundsätzlich bringt Feedback Erfolg und Misserfolg zum Vorschein (Narciss, 2006, S.80).

Feedback ist wirksam, wenn es in Verbindung zur konkreten Aufgabenstellung gegeben wird und damit einen geeigneten Zugang zum Gedächtnis erhält (Kulhavy, 1977, S.220).

Rückmeldungen können zwischen positiven und negativen Rückmeldungen unterschieden werden. Positive Rückmeldungen zeigen korrekte Antworten auf, negative die produzierten Fehler (Vasilyeva, Puuronen, Pechenizkiy & Rasanen, 2007, S.7ff.).

Feedback umfasst als Kommunikationsform nicht ausschließlich einen Informationsgehalt. Insofern kann ein identisches Feedback bei verschiedenen Lernenden unterschiedliche Reaktionen hervorrufen. Während der eine Teil das Feedback für den Lernprozess gewinnbringend integriert, wird es vom anderen Teil der Lernenden als negative Bewertung wahrgenommen und somit abgelehnt (Pommer, 2003, S.50).

Beim selbstregulierten Lernen sind somit Rückmeldungen über den Lernprozess in Form eines Soll-Istwert-Vergleichs bedeutend. Feedback ist einer von den vier entscheidenden Merkmalen des selbstregulierten Lernens (vgl. Kapitel 2.3). Hierzu durchläuft der Lernende während seines Lernprozesses eine Feedbackschleife (Zimmerman, 1989, S.4ff.; Schiefele & Pekrun, 1996, S.258; Schreiber, 1998, S.11; Künsting, 2007, S.21f.; Lockl, 2002, S.6f.).

Ferner sei darauf hingewiesen, dass Feedback generell einen adaptiven Charakter besitzt. Dennoch kann insofern zwischen adaptivem und standardisiertem Feedback unterschieden werden, als beim adaptiven Feedback individuell auf den Lernenden eingegangen wird, während beim standardisierten Feedback alle Lernenden dasselbe Feedback erhalten (Vasilyeva et al., 2007, S.11).

Elaboriertes Feedback ist verifizierendem Feedback zudem überlegen. Während beim elaborierten Feedback eine korrekte Antwort inklusive Erklärung rückgemeldet wird, besteht beim verifizierenden Feedback die Rückmeldung ausschließlich über die Information, ob etwas richtig oder falsch war (Pridemore & Klein, 1991, S.27ff.).

Als bemerkenswert erwiesen sich die Unterschiede zwischen elaborativem und metakognitivem Feedback während des kooperativen Lernens mit Textpassagen in einer Studie

von Dansereau und Mitarbeitern. Beim metakognitiven Feedback griff der Lehrende während des Lernprozesses unterstützend ein. Dort stellte sich das metakognitive Feedback in einem Leistungstest unmittelbar nach dem Lernprozess als signifikant besser heraus als das elaborative Feedback. In einem Transfertest zu einem späteren Zeitpunkt schnitt wiederum das elaborative Feedback besser ab. Daraus resultiert die Annahme, dass metakognitives Feedback den aktuellen Lernprozess optimal begleitet, während elaboratives Feedback das spätere individuelle Lernen effizienter unterstützt (Larson et al., 1985, S.347).

Entscheidend ist auch der Zeitpunkt, zu dem das Feedback erfolgt. So kommen Kulik und Kulik zu dem Schluss, dass verzögerte Feedbacks, die erst im Anschluss an eine

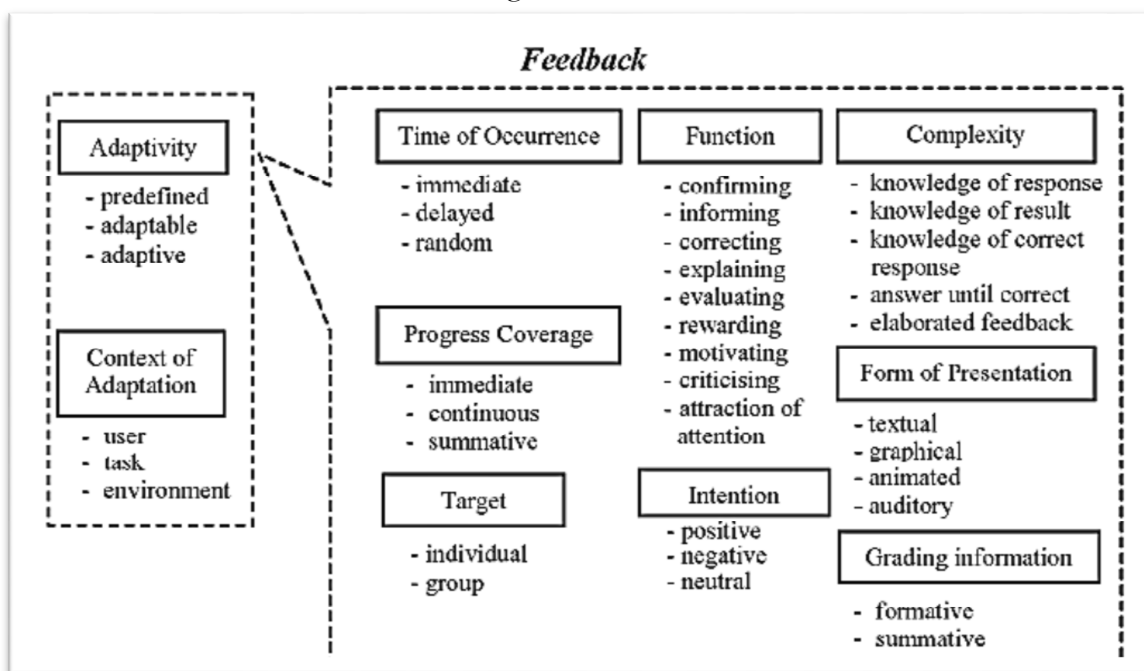


Abbildung 2.29: Feedback Einteilung (Vasilyeva, Puuronen, Pechenizkiy & Rasanen, 2007, S.7)

Lerneinheit erteilt werden, vor allem bei verhältnismäßig komplexen Aufgaben gewinnbringend platziert werden können (Kulik & Kulik, 1988, S.93f.).

Nach dieser Betrachtung gibt es zahlreiche Möglichkeiten, Feedback zu kategorisieren. Dabei spielen z. B. die Adaptivität, der Zeitpunkt, die Funktion, der Modus sowie die Komplexität eine maßgebende Rolle. Die Taxonomie von Feedback einschließlich der Kategorisierung von Adaptivität nach Vasilyeva, die eine verhältnismäßig ganzheitliche Betrachtung von Feedback gewährleistet, wird in Abbildung 2.29 veranschaulicht. Narciss hingegen fasst die in Experimenten am weitesten verbreiteten informativen Feedbackarten wie folgt zusammen:

1. *Knowledge of result/ response* (KR): Der Lernende erhält ausschließlich ein Feedback darüber, ob seine Antwort richtig oder falsch ist.
2. *Knowledge of performance* (KP): Nach dem Lösen einer Summe von Aufgaben erhält der Lernende ein quantitatives Feedback (z. B. in %) über die von ihm korrekt gelösten Aufgaben.

3. *Knowledge of correct response* (KCR) – korrekatives Feedback: Zusätzlich zur Information, ob die Antwort richtig oder falsch ist, wird bei einer falschen Antwort die richtige Antwort präsentiert.
4. *Answer until correct* oder *multiple try feedback* (AUC/ MTF): Hierbei wird KR-Feedback wiederholt in einer bestimmten Anzahl gegeben – mit der Intention, dass der Lernende von selbst auf die richtige Antwort kommt. Bei AUC geht das Prozedere so lange, bis der Lernende dies geschafft hat. Demgegenüber hat der Lernende mit MTF eine bestimmte Wiederholungszahl zur Verfügung, nach der dann die korrekte Lösung (KCR) präsentiert wird.
5. *Elaborated feedback*: Der Lernende erhält *Knowledge of result/ response* (KR) oder *Knowledge of correct response feedback* (KCR) sowie zusätzliche Informationen darüber, warum seine Antwort richtig oder falsch war. Dieses spielt zudem für künftige Lernprozesse eine nicht unerhebliche Rolle (Narciss, 2006, S.19).

Diese fünf Feedbackarten finden sich ebenfalls in der Aufteilung nach Vasilyeva und Mitarbeiter in der Rubrik Komplexität (*Complexity*) wieder.

Die als „einfach“ zu bezeichnenden Feedbackarten finden in der Lernpsychologie größtenteils Zustimmung, auch wenn sie zum Teil unterschiedlich bezeichnet werden. Zu denen zählen auch jene, die lediglich Aussagen darüber treffen, ob die Lösung richtig oder falsch war. Feedback, das ausschließlich die korrekte Antwort präsentiert, zählt gleichermaßen dazu. Uneinheitlich zeigt sich im Gegensatz dazu die Einteilung von elaboriertem Feedback (Narciss, 2006, S.20).

In diesem Sinne unterteilen Kulhavy und Stock elaboratives Feedback in drei verschiedene Kategorien, wobei der Schwerpunkt auf den Inhalt gerichtet ist:

- a) *Task-specific elaboration*: Dem Lernenden wird ausschließlich die richtige Lösung präsentiert (Kulhavy & Stock, 1989, S.286).
- b). *Instruction-based elaboration*: Dem Lernenden wird der korrekte Lösungsweg erläutert. Dieser besteht allerdings ausschließlich aus den dem Lernenden bereits zugänglichen Informationen über das Lernmaterial. So wird dem Lernenden beispielsweise mitgeteilt, wo die entscheidenden Textpassagen zur Aufgabenlösung in der Literatur zu finden sind (Kulhavy & Stock, 1989, S.286).
- c) *Extra-instructional elaboration*: In der Erläuterung werden dem Lernenden neue zusätzliche Informationen oder Analogien zur Verfügung gestellt, die in vorherigen Instruktionen nicht enthalten waren (Kulhavy & Stock, 1989, S.286).

Bei diesen drei Kategorien kommt dem Feedback vor allem die Rolle der Präsentation von Lösungen zu. Die zentrale Frage ist, welcher Inhalt und wie dieser dem Lernenden mitgeteilt werden kann. Allerdings steht in der heutigen Lernpsychologie anstelle von Wissensvermittlung die eigene Wissenskonstruktion des Lernenden im Vordergrund. Diese kann z. B. durch selbstregulierende Lernformen begünstigt werden. Für diese Lernform eignet sich ein Feedback, das dem Lernenden die eigene Wissenskonstruktion er-

möglicht und somit die Aufgabenlösung nicht zu früh verrät (Narciss, 2006, S.37f.; Butler & Winne, 1995, S.254).

Narciss differenziert fünf Arten des elaborativen Feedbacks:

1. *Knowledge on task constraints* (KTC): bezeichnet ein aufgabenbezogenes Feedback. Dieses beinhaltet Informationen zur Aufgabenart, Aufgabenanforderung und den erforderlichen Regeln, um die Aufgabe lösen zu können (Narciss, 2006, S.21ff.).
2. *Knowledge about concepts* (KC): bezeichnet Feedbackkomponenten in Bezug auf aufgabenbezogenes, konzeptionelles Wissen. Diese liefern Hinweise auf Fachbegriffe, Begriffskontexte oder erklären Begriffe anhand von Beispielen (Narciss, 2006, S.21ff.).
3. *Knowledge about mistakes* (KM): diese Feedbackkomponenten beziehen sich auf Fehler. Dabei kann nach Anzahl, Ort, Art und Ursache des Fehlers differenziert werden (Narciss, 2006, S.21ff.).
4. *Knowledge on how to proceed* (KH): ist ein Feedback zum aufgabenrelevanten strategischen Wissen. Dabei werden eine fehlerspezifische Korrektur und aufgabenspezifische Lösungshinweise gegeben, sowie Lösungsstrategien, Leitfragen und Lösungsbeispiele dargeboten (Narciss, 2006, S.21ff.).
5. *Knowledge on metacognition* (KMC): dient als Feedback zur Selbstregulation, z. B. metakognitive Leitfragen und Strategien (Narciss, 2006, S.21ff.).

KMC umfasst:

- eine informierende Funktion, wenn metakognitive Strategien unbekannt sind
- eine ergänzende Funktion, indem zielrelevante Kriterien zum Monitoring angeboten werden
- eine korrigierende Funktion zur Behebung falscher Lösungsstrategien
- eine lenkende Funktion infolge von Leitfragen zum Evaluationsprozess oder den Lösungsstrategien (Butler & Winne, 1995, S.264ff.; Narciss, 2006, S.79).

Diese fünf Feedbackarten beinhalten mehrere Feedbackkomponenten, die sich auf den Lösungsweg beziehen. Somit wird es dem Lerner mithilfe einer geeigneten Kombination von Feedbackkomponenten ermöglicht, das gewonnene Feedback zielführend zur Aufgabenlösung anzuwenden. Insofern kann für diese Form des elaborativen Feedbacks der Begriff „informatives tutorielles Feedback“ (ITF) verwendet werden. Narciss beruft sich dabei auf die Untersuchung von menschlichen Tutor-Strategien. Diese bestätigen die Kombination aus mehreren Feedbackkomponenten (Narciss, 2006, S.22; Merrill, Reiser, Merrill & Landes, 1995, S.29ff.).

In der vorliegenden Untersuchung wird der Feedbackbegriff in Bezug auf das informative Feedback von Narciss übernommen, der im Zusammenhang mit informativem tutoriellem Feedback steht. Der Begriff des informativen Feedbacks wird für die Informationen verwendet, die Lernenden nach der Bearbeitung von Lernaufgaben (bzw. von Teilen dieser Aufgaben) zu ihren Lösungen von einer externen Informationsquelle angeboten werden. Ziel ist es, eine korrekte Lösung dieser Aufgaben in der aktuellen oder auch in künf-

tigen Lernsituationen zu ermöglichen. Damit ist der Begriff relativ deutlich abgegrenzt von Feedback, das eine motivationale Funktion (z. B. „Du hast fünf Aufgaben mehr gelöst als beim letzten Mal, weiter so!“) beinhaltet. Zusätzlich wird der Begriff von einem Feedbackverständnis differenziert, bei dem die Lernenden durch ihre direkte Wahrnehmung während des Lernprozesses eine interne Rückmeldung erhalten. Das informative Feedback dieser Untersuchung bezieht sich ausschließlich auf extern dargebotene Informationen (Narciss, 2006, S.18).

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass eine Diskrepanz zwischen erbrachter und angestrebter Leistung auf eine Diskrepanz zwischen dem externen und dem individuellen Feedback des Lernenden hindeutet, das er für seinen Lernprozess nutzt.

Narciss modelliert den Begriff „Feedback“ ausgehend von einer systemtheoretischen Sichtweise, die sich mit der Regelung dynamischer Prozesse beschäftigt, und schlägt anschließend eine Brücke zur Lernpsychologie. Feedback dient systemisch betrachtet als der notwendige Input eines Regelkreises, der aus dem Output dieses Regelkreises resultiert (Narciss, 2006, S.15f.).

Das Hauptmerkmal des Regelkreises (vgl. Abbildung 2.30) besteht darin, die Ausgangsgröße aufgrund störender Einwirkungen von außen zu beobachten und dem System entsprechende Informationen zurückzuführen. Die Ausgangsgröße stellt damit die Regelgröße X dar. Das gegebene System wird als Regelstrecke bezeichnet. Der Sollverlauf X_s der Regelgröße kann im Laufe der Zeit Störungen sowie unerwünschte Veränderungen mit sich bringen. Oft gibt es vergleichbare Störungen, die vorwiegend auf das System einwirken und somit als Störgrößen Z bezeichnet werden. Um die Regelgröße auch über einen längeren Zeitraum hinweg trotz bestehender Störgröße Z stabil zu halten, wird sie durch eine geeignete Messeinrichtung ermittelt. Eine hierbei gängige Methode ist es, die Regelgröße in eine andere physikalische Größe umzuwandeln, die proportional zur ursprünglichen Regelgröße ist (z. B. die Umwandlung der Drehzahl in eine elektrische Spannung). Die erfasste Regelgröße X_R (z. B. elektrische Spannung) wird mit dem gewünschten Sollverlauf verglichen. Dieser wird dem System als zusätzliche Größe, der sogenannten Führungsgröße W , von außen zugeführt. Durch die Differenzbildung – dem Soll-Istwert-Vergleich – wird der Eingriff der Stelleinrichtung festgelegt, wenn das Ergebnis aus dem Soll-Istwert-Vergleich (die Regeldifferenz X_d) von null verschieden ist. Die Ausgangsgröße der Stelleinrichtung wird als Stellgröße Y bezeichnet. Deren Aufgabe ist es, als Eingangsgröße der Regelstrecke die Regelgröße X_s so zu verändern, dass im Soll-Istwert-Vergleich das Ergebnis null ist. Mess-, Vergleichs-, Korrektur- und Stelleinrichtung bilden den Regler. Die Aufgabe des Reglers besteht zum einen darin, der Störgröße ausreichend entgegenzuwirken und zum anderen, eine gewünschte Veränderung des Sollwertes beim Istwert herbeizuführen (Foellinger, 1980, S.13ff.).

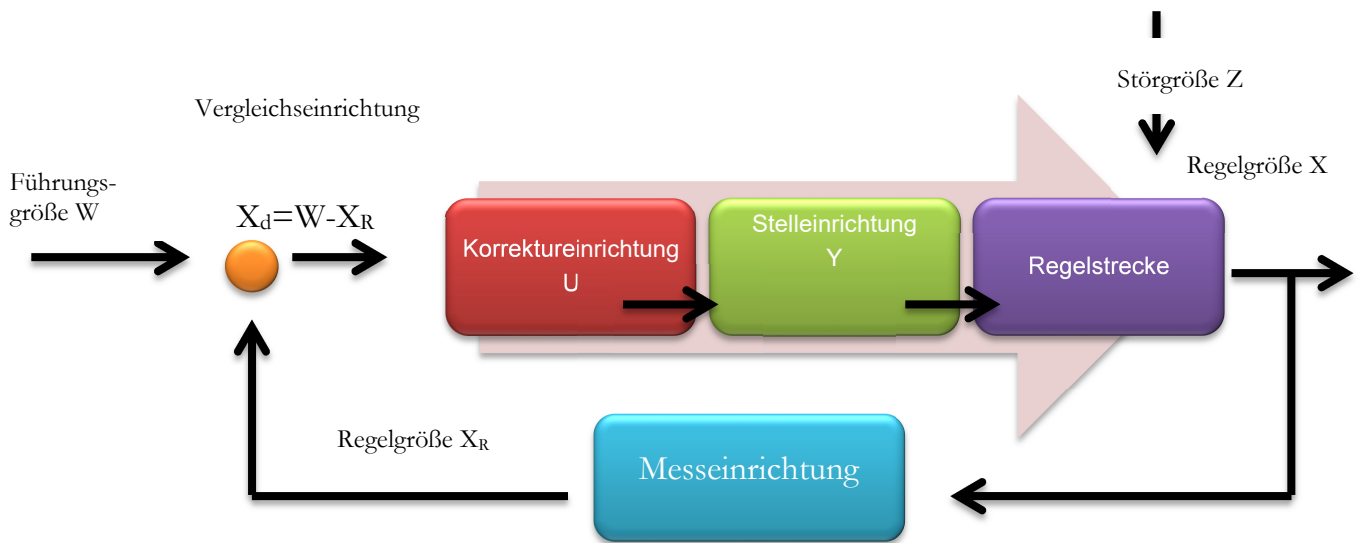


Abbildung 2.30: Kybernetischer Regelkreis an Foellinger angelehnt (Foellinger, 1980, S.13)

Im Vergleich hierzu wird in der Lernpsychologie davon ausgegangen, dass Konsequenzen eines Verhaltens Auswirkungen auf künftiges Verhalten mit sich bringen. Informationen, die während einer Aufgabenbearbeitung oder anschließend bereitgestellt werden, verändern das Verhalten des Lernenden. Allerdings geschieht dies nur dann, wenn diese mit dem internen Regelkreis des Lernenden in Übereinstimmung stehen. Dieses Begriffsverständnis ist jedoch noch relativ weit gefasst (Narciss, 2006, S.17).

Somit wird die Rückmeldung in der externen Lernsteuerung nach dem Modell zum selbstregulierten Lernen von Schiefele und Pekrun (1996) angeordnet. Demzufolge wird das Feedback in der entsprechenden Feedbackphase der erweiterten Lernschleife eingesetzt. Dessen ungeachtet obliegt es dem Lernenden, ob er dieses Feedback nach der internen Lernsteuerung bei Schiefele und Pekrun gemäß dem spezifischeren Dreischichtenmodell von Boekaerts im mittleren Bereich rentabel nutzen kann.

In Anlehnung an das Modell der Regelungstechnik unterscheidet Narciss aus systemischer Sichtweise einen internen Regelkreis des Lernenden (Ist-Größe entspricht z. B. der Antwortsicherheit oder dem Anstrengungserleben) und einen externen Regelkreis des Lehrmediums (z. B. Lehrer oder Lernprogramm). Diese beiden interagierenden Regelkreise sollten in der Gestaltung von Feedback durch das Lehrmedium Berücksichtigung finden. Ausgehend von diesem Modell ist die Diskrepanz zwischen externer und interner Aufgabenrepräsentation vom Könnensniveau der Lernenden abhängig. Ist das Könnensniveau hoch, so ist die Diskrepanz zwischen externer und interner Aufgabenrepräsentation relativ gering. Umgekehrt ist ein entsprechend großer Unterschied in Bezug auf externe und interne Aufgabenrepräsentation vorhanden, wenn das Könnensniveau niedrig ist (Narciss, 2006, S.70ff.; Butler & Winne, 1995, S.248).

Die Regelstrecke stellt somit die Bewältigung der Lernaufgaben dar. Die zu regelnden Größen lassen sich dabei z. B. hinsichtlich kognitiven, metakognitiven und motivationalen

Kategorien und Indikatoren unterscheiden. Es gibt jeweils einen externen und internen Messfühler, eine Regeleinrichtung sowie einen Soll- und Istwert. Dabei entspricht der externe Sollwert im Wesentlichen den externalen Zielsetzungen. Dem internen Sollwert können individuelle Lernvoraussetzungen, wie z. B. internale Zielsetzungen, zugeschrieben werden. Die externe Stellgröße entspricht in dem Modell dem externen Feedback. Der Lernende evaluiert aus den Vergleichen zwischen internem Soll-Istwert, internem Istwert und externem Feedback sowie zwischen externem Feedback und internem Sollwert die hieraus resultierende Stellgröße.

Die Diskrepanz der Vergleiche soll null ergeben. Ist diese aufgrund des internen und externen Sollwerts jedoch groß, kann dies dazu führen, dass der Regelkreis mehrere Male durchlaufen werden muss. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Feedbackkomponenten zu wenige Informationen beinhalten (Narciss, 2006, S.69-74).

An dieser Stelle fungiert das informative tutorielle Feedback-Modell von Narciss als integraler Bestandteil von dem Modell des selbstregulierten Lernens von Schiefele und Pekrun und den beiden spezifischeren Modellen nach Boekaerts sowie Arnold und Mueller. Schließlich lässt sich der interne Feedbackregelkreis der internen Lernsteuerung vom Modell bei Schiefele und Pekrun zuordnen. Konkreter wird die interne Lernsteuerung infolge des Modells nach Boekaerts, bei dem sich das Feedback im mittleren Bereich der drei Schichten wiederfindet. Ähnliches gilt ebenfalls bezüglich des externen Feedbackregelkreises der externen Lernsteuerung, der durch das Modell der erweiterten Lernschleife spezifiziert wird.

In dieser Hinsicht leistet das Feedback also deutlich mehr, als lediglich den Lernprozess durch Korrekturen von außen zu steuern. Stattdessen regelt der Lernende durch Soll-Istwert-Vergleiche seinen eigenen Lernprozess, was z. B. für das selbstregulierte Lernen eine notwendige Bedingung ist. In diesem Zusammenhang können folglich intra- und interindividuelle Unterschiede der Lernenden hinsichtlich ihrer eigenen Lernprozesse ausgeglichen werden (Butler & Winne, 1995, S.254).

In Abbildung 2.31 werden der externe und interne Regelkreis in Bezug auf das informative tutorielle Feedback veranschaulicht. Gleichfalls lässt sich von dieser schematischen Darstellung ausgehend die Brücke zum Modell des selbstregulierten Lernens in puncto externe versus interne Lernsteuerung schlagen.

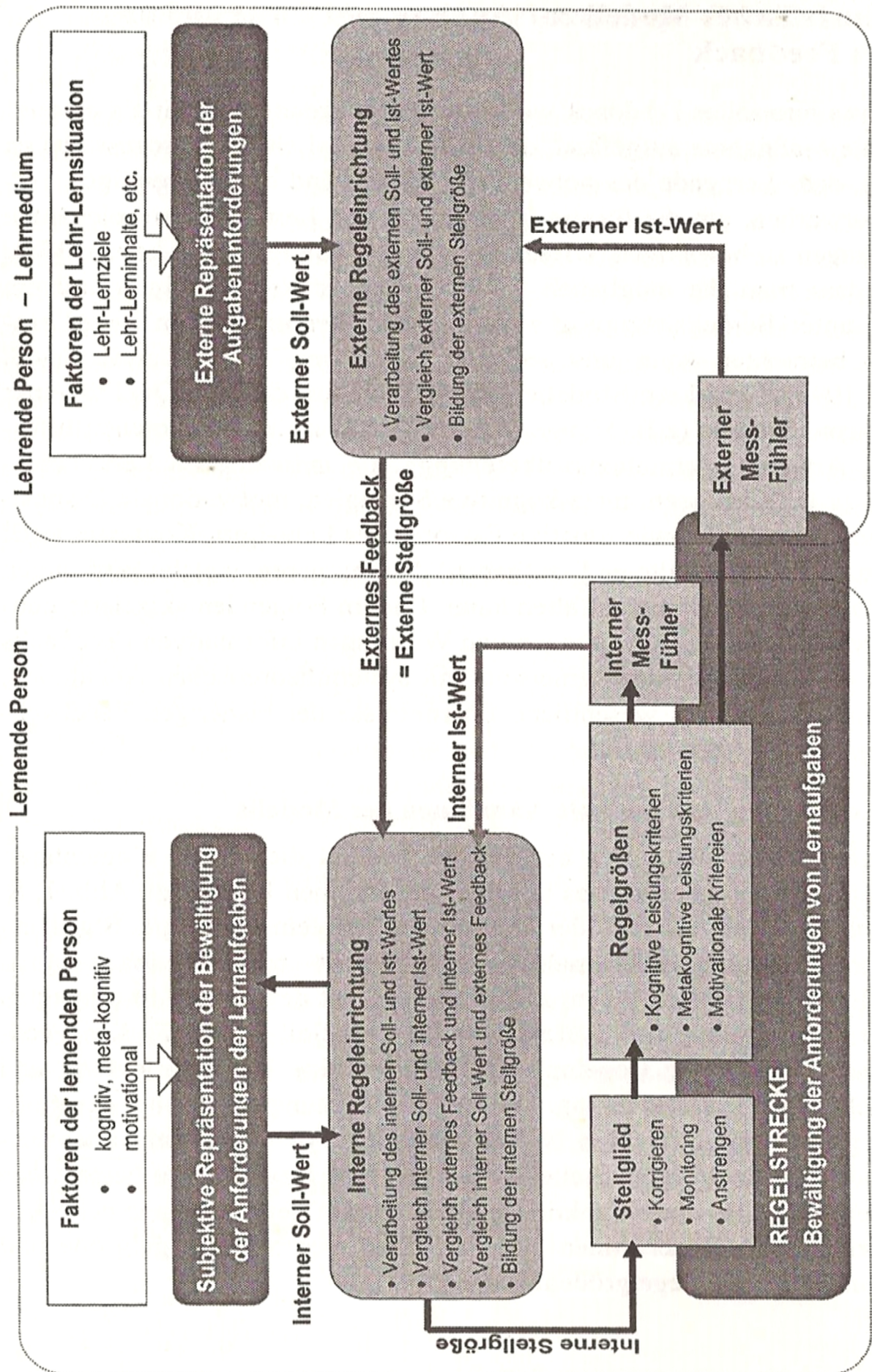


Abbildung 2.31: Interner und externer Regelkreis bezüglich Feedback (Narciss, 2006, S.70)

Im Folgenden werden einige Gestaltungsprinzipien zur Umsetzung von informativem tutoriellem Feedback hergeleitet. Dabei lautet eine wichtige Gestaltungsregel, Informationen so breitzustellen, dass nicht unmittelbar die Lösung dargeboten wird (Narciss, 2006, S.81).

Die entsprechenden Determinanten des Informationswerts von Feedback werden nachfolgend in Abbildung 2.32 veranschaulicht:

Um ein adäquates, informatives tutorielles Feedback zu konzipieren, sind die nachstehenden drei Passungen herzustellen:

1. Passung zwischen Lern- bzw. Wissensniveau und Feedbackinhalten
2. Passung zwischen Lernaufgabe und Feedbackinhalten
3. Passung zwischen Fehlern und Feedbackinhalten (Narciss, 2006, S.82).

Analog hierzu müssen die folgenden drei Faktoren zur Festlegung von informativen tutoriellen Feedbackkomponenten berücksichtigt werden:

1. Funktion, Inhalt und Form des Feedbacks,
2. Merkmale der Lehr-Lernsituation, insbesondere der Lernziele, Lerninhalte und -aufgaben sowie die damit verknüpften Anforderungen,
3. Individuelle Merkmale der Lernenden wie z. B. Vorwissen oder metakognitives Wissen sowie motivationale Faktoren (Narciss, 2006, S.82).

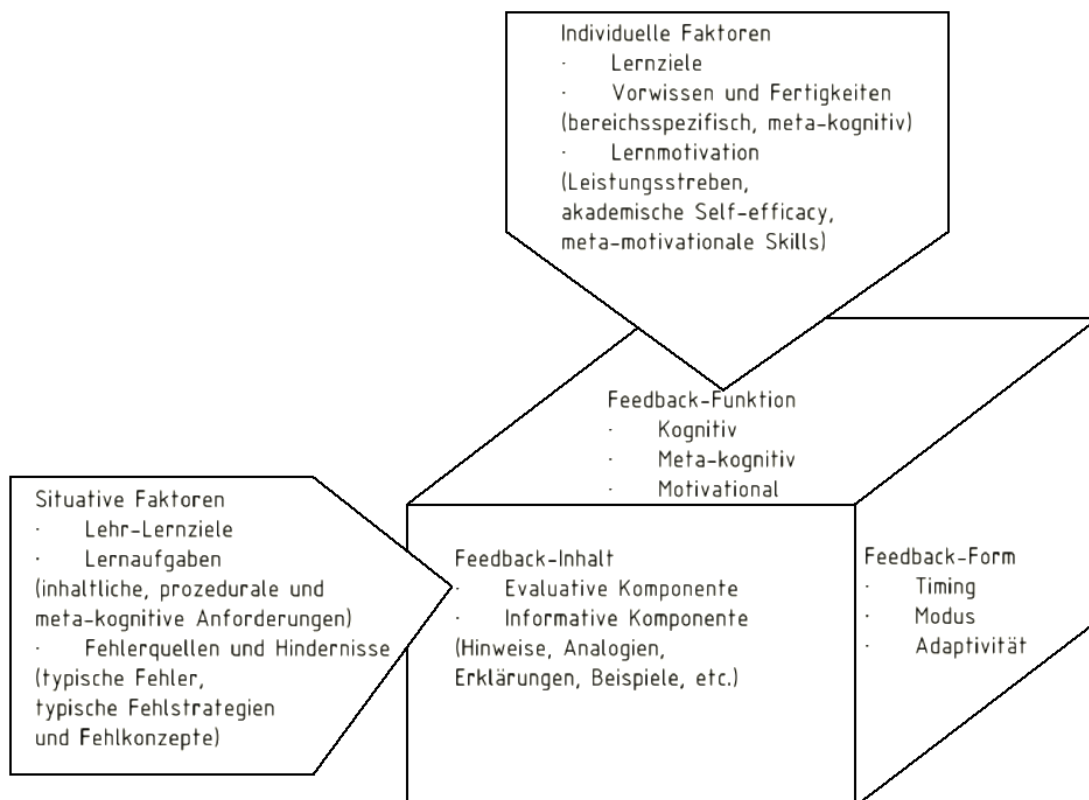


Abbildung 2.32: Determinanten des Informationswerts von Feedback (eigene Darstellung) (Narciss, 2006, S.81)

1.) Feedback besitzt bezüglich Form, Inhalt und Funktion multidimensionale Facetten, die eine Klassifizierung erschweren. Indes lassen sich mindestens drei Facetten beschreiben:

a) Eine funktionale Facette: Wird beispielsweise statt einer Fehlerkorrektur mithilfe von Feedback zusätzlich eine Fehlerdiagnose mittels Feedback angestrebt, muss die kognitive Feedbackkomponente durch eine metakognitive Feedbackkomponente ergänzt werden (Narciss, 2006, S.82).

Demzufolge müsste zur Fehlererkennung in Technischen Zeichnungen im Rahmen dieser Untersuchung das metakognitive Feedback einen verstärkten Einfluss auf den Lernprozess der Studierenden haben.

b) Eine formale Facette, durch die Form und Modus bestimmt werden. Schließlich kann Feedback z. B. mündlich oder schriftlich, unmittelbar oder verzögert, in verkürzten oder festen Zeitintervallen dargeboten werden (Narciss, 2006, S.82f.).

In der vorliegenden Studie wird den Studierenden das Feedback im Anschluss an die Selbsterschließungsphase in festen Zeitintervallen in schriftlicher, digitalisierter sowie standardisierter Form präsentiert. Gründe hierfür sind die Konstanzhaltung der unabhängigen Variable „Feedback“ sowie organisatorische Erfordernisse.

c) Eine semantische oder inhaltliche Facette, die zum einen eine evaluative oder verifizierende und zum anderen eine informative Komponente enthält. Erstere liefert über die Rückmeldung eine entsprechende Bewertung des Ergebnisses (z. B. „richtig“, „falsch“ oder „95% der Aufgabe wurden korrekt gelöst“), letztere stellt dem Lernenden kognitive (z. B. Lösungsschritt), metakognitive (z. B. Strategiehinweise) oder motivationale Informationen (z. B. Lernfortschritt) während seines Lernprozesses bereit (Narciss, 2006, S.83).

In dieser Arbeit wird den Studierenden die evaluierende oder verifizierende Komponente in Form von „richtig“ oder „falsch“ veranschaulicht. Auf kognitiver Feedbackebene werden sie schriftlich darüber in Kenntnis gesetzt, an welchem Ort die zur Zeichnungsidentifikation benötigte Information zu finden ist (z. B. die Seitenzahl in der Fachliteratur). Auf metakognitiver Ebene werden ihnen die einzelnen Schritte zur Informationssuche dargeboten, die für weitere Aufgaben als Strategie benutzt werden können. Auf motivationaler Ebene wird ein Smiley mit einem ermutigenden Wort bei richtiger Lösung präsentiert.

2.) Merkmale der Lehr-Lernsituation entstehen infolge der Interaktion von Lernzielen und -inhalten, Art der Lernaufgaben sowie der jeweils vorhandenen Fehlerquellen. Daraus resultierend werden Feedbackfunktionen, -inhalte sowie -präsentationsformen so gestaltet, dass eine optimale Passung entsteht (Narciss, 2006, S.83).

Für die vorliegende Studie wird diese Passung anhand der Fehlerdiagnose einer Technischen Zeichnung, des damit verbundenen deklarativen Sachwissens über die jeweilige DIN EN ISO in der Fachliteratur sowie der entsprechenden Fehlerquellen in der Technischen Zeichnung kreiert.

- 3.) Die Merkmale der Lernenden sind eher individuell zu verzeichnen. Vor diesem Hintergrund sollte Feedback auf die Lernenden, beispielsweise im Hinblick auf das Könnensniveau, individuell zugeschnitten werden (Narciss, 2006, S.83).

Ein derart adaptives Feedback lässt sich aufgrund der Passung zwischen dem Untersuchungsdesign und dem Lernprozess der Studierenden nicht mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen realisieren. Trotzdem besitzt jedes Feedback einen generell adaptiven Charakter.

Ausgehend von diesen Gestaltungsprinzipien informativer tutorieller Feedbackkomponenten (ITF) stellt sich die Frage, auf welche Weise sich entsprechende Komponenten auswählen lassen. Dazu ist es dringend erforderlich, Anforderungen, Probleme und Fehlerquellen der Lernaufgabe zu kennen, aus denen sich angemessene Hilfestellungen als Feedback ableiten lassen. Kognitive, metakognitive sowie motivationale Funktionen sind dabei nicht strikt zu trennen. Stattdessen können mehrere dieser Feedbackfunktionen gleichzeitig bedeutsam sein und sich somit ergänzen. Insofern gilt es, eine ausreichende Passung bei der Feedbackauswahl mit zu berücksichtigen (Narciss, 2006, S.84ff.).

In dieser Studie werden für die Studierenden berufsrelevante Fehler in Technischen Zeichnungen kontrolliert herbeigeführt. Den Studierenden stehen alle Informationen durch die einschlägige Fachliteratur zur Verfügung. Infolgedessen muss das Feedback zum einen zur Informationssuche und zum anderen für das räumliche Vorstellungsvermögen bezüglich des Transfers von 2-D-Zeichnungen in einen 3-D-Körper ausgelegt werden. Auf diese Weise lassen sich etwaige Fehler diagnostizieren.

Bezüglich der formalen Gestaltung des Feedbacks gilt es darauf zu achten, dass den Studierenden das Feedback erst nach der selbstständigen Aufgabenbearbeitung zur Verfügung gestellt wird. Zusätzlich darf nicht gleichzeitig die informative Hilfestellung in elaborierter Feedbackform zusammen mit der bereits korrekten Lösung erfolgen. Des Weiteren sollten elaborierte Feedbackkomponenten nicht zu umfangreich gestaltet werden und die Lernenden immer die Gelegenheit haben, die Aufgabe im Anschluss an ein Feedback erneut lösen zu können. Abschließend wird überdies eine Rückmeldung benötigt, ob das Lernkriterium erfüllt wurde oder nicht (Narciss, 2006, S.87).

Zur Feedbackevaluation müssen die Ziele, Lernaufgaben und zu erwartenden Fehler unter Berücksichtigung des jeweiligen Lehr-Lernkontexts anschaulich beschrieben werden. Somit sollten den Lernenden die intendierten Funktionen, die ausgewählten inhaltlichen ITF-Komponenten, der Modus sowie die Form der verwendeten informativen tutoriellen Feedbackkomponenten (ITF) erläutert werden. Durch eine derartige Beschreibung hinsichtlich der Dimensionen und Facetten der eingesetzten ITF-Komponenten lassen sich diese in einer Evaluation analysieren (Narciss, 2006, S.90f.).

Dies kann mit sorgfältig angelegten Evaluationskategorien und -indikatoren geschehen. Hierfür sind zum einen beobachtbare Lern- und Motivationsaspekte (z. B. Anzahl an kor-

rigierten Fehlern) und zum anderen berichtbare Selbsteinschätzungen zu nennen (Kirkpatrick, 1967, S.40ff.).

In Tabelle 2.4 werden entsprechende Indikatoren bezüglich Kognition, Metakognition und Motivation von Narciss veranschaulicht.

Grundsätzlich werden bei der Feedbackgestaltung im Rahmen der vorliegenden Studie die mit sechs Studien belegten fünf Empfehlungen von Narciss hinsichtlich des informativen tutoriellen Feedbacks mitberücksichtigt. Diese wären:

1. Feedback erfolgt nach der Aufgabebearbeitung.
2. Elaboriertes Feedback wird nicht unmittelbar zusammen mit Feedback hinsichtlich der korrekten Antwort (KCR) präsentiert.
3. Komplexe Feedbackinhalte werden sukzessive und mit zunehmendem Informationsgehalt im Hinblick auf die jeweilige Strategie dargeboten.
4. Die Lernenden bekommen die Chance, das Feedback für einen weiteren Lösungsversuch zu nutzen.
5. Die Lernenden können die infolge des Feedbacks erworbenen Kompetenzen auf weitere Aufgaben anwenden (Narciss, 2006, S.269f.).

Tabelle 2.4: Indikatoren zur Untersuchung von Feedbackeffekten (Narciss, 2006, S.93)

Feedback-Funktionen	Erwartete Wirkungen	Indikatoren für die erwarteten Wirkungen
		Beobachtbar Berichtbar, d.h. über Fragen erfassbar
Kognitiv		
<ul style="list-style-type: none"> • Informieren • Ergänzen • Korrigieren • Diskriminieren • restrukturieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Fehler werden erkannt • Fehlendes Wissen wird ergänzt • Falsches Wissen wird korrigiert • Ungenaues Wissen wird präzisiert • Falsch verknüpfte Elemente werden neu zugeordnet 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl korrigierter Fehler • Anzahl korrekt/falsch gelöster Aufgaben • Anzahl von Aufgaben, bei denen das Lernkriterium erreicht wurde • Anzahl von Aufgaben, die benötigt wurden, um das Lernkriterium zu erreichen • Abruf von Informationen • Lösungsschritte • Spezifische Strategien
Meta-kognitiv		
<ul style="list-style-type: none"> • Informieren • Ergänzen • Korrigieren • Lenken 	<ul style="list-style-type: none"> • Falsche Strategien werden erkannt • Fehlende Strategien werden ergänzt • Falsche Strategien werden korrigiert • Strategien werden mehr beachtet 	
Motivational		
<ul style="list-style-type: none"> • Anreiz erhöhen • Schwierigkeit reduzieren • Erfolgswahrscheinlichkeit erhöhen • Anstrengung & Erfolg verknüpfen • Chance auf Erleben von Kompetenzzuwachs erhöhen 	<ul style="list-style-type: none"> • Attraktivität von Aufgaben nimmt zu • Bereitschaft Aufgaben zu bearbeiten, nimmt zu • Erfolgszuversicht nimmt zu • Anstrengungsbereitschaft nimmt zu • Ausdauerbereitschaft nimmt zu • Selbstbewertung wird positiver 	<ul style="list-style-type: none"> • Anzahl bearbeiteter Aufgaben • Investierte Zeit - für Aufgaben-Bearbeitung - für Feedback-Bearbeitung • Anzahl von Aufgaben, bei denen die Lernenden aufgegeben haben • Interessanztheit von Aufgaben • Spaß bei der Aufgabenbearbeitung • Bereitschaft, künftig Aufgaben zu bearbeiten • Subjektive Aufgabenschwierigkeit • Erwartungen (z.B. Self-Efficacy) • Subjektive Leistungseinschätzung • Zufriedenheit mit der Leistung

In Anlehnung an diese fünf Feedbackempfehlungen werden für die Untersuchung entsprechende ITF-Komponenten kreiert. Die Verwendung der beiden zu untersuchenden ITF-Komponenten *Knowledge-on-metacognition-Feedback* (KMC) und *Knowledge-on-how-to-proceed-Feedback* (KH) können zur Fehlerdiagnose in Bezug auf die Facette „Funktion“ als geeignet angesehen werden. Während beim *Knowledge-on-metacognition-Feedback* (KMC) Informationen zur Strategie der eigenen Informationssuche zurückgemeldet werden, liefert das *Knowledge-on-how-to-proceed-Feedback* (KH) den direkten Ort, an dem die Information zu finden ist. Demzufolge wäre es denkbar, dass das *Knowledge-on-metacognition-Feedback* (KMC) besser zum Problemlösen geeignet ist. Schließlich sollte zur zielgerichteten Barriereüberwindung hinsichtlich der Informationsbeschaffung der strategische Umgang mit der geeigneten Fachliteratur hilfreich sein. Umgekehrt ist anzunehmen, dass sich das *Knowledge-on-how-to-proceed-Feedback* (KH) für den Erwerb von deklarativem Sachwissen als geeigneter erweist. Denn durch die direkte Angabe des Informationsorts werden die kognitiven Ressourcen, die für die Informationsbeschaffung eingesetzt werden müssten, in Form des *extraneous load* eingespart. Als erste ITF-Komponente, welche die eine Gruppe erhält, dient das *Knowledge-of-result/-response-Feedback* (KR) in Verbindung mit dem *Knowledge-on-metacognition-Feedback* (KMC), das jeder Studierende standardisiert nach der Selbsterschließungsphase in der Feedbackphase der erweiterten Lernschleife schriftlich zur Verfügung gestellt wird. Anhand des *Knowledge-of-result/- response-Feedbacks* (KR) erhalten die Studierenden eine verifizierende Komponente als Rückmeldung darüber, ob die Lösung richtig oder falsch war.

Zur Standardisierung dieser Untersuchung wird ausschließlich standardisiertes Feedback eingesetzt, das zugleich einen adaptiven Charakter besitzt (Vasilyeva et al., 2007, S.11).

Im Fokus steht hier somit nicht das vermeintlich „beste“ Feedback für den Lernprozess, sondern ein passgenaues Feedback zwischen dem Lernprozess und der experimentellen Studie.

Das *Knowledge-on-metacognition-Feedback* dieser Arbeit wird durch die schriftliche Beschreibung einer chronologischen Strategiestruktur zur intendierten Informationssuche digital realisiert. In der Regel beginnt die Informationssuche im Sachwortregister der einschlägigen Literatur und setzt sich fort über die Suche der passenden Überschrift und des passenden Bildes zur jeweiligen Textpassage, in der die Informationen zum Erreichen des externalen Lernziels enthalten sind. Um den Studierenden die komplexen Feedbackinhalte gemäß der Feedbackgestaltungsempfehlung von Narciss sukzessive mit zunehmendem Informationsgehalt zur Verfügung zu stellen, wird die Feedbackphase der Lernschleife zweimal durchlaufen. So wäre zum Lösen der korrekten Schnittansicht bezüglich des Schnittverlaufs paralleler Schnittebenen im Anschluss an die erste Selbsterschließungsphase das folgende metakognitive Feedback denkbar:

Feedbackphase 1

- „Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.“

- „Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufe.“

Anschließend lernen die Studierenden erneut in einer zweiten Selbsterschließungsphase, bis eine weitere Evaluation in der zweiten Feedbackphase folgt.

Feedbackphase 2

- „Suchen Sie das entsprechende Bild über das Sach- und Inhaltsverzeichnis. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den geeigneten Textstellen vereinfacht.“
- „Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.“

Danach erhalten die Studierenden nochmals die Möglichkeit, ihre Erkenntnisse aus dem bisherigen Lernprozess in einer dritten Selbsterschließungsphase anzuwenden. Somit wird die unter Punkt 4 aufgeführte Feedbackgestaltungsempfehlung einer sich ans Feedback anschließenden neuen Lösungsmöglichkeit realisiert. KCR-Feedback in Form der korrekten Lösung wird zudem nicht zusammen mit den beiden Feedbackanteilen KR (Verifikation) und KMC (metakognitives Feedback) gegeben, wodurch Punkt 2 der Feedbackgestaltungsempfehlung verwirklicht wird. Das Feedback wird außerdem in einer gesonderten, dem Lernprozess unmittelbar folgenden Feedbackphase mithilfe eines digitalen Tests erteilt. Somit wird Punkt 1 von Narciss's Empfehlungen, Feedback direkt im Anschluss an die Aufgabenbearbeitung zu geben, genüge getan.

Als zweite ITF-Komponente erhält die andere Gruppe von Studierenden *Knowledge-of-result/-response*-Feedback (KR) in Verbindung mit *Knowledge-on-how-to-proceed*-Feedback (KH). Ebenfalls bekommen auch hier alle Studierenden diese Feedbackkomponente in standardisierter und schriftlich-digitaler Ausführung. Durch das *Knowledge-of-result/-response*-Feedback (KR) wird den Studierenden erneut die verifizierende Komponente der richtigen oder falschen Lösung zurückgemeldet. Zusätzlich liefert das *Knowledge-on-how-to-proceed*-Feedback (KH) dieser Untersuchung in der Regel den exakten Ort der Informationen in der Literatur. Dieser wird den Studierenden über die Seitenzahl und durch den jeweiligen Abschnitt schriftlich mitgeteilt. Somit erfolgt eine didaktische Reduktion erst im Anschluss an das selbstständige Lernen in Form eines Feedbacks. Auf diese Weise wird eine Reduktion des *germane load* aufgrund einer überflüssigen didaktischen Vereinfachung vermieden. Im Zusammenhang mit dem *Knowledge-on-metacognition*-Feedback (KMC) und dem hierfür verwendeten Beispiel zur Lernzielbewältigung des korrekten Schnitts bei einem Schnittverlauf mit zwei parallelen Schnittflächen, lautet das *Knowledge-on-how-to-proceed*-Feedback (KH) in den beiden Feedbackphasen dieser Untersuchung folgendermaßen:

Feedbackphase 1

„Lesen Sie zu diesem Thema im *Hoischen* S.66 noch einmal durch.“

Feedbackphase 2

„Lesen Sie zu diesem Thema im *Hoischen* Absatz 3 auf S.66 noch einmal durch.“

Nach diesem zweiten Feedback – und den beiden vorangegangenen Selbsterschließungsphasen – lernen die Studierenden erneut in einer dritten Lernschleife, um die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Feedback auf die zugrundeliegenden Lernaufgaben anwenden zu können. Demnach werden auch bei der zweiten Feedbackkomponente die fünf Feedbackgestaltungsempfehlungen von Narciss weitestgehend mitberücksichtigt. Anschließend wird in Abbildung 2.33 der steigende Informationsgehalt des ITF während des Lernprozesses veranschaulicht.

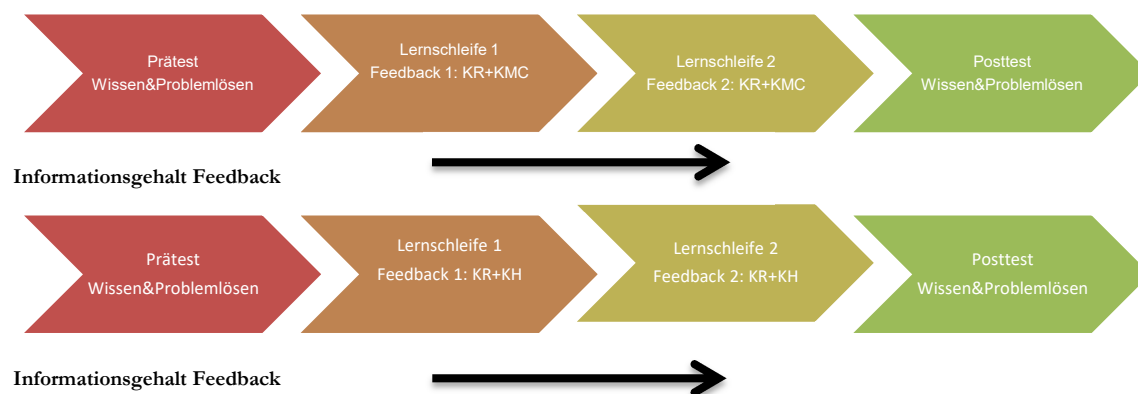


Abbildung 2.33: ITF und Steigerung der Information

Nachfolgend werden die beiden Feedbackarten der jeweiligen Gruppe in Tabelle 2.5 dargestellt.

Tabelle 2.5: Beispiele Feedback zur Studie

	KR+KMC	KR+KH
Phase 1	Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen. Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufe.	Lesen Sie zu diesem Thema im <i>Hoischen</i> S.66 noch einmal durch.
Phase 2	Suchen Sie das entsprechende Bild über das Sach- und Inhaltsverzeichnis. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den geeigneten Textstellen vereinfacht. Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.	Lesen Sie zu diesem Thema im <i>Hoischen</i> den Absatz 3 auf S.66 noch einmal durch.

Infolgedessen ist die Lernprogression der Studierenden davon abhängig, wie effizient innerer und äußerer Regelkreis miteinander synchronisiert werden. Diese Synchronisation erfolgt durch den Lernenden selbst. Allerdings wäre es möglich, dass entweder *Knowledge-on-metacognition* (KMC) oder *Knowledge-on-how-to-proceed* (KH) diese Synchronisation beider Regelkreise besser ermöglicht. Es wäre aber auch vorstellbar, dass beide Feedbackvarianten eine angemessene Lernprogression begünstigen. Diese Sachverhalte sind u. a. Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Studie.

2.3.3 Fazit Säule (C) zum selbstregulierten Lernen als Lernarrangement dieser Untersuchung

Ursprünglich stellte sich in diesem Kapitel die Frage, *wie* das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen nach DIN EN ISO gefördert werden könnte. Angesichts globaler Anforderungen und des Arguments des „lebenslangen Lernens“ richtet sich das Augenmerk in diesem Teilbereich der Operationalisierung auf das selbstregulierte Lernen. Es sei darauf verwiesen, dass sich durch ein derartiges Lernarrangement forschungsmethodisch eine optimierte Standardisierung ergibt, da die Lernprozesse größtenteils von Lehrer oder Kommilitonen unabhängige Resultate zum Vorschein bringen sollten. Im Zuge der Gesamtbetrachtung kristallisierten sich zum einen dem Individuum vorbehaltene, innere Lernprozesse und zum anderen von außen herbeigeführte, zur angemessenen Gestaltung des Lernarrangements erforderliche Faktoren, heraus. Beide Standpunkte, sowohl aus pädagogisch-didaktischer als auch aus lernpsychologischer Perspektive, können während der typischen vier Phasen des selbstregulierten Lernens herangezogen werden. In diesem Sinne lassen sich das informative tutorielle Feedback (ITF) von Narciss (2006) und die externe Lernzielsetzung von Künsting (2007) in die drei Modelle des selbstregulierten Lernens integrieren (vgl. Abbildung 2.23). Diese Integration von ITF und Lernzielen erfolgt einerseits ins Dreischichtenmodell der internen Lernsteuerung von Boekaerts (1999) und andererseits in die erweiterte Lernschleife (Arnold & Mueller, 1993) innerhalb der externen Lernsteuerung vom Modell des selbstregulierten Lernens nach Schiefele und Pekrun (1996) (vgl. Abbildung 2.34). Daraus abgeleitet ergeben sich weitere Fragen zur Studie. Wirken Lernziele mit Blick auf ihren Spezifitätsgrad während des Lernprozesses unterschiedlich? Welche ITF-Komponenten – *Knowledge-on-metacognition* (KMC) vs. *Knowledge-on-how-to-proceed* (KH) – könnten das Lesen und Interpretieren von Fehlern in Technischen Zeichnungen nach DIN EN ISO begünstigen und welche nicht?

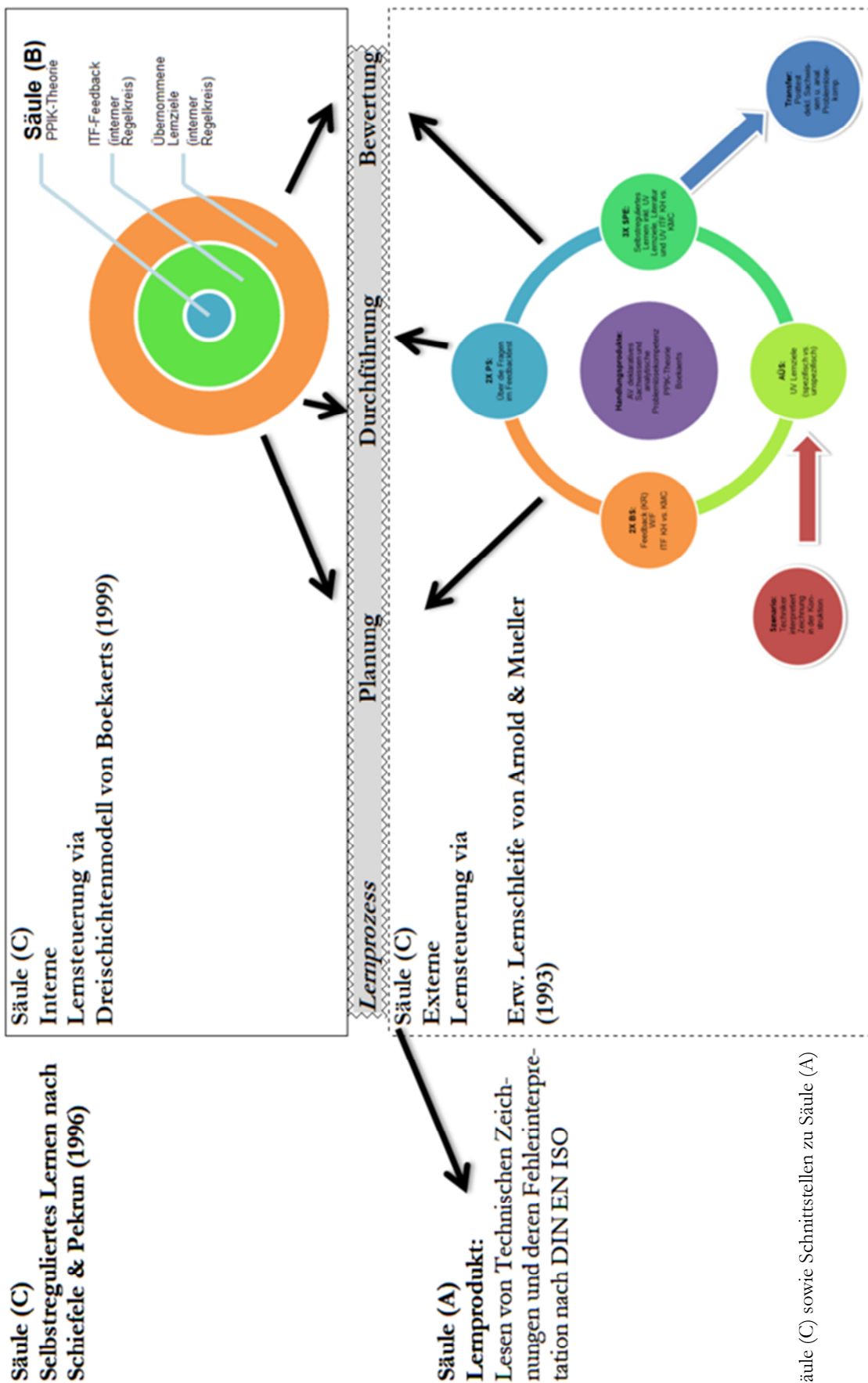


Abbildung 2.34: Säule (C) sowie Schnittstellen zu Säule (A) und (B)

2.4 Fazit: Operationalisierung und theoretische Orientierung

Die Operationalisierung theoretischer Konstrukte zur Studie erfolgte auf drei Säulen, die jeweils unterschiedliche Fragen stellten. Die erste Säule (A) widmete sich der Frage, *was* von den Studierenden der Fachschule während der Studie im Experimentaldesign gelernt werden sollte. Insofern wird sich theoretisch begründet für das Lesen und Interpretieren von Fehlern in Technischen Zeichnungen (DIN EN ISO) – speziell von Schnittdarstellungen – entschieden. Insbesondere Schnittdarstellungen fordern die angehenden Techniker sowohl in Bezug auf ihre räumliche Vorstellungskraft als auch auf ihr Fachwissen heraus. Die zweite Säule (B) ging der Frage nach, *welche* lernpsychologischen Kontextfaktoren während des Lesens und Interpretierens einer Technischen Zeichnung maßgeblich beteiligt sind. An dieser Stelle wird die PPIK-Theorie von Ackerman (1996) herangezogen, die einen integrativen Ansatz zur intellektuellen Kompetenzentwicklung im Erwachsenenalter modelliert. Aus diesem Modell lassen sich die anderen Konstrukte ableiten, die in der vorliegenden Studie einen integrativen Bestandteil darstellen. Große Beachtung wird in dieser Arbeit den Konstrukten *intelligence-as-knowledge* und dem beruflichen Interesse nach Holland (1997) zuteil. Die Schnittstelle zwischen Säule (B) und Säule (C) wird mit dem Dreischichtenmodell des selbstregulierten Lernens von Boekaerts (1999) generiert. Das Dreischichtenmodell beantwortete bereits teilweise die Fragestellung von Säule (C): *Wie* kann das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen – als zentrales Verständigungsmittel im Maschinenbau – angemessen gefördert werden? Grundsätzlich drückt dieses Modell während des Lernens autonom die dafür entscheidenden, inneren lernpsychologischen Abläufe des Individuums aus. Durch das Modell alleine lässt sich jedoch noch keine konkrete theoretische Modellierung zum Fördern der Lernprozesse generieren. Schließlich sind diese Abläufe dem inneren Regelkreis des Lernenden vorbehalten. In jenem Modell sind allerdings die zwei Anknüpfungspunkte „Feedback“ (intermediäre Schicht) und „Ziele“ (äußere Schicht) enthalten. Sowohl Feedback als auch Ziele lassen sich überdies aus einer äußeren pädagogisch-didaktischen Perspektive des selbstregulierten Lernens modellieren, wodurch eine adäquate Schnittstelle zwischen beiden Regelkreisen generiert werden kann. Aus dem pädagogisch-didaktischen Blickwinkel wird selbstreguliertes Lernen extern durch das Modell der erweiterten Lernschleife nach Arnold und Mueller (1993) ermöglicht. Somit wird die Förderung zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen via Feedback und Zielsetzungen ausschließlich dann bewerkstelligt, wenn die Diskrepanz zwischen internem Regelkreis des Lernenden und Regelkreis der externen Lernumgebung während des Soll-Istwert-Vergleichs möglichst klein ausfällt. Im Falle einer gelingenden Synchronisation setzt der Lernende zwischen internem und externem Regelkreis seine individuell bereits erworbenen, lernpsychologischen Kontextfaktoren seitens der PPIK-Theorie aus der Säule (B) zwangsläufig ein. Ergibt sich eine zu große Abweichung während des Soll-Istwert-Vergleichs, muss die erweiterte Lernschleife unter Umständen mehrere Male vom Lernenden absolviert werden. Das Dreischichtenmodell von Boekaert (1999), das im Kern die PPIK-Theorie umschließt, lässt sich zusammen mit

der erweiterten Lernschleife in einen gemeinsamen Kontext des selbstregulierten Lernens nach Schiefele und Pekrun (1996) platzieren. Ausgehend von dieser gemeinsamen Grundlage lassen sich ebenfalls das informative tutorielle Feedback (ITF) nach Narciss (2006) und die Lernzielsetzung nach Künsting (2007) modellieren. Analog hierzu ergeben sich aus dieser Operationalisierung das integrative Gesamtmodell der Studie zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen nach DIN EN ISO sowie ein Modell zu deren Förderung (vgl. Abbildung 2.35). Das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen wird mithilfe von ITF und Lernzielen gefördert. Als wegweisende lernpsychologische Kontextfaktoren bieten sich theoretisch begründet *intelligence-as-knowledge* und berufliches Interesse nach Holland seitens der PPIK-Theorie von Ackerman an.

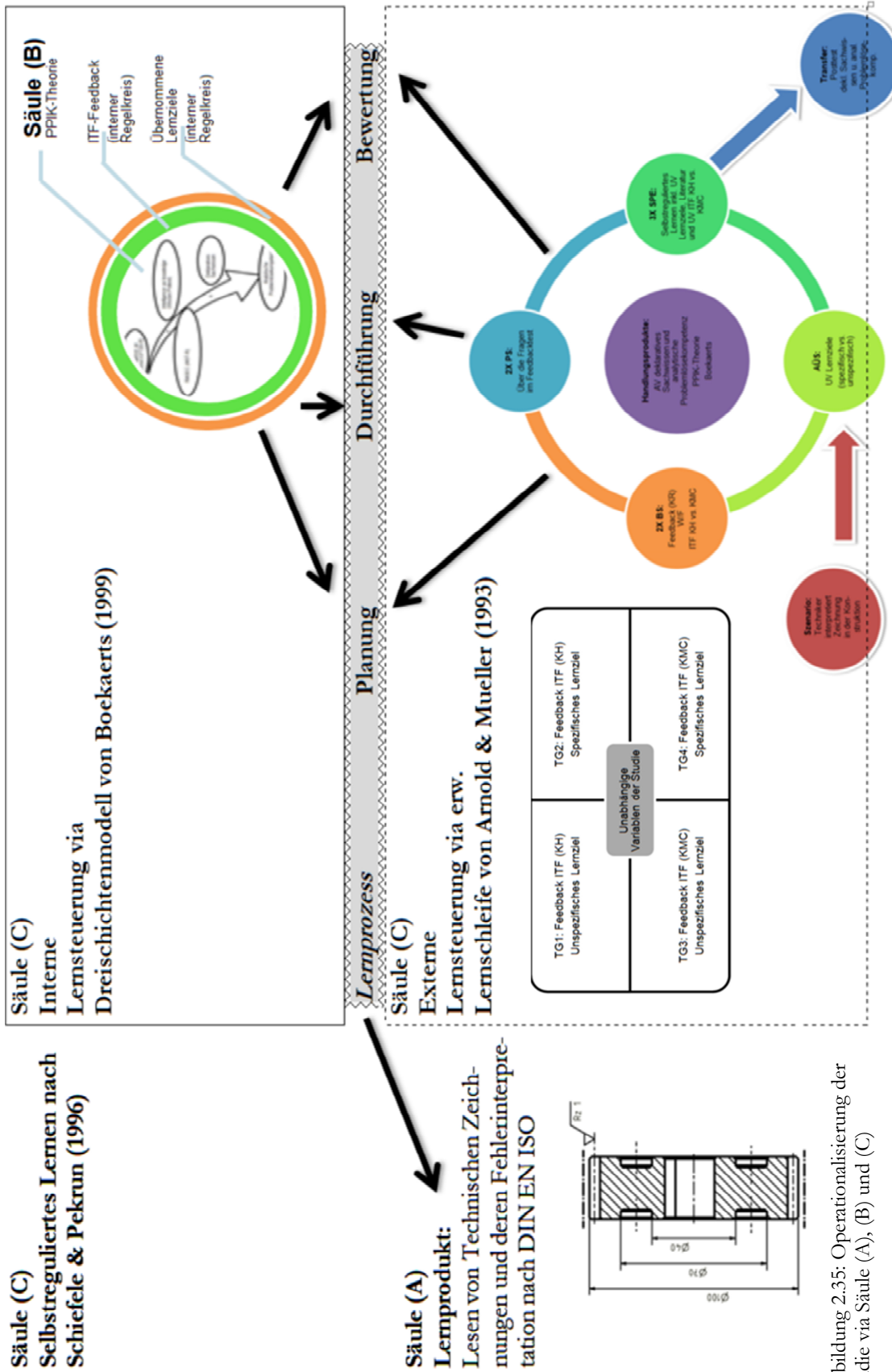


Abbildung 2.35: Operationalisierung der Studie via Säule (A), (B) und (C)

3 Design der Studie

Bis zu diesem Kapitel wurden die theoretischen Säulen *Technische Zeichnungen nach DIN EN ISO*, die *PPIK-Theorie nach Ackerman* und das *Lernarrangement mit dem Konzept des selbstregulierten Lernens* operationalisiert. Demzufolge liegt der Fokus auf der Verifikation der folgenden drei Säulen: Säule (A): *Was soll gelernt werden?* (Technische Zeichnungen), Säule (B): *Welche lernpsychologischen Kontextfaktoren sind hierfür ausschlaggebend?* (PPIK-Theorie), Säule (C): *Wie könnten diese zielgerichtet gefördert werden?* (selbstreguliertes Lernen). In der vorliegenden Studie handelt es sich, wie bereits erwähnt, um eine explanative und experimentelle Feldstudie. Aufgrund dessen wird bereits das deduktive Vorgehen, das ein typisches Charakteristikum des kritischen Rationalismus verkörpert, betont. Die Studie erfolgt im Prä-Posttest-Design und ist infolge des digitalen Formats und des Lernarrangements als selbstreguliertes Lernen durchweg standardisiert. Hierzu tragen ebenfalls die angenommene probabilistische Testtheorie und die Strukturgleichungsmodelle ihren Anteil bei. Prinzipiell lässt sich Säule (C) – *wie* die Lernprozesse gefördert werden könnten – mit den vier Versuchsgruppen durch Kombinationen aus Lernzielen und ITF im Lernarrangement des selbstregulierten Lernens beschreiben. Durch Manipulation der unabhängigen Variablen in den vier *Treatment*-Gruppen und den ermittelten Daten hinsichtlich der PPIK-Theorie aus Säule (B), wird sich ein entsprechender Erkenntnisgewinn erhofft. Doch wie findet die Datenerhebung tatsächlich statt? Welches Skalenniveau bringen die Daten mit, die im Experiment erzeugt werden? Welche methodische Strenge muss zu Beginn und während der Studie berücksichtigt werden? Um welche Stichprobe handelt es sich und welche Tests werden konzipiert bzw. eingesetzt? Diese Fragen sollen u. a. im folgenden Kapitel beantwortet werden (vgl. Abbildung 3.1).

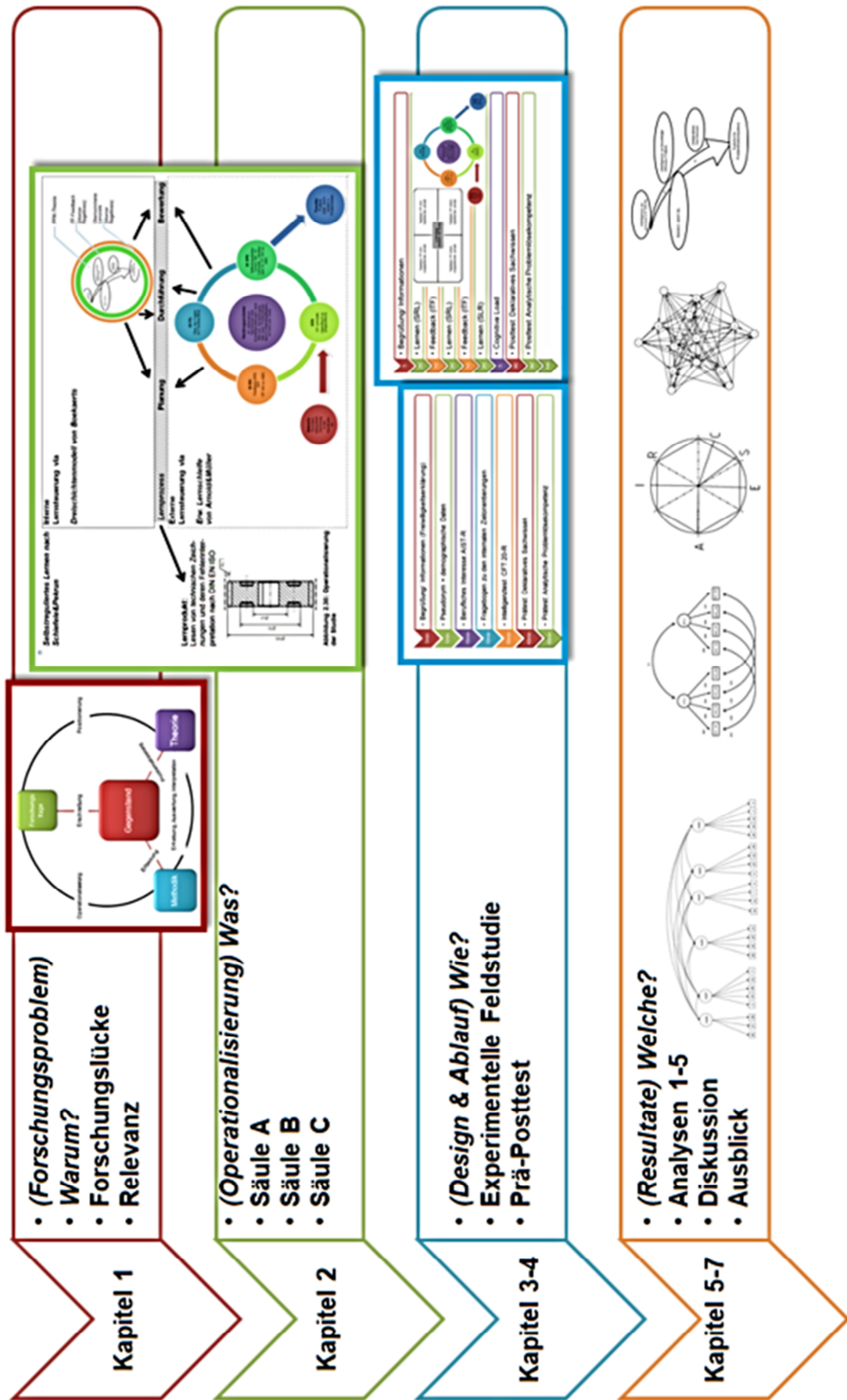


Abbildung 3.1: Design und Durchführung im Gesamtcontext der Studie



3.1 Forschungsstrategie

Als Forschungsstrategie der vorliegenden Arbeit dient die explanative experimentelle Feldstudie mithilfe der Klumpenstichprobe inklusive Messwiederholung.

Analog zum jeweiligen Erkenntnisinteresse können empirische Studien hinsichtlich der drei großen Kategorien explorative, explanative und deskriptive Studie differenziert werden. Mithilfe der explorativen Studie lassen sich Fragestellungen sowie Hypothesen eines Sachverhaltes und damit auch neue Theorien kreieren. Explanative Studien sind auf deren Prüfung ausgerichtet, während deskriptive Studien der Beschreibung von großen Grundgesamtheiten (z. B. in der Meinungsforschung/ Demoskopie eines Landes) dienen (Döring & Bortz, 2016, S.192f.; Hempel & Oppenheim, 1948, S.135-175).

Die vorliegende experimentelle Studie prüft u. a. die theoretischen Modelle Kompetenzmodellierung via CFA in Analyse 1, Invarianzprüfung sowohl im Quer- als auch im Längsschnitt in Analyse 2, Lernprogression via Vergleich von Mittelwerten in Analyse 3, Testung der RIASEC-Interessen von Holland mittels Quasi-Circumplexstruktur nach Nagy in Analyse 4 und schließlich die PPIK-Theorie von Ackerman in Analyse 5.

Bei einer experimentellen Studie ist ein wesentlicher Aspekt, dass die Daten durch Variation der unabhängigen Variablen erst aktiv erzeugt werden müssen. Somit sind die Daten im Gegensatz zu einer Erhebung noch nicht vorhanden (Fahrmeir, Künstler, Pigeot & Tutz, 2007, S.23f.).

Im Rahmen dieses Experiments werden verschiedene Lernziele und ITF als unabhängige Variablen eingesetzt. Jede der vier Versuchsgruppen erhält eine unterschiedliche Kombination, mit deren Hilfe die Daten aktiv durch das Lernarrangement und die Tests herbeigeführt werden.

Diesbezüglich lassen sich Experimente von Quasi-Experimenten und Nicht-Experimenten unterscheiden. Bei Experimenten erfolgt eine aktive Herbeiführung der Daten, während bei Nichtexperimenten die Gruppen (z. B. Computerspieler vs. Nicht-Computerspieler) bereits vorhanden sind und somit lediglich eine Erhebung der Daten erforderlich ist. Experimente lassen sich außerdem von Quasi-Experimenten dadurch abgrenzen, dass bei ersteren eine Randomisierung erfolgt. Demgemäß werden die Versuchsteilnehmer beim Experiment zufällig den Gruppen zugeordnet, wohingegen die Gruppen beim Quasi-Experiment vorher feststehen. Der Unterschied zwischen Quasi- und Nichtexperimenten liegt darin, dass die Daten bei den Quasi-Experimenten wie bei den echten Experimenten noch nicht vorhanden sind und folglich aktiv generiert werden müssen. Dies ist beim Nichtexperiment nicht der Fall, weshalb die Daten passiv über eine Erhebung gewonnen werden. Demnach lassen sich Kausalhypothesen durch Experimente am besten prüfen (Döring & Bortz, 2016, S.193f.).

Außerdem lassen sich wissenschaftliche Untersuchungen in Labor- und Feldstudien unterteilen. Während die Untersuchung im Labor relativ gut die Störvariablen ausschaltet (z.

B. Messung von Abgaswerten eines PKW auf dem Prüfstand), findet die Feldstudie im realen Feld (z. B. Messung von Abgaswerten des PKW im tatsächlichen Straßenverkehr) statt. Für die Generalisierbarkeit ist die Vereinbarkeit zwischen den Konstrukten, Variablen und der Stichprobe entscheidend. So ist es denkbar, dass Studien zum Vokabellernen im Labor durchaus sehr realistisch abschneiden, vergleichbare Studien unter Realbedingungen (d. h. im Forschungsfeld Schulklasse) jedoch derart vielfältigen Störvariablen ausgesetzt sind (z. B. Lehrer, Schüler, Schule), dass mit den Ergebnissen nicht auf Schüler anderer Schulklassen geschlossen werden kann (Döring & Bortz, 2016, S.206f.).

Deshalb findet die explanative experimentelle Feldstudie nicht nur während der regulären Unterrichtszeit statt, sondern sie *ist* der reguläre Unterricht. Durch die pädagogische Lernform selbstreguliertes Lernen (SRL) lernen die Studierenden selbstständig, wodurch die Lerneffekte tatsächlich auf das jeweilige Individuum zurückverfolgt werden können. Die Randomisierung der vier Versuchsgruppen am ersten Testtag trägt ebenfalls dazu bei. Lediglich die Lernziele und das eingesetzte Feedback variieren in den Gruppen. Dies erscheint als legitim, da die Wirkungen in diesem Zusammenhang noch unbekannt sind und somit auch im regulären Unterricht von verschiedenen Lehrern mit unterschiedlichen Präferenzen hinsichtlich Zielen und Feedback divergierend eingesetzt werden würden.

Lassen sich nichtexperimentelle Studien als Querschnitts-, Trend- und Längsschnittstudien modellieren, erfolgt die Differenzierung bei experimentellen Studien zwischen Studien mit bzw. ohne Messwiederholung. Während bei der Studie ohne Messwiederholung ausschließlich nur eine Messung zu einem Zeitpunkt stattfindet, wird bei der Studie mit Messwiederholung zu verschiedenen Zeitpunkten gemessen, z. B. im Prä- Posttest-Design (Döring & Bortz, 2016, S.208ff.; Fahrmeir et al., 2007, S.28).

In dieser Studie werden wie zuvor beschrieben sowohl die Vorteile des Labor- als auch des Feldstudiendesigns mitberücksichtigt, wodurch sich eine explanative, experimentelle Feldstudie ergibt (Walker, 2013, S.102.; Döring & Bortz, 2016, S.208).

Nach dieser Einordnung und Charakterisierung der hier zum Einsatz kommenden Forschungsstrategie ergeben sich Fragen in Bezug auf deren systematische Realisierung: Wie lassen sich in diesem Zusammenhang gleiche Rahmenbedingungen für die Probanden während des Prä- und Posttests generieren? Wie kann eine Auswertung möglichst standardisiert erfolgen? Möglichen Antworten auf diese Fragestellungen wird sich im folgenden Kapitel gewidmet, indem die methodische Strenge der vorliegenden Studie beschrieben wird.

3.2 Wissenschaftliche Qualität durch Gütekriterien in der quantitativen Forschung

Während der Testkonstruktion zu Beginn über die Untersuchungsdurchführung bis hin zur Auswertung ist ein systematisches Vorgehen unabdinglich. Ohne ein adäquates Maß an Standardisierung wären Vergleiche zwischen Studien nicht möglich, da man sonst Unvereinbares zueinander in Beziehung setzen würde. Wie könnte nun ein derart systematisches Vorgehen zur Standardisierung angemessen realisiert werden?

Wissenschaftliche Studien müssen veröffentlicht werden, damit die gewonnenen Erkenntnisse auch anderen für deren Forschung zur Verfügung stehen. Insofern stellt die Veröffentlichung u. a. in schriftlicher Form ein Kommunikationsprozess dar. Damit wissenschaftliche Kommunikation gelingen kann, ist es jedoch von zentraler Bedeutung, dass die Kommunikationspartner die „gleiche Sprache“ sprechen. Allerdings sind die Maßstäbe für die wissenschaftliche Kommunikation selbst ein Ergebnis aus Kommunikationsprozessen. Insofern beschränken sich die Maßstäbe auf Orientierungen, die unter wissenschaftlichen Kommunikationspartnern Anerkennung finden. Dies bedeutet also, dass auf diese Weise eine erfolgreiche wissenschaftliche Kommunikation stattfindet. Diese Kommunikationsmaßstäbe werden als Gütekriterien bezeichnet. Die Untersuchung kann bezüglich der Relevanz in einen theoretischen, praktischen sowie einen politischen Kontext eingeordnet werden (Schlömerkemper, 2010, S.42).

Neben der Testung und Evaluation der Konstrukte aus den drei operationalisierten Säulen Technische Zeichnung nach DIN EN ISO, PPIK-Theorie und selbstreguliertes Lernen als theoretischer Kontext, besteht die praktische Relevanz dieser Arbeit aus einem Erkenntnisgewinn hinsichtlich der angemessenen Förderung der Kompetenzen, die zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen als notwendig zu erachten sind. Indes liefert ein digitales Feedback zu Zeiten der Corona-Pandemie eine Möglichkeit zum Online-Unterricht mit Blick auf einen politischen Hintergrund.

Insbesondere psychometrische Tests müssen geeignete Gütekriterien erfüllen, damit die methodische Strenge der Untersuchung gewährleistet wird. Aus diesem Blickwinkel heraus lassen sich Haupt- und Nebengütekriterien unterscheiden (Lienert, 1969, S.12.; Döring & Bortz, 2016, S.93).

Von einem Test wird dann gesprochen, wenn die Untersuchung wissenschaftlich begründet, routinemäßig – und somit standardisiert durchführbar – sowie empirisch überprüfbar ist; außerdem muss eine Referenz innerhalb der Gruppe für das geprüfte Individuum vorhanden sein (Lienert, 1969, S.7).

Nachfolgend wird eine Übersicht der Differenzierung von Gütekriterien psychometrischer Tests (Abbildung 3.2) veranschaulicht.

Objektivität bedeutet, dass die Messdaten unabhängig von der durchführenden, auswertenden oder interpretierenden Person sein müssen (Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität). Somit sind die Ergebnisse immer annähernd die gleichen (Aeppli, Gasser, Gutzwiller & Tettenborn, 2010, S.119f.; Lienert, 1969, S.13f.; Moosbrugger & Kelava, 2007, S.8).

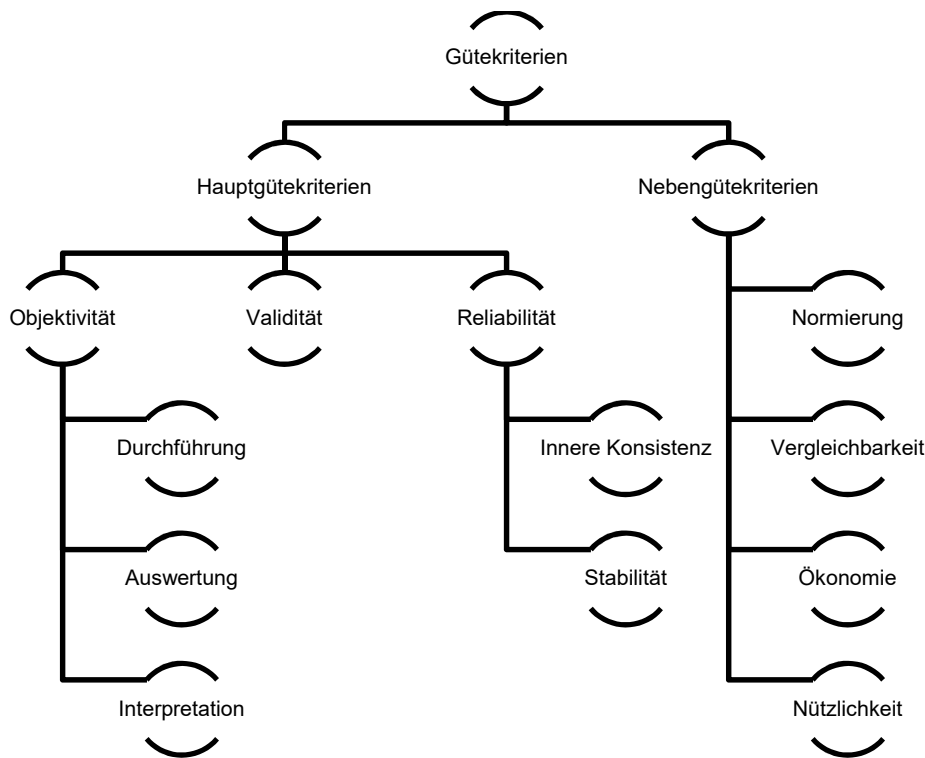


Abbildung 3.2: Gütekriterien psychometrischer Tests (modifiziert und aktualisiert hinsichtlich Validität) (Lienert, 1969, S.12; Bühner, 2006, S.44)

Im Zuge der Versuchsdurchführung gilt es darauf zu achten, dass jene konstant gehalten wird und somit nicht von Versuch zu Versuch variiert. U. a. sollte dabei das Augenmerk insbesondere auf die Instruktion gelegt werden. Gibt der Versuchsleiter im Rahmen eines Versuchs beispielsweise an, schnell und sorgfältig und bei dem anderen Versuch lediglich schnell zu arbeiten, kann dies Auswirkungen auf die Ergebnisse des Versuchs mit sich bringen. Damit wäre die Durchführungsobjektivität verletzt (Moosbrugger & Kelava, 2007, S.8f.; Bühner, 2006, S.34; Lienert, 1969, S.13).

Auch die Auswertung kann unter Umständen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Dies reicht von Anwendungsfehlern mit Auswertungsschablonen bis hin zu Fehlinterpretationen von Antworten. Vor diesem Hintergrund müssen daher Auswertungsregeln aufgestellt werden, die eine klare Auswertung zulassen und so die Auswertungsobjektivität garantieren. Durch Multiple-Choice-Formate kann die Auswertungsobjektivität in der Regel sichergestellt werden (Moosbrugger & Kelava, 2007, S.9f.; Bühner, 2006, S.34f.; Lienert, 1969, S.13).

Zuletzt sollte auch die Interpretationsobjektivität gewährleistet sein. Hierzu ist es erforderlich, dass jeder Auswerter mit dem gleichen Maßstab misst. Dies setzt ausreichend große Normstichproben sowie vorab festgelegte Gütekriterien voraus. Aus diesem Grund sollte auch die Interpretation durch Regeln standardisiert sein, damit unterschiedliche Testauswerter im gleichen Test zum gleichen Ergebnis kommen (Moosbrugger & Kelava, 2007, S.10; Bühner, 2006, S.35; Lienert, 1969, S.14).

Die Korrektheit des Objekts kann ferner nicht damit erzeugt werden, dass es zu sich selbst Stellung nimmt. Insofern ist die Objektivität erkenntnistheoretisch ausschließlich als intersubjektive Übereinstimmung bestimmbar. In diesem Zusammenhang wird die Bedeutung entsprechender Definitionen ersichtlich, da sie zur Vereinheitlichung von Begriffen hilfreich sind. Möglichkeiten wären z. B. eine Verbal-, Nominal- oder Realdefinition sowie die Operationalisierung. Die Operationalisierung, welche die exakteste Form der Abgrenzung darstellt und komplexe Sachverhalte analog vereinfacht, dient in dieser Untersuchung (vgl. Kapitel 2) als Definitionsgrundlage für die abhängigen sowie unabhängigen Variablen (Schlömerkemper, 2010, S.44ff.).

Als Beispiel hierzu lässt sich das deklarative Sachwissen heranziehen. Die 30 Items des deklarativen Sachwissens werden über einen digitalen Multiple-Choice-Test auf der digitalen Lernplattform Moodle des Balthasar-Neumann-Technikums in Trier quantitativ durchgeführt, erfasst und ausgewertet. Durch diese standardisierte Testform werden somit die Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität sichergestellt. Zusätzlich dienen vor Durchführung der einzelnen Tests digitale Intros und anzuwendende Vorabbeispiele mit anschließendem digitalem Feedback zur standardisierten Vorabinformation.

Ein Blick rechts neben die Objektivität in Abbildung 3.2 veranschaulicht die Validität. Diese kann als das komplexeste und zugleich bedeutendste Gütekriterium empirischer Sozialforschung angesehen werden (American Educational Research Association, American Psychological Association & National Council on Measurement in Education, 2014, S.11; Blömeke, 2013, S.2).

An dieser Stelle ist darauf zu verweisen, dass unter der Validität eines Tests die Gültigkeit verschiedener Interpretationen von Testergebnissen zu verstehen ist, da die Validität ein relativ breit definiertes Gütekriterium darstellt (Hartig et al., 2012, S.144.; Blömeke, 2013, S.2).

Ein weitestgehend einheitliches Begriffsverständnis, wie es für die Reliabilität und die Objektivität existiert, liegt demnach für die Validität nicht vor. Bereits die klassische Definition von Validität, die angibt, ob ein Test das misst, was er messen soll, da er schließlich auch sehr präzise (reliabel) etwas ganz anderes messen kann, stellt sich als schwer verifizierbar dar (Blömeke, 2013, S.1).

Sowohl die Bezeichnung „Validität der Tests“ als auch die Unterscheidung verschiedener Arten von Validität (z. B. Konstrukt-, Kriteriums- und Inhaltsvalidität), wird heute als nicht mehr tragbar angesehen (American Educational Research Association, American Psychological Association, National Council on Measurement in Education & Joint

Committee on Standards for Educational and Psychological Testing (U.S.), 1995, S.9-13; Blömeke, 2013, S.7-8).

Demzufolge zeichnet sich ein derartiges, früheres Verständnis von Testvalidität als inkohärent ab. Stattdessen ist der Begriff „Validität“ als Evidenz für die Gültigkeit einer tragfähigen Testinterpretation zu verstehen. Demnach beinhaltet Validität als Prozess Ansammlungen der zur Testinterpretation relevanten Evidenzen. Analog hierzu wird zu Beginn ein explizites Statement in Form einer Deskription des für die Untersuchung spezifiziert gültigen Rahmens formuliert. Hier lassen sich die zu beurteilenden Fähigkeiten oder Kompetenzen als Beispiele voneinander abgrenzen (American Educational Research Association et al., 2014, S.11).

Insgesamt wird Validität als einzigartiges, untrennbares Gütekriterium angesehen, das sich zwar durch unterschiedliche Facetten auszeichnet, jedoch nicht in verschiedene Arten von Validität unterteilen lässt (American Educational Research Association et al., 2014, S.13f.; Moosbrugger & Kelava, 2020, S.544).

In diesem Zusammenhang können bedeutsame Evidenzen infolge einer geeigneten Passung zwischen dem Testinhalt und dem dadurch zu messenden Konstrukt realisiert werden (*Evidence Based on Test Content*). Folglich können Experten zur Testgestaltung miteinbezogen werden, um das zu messende Konstrukt adäquat abzubilden. Damit kann z. B. verhindert werden, dass das Konstrukt aufgrund eines zu leichten oder zu schweren Tests unzureichend abgebildet wird (American Educational Research Association et al., 2014, S.14f.).

Außerdem ist es maßgebend, dass der Test ausschließlich das zu messende Konstrukt abbildet (*Evidence Based on Response Processes*) und dafür weniger interessante Aspekte ausschließt. So kann beispielsweise die Qualität der Handschrift als irrelevant angesehen werden, wenn es um die Beurteilung des Inhalts eines Aufsatzes geht (American Educational Research Association et al., 2014, S.15f.).

Überdies stellt sich die Frage, ob das zu messende Konstrukt ein- oder mehrdimensional vorliegt (*Evidence Based on Internal Structure*). So könnte z. B. eine Umfrage zur Gesundheit physikalische und emotionale Aspekte zugleich abbilden (American Educational Research Association et al., 2014, S.16).

Nicht selten spielt der Zusammenhang unterschiedlicher latenter Variablen auf der Strukturebene eine wichtige Rolle (*Evidence Based on Relations to Other Variables*). Die Beziehung von Testergebnissen und anderen Messungen kann gleiche oder verschiedene Konstrukte beurteilen. Wird erwartet, dass ein Multiple-Choice-Test zum Leseverstehen mit anderen Tests zum Leseverstehen verwandt ist, wird von *convergent evidence* gesprochen. Im Gegensatz hierzu wird bei *discriminant evidence* kein Zusammenhang erwartet (American Educational Research Association et al., 2014, S.16f.).

Ausgehend von diesen Deskriptionen zur Validität kristallisieren sich folgende Standards heraus, die ihrerseits in drei Hauptgruppen zusammengefasst werden können:

- I. Argumentation während der Interpretation und des Gebrauchs
- II. Argumentation von Problemen hinsichtlich *Samples* und *Settings*
- III. Spezifizierung der Evidenzen als Indizien einer Validität (American Educational Research Association et al., 2014, S.23)

Schließlich findet die experimentelle Studie während der üblichen Unterrichtszeit als regulärer Unterricht statt. Außerdem sind die Tests über die digitale Lernplattform Moodle standardisiert. Das pädagogische Konzept des selbstregulierten Lernens gewährleistet ein durch die einzelne Person reguliertes Lernen, wodurch die Ergebnisse individuell erzeugt werden und somit lehrerunabhängig Schlussfolgerungen ermöglichen. Die Klumpenstichproben werden durch das zufällige Ziehen von Anmeldeaccounts für die digitale Lernplattform Moodle und den damit verbundenen Gruppenzuweisungen entsprechend randomisiert. Folglich können aufgrund dessen Kausalhypothesen begünstigt werden. Das Lesen einer Technischen Zeichnung ist eine reale Handlungssituation für den Techniker in der Konstruktion oder in der Fertigung im Maschinenbau. Diesbezüglich muss der staatlich geprüfte Techniker Maschinenbau zum einen die Technische Zeichnung korrekt lesen sowie Fehler diagnostizieren können, und zum anderen eventuell nötige Korrekturen verbal sowie schriftlich mit seinen Mitarbeitern kommunizieren. Insofern müssen diese Informationen in dem kognitiven Repertoire des Technikers explizit zur Verfügung stehen. Deshalb sollten der Multiple-Choice- und der Fehlerzuordnungstest jeweils in der digitalisierten und in der standardisierten Form über die Lernplattform Moodle des BNT Trier die Evidenzen zur Validität begünstigen.

In dieser Untersuchung werden mit den beobachteten Daten Strukturgleichungsmodelle geschätzt. Durch die Feststellung von Invarianz im Quer- und Längsschnitt lässt sich in Kombination mit den vorherigen Maßnahmen (z. B. explanatives experimentelles Feldstudien-design) eine verhältnismäßig tragfähige Evidenz zur Validität provozieren. An dieser Stelle gilt es zu betonen, dass die konfirmatorische Faktorenanalyse (CFA) als unverzichtbares Werkzeug anzusehen ist, um Evidenzen einer Validität zu dokumentieren (Brown, 2006, S.2ff.).

Die Tests sind im Rahmen von Kapitel 3.4.2 beschrieben. Zu jedem Test existiert eine korrespondierende Deskription. Auch das theoretische Fundament wird in Kapitel 2 operationalisiert. Die zur Ergebnisinterpretation notwendigen Informationen der Strukturgleichungsmodelle (z. B. Modell-Fit-Werte) werden zur besseren Übersichtlichkeit zusätzlich unter den Abbildungen präsentiert.

Neben den beiden bereits erläuterten Hauptgütekriterien Objektivität und Validität wird im Folgenden nun auch die Reliabilität als weiteres, wesentliches Kriterium näher beleuchtet. Diese gibt die Zuverlässigkeit oder Präzision eines Tests an. Üblicherweise kann gemäß der klassischen Testtheorie nach Retest-, Paralleltest- und Split-Half-Reliabilität differenziert werden. Bei der Retest-Reliabilität wird der gleiche Test in einem zeitlichen Abstand wiederholt. Kann nur zu einem einzigen Zeitpunkt gemessen werden, erfolgt dies stattdessen durch zwei weitestgehend ähnliche Tests mithilfe der Paralleltest-Reliabilität. Eine weitere Möglichkeit bietet die Split-Half-Reliabilität, bei der die Daten

aus einem Test (z. B. psychometrischer Test) nach dem Zufallsprinzip gesplittet werden (Aeppli et al., 2010, S.120f.; Bühner, 2006, S.35f.; Lienert, 1969, S.14ff.; Schlömerkemper, 2010, S.47f.; American Educational Research Association et al., 2014, S.37f.).

Die Reliabilität wird durch den Reliabilitätskoeffizienten (vgl. Formel 3.1) angegeben, der aus dem Bruch der wahren Varianz im Zähler und der beobachteten Varianz im Nenner resultiert:

$$\text{Reliabilität} = \frac{\text{wahre Varianz}}{\text{beobachtbare Varianz}} = \frac{\text{Var}(T_{(X)})}{\text{Var}(X)}$$

Formel 3.1: Reliabilitätskoeffizient (Rost, 2004, S.38)

Der Koeffizient liegt immer zwischen 0 und 1, da die wahre Varianz grundsätzlich kleiner als die beobachtbare Varianz ist. Ein Reliabilitätskoeffizient von 0 bedeutet, dass das Ergebnis aufgrund eines Messfehlers zustande gekommen ist. Ein Wert von 1 bedeutet, dass es bei der Messung keinen Messfehler gab und somit ein 100% genaues Ergebnis vorliegen würde. Der Reliabilitätskoeffizient sollte im Allgemeinen einen Wert von 0,7 nicht unterschreiten (Rost, 2004, S.38f.; Moosbrugger & Kelava, 2007, S.11).

Es existieren jedoch z. B. gerade in den Sozialwissenschaften Messfehler, die zufällig in Erscheinung treten und sich damit von systematischen Messfehlern unterscheiden. Diese zufälligen Messfehler verschlechtern die Qualität empirischer Studien infolge einer niedrigeren Reliabilität beträchtlich (Urban & Mayerl, 2014, S.19).

In der vorliegenden Untersuchung wird also nicht von der klassischen, sondern der probabilistischen Testtheorie ausgegangen (vgl. Kapitel 3.4.1).

Demzufolge wird die Reliabilität via Strukturgleichungsmodellierung (SEM) durch messfehlerbereinigte (minderungskorrigierte) Variablenzusammenhänge in Mplus7 geschätzt (Urban & Mayerl, 2014, S.16; Geiser, 2011, S.42; Weiber & Mühlhaus, 2014, S.7).

Die SEM untergliedert dabei die Varianzen in drei Teile: valide Varianz, sowie systematische und zufällige Fehlervarianz. Somit steigert sich die Reliabilität infolge der SEM aufgrund der identifizierten zufälligen Varianz erheblich (Kaplan, 2009, S.43; Urban & Mayerl, 2014, S.17; Bollen & Hoyle, 2012, S.57f.).

Der Begriff *unique variance* bezieht sich auf die komplette Fehlervarianz eines Items bzw. Indikators, die sich nach dem spezifischen (*specific variance*) und dem unspezifischen Fehleranteil (*error variance*) differenzieren lässt (Xing & Hall, 2015, S.124; Bollen & Curran, 2006, S.246).

In der SEM gilt die Differenz zwischen idealer Reliabilität und geschätzter Reliabilität als Fehlervarianz des Indikators (Urban & Mayerl, 2014, S.20).

Hierdurch wird u. a. das große Potential der SEM und deren häufige Anwendung, beispielsweise in den Sozialwissenschaften, ersichtlich (Kline, 2011, S.14).

Neben den Hauptgütekriterien existieren die sogenannten Nebengütekriterien eines Tests, die sich nicht als Kennwert durch eine Zahl veranschaulichen lassen (Lienert, 1969, S.19).

Liegen Normen eines Tests vor, so lässt sich als Normierung eine Aussage darüber treffen, ob die Versuchsperson den Test unter-, über- oder durchschnittlich im Vergleich zu anderen Personen absolviert hat. Testnormen sollten nach der DIN 33430 aktuell, d. h. nicht älter als acht Jahre, sein. Die Daumenregel von 300 Probanden entspricht der Mindestgröße einer Normstichprobe (Bühner, 2006, S.43).

Eine Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Tests, die den gleichen Gültigkeitsbereich für sich in Anspruch nehmen, wird durch ähnliche Ergebnisse der Versuchspersonen in beiden Tests sichergestellt. Dies ist gegeben, wenn entweder mehrere Paralleltestformen vorhanden oder validitätsähnliche Tests verfügbar sind (Lienert, 1969, 18f.; Bühner, 2006, S.44).

Eine kurze Durchführungszeit, geringer Materialeinsatz, eine einfache Handhabung, eine schnelle und bequeme Auswertung sowie die Option der Durchführung als Gruppentest stellen eine angemessene Testökonomie sicher. Je mehr von diesen genannten Bedingungen erfüllt sind, umso ökonomischer ist folglich der Test (Lienert, 1969, S.19; Bühner, 2006, S.44).

Die zwei bedeutsamsten Faktoren der Testökonomie werden durch den Material- und den Zeitaufwand bestimmt. Digitale Tests am Computer erfüllen dieses Kriterium normalerweise. Insgesamt ist festzuhalten, dass der Erkenntnisgewinn durch den entstandenen Aufwand zur Erfüllung der Ökonomie gerechtfertigt werden kann (Moosbrugger & Kelava, 2007, S.20f.).

Die digitalen Tests über die Lernplattform Moodle, deren Durchführung während der gewöhnlichen Unterrichtszeit als regulärer Unterricht erfolgt, sollten dieses Gütekriterium somit erfüllen.

Liegt ein geeignetes Verfahren zur gewünschten Variablenerfassung noch nicht vor, ist eine Neuentwicklung von Tests grundsätzlich anzustreben. Dies wird als Nützlichkeit bezeichnet. Eine Testentwicklung trotz zahlreichen etablierten und bisher bewährten Verfahren wäre explizit zu begründen (Moosbrugger & Kelava, 2007, S.21f.; Bühner, 2006, S. 44; Lienert, 1969, S.19).

Die hier eigens entwickelten Tests zur Erfassung des deklarativen Sachwissens und der analytischen Problemlösekompetenz beim Lesen sowie Interpretieren Technischer Zeichnungen mit jeweils 30 Items sind für diese Untersuchung absolut notwendig, da vergleichbare Tests nicht ausfindig gemacht werden konnten.

Die ethische Strenge ist das anspruchsvollste Gütekriterium wissenschaftlicher Verantwortung (Schlömerkemper, 2010, S.51).

Diesbezüglich steht u. a. in der Präambel des Ethik-Kodex der Deutschen Gesellschaft für Erziehungswissenschaft (DGfE) unter §1 Forschung Absatz 5:

In ihrer Rolle als Forschende, Lehrende und in der Praxis Tätige tragen DGfE-Mitglieder eine besondere soziale Verantwortung. Ihre Empfehlungen, Entscheidungen und Aussagen können das Leben ihrer Mitmenschen beeinflussen. Sie sind sich der Gefahren und Zwänge bewusst, die zu einem Missbrauch ihres Einflusses

führen können, und bemühen sich, dass ein solcher Missbrauch und nachteilige Auswirkungen auf andere Menschen vermieden werden (Götz & Aufenanger, 2005).

An dieser Stelle wird vergegenwärtigt, dass die aus der Studie abgeleiteten kausalen Schlüsse Auswirkungen auf die Gesellschaft haben könnten. Aus diesem Grund gilt es in der vorliegenden Studie erneut darauf hinzuweisen, dass es hier nicht um eine Wahrheitsbehauptung, sondern um eine Wahrheitssuche geht. Überdies lassen sich die kausalen Schlüsse aus dem aufgestellten Gesamtmodell dieser Untersuchung ebenfalls infolge weiterer Forschung im Sinne des kritischen Rationalismus falsifizieren. Im Übrigen hat die Studie nicht zum Ziel, maßgeschneiderte Anleitungen zu einer Lernprozessgestaltung zu produzieren. Vielmehr geht es um eine Orientierung für die Beteiligten, die Lernprozesse initiieren und praktizieren. Hier könnten beispielsweise Lehrer die lernpsychologischen und pädagogisch-didaktischen Erkenntnisse dieser Studie in ihre eigene professionelle Erfahrung integrieren und auf dieser Grundlage möglicherweise effizientere Lernarrangements infolge einer optimierten Passung beider Regelkreise gestalten.

3.3 Variablen, Daten und Skalenniveaus der Studie

Bis hierhin wurde die allgemeine Forschungsstrategie – in Form eines Experiment – beschrieben. Zur adäquaten Umsetzung haben sich sowohl die methodische als auch die ethische Strenge als geeignet herauskristallisiert. Wie lassen sich die via Experiment generierten Daten hinsichtlich ihres Informationsgehalts differenzieren? Und welche Variablen können voneinander abgegrenzt werden? Diese Fragestellungen gilt es nachfolgend zu beantworten. Zur Datengenerierung sind angemessene Tests notwendig. Die gemessenen Daten lassen sich in Skalenniveaus festhalten. Demnach wäre zu überlegen, welche Variablen und Skalenniveaus in der vorliegenden Studie vorkommen.

Die an der statistischen Einheit (oder auch Merkmalsträger, hier die Studierenden der Fachschule) zu beobachtbaren Größen werden Merkmale oder Variablen genannt. Merkmalsausprägungen hingegen beschreiben das Merkmal anhand gewisser Werte. So hat z. B. das Merkmal oder die Variable „Geschlecht“ die Merkmalsausprägungen „weiblich“ bzw. „männlich“. Eine weitere Unterscheidung bezüglich Variablen (Merkmalen) kann zwischen diskreten und stetigen Merkmalsausprägungen getroffen werden. Zähl-daten sind dabei diskret (z. B. Anzahl der Kinder in einem Haushalt), während stetige Daten jeden Wert innerhalb eines Intervalls annehmen können (z. B. Körpergröße) (vgl. Tabelle 3.1 & 3.3) (Fahrmeir et al., 2007, S.15f.).

Demzufolge handelt es sich in dieser Studie (z. B. CFT 20-R, AIST-R) um diskrete (zählbare) Merkmalsausprägungen, was den häufigsten Messanwendungen in den Sozialwissenschaften entspricht (Millsap, 2011, S.14).

Tabelle 3.1: Statistische Einheiten, Merkmale, Gesamtheiten (Fahrmeir et al., 2007, S.15)

Statistische Einheiten	Objekte, an denen interessierende Größen erfasst werden
Grundgesamtheit	Menge aller für die Fragestellung relevanten statistischen Einheiten
Teilgesamtheit	Teilmenge der Grundgesamtheit
Stichprobe	Tatsächlich untersuchte Teilmenge der Grundgesamtheit
Merkmal	Interessierende Größe, <i>Variable</i>
Merkmalsausprägung	Konkreter Wert des Merkmals für eine bestimmte statistische Einheit

Des Weiteren geht es um die Frage, wie sich die gemessenen Daten interpretieren lassen. Dazu werden sie in vier unterschiedliche Skalenniveaus eingeteilt. Die Nominalskala beinhaltet Daten, die nicht eingeordnet werden können und damit nicht in einer Rangliste aufführbar sind, wie beispielsweise die Farben von Autos. Anders verhält es sich bei der Ordinalskala. Hier kann zwar ein Rang zugeordnet werden, die Abstände zwischen den Rängen sind jedoch nicht feststellbar. Dies trifft z. B. auf Schulnoten zu. Die Note Eins ist nach dem deutschen Schulsystem besser als die Note Zwei. Der Abstand zwischen der jeweiligen Eins und der jeweiligen Zwei kann jedoch unterschiedlich sein. Intervallskalierte Daten lassen sich zwar messen, haben aber keinen gemeinsamen Bezugspunkt. Im Gegensatz dazu bietet die Verhältnisskala einen gemeinsamen Referenzpunkt, wodurch sich die Daten miteinander in einem entsprechenden Verhältnis interpretieren lassen. Häufig werden die Intervall- und Verhältnisskalen zu einer Kardinalskala zusammengefasst. Deren Daten werden aufgrund der jeweiligen Messbarkeit als metrisch bezeichnet. Während qualitative Daten keine Aussage über die Intensität eines Ausmaßes liefern, stellen quantitative Merkmale die jeweilige Intensität des Ausmaßes dar (Fahrmeir et al., 2007, S.18).

Die Messdaten dieser Untersuchung zum deklarativen Sachwissen und zur analytischen Problemlösekompetenz können als dichotome, kategoriale Daten infolge der Tests gewonnenen werden (vgl. Tabelle 3.2).

Tabelle 3.2: Skalenniveaus im Überblick (Fahrmeir et al., 2007, S.18).

Skalenart	Sinnvoll interpretierbare Berechnungen			
	auszählen	ordnen	Differenzen bilden	Quotienten bilden
nominal	ja	nein	nein	nein
ordinal	ja	ja	nein	nein
intervall	ja	ja	ja	nein
verhältnis	ja	ja	ja	ja

Diesen kategorialen Daten kommt im Hinblick auf sogenannte qualitative und quantitative Daten eine ambivalente Funktion zu, da sich kategoriale Daten qualitativen Daten zuordnen lassen (Fahrmeir et al., 2007, S.14).

Diese Zuordnung der Daten ist nicht mit dem quantitativen Studiendesign dieser Untersuchung zu verwechseln (Döring & Bortz, 2016, S.27).

Tabelle 3.3: Merkmalstypen (Fahrmeir et al., 2007, S.20)

Merkmalstypen	
diskret	Endlich oder abzählbar unendlich viele Ausprägungen
stetig	Alle Werte eines Intervalls sind mögliche Ausprägungen
nominalskaliert	Ausprägungen sind Namen, keine Ordnung möglich
ordinalskaliert	Ausprägungen können geordnet, aber Abstände nicht interpretiert werden
intervallskaliert	Ausprägungen sind Zahlen, Interpretation der Abstände möglich
verhältnisskaliert	Ausprägungen besitzen sinnvollen absoluten Nullpunkt
qualitativ	Endlich viele Ausprägungen, höchstens Ordinalskala
quantitativ	Ausprägungen geben Intensität wieder

Neben den Skalenniveaus, in welche die Daten überführbar sind, können während des Experiments zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen differenziert werden.

Im Experiment werden die unabhängigen Variablen zielführend manipuliert, um aus den von ihnen abhängigen Variablen kausale Schlüsse ziehen zu können (Döring & Bortz, 2016, S.194).

In der vorliegenden Studie werden die unabhängigen Variablen „*Knowledge-on-metacognition* (KMC)“ und „*Knowledge-on-how-to-proceed* (KH)“ kombiniert mit „*Knowledge of result/ response* (KR)“ als ITF-Komponenten sowie die beiden Lernzielsetzungen *spezifisch* vs. *unspezifisch* innerhalb vier Gruppen unterschiedlich zusammengestellt. Wie zu erkennen, beziehen sich die unabhängigen Variablen im Experiment ausschließlich auf die theoretisch operationalisierten Konstrukte ITF und Lernziele der Säule (C) bezüglich der Frage, *wie* das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen nach DIN EN ISO gefördert werden könnte. Zwischen den beiden unabhängigen Variablen unspezifischer und spezifischer Lernziele ergibt sich eine Differenz hinsichtlich der Lernzielanzahl. So lassen sich durch spezifische Lernziele mehr Lernziele generieren als durch unspezifische. Soll das Lernziel unspezifisch sein, so ist damit ein gewisser Spielraum bezüglich des Themenbereichs verbunden. Anders verhält es sich in Verbindung mit spezifischen Lernzielen, bei denen dieser freie Raum möglichst klein gehalten wird. Hierdurch ergibt sich beim selben Themenbereich eine geringere Anzahl an unspezifischen Lernzielen als an spezifischen. Folglich ist z. B. das Verhältnis von unspezifischen zu spezifischen Lernzielen dieser Untersuchung auf dem Themengebiet „Schraffur von Schnittflächen“ gleich 1:6. Für diese Arbeit sind insgesamt 10 unspezifische und 30 spezifische Lernziele zu verzeichnen. Somit beträgt das Verhältnis zwischen allen unspezifischen und allen spezifischen Lernzielen insgesamt 1:3. Dies verdeutlicht die Variation der Verhältnisse bezüglich der Lernzielanzahl von unspezifischen zu spezifischen Lernzielen innerhalb der unterschiedlichen Themenbereiche des vorliegenden Experiments. Veranschaulicht wird dieser Sachverhalt in Tabelle 3.5 als Auszug aus dem im Anhang befindlichen Item-Katalog.

Im Vergleich hierzu umfasste die Künsting-Studie 14 spezifische und 3 unspezifische Lernziele (Künsting, 2007, S.204f.).

Anders als bei der unabhängigen Variablen „Lernziele“ gibt es für die unabhängige Variable „informatives tutorielles Feedback“ hinsichtlich der Spezifität in diesem Sinne keinen Unterschied. Somit unterscheiden sich die beiden unabhängigen Variablen in puncto Anzahl nicht. Da für jedes spezifische Lernziel ebenfalls ein korrespondierendes Feedback gegeben und zwei Feedbackphasen durchlaufen werden, ergeben sich für die beiden unabhängigen Variablen jeweils 60 Feedbacks. Als abhängige Variablen wären demnach in dieser Studie Veränderungen der beiden erlernbaren Dimensionen berufsfachlicher Kompetenz in Form von deklarativem Sachwissen und analytischer Problemlösekompetenz integrale Bestandteile der PPIK-Theorie zu betrachten.

Neben diesen erwünschten Einflüssen auf die abhängigen Variablen, die als Folge der gezielten Manipulation der unabhängigen Variablen zu betrachten sind, können sich in gleicher Weise auch unerwünschte Einflüsse auf letztere zeigen. Diese Einflüsse aus dem Forschungsfeld sind als Störvariablen zu bezeichnen. Es gilt folglich, diese Einflussfaktoren auf die relevanten abhängigen Variablen so gering wie möglich zu halten bzw. diese ganz auszuschalten. Eine Option hierzu liefert die sogenannte Homogenisierung, bei der die Population der Untersuchungsgruppen weitestgehend konstant gehalten wird. Stellt hierbei beispielsweise das unterschiedliche Geschlecht einen unerwünschten Faktor dar, so wäre es denkbar, die Untersuchung ausschließlich mit männlichem oder mit weiblichem Geschlecht durchzuführen. Allerdings erlaubt eine derartige Vorgehensweise im Anschluss lediglich Verallgemeinerungen über die untersuchte Gruppe. Analog zu dem eben angeführten Beispiel könnten demnach Aussagen entweder über Damen oder über Herren getroffen werden (Fahrmeir et al., 2007, S.22f.).

In dieser Untersuchung werden ausschließlich Studierende der Fachschule Maschinenwesen mit dem Schwerpunkt Maschinenbau untersucht. Vor diesem Hintergrund kann die Untersuchungspopulation unter dem beruflichen Aspekt als weitestgehend homogen angesehen werden.

Eine weitere Variante besteht darin, durch eine Randomisierung Störvariablen über die Anzahl der Probanden zu verringern, womit diese entsprechend ausgeglichen werden. Bezogen auf das Beispiel mit dem Geschlecht würden sich diese gleichermaßen zufällig auf die unterschiedlichen Versuchsgruppen verteilen, wodurch geschlechtsspezifische Unterschiede nicht mehr ins Gewicht fallen (Fahrmeir et al., 2007, S.23).

In der vorliegenden Arbeit werden die Studierenden der jeweiligen Klumpenstichprobe mithilfe eines auszulosenden Anmeldeaccounts für die digitale Lernplattform Moodle zufällig den vier Versuchsgruppen zugeordnet und damit randomisiert. Ein wichtiger Fokus von Kapitel 3 lag auf der Beschreibung der im Rahmen dieser Arbeit angewandten Forschungsstrategie in Form einer experimentellen Feldstudie. Außerdem wurde auf die systematische Vorgehensweise durch die methodische und ethische Strenge hingewiesen. Auch die aktive Generierung der kategorialen Daten mithilfe abhängiger und unabhängiger Variablen wurde erörtert. An dieser Stelle ergibt sich nun die Frage, wie die hierzu benötigten Tests im Detail aussehen. Diesem Zweck wird das nachfolgende Kapitel gewidmet.

3.4 Psychologische Tests der Studie zur PPIK-Theorie der operationalisierten Säule (B)

Es gilt, die zuvor in Säule (B) als Modell operationalisierte PPIK-Theorie – die darauf eingeht, *welche* lernpsychologischen Kontextfaktoren zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen notwendig sind – unter Zuhilfenahme geeigneter Tests zu messen.

Vor diesem Hintergrund rücken psychologische Tests zur Erfassung eines latenten Persönlichkeitsmerkmals in den Mittelpunkt, das zuvor operationalisiert wurde (Döring & Bortz, 2016, S.431f.).

Die Generierung der Daten erfolgt in dieser Untersuchung anhand eines psychometrischen Tests.

Beim psychometrischen Test werden die Daten vollstrukturiert und quantitativ erfasst. Demgegenüber steht der projektive Test, bei dem die Daten teilstrukturiert und qualitativ ermittelt werden. Aufgrund des psychometrischen Tests handelt es sich hierbei um ein festes Frage-Aussage-Aufgabe-Antwortformat. Dieses Format eignet sich beispielsweise für die Art von Leistungsaufgabenstellungen, die dieser Untersuchung zu den beiden latenten Variablen deklaratives Sachwissen und analytische Problemlösekompetenz zugrunde liegen (Döring & Bortz, 2016, S.434f.).

Die grundlegende Referenz zu den in der Untersuchung eingesetzten Items bilden die sechs Themenschwerpunkte Schnittverläufe, Schraffur von Schnittflächen, Linien in Schnitten, Schnittbezeichnungen, Schnittarten sowie räumliches Vorstellen nach der DIN EN ISO.

Überdies werden die Tests zum deklarativen Sachwissen und zur analytischen Problemlösekompetenz als sogenannte „Powertests“ konzipiert. Schließlich geht es nicht um die kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit, sondern um alternative wissensdominierte kognitive Leistungen (Ackerman, 2000, S.75).

Im Anschluss werden die Tests der Studie und deren Theorie zur Überprüfung der PPIK-Theorie aus Säule (B) beschrieben.

3.4.1 Erfassung der PPIK-Theorie auf Basis der probabilistischen (*Item-Response*) Testtheorie

Wird von einer Testtheorie gesprochen, handelt es sich nicht um eine Theorie über verschiedene Testarten. Stattdessen geht es darum, ein latentes, an und für sich nicht direkt messbares Merkmal mithilfe geeigneter Items dennoch adäquat abbilden zu können (Rost, 2004, S.21).

Dadurch wird ersichtlich, dass hiermit das Fundament zum Aufbau eines geeigneten Messmodells zur Entwicklung des Strukturgleichungsmodells dieser Untersuchung gelegt wird.

Die probabilistische Testtheorie wird international häufig unter dem Begriff *Item-Response-Theorie* (IRT) geführt (Moosbrugger, 2012, S.228).

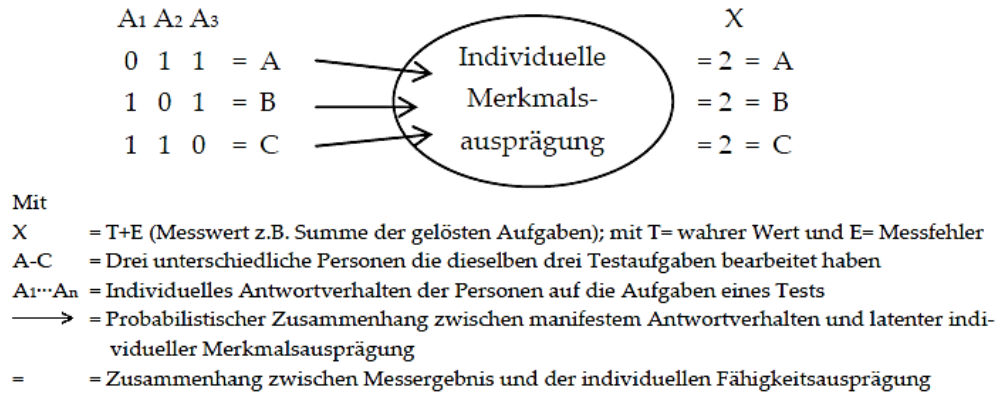


Abbildung 3.3: PTT (links) und KTT (rechts) zu den Ermittlungsunterschieden hinsichtlich individuellen Merkmalsausprägungen (Walker, 2013, S.145)

Im Gegensatz zur probabilistischen Testtheorie (PTT bzw. IRT – *Item-Response-Theorie*) ist die klassische Testtheorie (KTT) am weitesten verbreitet und am häufigsten vertreten (vgl. Abbildung 3.3). Ca. 95% aller standardisierten Test- und Fragebogeninstrumente wurden nach der klassischen Testtheorie entwickelt bzw. zielen darauf ab, quantitative Personenmerkmale zu erheben (Rost, 2004, S.11; Millsap, 2011, S.26f.).

Allerdings ist die probabilistische Testtheorie (PTT) im Vergleich zur klassischen Testtheorie theoretisch besser fundiert (Bühner, 2006, S.383).

Die an die Naturwissenschaften angelehnte, klassische Testtheorie geht – abgesehen von vorhandenen Messfehlern – davon aus, direkt die wahre Merkmalsausprägung zu erfassen. Messfehler können z. B. Konzentrationsschwierigkeiten der Person während des Lösens eines Intelligenztestes sein. Problematisch ist hierbei, dass der Messfehler zur deterministischen Erfassung der Merkmalsausprägung bekannt sein muss. Dem steht die probabilistische Testtheorie (PTT) gegenüber, mit deren Hilfe das Antwortverhalten der Probanden für jedes Item mit der Referenz zur Fähigkeit des jeweiligen Probanden (Person) und zur Item-Schwierigkeit durch ein entsprechendes Antwortmuster geschätzt wird. Damit geht die PTT davon aus, dass die Antwortwahrscheinlichkeit von Merkmalen der Item-Ausprägungen sowie den latenten Merkmalsausprägungen der Person beeinflusst wird (Döring & Bortz, 2016, S.461f.).

Sie trifft Annahmen über das Zustandekommen der Item-Antworten und wird daher als psychologische Testtheorie bezeichnet, während die KTT eine mathematische Formalisierung über das Zustandekommen von Messwerten darstellt (Bühner, 2006, S.384).

Dennoch ergänzen sich die klassische und die probabilistische Testtheorie gegenseitig (Rost, 2004, S.12; Moosbrugger, 2012, S.228).

Während die Personenfähigkeit als latente, individuelle Merkmalsausprägung der PTT mit dem griechischen Buchstaben Θ [Theta] bzw. ξ [Xi] zum Ausdruck gebracht wird, erfolgt die Kennzeichnung der Itemschwierigkeit als Merkmal mit dem griechischen Buchstaben σ [Sigma] (Moosbrugger, 2012, S.234ff.; Bühner, 2006, S.313; Rost, 2004, S.106).

Innerhalb der probabilistischen Testtheorie lässt sich die Antwortwahrscheinlichkeit aufgrund der Personen- und Itemschwierigkeit mit itemcharakteristischen Funktionen (IC-Funktionen) beschreiben (Rost, 2004, S.115ff.; Moosbrugger, 2012, S.235ff.).

Die in dieser Untersuchung verwendete Software Mplus7 arbeitet mit dem einparametrischen Rasch-Modell (1-PL) sowie weiteren Ablegern davon, darunter das 2-PL, 3-PL und 4-PL (Muthen & Muthen, 2020).

Zur Verständlichkeit wird hier kurz das klassische einparametrische Rasch-Modell (1-PL) skizziert, auf dem die anderen Modelle aufbauen.

Zuvor ist die Unterscheidung zwischen Summenscores und Antwortmustern hilfreich. Werden bei den Summenscores lediglich die Randsummen beispielsweise richtiger Antworten in Bezug auf dichotome Items ausgewertet, spielt bei der Schätzung von Antwortmustern der Vektor aller Item-Antworten einer Person eine entscheidende Rolle. Ganz im Sinne einer Datenaggregation gehen auf diese Weise hinsichtlich der Schätzung von Antwortmustern möglichst wenige Informationen aus der Rohdatenmatrix verloren (Rost, 2004, S.91ff.).

Das einparametrische Rasch-Modell (vgl. Abbildung 3.4) nimmt eine lineare Beziehung zwischen der Lösungswahrscheinlichkeit (p) und der latenten Variablen (Θ oder ξ) bzw. der Itemschwierigkeit (σ) im Mittelbereich des Intervalls zwischen 0 und 1 an. Dies wird mithilfe einer Asymptote realisiert, die sich im oberen Bereich der Grenze 1 und im unteren Bereich der Grenze 0 annähert. Die Funktion erinnert in ihrem Verlauf an die Normalverteilung (Rost, 2004, S.115f.; Millsap, 2011, S.35).

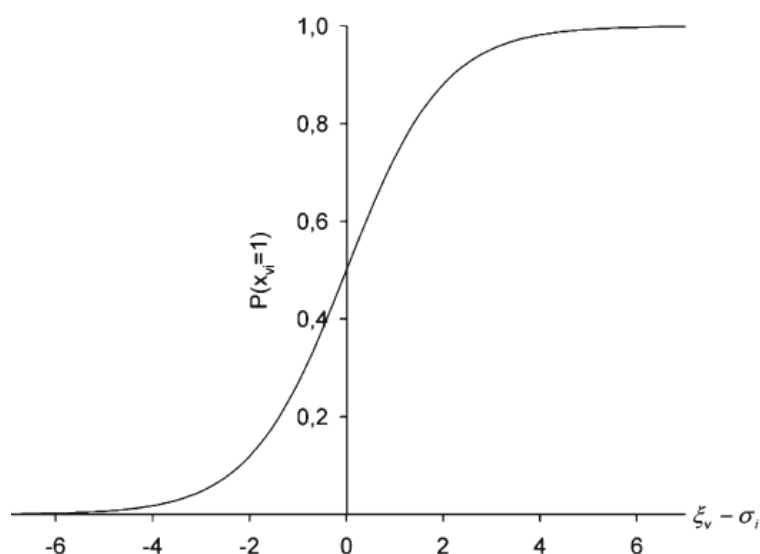


Abbildung 3.4: IC-Funktion Rasch-Modell (Moosbrugger, 2012, S.239)

Zu Beginn wird hierzu der Wettquotient gebildet (vgl. Formel 3.2):

$$\text{Wettquotient} : \frac{\text{Lösungswahrscheinlichkeit}}{\text{Gegenwahrscheinlichkeit}} = \frac{p(X_{vi} = 1)}{p(X_{vi} = 0)}$$

$P(X_{vi}=1)$ = Wahrscheinlichkeit einer Person v , die Aufgabe i richtig zu beantworten

X_{vi} = Wert einer Person v für die Aufgabe i

Formel 3.2: Wettquotient Rasch-Modell (Rost, 2004, S.117)

Setzt man z. B. im Zähler die Lösungswahrscheinlichkeit von 0,57 und im Nenner die Gegenwahrscheinlichkeit von 0,43 ein, resultiert ein Wettquotient von 4:3, da dieser ausschließlich in ganzen Zahlen ausgedrückt wird. Hierbei wird ersichtlich, dass der Wettquotient Werte zwischen 0 und $+\infty$ annehmen kann. Dies stellt jedoch eine Asymmetrie dar, die durch ein Logarithmieren des Wettquotienten beseitigt werden kann und damit als „Logit“ der Wahrscheinlichkeit bezeichnet wird. Diese logarithmische Transformation projiziert die positiven Zahlen auf den Gesamtbereich der reellen Zahlen, wodurch Werte von $-$ bis $+\infty$ angenommen werden können (Rost, 2004, S.117).

$$\text{Logit} : \ln \frac{p(X_{vi} = 1)}{p(X_{vi} = 0)}$$

\ln = Natürlicher Logarithmus

$P(X_{vi}=1)$ = Wahrscheinlichkeit einer Person v , die Aufgabe i richtig zu beantworten

X_{vi} = Wert einer Person v für die Aufgabe i

Formel 3.3: Logit der Wahrscheinlichkeit (Rost, 2004, S.117)

Die durch die Logit-Transformation erzielte symmetrische Projektion (vgl. Formel 3.3) erhält bei einer Wahrscheinlichkeit von 0,5 den Nullpunkt auf der Zahlengerade der reellen Zahlen. Analog hierzu zeigt sich im mittleren Bereich eine lineare und am Rand eine extreme Spreizung. Hieraus ergibt sich die Lösungswahrscheinlichkeit der Antworten als eine lineare Funktion der Personenfähigkeit Θ_v und der Itemschwierigkeit σ_i (Rost, 2004, S.118f.).

$$p_1 = p(X_{vi}=1) \text{ und } p_0 = p(X_{vi}=0)$$

$$\ln \frac{p_1}{p_0} = \Theta_v - \sigma_i$$

\ln = Natürlicher Logarithmus

$P(X_{vi}=1)$ = Wahrscheinlichkeit einer Person v , die Aufgabe i richtig zu beantworten

X_{vi} = Wert einer Person v für die Aufgabe i

Θ_v = Personenfähigkeit

σ_i = Itemschwierigkeit

Formel 3.4: Lineare Funktion der Personenfähigkeit und der Itemschwierigkeit (Rost, 2004, S.119)

Sollte die Itemschwierigkeit σ_i gleich der Personenfähigkeit Θ_v sein, resultiert daraus ein Logit von null, was einer Lösungswahrscheinlichkeit von 0,5 entspricht (Rost, 2004, S.119).

Um die Formel 3.4 nach der Lösungs- bzw. Gegenwahrscheinlichkeit aufzulösen, wird auf beiden Seiten der Gleichung die Exponentialfunktion angenommen:

$$\frac{p_1}{p_0} = e^{(\Theta_v - \sigma_i)}$$

Θ_v = Personenfähigkeit
 σ_i = Itemschwierigkeit
 e^x = Exponentialfunktion mit der Eulerschen Zahl $\approx 2,781$ als Basis

Nach p_1 aufgelöst ergibt sich

$$p_1 = p_0 \cdot e^{(\Theta_v - \sigma_i)}$$

p_0 wird mit $(1-p_1)$ substituiert und nach der Lösungswahrscheinlichkeit p_1 aufgelöst

$$\begin{aligned} p_1 &= (1 - p_1) \cdot e^{(\Theta_v - \sigma_i)} = e^{(\Theta_v - \sigma_i)} - p_1 \cdot e^{(\Theta_v - \sigma_i)} \\ p_1 + p_1 \cdot e^{(\Theta_v - \sigma_i)} &= e^{(\Theta_v - \sigma_i)} \\ p_1 \cdot (1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)}) &= e^{(\Theta_v - \sigma_i)} \\ p_1 &= \frac{e^{(\Theta_v - \sigma_i)}}{(1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)})} \end{aligned}$$

Θ_v = Personenfähigkeit
 σ_i = Itemschwierigkeit
 e^x = Exponentialfunktion mit der Eulerschen Zahl $\approx 2,781$ als Basis

Für die Gegenwahrscheinlichkeit $p_0=1-p_1$ folgt:

$$p_0 = 1 - p_1 = 1 - \frac{e^{(\Theta_v - \sigma_i)}}{1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)}} = \frac{1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)} - e^{(\Theta_v - \sigma_i)}}{1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)}} = \frac{1}{1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)}}$$

Θ_v = Personenfähigkeit
 σ_i = Itemschwierigkeit
 e^x = Exponentialfunktion mit der Eulerschen Zahl $\approx 2,781$ als Basis

Lösungs- und Gegenwahrscheinlichkeit können in einer Modellgleichung zusammengefasst werden (vgl. Formel 3.5 & Abbildung 3.5), indem die Antwortvariable x_{vi} als Faktor im Exponenten des Zählers steht. Ist $x_{vi} = 1$, so entspricht der Zähler des Bruchs der Lösungswahrscheinlichkeit p_1 . Ist im Zähler $x_{vi} = 0$, so entspricht dieser dem Bruch der Gegenwahrscheinlichkeit p_0 (Rost, 2004, S.119; Moosbrugger, 2012, S.236ff.).

$$p(X_{vi}) = \frac{e^{(X_{vi}(\Theta_v - \sigma_i))}}{1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)}}$$

$P(X_{vi}=1) =$	Wahrscheinlichkeit einer Person v , die Aufgabe i richtig zu beantworten
X_{vi}	= Wert einer Person v für die Aufgabe i
Θ_v	= Personenfähigkeit
σ_i	= Itemschwierigkeit
e^x	= Exponentialfunktion mit der Eulerschen Zahl $\approx 2,781$ als Basis

Formel 3.5: Rasch-Modell (Moosbrugger, 2012, S.236ff.; Rost, 2004, S.119; Bühner, 2006, S.318ff.)

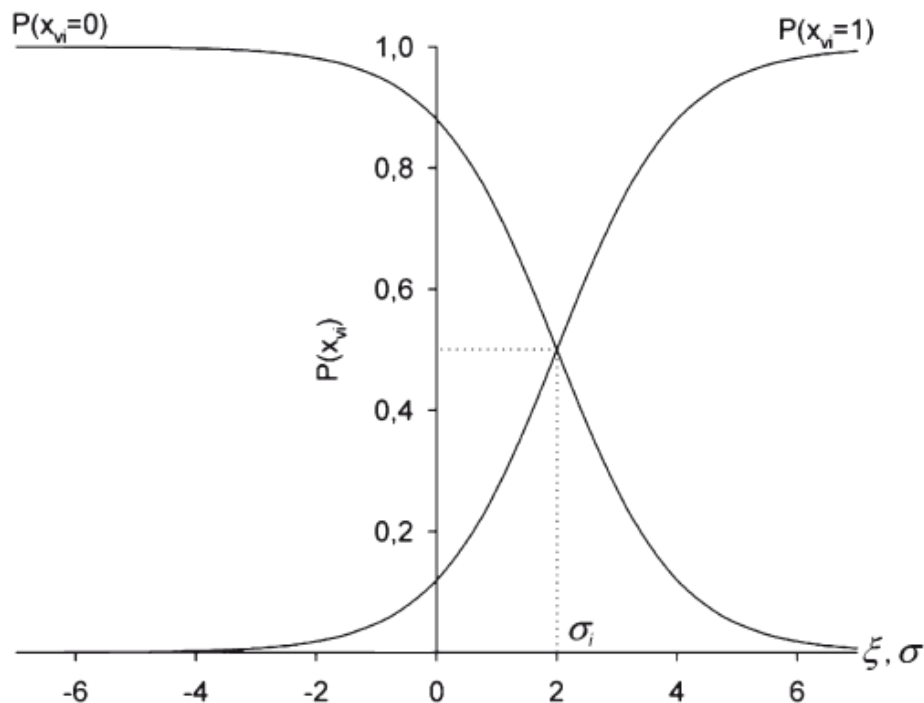


Abbildung 3.5: Rasch-Modell inklusive Lösungs- und Gegenwahrscheinlichkeit (Moosbrugger, 2012, S.237)

Das Testmodell dieser Gleichung stellt somit das einparametrische Rasch-Modell dar, das nach seinem dänischen Entwickler Georg Rasch seit 1960 auf diese Weise bezeichnet wird (Rost, 2004, S.119).

Das dichotome (1-PL) Rasch-Modell besitzt parallele Item-Funktionen, wodurch die Trennschärfe in Form der Tangentensteigung im Wendepunkt der Funktion konstant bleibt (Rost, 2004, S.120; Bühner, 2006, S.319; Moosbrugger, 2012, S.238).

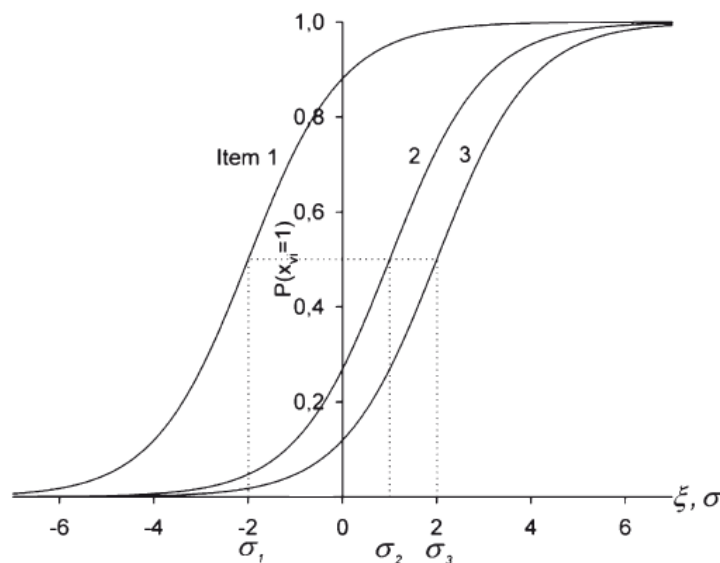


Abbildung 3.6: Konstante Tangentensteigung beim dichotomen Rasch-Modell (Moosbrugger, 2012, S.238)

Die Itemschwierigkeit nimmt von Item 1 bis Item 3 in Abbildung 3.6 zu. Dies lässt sich durch die Einträge auf der Abszisse und den dazugehörigen Werten auf der Ordinate feststellen. Liegt die Lösungswahrscheinlichkeit für das Item 1 mit dem Abszissenwert -2 bei über 0,8, so kann für das Item 3 lediglich eine Lösungswahrscheinlichkeit für den Abszissenwert 2 von unter 0,2 verzeichnet werden (Moosbrugger, 2012, S.238).

Allerdings sind die latenten Variablen „Personenfähigkeit“ und „Itemschwierigkeit“ unbekannt. Deshalb werden diese mithilfe der mathematischen Likelihood-Funktion (eng. Likelihood = Wahrscheinlichkeit bzw. Mutmaßlichkeit) aus dem Antwortverhalten im Rahmen der erfassten Tests geschätzt (Moosbrugger, 2012, S.238; Rost, 2004, S.112).

Die Parameterschätzung kann infolge der vorhandenen erschöpfenden bzw. suffizienten Statistik als unproblematisch angesehen werden. Schließlich ist es in diesem Zusammenhang unerheblich, welche Items von welcher Person gelöst werden. Auch die Schwierigkeit der Items bleibt unbeachtet. Ausschließlich die ungewichtete Summe der Item-Lösungen schöpft die gesamte Information über das Antwortverhalten einer Person im entsprechenden Test aus (Rost, 2004, S.114-124).

Durch die Likelihood-Funktion werden die Wahrscheinlichkeiten bezüglich des Antwortverhaltens von Zeilen (Personen) und Spalten (Items) miteinander multipliziert. Dies erfolgt durch die Darstellung mit dem Produktzeichen als großes griechisches Pi (Π). Zu diesem Zweck wird die stochastische Unabhängigkeit innerhalb einer Person, d. h. Multiplikation über die Items (Spalten), sowie die stochastische Unabhängigkeit zwischen den Personen (Zeilen) vorausgesetzt (Rost, 2004, S.112f.; Moosbrugger, 2012, S.239; Bühner, 2006, S.337).

Unter der stochastischen Unabhängigkeit kann z. B. verstanden werden, dass die Lösung eines Items 2 nicht zwangsläufig von der Lösung des vorangegangenen Items 1 abhängen darf. Durch eine derart logische Abhängigkeit wäre nämlich die stochastische Unabhängigkeit verletzt (Rost, 2004, S.69).

Die Likelihood-Funktion wird wie folgt in Formel 3.6 ausgedrückt:

$$L = \prod_{v=1}^N \prod_{i=1}^k p(x_{vi})$$

Formel 3.6: Likelihood-Funktion allgemein (Moosbrugger, 2012, S.239; Rost, 2004, S.113)

Setzt man nun das Rasch-Modell in die Likelihood-Funktion ein (vgl. Formel 3.7), so ergibt sich:

$$L = \prod_{v=1}^N \prod_{i=1}^k \frac{e^{(x_{vi}(\Theta_v - \sigma_i))}}{(1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)})}$$

Π	=	Multiplikation über alle Personen v bis N bzw. über alle Items i bis k
$P(X_{vi}=x)$	=	Wahrscheinlichkeit einer Person v , bei Aufgabe i die Antwortkategorie x zu wählen
X_{vi}	=	Wert einer Person v für die Aufgabe i
Θ_v	=	Personenfähigkeit
σ_i	=	Itemschwierigkeit
e^x	=	Exponentialfunktion mit der Eulerschen Zahl $\approx 2,781$ als Basis

Formel 3.7: Likelihood-Funktion Rasch-Modell (Moosbrugger, 2012, S.239; Rost, 2004, S.123; Bühner, 2006, S.337)

Die Produktzeichen lassen sich getrennt im Zähler und Nenner schreiben. Es folgt:

$$L = \frac{\prod_{v=1}^N \prod_{i=1}^k e^{(x_{vi}(\Theta_v - \sigma_i))}}{\prod_{v=1}^N \prod_{i=1}^k (1 + e^{(\Theta_v - \sigma_i)})}$$

Im Nenner erscheinen keine beobachtbaren Daten, da x_{vi} ausschließlich im Exponenten des Zählers steht, wodurch der Nenner als Konstante angenommen werden kann (Rost, 2004, S.123f.):

$$L = \frac{e^{(\sum_{v=1}^N \sum_{i=1}^k x_{vi} (\Theta_v - \sigma_i))}}{d_{vi}}$$

Es folgt:

$$L = \frac{e^{(\sum_{v=1}^N \sum_{i=1}^k x_{vi} \cdot \Theta_v - \sum_{v=1}^N \sum_{i=1}^k x_{vi} \cdot \sigma_i)}}{d_{vi}}$$

Es wird ersichtlich, dass die Anzahl aufsummierter Personenparameter der Anzahl an von Personen gelösten Items (r_v -mal) entspricht. Ebenso wird jeder Item-Parameter (n_i -mal) entsprechend der Anzahl an Personen, die das Item gelöst haben, aufsummiert (vgl. Formel 3.8) (Rost, 2004, S.124).

$$L = \frac{e^{(\sum_{v=1}^N r_v \Theta_v - \sum_{i=1}^k n_i \sigma_i)}}{d_{vi}}$$

Formel 3.8: Randsummen sind für die Funktion relevant (Rost, 2004, S.124)

Hieraus lässt sich folgern, dass für die Funktion lediglich die Randsummen r_v und n_i der Datenmatrix benötigt werden, während das Innere der Datenmatrix vernachlässigt werden kann. Sollen das Innere der Datenmatrix und damit die Antwortmuster der Personen in Betracht gezogen werden, so ist dies mit einer anders definierten Likelihood-Funktion zu realisieren. Zum Beispiel kann hierzu die marginale Likelihood-Funktion (MML) als Produkt der Antwortwahrscheinlichkeit bezogen auf deren Muster angeführt werden. Dazu wird jedes Antwortmuster (*Pattern*) unter Berücksichtigung der gesamten Fähigkeitsverteilung (z. B. der Normalverteilung) betrachtet. $G(\theta)$ ist die kumulative Verteilungsfunktion der Personenparameter in der Population. In Analogie zu den Fähigkeitsparametern wird mit dem Integrationsgradienten $dG(\theta)$ die Funktion wie in Formel 3.9 integriert (Rost, 2004, S.124ff.):

$$mL = \prod_{v=1}^N \int_{-\infty}^{\infty} p(\underline{x}_v | \theta) dG(\theta)$$

Formel 3.9: Marginale Likelihood-Funktion (Rost, 2004, S.128)

Die Parameter eines Testmodells wie etwa Schwierigkeit, Trennschärfe oder – im Zusammenhang mit mehrkategorialen, ordinalen Item-Antworten – die Schwellendistanz, müssen erst anhand der vorhandenen Datenmatrix geschätzt werden. Die Berechnung der Parameter von probabilistischen Testmodellen ist verhältnismäßig aufwendig und kompliziert, sodass eine geeignete Computersoftware notwendig wird (Rost, 2004, S.301f.).

In dieser Untersuchung wird die Modellierung der Strukturgleichungsmodelle mit Mplus7 realisiert. Im Grunde ist der zu schätzende Parameter als eine veränderliche Variable X in der üblichen Notation vorstellbar. Allerdings gibt es tatsächlich sehr viel mehr Parameter als nur einen einzigen. Diese sind insgesamt betrachtet räumlich als Gebirge vorstellbar. Die Extremwerte könnten via Kurvendiskussion ermittelt werden. Im Falle der Maximum-Likelihood-Funktion (ML) eines Binominal-Modells ist dies durch partielles Ableiten noch möglich. Sind die Modelle allerdings komplexer, werden dazu iterative (wiederholende) Verfahren verwendet. Mit diesen Verfahren konvergiert der Parameter am Ende mehr oder weniger genau gegen die richtigen Parameterwerte. Als Abbruchkriterium wird dazu eine bestimmte Anzahl an Iterationen (z. B. 1000) vorgegeben, da sich dieses Verfahren – wenn auch nicht zielführend – sonst immer weiter dem idealen Wert annähern würde (Rost, 2004, S.303ff.).

Im Folgenden wird der Prozess der Parameterschätzung hinsichtlich der Personen und Items auf Grundlage der vorhandenen Datenmatrix veranschaulicht. Die angewendeten mathematischen Modelle hängen insbesondere vom Aufgabenformat ab [z. B. dichotom (richtig/falsch) oder polytom (völlig richtig/teilweise richtig/nicht richtig)]. Die Schätzung der Personen- bzw. Item-Parameter, die beispielsweise durch das Maximum-Likelihood-Prinzip erfolgen kann, hängt vom mathematischen Modell und der Anzahl der zu schätzenden latenten Variablen ab (Walker, 2013, S.148f.).

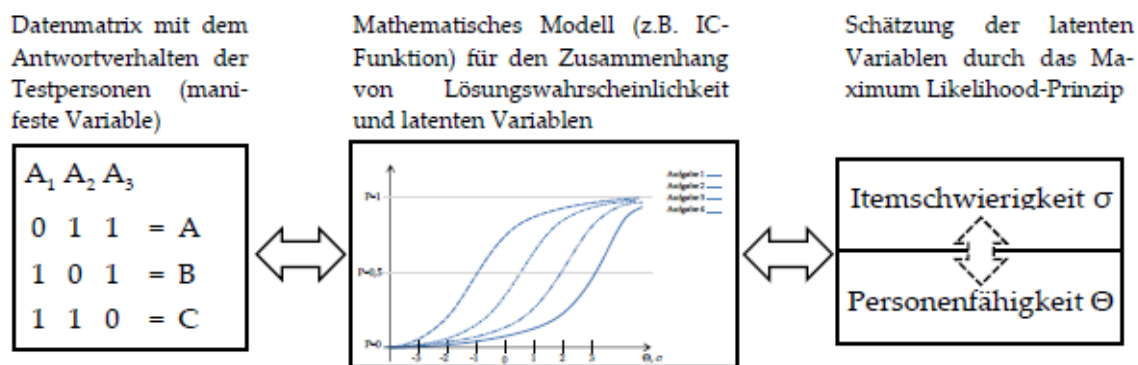


Abbildung 3.7: Zusammenhänge zwischen Datenmatrix (manifeste Variable), mathematischem Modell und latenter Variablenschätzung (Walker, 2013, S.148)

Wie bereits beschrieben stellen die Konstrukte der PPIK-Theorie der operationalisierten Säule (B) latente Variablen dar. Das bedeutet, dass mithilfe der vorliegenden Datenmatrix sowohl die Personenfähigkeit als auch die Itemschwierigkeit geschätzt werden (vgl. Abbildung 3.7).

Da es sich in der vorliegenden Studie überwiegend um dichotome Daten handelt, wird in Mplus7 zur Schätzung statt des ML-Schätzers der WLSMV-Schätzer verwendet. Die dichotomen Daten resultieren aus den verwendeten Test-Items, die entweder richtig oder falsch gelöst werden.

Im Anschluss werden diese Items der Tests erläutert. Zum einen werden hierbei eigene Tests konstruiert (z. B. deklaratives Sachwissen, analytische Problemlösekompetenz) und zum anderen bestehende Tests übernommen (z. B. CFT 20-R, AIST-R).

3.4.2 Test und Item-Beschreibung

Die Item-Batterie enthält 30 Items zur Messung des deklarativen Sachwissens. Die im Test enthaltenen Fragen zum deklarativen Sachwissen stehen nicht nur in direkter Verbindung zum Hauptthema (z. B. Schnittverläufe), sondern sie werden zugleich so konzipiert, dass sie einen relativ großen inhaltlichen Zusammenhang mit den spezifischen – und damit auch den unspezifischen – Lernzielen aufweisen. Dieser inhaltliche Bezug lässt sich darüber hinaus auch zu den Feedbackaussagen herstellen. Außerdem beziehen sich 24 Items zur Erfassung des deklarativen Sachwissens direkt auf die Testzeichnungen, während 6 Items keine direkte Verbindung zur vorgelegten Zeichnung aufzeigen. Schließlich ist der Informationsgehalt der Technischen Zeichnung vom einzelnen Bauteil abhängig. Durch die Vielzahl an vorstellbaren Bauteilen und Baugruppen (z. B. Gehäuse, Baugruppe Motor, Wellen, Zahnräder) schließen sich einige Schnittdarstellungen des Bauteils aus. Während symmetrische Bauteile (z. B. Wellen) durch Voll- oder Halbschnitte dargestellt werden, lassen sich asymmetrische Körper (z. B. Gehäuse eines Getriebes) ausschließlich durch einen komplexen Schnitt mit geeignetem Schnittverlauf zeichnen.

Eine derartige Variation der Geometrie in der Übungs- und Testzeichnung wird zur Generierung einer denkbaren Barriere konzipiert, für deren Überwindung die analytische Problemlösekompetenz notwendig ist. Im Test soll es sich nicht nur ausschließlich um eine routinemäßige Aufgabe handeln, bei der die Fehler des Bauteils bereits durch die vorangegangene Übung bekannt sind und dadurch sofort identifiziert werden können. Vorrangiges Ziel ist vielmehr, das räumliche Denken von 2-D in 3-D und umgekehrt auf diese Weise zu provozieren. Dennoch sind bei diesen sechs Items ebenfalls die vorab definierten Lernziele gesetzt. Somit werden die Studierenden ausdrücklich dazu aufgefordert, sich mit den expliziten Inhalten (z. B. Darstellung von Zahnrädern im Schnitt) auseinanderzusetzen. Insofern wäre der Einfluss der jeweiligen Informationen durch die reale Zeichnung auf den Erwerb des deklarativen Sachwissens aufschlussreich. Die relativ nahe inhaltliche Verwandtschaft der Items in Bezug auf das deklarative Sachwissen und die analytische Problemlösekompetenz ist weitestgehend gegeben. Allerdings lassen sich nicht für jedes Element des deklarativen Sachwissens ein expliziter Fehler oder gar alle 30 Wissens-elemente in einer Zeichnung umsetzen. Somit sind 16 Zeichnungsfehler deckungsgleich mit den deklarativen Sachwissenselementen. Von größerer Bedeutung erscheint die Abdeckung der Themenbereiche durch eine adäquate Anzahl an Zeichnungsfehlern. Betrachtet man dabei die Aufgabe im Zuordnungstest der Fehleranalyse von Item 1 in Tabelle 3.4 zum analytischen Problemlösen, kristallisieren sich in der Zeichnung vier Fehler heraus. Folglich kommt dieser Fehler des Items für das deklarative Sachwissen „Körperkante zu viel infolge eines komplexen Schnittverlaufs im 3-D-Modell“ viermal vor. Infolgedessen stehen den 30 Items des deklarativen Sachwissens insgesamt 36 Items des analytischen Problemlösens gegenüber.

Tabelle 3.4: Beispiel relativ großer inhaltlicher Zusammenhang der Elemente (Item 1)

Item 1	
Themenbereich	Schnittverläufe
Unspezifisches Lernziel	Lernen Sie bitte alles über Schnittverläufe nach DIN in Technischen Zeichnungen.
Spezifisches Lernziel	Lernen Sie bitte, wie parallele Schnittebenen in Schnittdarstellungen veranschaulicht werden. Richten Sie dabei bitte besondere Aufmerksamkeit darauf, ob die Schnittverlaufskante zwischen den parallel verlaufenden Schnittflächen in der Schnittdarstellung ebenfalls eingezeichnet wird.
Deklaratives Sachwissen (Test)	Werden bei einem komplexen Schnittverlauf parallel verlaufende Schnittebenen in der Schnittdarstellung so dargestellt, als ob sie in einer Ebene liegen würden? W) Ja, dabei fallen die rein durch den Schnittverlauf entstehenden Kanten weg. F) Nein, schließlich liegen die Ebenen nicht in einer Ebene und müssen somit entsprechend im Schnitt dargestellt werden. F) Ja, dabei werden alle Kanten, die durch den Schnittverlauf entstehen, eingezeichnet. F) Nein, dabei werden alle Kanten, die durch den Schnittverlauf entstehen, eingezeichnet.
Feedbackaussage	Parallel verlaufende Schnittebenen werden in der Schnittansicht in einer Ebene liegend gezeichnet. Dabei wird die Kante, die aus dem Schnittverlauf bezüglich des Versatzes der beiden Schnittflächen entsteht, nicht gezeichnet. Davon ausgehend ist in zwei Schnittdarstellungen der Zeichnung jeweils eine Kante zu viel eingezeichnet
Analytische Problemlösekompetenz Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)	Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung) 1. Fehler in C-C (Vier Kanten durch den Schnitt zu viel drin) Kante zu viel Kante zu viel Kante zu viel Kante zu viel Ursache : Darstellungsfehler aus dem 3-D-Modell. Der Schnitt wird 1:1 übernommen und nicht an die DIN angepasst. Entsprechend erfordert dies eine manuelle Korrektur des Experten (z. B Maschinenbautechniker).
Analytische Problemlösekompetenz Referenz zur Übungszeichnung	1. Fehler in A-A und in der Schnittansicht rechts unten (zwei Kanten durch den Schnitt zu viel drin) 1.1 Kante zu viel 1.2 Kante zu viel Ursache : Darstellungsfehler aus dem 3-D-Modell. Der Schnitt wird 1:1 übernommen und nicht an die DIN angepasst. Entsprechend erfordert dies eine manuelle Korrektur des Experten (z. B Maschinenbautechniker).
Feedback Knowledge-on-metacognition(KH)	1. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im <i>Hoischen</i> S.66 noch einmal durch. 2. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im <i>Hoischen</i> Absatz 3 auf S.66 noch einmal durch.
Feedback Knowledge-on-how-to-proceed (KMC)	1. Feedbackphase - Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen. - Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufen. 2. Feedbackphase - Suchen Sie unter Schnittverläufen im Kapitel „Schnittdarstellungen“ das entsprechende Bild. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht. - Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.

Nicht alle Items passen inhaltlich so gut zusammen wie das Item 1 des deklarativen Sachwissens und die Items 1.1-1.4 analytischer Problemlösekompetenz. 14 Items des deklarativen Sachwissens decken lediglich den gemeinsamen Themenbereich ab. Dies wird am Beispiel in Tabelle 3.5 veranschaulicht. Die 30 Items des deklarativen Sachwissens lassen sich einfach von 1-30 nummerieren. Aus diesem Grund wird die Item-Nummerierung an den Items des deklarativen Sachwissens ausgerichtet. Demnach erhält das jeweilige Item der analytischen Problemlösekompetenz die Item-Nummer des dazugehörigen Items des deklarativen Sachwissens. Tritt dieser Fehler in der Zeichnung vermehrt auf, wird dieser wie in Tabelle 3.4 und Tabelle 3.5 zu erkennen gegliedert. In Tabelle 3.5 werden die Items 15 und 16 bezüglich des deklarativen Sachwissens für den Themenbereich „Schnittarten“ veranschaulicht. In der Baugruppenzeichnung des Tests für die analytische Problemlösekompetenz gibt es jedoch keinen Fehler auf der Ebene des Halbschnitts zur Erfassung des Themenbereichs „Schnittarten“. Trotzdem stehen zum Erfassen des Themenbereichs „Schnittarten“ insgesamt drei Items der analytischen Problemlösekompetenz zur Verfügung. Diese stellen allerdings Fehler der Darstellung von Teilschnitten dar. Das entsprechende Gegenstück zum deklarativen Sachwissen liefert Item 16. Folglich erhalten die Fehler in der Baugruppenzeichnung die Nummerierung 16.1 bis 16.3. Die Übungszeichnung weist die gleichen Fehler auf, die auch in der Testzeichnung enthalten sind. Allerdings ist die Geometrie im Vergleich unterschiedlich.

Die Items des deklarativen Sachwissens sind als Multiple-Choice-Aufgaben auf der Lernplattform Moodle konzipiert. Dabei handelt es sich um fünf vorgegebene Antwortmöglichkeiten, von denen nur eine korrekt ist. Zusätzlich werden die Studierenden gebeten, über die Antwortmöglichkeit „weiß nicht“ auf ein Raten der richtigen Antwort zu verzichten. Somit werden geratene Antworten minimiert. Auf diese Weise sind die 30 Items einheitlich strukturiert. Außerdem wird darauf geachtet, dass alle Antwortmöglichkeiten für den Novizen als weitestgehend plausibel erscheinen und fehlendes Sachwissen somit nicht durch Raten kompensiert wird. Für die Fragestellung: „Werden bei einem komplexen Schnittverlauf parallel verlaufende Schnittebenen in der Schnittdarstellung so dargestellt, als ob sie in einer Ebene liegen würden?“ ist das Sachwissen über komplexe Schnitte zwingend erforderlich. Ist es nicht vorhanden, kann kein Urteil über eine korrekte Antwort gefällt werden. Die 30 Items des deklarativen Sachwissens sind in der Testbatterie des Anhangs einsehbar. Zusätzlich befinden sich einige Beispiele in Tabelle 3.4 und Tabelle 3.5. Die analytische Problemlösekompetenz wird ebenfalls durch einen digitalen Zuordnungstest über die Lernplattform Moodle erfasst. Dabei werden der digitalen technischen Zeichnungsansicht ausgewählte Fehlerbegriffe zugeordnet. Zusätzlich besitzen die Studierenden eine reale Technische Zeichnung, damit die Fehler aufgrund der besseren Übersichtlichkeit schneller diagnostiziert werden können. Schließlich spielt das Interpretieren realer Technischer Zeichnungen auch in der späteren Berufspraxis der Studierenden eine zentrale Rolle. Außerdem sind zahlreiche Fehler ausschließlich mithilfe mehrerer Ansichten erkennbar. Somit muss der Studierende sowohl den Fehler als auch die

Fehlerstelle in der Technischen Zeichnung bestimmen und die zugehörigen Nummern der Fehlerbegriffe (mithilfe eines Fadenzuges) in der digitalen Zeichnungsansicht der exakten Fehlerstelle zuordnen.

Tabelle 3.5: Auszug zur Veranschaulichung aus der Testbatterie dieser Untersuchung

Unabhängige Variablen (Merkmale) der Untersuchung (Lernziele & Feedback)					
Item	Unspezifische Lernziele	Spezifische Lernziele	Frage Feedbacktest (W/F)	Feedback Knowledge of meta-cognition (KH)	Feedback Knowledge of how to proceed (KMC)
15. Schnittarten	Lernen Sie bitte alles über Schnittmöglichkeiten bzw. Schnittarten.	Lernen Sie bitte, was unter einem Halbschnitt bzw. Vollschnitt zu verstehen ist.	Beim Halbschnitt wird das Bauteil in der Mitte längs der Symmetrielinie durchgeschnitten dargestellt. Die Schnittdarstellung rechts neben der Draufsicht in der Zeichnung ist somit ein Halbschnitt.	<p>1. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 65 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 1-2 der S. 65 noch einmal durch.</p>	<p>1. Feedbackphase -Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen. -Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittarten.</p> <p>2. Feedbackphase - Suchen Sie unter Schnittdarstellung die Überschrift Schnittarten, die entsprechenden Bilder unterschiedlicher Schnittarten. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht. -Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>
16. Schnittarten		Lernen Sie bitte, was unter einem Teilschnitt zu verstehen ist. Richten Sie dabei bitte das Augenmerk auch auf den Linientyp und die Linienbreite der Begrenzungslinie unter Berücksichtigung der zu verwendenden Liniengruppe.	Beim Teilschnitt wird die Begrenzungslinie mit der 0,5er Volllinie dargestellt (so, wie im Teilschnitt der Seitenansicht dieser Zeichnung zu erkennen).	<p>1. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 65 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 3 auf S. 65 noch einmal durch.</p>	<p>1. Feedbackphase -Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen. -Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittarten.</p> <p>2. Feedbackphase - Suchen Sie im Hoischen unter Schnittdarstellung die Überschrift Schnittarten und die entsprechenden Bilder von Teilschnitten. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht. -Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>
Abhängige Variablen (Merkmale) der Untersuchung					
Item	Analytische Problemlösekompetenz				
15. Schnittarten	<p>Wie wird ein Halbschnitt veranschaulicht?</p> <p>W) Ein Viertel des symmetrischen Holzkörpers wird bei vertikaler Darstellung rechts der Symmetrielinie entfernt.</p> <p>F) Der symmetrische Körper wird halbiert.</p> <p>F) Durch die Schnittverlaufslinie.</p> <p>F) Ein Viertel des symmetrischen Holzkörpers wird bei vertikaler Darstellung links der Symmetrielinie entfernt.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>				
16. Schnittarten	<p>Was ist ein Teilschnitt?</p> <p>W) Der Teilschnitt zeigt in einem bestimmten Bereich einer Baugruppe oder in bestimmten Bereichen eines Bauteils dessen Innenleben. Diese Bereiche können mit einer Freihandlinie als Begrenzung dargestellt werden.</p> <p>F) Der Teilschnitt ist der Schnitt eines Bauteils.</p> <p>F) Der Teilschnitt zeigt die Hälfte des Bauteils in Schnittdarstellung.</p> <p>F) Der Teilschnitt ist die Definition der Schnittansicht in der Referenzansicht.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>				

3.4.3 Beschreibung der Items zum deklarativen Sachwissen und zur analytischen Problemlösekompetenz

Die Items des deklarativen Sachwissens sind als Multiple-Choice-Aufgaben auf der Lernplattform Moodle konzipiert. Dabei handelt es sich um fünf vorgegebene Antwortmöglichkeiten, von denen nur eine korrekt ist. Zusätzlich werden die Studierenden gebeten, über die Antwortmöglichkeit „weiß nicht“ auf ein Raten der richtigen Antwort zu verzichten. Somit werden geratene Antworten minimiert. Auf diese Weise sind die 30 Items einheitlich strukturiert. Außerdem wird darauf geachtet, dass alle Antwortmöglichkeiten für den Novizen als weitestgehend plausibel erscheinen. Demzufolge lässt sich fehlendes Sachwissen durch Raten nicht kompensieren. Für die Fragestellung: „Werden bei einem komplexen Schnittverlauf parallel verlaufende Schnittebenen in der Schnittdarstellung so dargestellt, als ob sie in einer Ebene liegen würden?“ ist das Sachwissen über komplexe Schnitte unverzichtbar. Ist es nicht vorhanden, kann kein Urteil über eine korrekte Antwort gefällt werden. Die 30 Items des deklarativen Sachwissens sind in der Testbatterie des Anhangs einsehbar. Zusätzlich werden einige Beispiele in Tabelle 3.4 und Tabelle 3.5 aufgeführt.

Auch die analytische Problemlösekompetenz wird durch einen digitalen Zuordnungstest über die Lernplattform Moodle erfasst. Dabei werden der digitalen technischen Zeichnungsansicht ausgewählte Fehlerbegriffe zugeordnet. Darüber hinaus liegt den Studierenden eine reale Technische Zeichnung vor, damit die Fehler aufgrund der besseren Übersichtlichkeit schneller diagnostiziert werden können. Schließlich spielt das Interpretieren von Technischen Zeichnungen auch in der späteren Berufspraxis der Studierenden eine zentrale Rolle. Außerdem sind zahlreiche Fehler ausschließlich unter Zuhilfenahme mehrerer Ansichten erkennbar. Somit muss der Studierende sowohl den Fehler als auch die Fehlerstelle diagnostizieren und – mithilfe eines Fadenkreuzes – die zugehörigen Nummern der Fehlerbegriffe in der digitalen Zeichnungsansicht der exakten Fehlerstelle zuordnen.

3.4.4 Intelligenztest CFT 20-R Teil 1

Der Grundintelligenztest CFT 20 wurde bis zum Jahr 2005 bei 140 wissenschaftlichen Arbeiten der experimentellen und empirischen Forschung als Kontrollinstrument eingesetzt. Dies betrifft insbesondere kulturvergleichende Untersuchungen, neuropsychologische Projekte und die wissenschaftliche Begleitung von Forschungsarbeiten in den Bildungswissenschaften (Weiß & Weiß, 2006, S.109).

Der CFT 20-R ist eine Weiterentwicklung des CFT 20 von 1978. Der Grundgedanke dieses Tests ist die Messung der fluiden Intelligenz (*General mental capacity* – G_f -Faktor“ – nach Spearman bzw. Cattell) ohne zufällige Beeinflussung durch den jeweiligen sozioöko-

nomischen, erziehungsspezifischen oder rassischen Hintergrund. An der im Jahre 2003 durchgeführten Eichung des Tests nahmen 4400 Schüler repräsentativ über sechs Bundesländer verteilt teil. Die empirischen Werte der Normung für die Auswertungsskalen beziehen sich auf Schüler im Alter von achteinhalb bis 19 Jahren. Für die Erwachsenen im Alter von 20 bis 60 Jahren liegen keine empirisch ermittelten Werte vor. Stattdessen wurden die Werte von den Achteinhalb- bis Neunzehnjährigen gemäß des typischen Altersverlaufs an das Erwachsenenalter angepasst. Diese Anpassung bezieht sich ausschließlich auf den ersten Teil des Tests. Für die vorliegende Arbeit ist alleinig Teil 1 dieses Intelligenztests relevant, der sich aus zwei Bestandteilen zusammensetzt. Dies lässt sich damit begründen, dass es sich bei den Technikern im Maschinenbau um eine berufliche Weiterbildung der Stufe 6 nach dem EQF handelt. Insofern können Schwierigkeiten beim Instruktionsverständnis, wie sie bei anderen Schulformen des Systems berufsbildende Schule (z. B. BVJ) zu erwarten wären, ausgeschlossen werden. Zudem setzen sich die Technikerklassen ausnahmslos aus volljährigen Schülern zusammen, da die Techniker Ausbildung eine abgeschlossene berufliche Erstausbildung inklusive einer mindestens einjährigen, einschlägigen Berufserfahrung voraussetzt (Weiß & Weiß, 2006, S.11-15).

Dieser erste Teil des CFT 20-R besteht aus 56 Items, die auf vier Subtests verteilt sind. Diese Subtests sind in Tabelle 3.6 aufgelistet.

Tabelle 3.6: Subtests CFT 20-R Teil 1 (Weiß & Weiß, 2006, S.18)

Subtest	Items	Testzeit [min.]
1 Reihen fortsetzen	15	4
2 Klassifikationen	15	4
3 Matrizen	15	3
4 Topologische Schlussfolgerungen	11	3
Gesamt	56	14

3.4.5 Allgemeiner Interessensstruktur-Test (AIST-R)

Der „Allgemeine Interessensstruktur-Test“ (AIST-R) dient zur Befragung in Bezug auf schulisch-berufliche Interessen ab dem 14. Lebensjahr. Mit den insgesamt 60 Items werden sechs Interessensdimensionen abgebildet, die sich auf das Person-Umwelt-Modell von J. L. Holland stützen. Diese sind:

- R: Praktisch-technische Interessen (*realistic*)
- I: Intellektuell-forschende Interessen (*investigative*)
- A: Künstlerisch-sprachliche Interessen (*artistic*)
- S: Soziale Interessen (*social*)
- E: Unternehmerische Interessen (*enterprising*)
- C: Konventionelle Interessen (*conventional*)

Jene Interessensdimensionen können auch als Persönlichkeitsorientierungen interpretiert werden. Der Umwelt-Struktur-Test (UST-R) dokumentiert schulisch-berufliche Umwelten, die mit dem AIST-R korrespondieren. Die Personen- und Umwelt-Daten lassen sich mit dem Konkurrenz-Konzept miteinander verknüpfen, wodurch sich Personen zu beruflichen Umwelten differenzial- und berufspsychologisch fundiert zuordnen lassen (Bergmann & Eder, 2005, S.11).

Durch die Items des AIST-R werden überwiegend schulische und berufliche Tätigkeiten repräsentiert. Diese Tätigkeiten sind hinsichtlich Situations-, Material- und Objektkomponenten so wenig wie möglich und nur so viel wie nötig spezifiziert (z. B. in einem Versuchslabor Experimente durchführen). In diesem Zusammenhang lassen sich die Tätigkeiten relativ gut differenzieren, weil die sechs unterschiedlichen Orientierungen als sechs verschiedene Arten des Umgangs bzw. der Auseinandersetzung einer Person mit ihrer Umwelt und mit sich selbst aufgefasst werden können (Bergmann & Eder, 2005, S.20).

Das Interesse ist in der Auswahl der Antwortmöglichkeiten in Form einer fünfgliedrigen Skala von „Das interessiert mich sehr; das tue ich sehr gerne“ bis einschließlich „Das interessiert mich gar nicht; das tue ich nicht gerne“ abgestuft. Zusätzlich wird diese mehrstufige Gliederung durch die Darstellung mit Zahlen von fünf bis eins unterstützt. Die zentralen Merkmale des Verfahrens werden im Folgenden beschrieben:

- Subjektive Interessensmessung
- Jedes Item entspricht durch die darin abgebildete Tätigkeit einer der sechs Interessensdimensionen
- Einzel-Item-Darbietung mit fünfstufigem Antwortformat
- Die abgestufte Interessensintensität im Antwortformat berücksichtigt kognitive, emotionale und wertbezogene Merkmale (Bergmann & Eder, 2005, S.20).

Der Umwelt-Struktur-Test (UST-R) bildet eine Analogie zum Interessenstest. Er beschreibt schulische und berufliche Umwelten nach der Theorie von Holland. Der UST-R besteht aus den gleichen Items wie der AIST-R. Lediglich die Instruktionen und das Antwortformat werden entsprechend angepasst. Die fünffach abgestuften Antwortmöglichkeiten reichen hier von „Das ist in dieser Ausbildung/ diesem Beruf sehr wichtig“ bis hin zu „Das ist in dieser Ausbildung/ diesem Beruf nicht wichtig“. Auch hier erfolgt die Gliederung der zur Verfügung stehenden Antworten zusätzlich visualisiert durch die Zahlen fünf bis eins. Der Test erteilt demzufolge eine Auskunft über die tatsächlichen bzw. individuell vermuteten Anforderungen in einer angestrebten Ausbildung oder in einem angestrebten Beruf (Bergmann & Eder, 2005, S.20).

AIST-R und UST-R werden hinsichtlich Typenbildung und Dimensionierung analog behandelt. Der AIST-R wird in den Bereichen Berufsorientierung, Schullaufbahnberatung, Studienwahl und Berufsberatung, psychologische Beratung von Schülern und Studenten, Organisationsberatung und -entwicklung, Personalauslese und Forschung angewendet (Bergmann & Eder, 2005, S.20-25).

In dieser Untersuchung wird ausschließlich der Interessenstest (AIST-R) durchgeführt. Schließlich ist es denkbar, dass das Interesse an der einzelnen Tätigkeit von großer Bedeutung für den Lernprozess ist. Die korrekte Einschätzung der beruflichen Tätigkeit spielt hierfür nur eine untergeordnete Rolle. Das ist neben der erhöhten Testökonomie ein weiterer Grund dafür, in dieser Untersuchung gänzlich auf den UST-R zu verzichten.

Ergänzend sei an dieser Stelle erwähnt, dass die 60 Items des Interessenstests AIST-R im Schnitt eine Bearbeitungszeit von 10-15 Minuten erfordern (Bergmann & Eder, 2005, S.28).

3.4.6 Fragebogen zur Messung des *Cognitive-Load*

Die Methodenvariation zur Messung des theoretischen Konstrukts *Cognitive-Load* lässt sich folgendermaßen klassifizieren: zum einen nach der Dimension Objektivität (Objektive/Subjektive) und zum anderen nach der kausalen Relation (direkt/indirekt). Die Dimension Objektivität der jeweiligen Methode beschreibt, wie subjektiv bzw. objektiv selbstberichtete Daten bzw. ein objektives Verhalten sind und ob physiologische Daten als *Performance* gemessen werden können (Brunken, Plass & Leutner, 2003, S.55).

Eine relativ objektive Messmethode zur Messung des *cognitive load* stellt die *Dual-Task*-Methode dar. Dabei wird zunächst eine Aufgabe gestellt (*primary task*) und dann die Reaktionszeit auf eine in unregelmäßigen Zeitabständen gestellte zweite Aufgabe (*secondary task*), wie z. B. ein Signal, innerhalb einer computermodellierten Lernumgebung gemessen (Baddeley, Chincotta & Adlam, 2001, S.641-657).

Die Dimension kausale Relation gibt an, ob die Daten direkt bzw. indirekt erfasst werden. Unter anderem besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem *cognitive load* und der Schwierigkeit des Lernmaterials (z. B. spezifische- oder unspezifische Problemlöseziele). An dieser Stelle gilt zu betonen, dass diese Schwierigkeit ein direktes Resultat aus dem *intrinsic load* (Gegenstand der Aufgabenstellung) und dem *extraneous load* (Art der Aufgabenstellung) ist und unmittelbar mit dem zu bewältigenden Lernmaterial einhergeht. Auch hierfür stellt die *Dual-Task*-Methode eine beispielhafte Herangehensweise dar. Indirekt wird der *cognitive load* über Fehler gemessen, die infolge eines fehlerhaften mentalen Modells der Lernumgebung entstehen (Brunken et al., 2003, S.55ff.).

Zur Messung des *cognitive load* wird in dieser Untersuchung jedoch der Fragebogen aus der Künsting-Studie herangezogen. Er verkörpert eine direkte und zugleich subjektive Messmethode wie in Tabelle 3.7 ersichtlich.

Tabelle 3.7: Kategorien zur Messung des *Cognitive-Load* (Brunken et al., 2003, S.55)

	Kausale Relation	
Objektivität	Indirekt	Direkt
Subjektive	<i>Self-reported invested mental effort</i>	<i>Self-reported stress level</i> <i>Self-reported difficulty of materials</i>
Objektive	<i>Physiological measures</i> <i>Behavioral measures</i> <i>Learning outcome measures</i>	<i>Brain activity measures (e.g. fMRI)</i> <i>Dual-task performance</i>

Dieser subjektive Fragebogen erfordert einen geringen Implementierungsaufwand. Vor diesem Hintergrund wird dieser Test vor allem aus testökonomischen Gründen im Rahmen der vorliegenden Arbeit herangezogen.

Ferner ist zu betonen, dass durch den Fragebogen unterschiedliche Anforderungsformate einer Aufgabe mithilfe einer konkreten Item-Formulierung mitberücksichtigt werden können (Künsting, 2007, S.122).

Legitim erscheint der Einsatz von Fragebögen zudem aus der Sichtweise von Gopher und Braune, die in einer Studie Probanden dazu aufforderten, die individuelle Intensität kognitiver Anstrengung im Anschluss an die Bearbeitung vorgegebener Aufgaben auf einer numerischen Skala einzuschätzen (Gopher & Braune, 1984, S.519-532).

Subjektive Messmethoden können hinsichtlich der zu überprüfenden Gütekriterien zu angemessenen Ergebnissen des *cognitive load* führen. Hierbei wird oft der Begriff *Workload* anstelle von *cognitive load* verwendet, da zahlreiche Forschungsarbeiten in diesem Bereich aus der Ergonomie-Forschung stammen, wo der Begriff *Workload* fest etabliert ist (Rubio, Diaz, Martin & Puente, 2004, S. 61-86; Tsang & Velazquez, 1996, S.358-381; Künsting, 2007, S.121f.).

Zudem lassen sich subjektive Messmethoden zur Messung des *cognitive load* damit rechtfertigen, dass Menschen in der Lage sind, introspektive die eigenen kognitiven Prozesse zu evaluieren (Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven, 2003, S.66).

Der hier verwendete *Cognitive-Load*-Test von Josef Künsting besteht aus 11 Items. Diese verfügen über ein siebenstufiges Likertskalensformat und werden den Studierenden in der vorliegenden Untersuchung zusätzlich in digitalisierter Ausführung auf der Lernplattform Moodle des BNT Trier zur Verfügung gestellt.

3.4.7 Fragebogen zur Messung der internalen Zielorientierungen

Die Übernahme von externalen Zielen ist von motivationalen Variablen abhängig, die sich in Form einer internalen Zieldichotomie – im Rahmen dieser Arbeit Problemlöseziele vs. Lernziele genannt – wiederfinden (Künsting, 2007, S.117).

Zwar werden in diesem Experiment ausschließlich externe Lernziele gesetzt, allerdings gilt es zu überprüfen, ob diese von den Studierenden mit den erforderlichen motivationalen Variablen als internale Lernzielorientierung zu besseren Lernergebnissen führen. Hierzu wird der Fragebogen aus der Künsting-Studie mit insgesamt 25 Items digital in Moodle implementiert. Die Zuordnung der Items zu den vier Skalen ist wie folgt:

1. Lernzielorientierung: Items 1, 2, 4, 8, 10, 11, 13, 17, 20.
2. Problemlösezielorientierung: Items 3, 5, 7, 9, 14, 15, 21, 23.
3. Annäherungs-Leistungszielorientierung: Items 6, 16, 25.
4. Vermeidungs-Leistungszielorientierung: Items 12, 18, 22, 24.

3.5 Studienaufbau

Erklärtes Ziel des vorliegenden Kapitels ist es, den konkreten Aufbau der Forschungsstrategie der explanativen experimentellen Feldstudie dieser Studie aufzudecken (vgl. Kapitel 3.1). Das Experiment erstreckt sich über zwei Messzeitpunkte und wird als regulärer Unterricht praktiziert. Deshalb hat es zum einen die Struktur eines Experiments, bei dem Störvariablen (vgl. Kapitel 3.3) weitestgehend ausgeschlossen werden können, und zum anderen bleibt das natürliche Umfeld als regulärer Unterricht bestehen. Infolgedessen verschmelzen in dieser Studie die Vorteile des Experimental- und Feldstudiendesigns. Der Prätest (vgl. Abbildung 3.8) dient in erster Linie zur Erfassung der bereits vorhandenen lernpsychologischen Kontextfaktoren, die den Studierenden im Posttest zur Verfügung stehen und an die sie während ihres Lernprozesses in diesem anknüpfen können. Somit werden zur Aufzeichnung dieser Kontextfaktoren im Prätest, bestehend aus den Tests zum beruflichen Interesse (AIST-R), zur internalen Zielorientierung (Künsting, 2007), zu *intelligence-as-process* (CFT 20-R), zum deklarativen Sachwissen sowie zur analytischen Problemlösekompetenz, vier Schulstunden (180 min.) eingeplant. Vorrang haben in der Ablaufstruktur die Tests, bei denen es auf die Ausführungsgeschwindigkeit ankommt. Demzufolge werden die „Powertests“ zum deklarativen Sachwissen und zur analytischen Problemlösekompetenz für den Schluss vorgesehen. Der Prätest ist mit seiner geplanten Ablaufstruktur in der Abbildung 3.8 einsehbar. Im Gegensatz zum Prätest hat der Posttest zum einen das Ziel, durch standardisierte Manipulation der unabhängigen Variablen in den vier *Treatment*-Gruppen Unterschiede in den danach messbaren, erworbenen lernpsy-

chologischen Kontextfaktoren herbeizuführen, die somit als abhängige Variablen fungieren. Zum anderen geht es auch um deren Messung im Hinblick auf das Lernarrangement. Für den Posttest werden der modifizierte *Cognitive-Load-Test* (Künsting, 2007), der Posttest zum deklarativen Sachwissen sowie der Posttest zur analytischen Problemlösekompetenz digital ermittelt. Der Posttest inklusive Lernarrangement wird ebenfalls mit vier Schulstunden (180 min.) eingeplant.

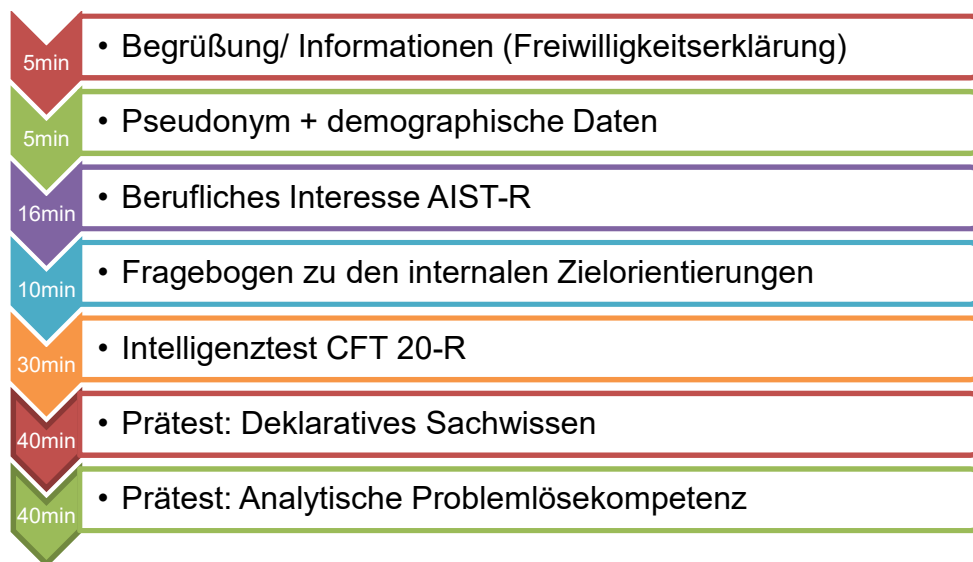


Abbildung 3.8: Ablauf Prätest der Studie (Tag 1)

Der geplante Posttest wird mit seiner Struktur dem bereits veranschaulichten Prätest nachfolgend in Abbildung 3.9 gegenübergestellt.

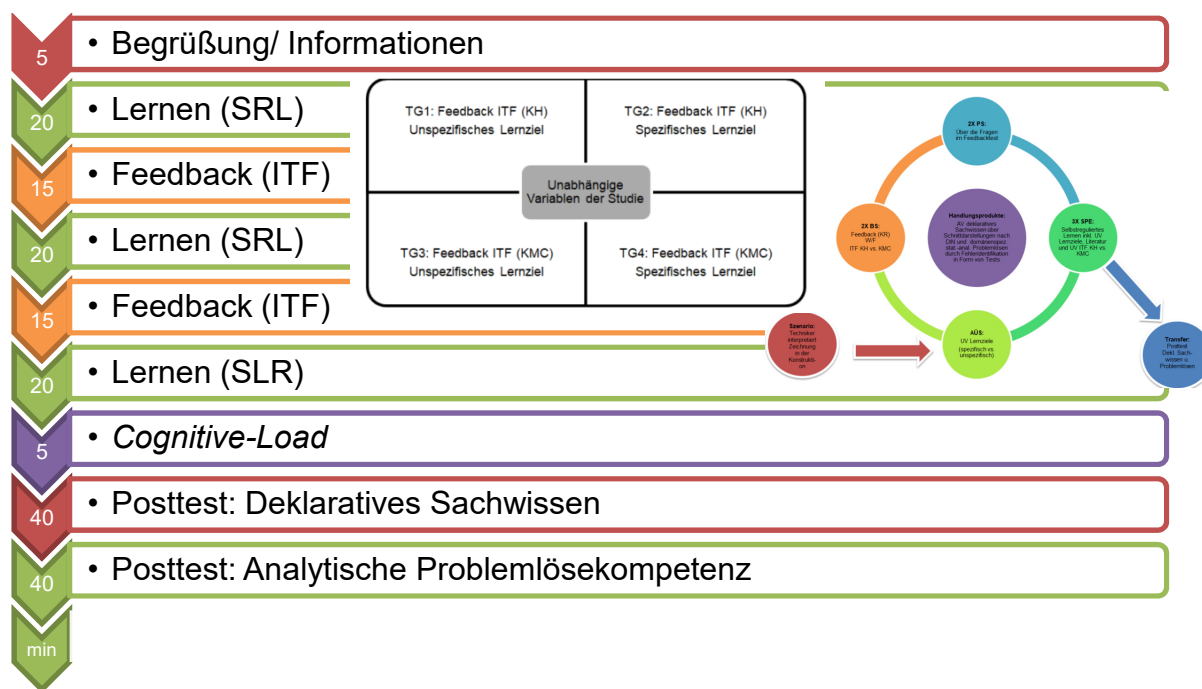


Abbildung 3.9: Ablauf Posttest der Studie (Tag 2)

Grundsätzlich werden die Tests anonym über 30 Anmeldeaccounts als Dummies für die digitale Lernplattform Moodle des BNT Trier generiert. Somit lassen sich persönliche Daten der Studierenden nicht auf die einzelnen Personen zurückbeziehen und die Störvariablen können einem Experiment entsprechend ausgeschlossen bzw. konstant gehalten werden. Dies unterstreichen insbesondere die beiden Tests zum deklarativen Sachwissen und zur analytischen Problemlösekompetenz, die über die Lernplattform Moodle zur höheren Standardisierung digital erfasst werden.

Zum Gruppenvergleich im Posttest werden vier Gruppen unabhängig voneinander getestet. Diese werden mit einer Komponente von externaler Zielsetzung (spezifisch und unspezifisch) sowie einer Komponente von informativem tutoriellem Feedback (ITF) [*Knowledge-on-how-to-proceed* (KH) bzw. *Knowledge-on-metacognition* (KMC)] ausgerüstet. Die Randomisierung erfolgt über die am Anfang zu ziehenden Anmeldeaccounts für die digitale Lernplattform Moodle des Balthasar-Neumann-Technikums Trier.

Zur Multigruppenanalyse können 75 Probanden pro Gruppe im Hinblick auf die Gruppengröße als zufriedenstellend angesehen werden (Little, 2013, S.126).

In der vorliegenden Studie stehen für jede Gruppe ca. 90 Probanden zur Verfügung, was als Indiz einer geeigneten Gruppengröße gedeutet werden kann. Die *Treatment*-Gruppen werden in Abbildung 3.10 dargestellt.

Die Umsetzung des *Treatments* erfolgt am zweiten Testtag während des Lernarrangements. Das Lernarrangement der externen Lernsteuerung wird mit der erweiterten Lernschleife gestaltet. Diese stellt somit die Schnittstelle zwischen externem und internem Regelkreis dar (vgl. Kapitel 2.3) (Arnold & Mueller, 1993, S.323ff.; Arnold & Schüssler, 1998, S.152ff.).

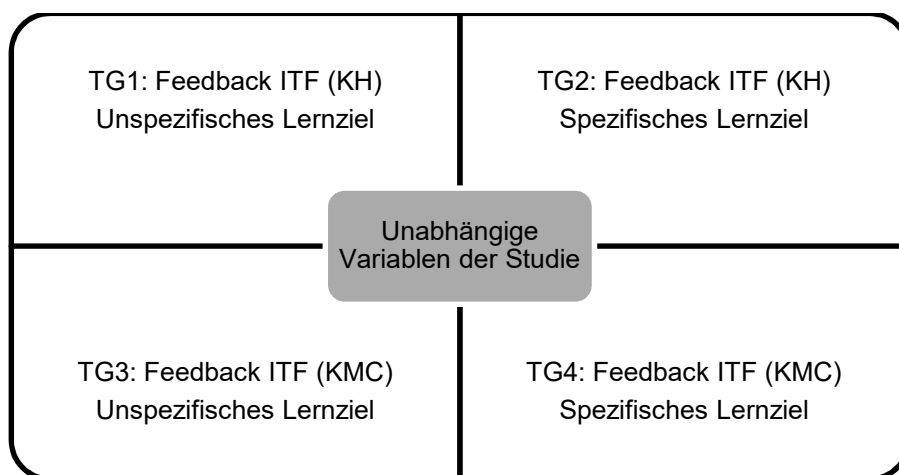


Abbildung 3.10: *Treatment* der Studie

Diese Organisationsform der Lernprozesse erscheint u. a. insofern passend, da das Individuum selbst entscheidet, ob das von außen gesetzte Lernziel angenommen oder abgelehnt wird (Arnold & Schüssler, 1998, S.122).

Gleichermaßen entscheidet der Lernende selbst darüber, ob er das informative tutorielle Feedback, das von außen zur Ermöglichung seines Lernprozesses zur Verfügung gestellt wird, in seinen internen Regelkreis integriert (vgl. Kapitel 2.3.2; Narciss, 2006, S.69-74).

Ebenfalls ist das Lernschleifenkonzept der Lernprozessorganisation weitestgehend kompatibel mit den vier Punkten des selbstregulierten Lernens. Vor allem aber stellt die Feedbackschleife neben dem aktiven Individuum einen zentralen Aspekt des selbstregulierten Lernens dar (vgl. Kapitel 2.3; Schreiber, 1998, S.9ff.).

Wie zuvor beschrieben, dient die erweiterte Lernschleife als ein von außen gesetzter Rahmen, der in Bezug auf das selbstregulierte Lernen eine angemessene Passung zwischen internem und externem Regelkreis ermöglichen soll. Deshalb wird das Lernarrangement der Studie als erweiterte Lernschleife in der externen Lernsteuerung des Modells zum selbstregulierten Lernen nach Schiefele und Pekrun entworfen. Die vier Phasen des Grundmodells der Lernschleife werden in dem vorliegenden Unterrichtsentwurf um die beiden Phasen „Szenario“ zu Beginn und „Transfer“ am Ende erweitert. Die Begründung für das Szenario zum Start liegt darin, eine reale berufliche Situation zu generieren, durch die bei den Studierenden eine für das Lernen notwendige Betroffenheit begünstigt wird. Auf diese Weise sollte für die Studierenden eine ausreichende Aufmerksamkeit hinsichtlich des Lernprozesses ermöglicht werden, welche die Übernahme der von außen gesetzten Lernziele vereinfacht. Als Transfer kann die sich an die Unterrichtseinheit anschließende Posttestphase angesehen werden, in der die Studierenden zum einen das von ihnen selbst erschlossene deklarative Sachwissen und zum anderen die analytische Problemlösekompetenz in einem neuen Kontext anwenden. Die Lernschleife wird zweimal komplett durchlaufen. Ein zusätzlicher dritter Durchgang dient lediglich zur Anwendung des zweiten Feedbacks und mündet daher nicht in einer dritten Besprechungs-Situation (BS). Die Gesamtdauer des Unterrichts beträgt 90 Minuten. Darin enthalten sind drei Selbster-schließungsphasen (SPE) mit einer jeweiligen Dauer von 20 Minuten sowie zwei Feedbackphasen (PS & BS) mit einer Dauer von je 15 Minuten (vgl. Abbildung 3.9). Zu Beginn starten die Studierenden über ein entsprechendes *Szenario*, indem sie imaginär in die Handlungssituation eines staatlich geprüften Technikers Maschinenbau versetzt werden, der sich in der Konstruktionsabteilung befindet. Hierzu erhalten sie ein Aufgabenblatt (vgl. Anhang), auf dem das Szenario und bereits die intendierten Zielsetzungen (spezifisch vs. unspezifisch) der Lernphasen als Orientierungshilfen schriftlich festgehalten sind. Zusätzlich wird ihnen die Zeichnung ausgehändigt, die von dem Techniker in der Konstruktion aufgrund einer Kundenreklamation auf vorhandene Fehler geprüft werden muss. Anschließend findet die *Auftragsübergabe-Situation (AÜS)* statt. Hier erhalten die Studierenden lediglich die Lernziele (spezifisch vs. unspezifisch) und die Technische Zeichnung in ausgedruckter Form. Danach interpretieren die Studierenden mithilfe der deklarierten Lernziele (spezifisch vs. unspezifisch) und der dafür vorgesehenen Fachliteratur (*Hoischen*) die Technische Zeichnung während des *selbstständig-produktiven Erschließens (SPE)*. Nach 20 Minuten absolvieren die Studierenden einen 15-minütigen, digitalen *Feedbacktest (PS & BS)* über die Lernplattform Moodle des BNT Trier, bei dem sie sowohl den eigenen

Lernprozess reflektieren als auch eine Rückmeldung in Form von informativem tutoriellem Feedback (KH vs. KMC) erhalten. Im Anschluss an das erste Feedback haben die Studierenden zum ersten Mal Gelegenheit, ihre neu erworbenen Erkenntnisse anzuwenden, indem sie erneut die Lernschleife über die zweite 20-minütige Selbsterschließungsphase (SPE) unter Zuhilfenahme der Fachliteratur und vor dem Hintergrund des kommunizierten Feedbacks durchlaufen. Es folgt die zweite und letzte Feedbackphase, bei der die ITF-Komponenten (KH) und (KMC) mit erweiterten Informationen mitgeteilt werden. Abschließend erhalten die Studierenden noch einmal ausreichend Zeit, die Technische Zeichnung mit den jeweiligen Zielen, dem insgesamt erhaltenen Feedback sowie der empfohlenen Fachliteratur auf Fehler zu überprüfen. Die *Transferleistung* erbringen die Studierenden im Rahmen des sich an den Unterricht anschließenden digitalen Posttest zum deklarativen Sachwissen und zur analytischen Problemlösekompetenz. In Abbildung 3.11 wird der organisatorische Ablauf des 90-minütigen Unterrichts im Modell der erweiterten Lernschleife veranschaulicht. Diese wird zweimal vollständig und beim dritten Mal bis inklusive der Selbsterschließungsphase (SPE) durchlaufen. Die erweiterte Lernschleife ist ein spezifizierter, integrativer Bestandteil des Modells der Studie zum selbstregulierten Lernen nach Schiefele und Pekrun (1996) und ist innerhalb der externen Lernsteuerung angesiedelt (vgl. Kapitel 2.3).

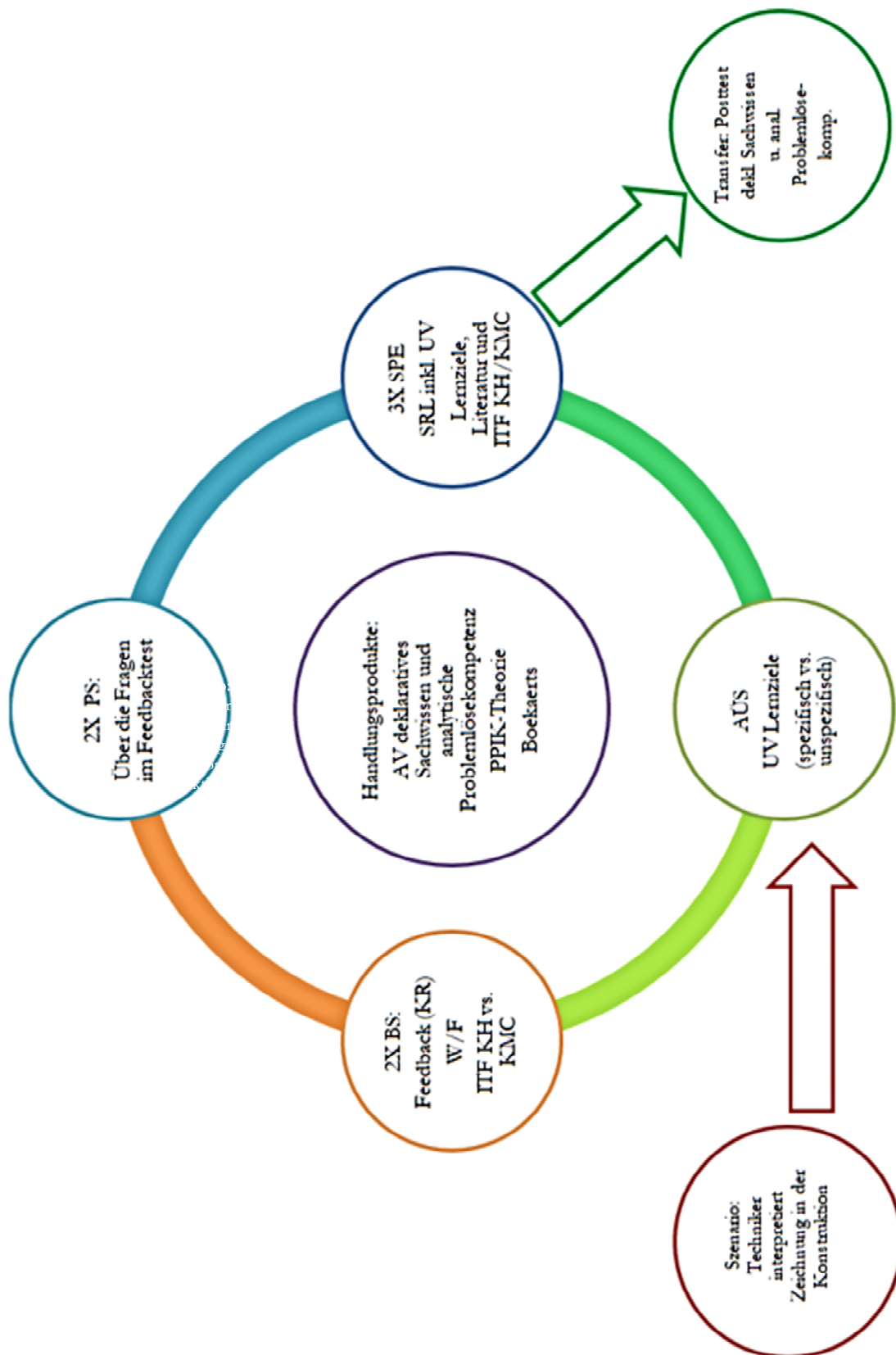


Abbildung 3.11: Lernschleife als organisatorischer Unterrichtsentwurf (Arnold & Mueller, 1993, S.323ff.)

3.6 Planung der Stichprobe zur Studie

Warum werden zur Studie Stichproben genommen und welche wären zur Studie denkbar? Wogegen lassen sich Stichproben abgrenzen? Welche Stichprobe wird in der vorliegenden Studie herangezogen? Diesen Fragen wird sich nachfolgend gewidmet.

Da sich im Zusammenhang mit dieser Studie nicht alle statistischen Einheiten im Sinne einer Vollerhebung erfassen lassen, wird auf entsprechende Stichproben zurückgegriffen, um von diesen auf die Grundgesamtheit schließen zu können. Einfache Zufallsstichproben – etwa im Sinne eines Lotterieverfahrens, bei dem jede statistische Einheit die Chance erhält, gezogen zu werden – sind auf die Praxis bezogen relativ schwer umsetzbar. Zufällig ist dabei nicht mit arbiträr zu verwechseln. Eine höhere Praktikabilität erweisen sogenannte geschichtete Zufallsstichproben. Bei diesen werden Stichproben aus aktiv herbeigeführten Schichten entnommen. So wäre z. B. die Ermittlung des Durchschnittseinkommens in der BRD mithilfe von gebildeten Schichten nach Berufsfeldern möglich. Interessanterweise ist dieses Vorgehen nicht nur praktikabler, sondern führt zusätzlich zur transparenteren Erfassung der Grundgesamtheit, was insbesondere mit der Schichtungsvariablen zusammenhängt. Eine noch effizientere Stichprobenlösung lässt sich durch die Klumpenstichprobe verwirklichen. Hierbei werden einzelne Stichproben als sogenannte Klumpen angenommen, die jeweils die Grundgesamtheit folgerichtig widerspiegeln. Die Klumpen werden somit als viele einzelne Grundgesamtheiten betrachtet. Demgemäß ist die Schichtung in der Klumpenstichprobe im Gegensatz zur geschichteten Zufallsstichprobe bereits vorhanden und muss nicht künstlich herbeigeführt werden (Fahrmeir et al., 2007, S.25f.; Döring & Bortz, 2016, S.310ff.).

Als Stichprobe dieser Studie wird sich folglich für die Klumpenstichprobe, mittels derer auf die Grundgesamtheit in Form der Fachschüler von Rheinland-Pfalz geschlossen werden kann, entschieden. Die Klumpen der vorliegenden Untersuchung bestehen aus den Fachschulklassen im Maschinenwesen, Schwerpunkt Maschinenbau, des Landes Rheinland-Pfalz. Es handelt es sich somit nicht nur um die gleichen Fachschulklassen, sondern zusätzlich auch um die gleichen Fachschulklassen mit identischem Schwerpunkt. Darüber hinaus ist zu dieser Weiterbildung eine abgeschlossene Berufsausbildung inklusive einer einschlägigen Berufserfahrung notwendig, was für eine Homogenisierung sprechen könnte. Des Weiteren stammen die Studierenden der Fachschulklassen aus einem relativ großen Einzugsgebiet. So finden sich derartige Vollzeitklassen in Rheinland-Pfalz jeweils ausschließlich in Trier, Koblenz, Kaiserslautern, Birkenfeld, Ludwigshafen, Ingelheim und Germersheim. Dadurch wird ersichtlich, dass es z. B. in einer Stadt wie Trier zwar zahlreiche Gymnasien gibt, aber nur eine Schule, die Fachschüler in diesem Bereich ausbildet – auf dem Gebiet des Maschinenbaus ist dies das Balthasar-Neumann-Technikum Trier.

3.7 Fazit zum Studiendesign

Am Anfang dieses Kapitels stellten sich u. a. die Fragen nach der Forschungsstrategie, der Systematik, der Stichprobe und den dafür notwendigen Tests inklusive der passenden Items. Es ergab sich, dass die Daten in der vorliegenden Studie zuerst erzeugt werden müssen, weswegen eine angemessene Systematik zwingend erforderlich ist. Diese im Rahmen der experimentellen Feldstudie angewandte Systematik wird als methodische Strenge bezeichnet, in der besonders die Evidenzen zur Validität als Gütekriterium hervorzuheben sind. Außerdem ist ebenfalls die ethische Strenge zu betonen, da es eben nicht um eine Wahrheitsbehauptung, sondern um eine Wahrheitssuche im Sinne eines kritischen Rationalismus geht. Dessen ungeachtet besteht der Großteil an psychometrischen Tests dieser Studie aus dichotomen und damit qualitativen Daten. Deren Konstruktion erfolgt auf Grundlage der probabilistischen Testtheorie, die sowohl die Personfähigkeit als auch die Item-schwierigkeit aus der Datenmatrix schätzt. Alle eingesetzten Tests dienen zur Erfassung der PPIK-Theorie aus der operationalisierten Säule (B). Alle unabhängigen Variablen zur gezielten Manipulation sind hingegen der operationalisierten Säule (C) zuzuschreiben und sollen somit eine Antwort auf die Frage, *wie* das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen gefördert werden könnte, liefern. Die Studierenden werden zu Beginn am Testtag eins randomisiert, wodurch sich in Verbindung mit der Schulart eine ausreichend homogenisierte Stichprobe ergeben sollte. Anhand dieser sogenannten Klumpenstichprobe wäre damit eine inferenzstatistische Schlussfolgerung möglich.

Organisatorisch wird der Lernprozess in Form der erweiterten Lernschleife organisiert. Diese Struktur enthält alle externen Prozesse (z. B. ITF, Lernziele), die den Lernenden von außen während ihres Lernprozesses zur Verfügung gestellt werden. Ergibt sich zwischen internem und externem Regelkreis eine geringe Abweichung, steht dies für eine geglückte Passung. Ist die Abweichung größer, wäre die Passung zu optimieren. Welches Feedback bzw. welches Lernziel erzeugt nun die geringste Diskrepanz zwischen beiden Regelkreisen? Lässt sich dieses Design der Studie tatsächlich in den Schulen praktizieren? Diesen Fragen gilt es in den nachfolgenden Kapiteln auf den Grund zu gehen.

4 Untersuchungsdurchführung

An welchen rheinland-pfälzischen Fachschulen wird das Experiment durchgeführt? Wie wird die Untersuchung initiiert, z. B. hinsichtlich der Randomisierung oder des Lernangebots? In welcher Reihenfolge und in welchem Zeitraum werden die Tests den Probanden dargeboten? Dies sind u. a. Fragen, die in Kapitel 4 „Untersuchungsdurchführung“ zu beantworten sind. Es gliedert sich in vier Teilbereiche auf, die nachstehend kurz aufgelistet werden: Kapitel 4.1 liefert zu Beginn eine allgemeine Übersicht. Im Anschluss daran folgen die Kapitel 4.2 „Untersuchungsdurchführung Tag 1“ und Kapitel 4.3 „Untersuchungsdurchführung Tag 2“. Das abschließende Fazit in Kapitel 4.4 rundet die Betrachtung der Untersuchungsdurchführung ab.

4.1 Übersicht der Untersuchungsdurchführung

Die experimentelle Feldstudie im Prä-Posttest-Design wird an den Schulen Balthasar-Neumann-Technikum Trier, Carl-Benz-Schule Koblenz, Meisterschule für Handwerker Kaiserslautern, Berufsbildende Schule Ingelheim am Rhein, Harald-Fissler-Schule Idar-Oberstein und der Elisabeth-Stiftung des DRK Birkenfeld Technik an jeweils zwei Tagen durchgeführt.

Der erste Tag dient zur Bestimmung der Ausgangsreferenz (z. B. Vorwissen). Der zweite Tag ist für die Lernphase vorgesehen, bei der die unabhängigen Variablen Lernziele (spezifisch/unspezifisch) und informatives tutorielles Feedback (KMC/KH) in der jeweiligen Klumpenstichprobe in Form von vier Gruppen realisiert werden. Gemessen werden im Anschluss der *Cognitive-Load* sowie die abhängigen Variablen deklaratives Sachwissen und analytische Problemlösekompetenz. Die Tests verlaufen überwiegend digital auf der Lernplattform Moodle des BNT Trier. Hierzu werden 31 Dummys generiert, zu denen keine persönlichen Daten hinterlegt sind. Auf diese Weise sind die Studierenden durch die Verwendung des jeweiligen Dummys anonymisiert.

Die angestrebte Randomisierung wird gewährleistet, indem jeder Studierende selbst einen Zugang zur Lernplattform Moodle in Form eines auf einem Tisch liegenden Zettels mit dem entsprechenden Dummy zieht. Hierbei besteht die Gruppe 1 aus den Dummys 1-7, die Gruppe 2 aus den Dummys 8-14, die Gruppe 3 aus den Dummys 15-21 und die Gruppe 4 aus den Dummys 22-28. Für die Dummys 29-31 wird keine Verwendung gefunden, da die größte Technikerklasse 28 Studierende umfasst.

Gruppe 1 erhält am zweiten Tag unspezifische Lernziele kombiniert mit der informativen tutoriellen Feedbackkomponente *Knowledge-on-how-to-proceed* (KH); Gruppe 2 bekommt am zweiten Tag spezifische Lernziele kombiniert mit der informativen tutoriellen Feedbackkomponente *Knowledge-on-how-to-proceed* (KH); Gruppe 3 erhält unspezifische Lernziele zu-

sammen mit der informativen tutoriellen Feedbackkomponente *Knowledge-on-metacognition* (KMC) und Gruppe 4 wird schließlich mit spezifischen Lernzielen in Verbindung mit der informativen tutoriellen Feedbackkomponente *Knowledge-on-metacognition* (KMC) konfrontiert. Diese Gruppenzusammensetzungen, die auf der Differenzierung durch die jeweiligen unabhängigen Variablen basieren, werden in Tabelle 4.1 veranschaulicht:

Tabelle 4.1: Übersicht der unabhängigen Variablen während der Durchführung

	Feedback ITF (KH)	Feedback ITF (KMC)
Unspezifisches Lernziel (US)	Gruppe 1 (USKH)	Gruppe 3 (USKMC)
Spezifisches Lernziel (SP)	Gruppe 2 (SPKH)	Gruppe 4 (SPKMC)

Der Anmeldezettel wird während der Untersuchung inklusive des schriftlich eingetragenen Pseudonyms eingesammelt, damit er am zweiten Testtag wieder ausgeteilt werden kann. Somit findet jeder Studierende seinen Account vom ersten Tag anhand seines eingetragenen Pseudonyms. Die Anmeldung erfolgt regulär über die Internetseite des BNT Trier mit dem jeweiligen Anmelde-Account bestehend aus Anmeldenamen sowie -kennwort für den individuellen Moodledummy. Um eine möglichst hohe Standardisierung zu erzielen, werden die Tests nach der Anmeldung chronologisch und von allen Studierenden gleichzeitig bearbeitet. Die Bearbeitung findet innerhalb der dafür festgelegten Vorgabezeit statt.

Zusätzlich zu dem standardisiert vorhandenen Intro wird vor jedem Test eine mündliche Besprechung vorgenommen. Erst wenn es keine Fragen mehr gibt, kann mit dem Test begonnen werden. Durch diese Vorgehensweise werden die Daten der Tests automatisch und größtenteils digital erfasst. Die Studierenden können für die Prä- und Posttests zur Messung des deklarativen Sachwissens und der analytischen Problemlösekompetenz die Fachliteratur *Hoischen* heranziehen. Letztere ist besonders entscheidend in den Lernphasen des zweiten Tags der Untersuchung. Hier lernen die Studierenden anhand einer Technischen Zeichnung und eines Szenarios mit entsprechender Lernaufgabe für eine Dauer von dreimal 20 Minuten. Zwischen den drei Lernphasen – nach Lernphase 1 bzw. nach Lernphase 2 – absolvieren die Studierenden einen 15-minütigen Feedbacktest. Bei den eigens hierfür erstellten Tests haben die Studierenden zudem die Möglichkeit, über die Antwortoption „weiß nicht“ nach Bedarf auszuweichen. Dies betrifft u. a. den Test zum deklarativen Sachwissen, wodurch ein Raten von vornherein möglichst ausgeschlossen wird.

4.2 Untersuchungsdurchführung Tag 1

Nach der Begrüßung zu Beginn der Untersuchung werden die Studierenden über die Freiwilligkeit und die Anonymisierung ihrer Daten mündlich wie schriftlich in Kenntnis gesetzt. Des Weiteren unterzeichnen sie die ausgehändigte Freiwilligkeitserklärung nach den DFG-Richtlinien. Im Anschluss melden sich die Studierenden vorab über ihren zufällig gezogenen Account zu den Tests an, der sie auf der Moodle-Internetseite des BNT Trier zu einer der vier Versuchsgruppen zuweist.

Der Ablauf des ersten Testtags ist in tabellarischer Form skizziert (vgl. Tabelle 4.2). Der erste Test (max. fünf Minuten) bezieht sich auf das Pseudonym sowie die demographischen Daten des jeweiligen Studierenden. Über das Pseudonym kann dem Studierenden am zweiten Testtag derselbe Account wie an Tag 1 zugeteilt werden. Damit das Pseudonym rekonstruierbar ist, wird es über die beiden Anfangsbuchstaben des Vornamens der Mutter, die beiden Anfangsbuchstaben des Vornamens des Vaters und das Alter der Testperson als Zahl ausgedrückt. Ferner wird es digital im Moodletest und analog auf dem ausgeteilten Zettel dokumentiert. Zusätzlich werden in diesem Test die demographischen Daten der Testperson, wie beispielsweise der bisher erreichte Schulabschluss, erfragt.

Der anschließende Test zum beruflichen Interesse AIST-R dauert insgesamt 14 Minuten und setzt sich aus zwei Teilen zusammen, die jeweils sieben Minuten Zeit in Anspruch nehmen. Zu Beginn werden von den Studierenden in zwei Minuten zwei Beispielaufgaben bearbeitet. Sind nach der Bearbeitung der Beispielaufgaben keine Fragen mehr offen, wird mit dem eigentlichen Test begonnen.

Darauffolgend findet der achtminütige Test zur Identifikation der internalen Zielvorgaben von Künstling statt. Zu diesem Zweck lesen sich die Studierenden zuvor das dafür vorgesehene Intro durch, das anschließend mündlich besprochen wird. Sollten keine Fragen auftreten, wird mit dem 25 Items umfassenden Test angefangen.

Auf den Test zu den internalen Zielvorgaben folgt der erste Teil des Intelligenztests CFT 20-R von Weiß zur Messung der Grundintelligenz. Auch mit diesem Test wird erst gestartet, wenn der vorherige Test von allen Versuchsteilnehmern abgeschlossen wurde. Der erste Teil dieses Tests besteht aus vier Schritten: Zuerst lesen die Studierenden das Intro und lösen die Beispielaufgaben zu Teil 1. Außerdem erhalten sie dabei ein verifizierendes Feedback darüber, ob die Beispielaufgaben richtig gelöst wurden bzw. welche Lösung jeweils richtig gewesen wäre. Nach Klärung gegebenenfalls aufkommender Fragen wird mit dem eigentlichen Test begonnen. Die 15 Aufgaben werden von den Studierenden in vier Minuten gelöst. Nach Ablauf dieser Zeitvorgabe wird der Test abgegeben.

In gleicher Weise gilt dieses Vorgehen für die Schritte zwei, drei und vier von Test 1. In jeder Phase werden zuerst Beispielaufgaben gelöst; anschließend erhalten die Studierenden ein verifizierendes Feedback. Sollten eventuelle Fragen geklärt sein, startet der jewei-

lige Testabschnitt mit der Gesamtdauer von vier Minuten (bzw. drei Minuten für die Testabschnitte drei und vier). Der vierte Test besteht lediglich aus elf Aufgaben (Items).

Im Anschluss an den Grundintelligenztest CFT 20-R nach Weiß folgt der Prätest zum deklarativen Sachwissen über die DIN-gerechte Darstellung von Schnitten in Technischen Zeichnungen. Da die Fragen hierbei durch eine Funktion in Moodle gemischt werden, ist die Reihenfolge der Fragen zwischen Prä- und Posttest unterschiedlich. Der Test besteht aus insgesamt 30 Items, für die insgesamt 40 Minuten Bearbeitungszeit zur Verfügung stehen. Der zeitliche Rahmen ist bewusst so gewählt, dass für die Studierenden kein Zeitdruck entsteht. Grundsätzlich haben sie die Möglichkeit, zur Bearbeitung des Tests die bereits erwähnte Fachliteratur heranzuziehen. Sollte eine Frage nicht beantwortet werden können, sind die Studierenden dazu aufgefordert, „weiß nicht“ aus den Antwortmöglichkeiten auszuwählen. Auf diese Weise wird die Wahrscheinlichkeit eines Ratens der korrekten Antwort minimiert. Der Test wird ebenfalls nach dem Lesen und der Besprechung des Intros durchgeführt.

Zum Schluss absolvieren die Studierenden den Prätest zur analytischen Problemlösekompetenz. Auch hier wird zuerst das Intro von den Studierenden gelesen und anschließend im Plenum mündlich besprochen. Ziel dieses Tests ist es, den jeweiligen Fehler sowie Fehlerort in der entsprechenden Ansicht zu diagnostizieren, indem die für den einzelnen Fehler vorgesehene Nummer mithilfe des Fadenkreuzes per „*Drag-and-Drop*-Funktion“ an die Fehlerstelle gezogen wird. Auch für diesen Test steht eine Bearbeitungszeit von 40 Minuten zur Verfügung, wodurch während des eigentlichen Absolvierens der Aufgaben ein ausreichend großes Zeitfenster eingeräumt wird. Nach Abgabe ist der erste Testtag zu Ende. Dieser wird nachstehend tabellarisch aufgeführt:

Tabelle 4.2: Tag 1 (ca. 3 Schulstunden = 146 min.)

Phase	Zeit [min.]
Begrüßung/ Informationen (Freiwilligkeitserklärung)	5/5
Pseudonym + demographische Daten	5/10
Berufliches Interesse AIST-R	16/26
Fragebogen zu den internalen Zielorientierungen	10/36
Intelligenztest CFT 20-R	30/66
Prätest: Deklaratives Sachwissen	40/106
Prätest: Analytische Problemlösekompetenz	40/146

4.3 Untersuchungsdurchführung Tag 2

Nach der Begrüßung werden zu Beginn die Accountzettel inklusive Pseudonym mit den für die jeweilige Gruppe vorgesehenen Lernzielen sowie der Übungszeichnung ausgeteilt. Der Ablauf des zweiten Testtags (vgl. Tabelle 4.3) wird digital in tabellarischer Form in Moodle skizziert. Danach beginnt die erste Lernphase. Die Studierenden lernen anhand des Szenarios, der Lernaufgabe und der für die jeweilige Gruppe vorgesehenen Lernziele. Gruppe 1 und 3 lernen demnach mit unspezifischen Lernzielen, Gruppe 2 sowie 4 mit spezifischen. Darüber hinaus steht den Studierenden der *Hoischen* als einschlägige Fachliteratur zur Verfügung. Szenario, Lernaufgabe und Lernziele liegen den Studierenden ausgedruckt vor, können aber auch digital in Moodle abgerufen werden. Die Vorgehensweise der Lernphasen wird überdies auch noch mündlich erläutert. Im Anschluss an die 20-minütige erste Lernphase folgt der 15-minütige Feedbacktest. Dieser besteht lediglich aus Fragen oder Aussagen, die durch die Studierenden mit „wahr“ oder „falsch“ als digitale Auswahlmöglichkeit beantwortet werden können. Von zentraler Bedeutung ist hierbei allerdings das den Studierenden nach Beendigung des Tests digital mitgeteilte Feedback, mit dem sie in der zweiten Lerneinheit zusätzlich weiterlernen. Dabei erhalten die Gruppen 1 und 2 ein informatives tutorielles Feedback in Form von *Knowledge-on-how-to-proceed* (KH) und die Gruppen 3 und 4 ein informatives tutorielles Feedback in Form von *Knowledge-on-metacognition* (KMC). Die zweite Lernphase erstreckt sich ebenfalls über 20 Minuten. Wieder lernen die Studierenden mit den gleichen Gegebenheiten wie in der ersten Lernphase. Allein das jeweilige informative tutorielle Feedback ist nun zusätzlich hinzugekommen.

An die zweite Lernphase schließt sich der letzte, ebenfalls 15-minütige Feedbacktest an. Der Verlauf des digitalen Feedbacktests ist mit dem des ersten vergleichbar. Allerdings wird hier das Feedback präzisiert und der Studierende erhält zudem die Möglichkeit, eine erneute Bewertung seines Lernprozesses zu erhalten. Danach folgt die dritte Lernphase, innerhalb derer die Studierenden Gelegenheit haben, das erhaltene Feedback in den eigenen Lernprozess zu integrieren.

Nach den drei Lernphasen und den dazwischenliegenden Feedbacktests findet der *Cognitive-Load*-Test nach der Vorlage von Künsting statt. Dieser dient zur Bestimmung der jeweiligen kognitiven Belastung während der Lernphasen. Die Bearbeitungsdauer des *Cognitive-Load*-Tests beträgt fünf Minuten.

Nun erfolgt der Posttest zum deklarativen Sachwissen. Dieser entspricht bis auf die Reihenfolge der Fragen dem Prätest. Wieder können die Studierenden mit „weiß nicht“ antworten, wodurch ein Erraten der richtigen Antwort minimiert wird. Die Bearbeitungszeit beträgt erneut 40 Minuten, womit einem etwaigen Aufkommen von Zeitdruck entgegen gewirkt wird.

Als letzten Test absolvieren die Studierenden den Posttest zur analytischen Problemlösekompetenz. Auch dieser Test ist mit dem Prätest identisch. Erneut werden die Nummern des jeweiligen Fehlers per „Drag and Drop“ mit dem Fadenkreuz an die korrekte Stelle

gezogen. 40 Minuten Bearbeitungszeit schließen auch hier einen Zeitdruck während der Bearbeitung aus. In Tabelle 4.3 wird der zweite Testtag dargestellt.

Tabelle 4.3: Tag 2 (ca. 4 Schulstunden = 180 min.)

	Phase	Zeit [min.]
1.	Begrüßung/ Informationen	5/5
2.	Lernen (SRL)	20/25
3.	Feedback (ITF)	15/40
4.	Lernen (SRL)	20/60
5.	Feedback (ITF)	15/75
6.	Lernen (SRL)	20/95
7.	<i>Cognitive-Load</i>	5/100
8.	Posttest: Deklaratives Sachwissen	40/140
9.	Posttest: Analytische Problemlösekompetenz	40/180

4.4 Fazit: Untersuchungsdurchführung

Die Untersuchungen liefen weitestgehend wie geplant ab. Der Ausfall einzelner Testpersonen am zweiten Testtag konnte krankheitsbedingt nicht ausgeschlossen werden, was jedoch bereits bei den Planungen berücksichtigt wurde. Gleichwohl belief sich die krankheitsbedingte Abwesenheit von Testpersonen am zweiten Tag auf ein verträgliches Maß. Auch die Onlineabwicklung der Tests wurde wie geplant absolviert. Lediglich an einer Schule musste aufgrund einer unzureichenden WLAN-Verbindung die Untersuchung nachträglich in einen PC-Raum verlegt werden. Von dort konnten die Tests schließlich nach Plan zum Abschluss gebracht werden. Die insgesamt relativ hohe, durch die Tests generierte Anzahl an Items (6 Tests im Prä- und 4 Tests im Posttest) konnte durch die standardisierte und überwiegend digitale Bearbeitung via Lernplattform Moodle des BNT Trier verhältnismäßig anwenderfreundlich für die Studierenden realisiert werden. Insgesamt lässt sich eine standardisierte Untersuchungsdurchführung an den Schulen BNT Trier, Carl-Benz-Schule Koblenz, Meisterschule für Handwerker Kaiserslautern, BBS Ingelheim am Rhein, Harald-Fissler-Schule Idar-Oberstein und der Elisabeth-Stiftung des DRK Birkenfeld Technik feststellen. Darüber hinaus ließen sich zahlreiche positive Rückmeldungen von den Studierenden verzeichnen. Dies betraf insbesondere das Lernarrangement im Posttest, bei dem die Studierenden während ihres Lernprozesses mit informativem tutoriellem Feedback begleitet wurden. Welche ITF-Kombination hat den Studierenden besser geholfen? Oder lag es eher an der zu Beginn erklärten Lernzielsetzung? Diese Fragen werden im folgenden Kapitel behandelt.

5 Analysen zur Studie

In den vorliegenden fünf Analysen zur Studie geht es darum, sowohl Evidenzen zur Bestätigung der PPIK-Theorie (Säule B) als auch Evidenzen für ein angemessenes Lernarrangement durch selbstreguliertes Lernen (Säule C) nachzuweisen. Zu diesem Zweck wird sich der Strukturgleichungsmodellierung (SEM) bedient, um aus den zuvor herbeigeführten Daten im Experiment adäquate Evidenzen aufzudecken. Wie lassen sich jedoch die aus der Untersuchung gewonnenen Daten in die dafür vorgesehene Software überführen? Was ist unter dem Begriff der Strukturgleichungsmodellierung (SEM) zu verstehen und mit welchen Werten können diese überprüft werden? Diesen Fragen gilt es zunächst nachzugehen, damit in Analyse 1 mithilfe der konfirmatorischen Faktorenanalyse (CFA) eine Entscheidung über die Mehrdimensionalität der beiden Konstrukte deklaratives Sachwissen und analytische Problemlösekompetenz der berufsfachlichen Kompetenz getroffen werden kann. Neben den bisherigen Maßnahmen zur Standardisierung wird zudem über das Studiendesign eine Prüfung auf Invarianz der Gruppen durchgeführt (Analyse 2), damit die Gruppen hinsichtlich des Lernarrangements auch tatsächlich miteinander vergleichbar sind (Analyse 3). Im Übrigen wird diese Invarianzprüfung genutzt, um eine Brücke zwischen Prä- und Posttest mit Fokus auf der PPIK-Theorie (Analyse 5) zu schlagen. Ferner stellt sich in Analyse 4 die Frage, ob sich die Calculushypothese beruflicher Interessen RIASEC in der vorliegenden Studie auf einem Kreis sparsam aufzeichnen lässt. Der Gesamtkontext wird in Abbildung 5.1 dargestellt.

5.1 Formation der beobachteten Daten

Zunächst müssen die Testdaten von der digitalen Lernplattform Moodle des BNT Trier heruntergeladen werden. Dazu wird jeder einzelne Test als separate Excel-Datei abgespeichert, wodurch jeder Test vierfach vorhanden ist. Handelt es sich z. B. um den Vortest zum deklarativen Sachwissen, sind pro Schulklasse vier separate Excel-Dateien vorhanden. Alle Daten werden anschließend in eine zusammenhängende Excel-Datei überführt. Zusätzlich wird von den Moodletests eine Sicherungskopie erzeugt.

Die Fragen des deklarativen Sachwissenstests (Nachttest) in Moodle sind in einer anderen Reihenfolge angeordnet als die des Vortests. Hierdurch sind die Fragen nicht so leicht wiederzuerkennen. Aus diesem Grund müssen zur Berechnung in SPSS die diesbezüglich abgegriffenen Daten in der Excel-Tabelle in die gleiche Reihenfolge gebracht werden wie beim Vortest. Folglich werden die Fragen gemäß ihrer Reihenfolge in Tabelle 5.1 analog in SPSS umsortiert.

Wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, konnten einige Probanden während der Testdurchführung am zweiten Testtag krankheitsbedingt nicht teilnehmen. Dadurch kam es an dieser Stelle zu fehlenden Werten im System, die in SPSS durch den Wert -99 substituiert werden müssen.

Tabelle 5.1: Umwandlung Nachttest deklaratives Sachwissen von Moodle in SPSS

Moodle	SPSS	Moodle	SPSS	Moodle	SPSS	Moodle	SPSS
4	2	29	9	3	16	16	23
26	3	25	10	6	17	13	24
14	4	12	11	19	18	7	25
2	5	27	12	15	19	22	26
21	6	5	13	17	20	23	27
24	7	10	14	9	21	30	29
11	8	18	15	8	22	20	30

Der Zuordnungstest zur analytischen Problemlösekompetenz in Moodle kann vom System nicht vollständig ausgewertet werden. Infolgedessen wird die Auswertung zusätzlich von Hand vorgenommen. Von den insgesamt 36 vorhandenen Fehlern in der Technischen Zeichnung kam es hin und wieder zu relativ kleinen Abweichungen zwischen denen vom System erkannten Fehlern und den Fehlern aus der manuellen Auswertung. Diese lagen im Bereich von +/- 2 Fehlern.

Die vier Testabschnitte des Grundintelligenztests CFT 20-R aus dem Bereich 1 werden in SPSS aus den einzelnen Antwortergebnissen berechnet. Gleiches gilt für die Rohwerte des allgemeinen Interessesstruktur-Tests (AIST-R), den Test zur Zielorientierung und den Test zur Erfassung des *Cognitive-Load*.

Um die Daten zur Auswertung in das syntaxbasierte Statistikprogramm Mplus7 zu überführen, werden sie als Tabstopp getrennte (.dat) Datei (Software/ notepad) abgespeichert. Auf diese Weise kann der Datensatz von Mplus7 adäquat eingelesen werden.

Hierbei ist es von großer Bedeutung, eine geeignete Schnittstelle zwischen SPSS und Mplus7 zu generieren. Damit dies gelingt ist darauf zu achten, Kommas durch Punkte in der Rohdatenmatrix von SPSS zu substituieren. Dies kann u. a. über die Wahl der Ländereinstellungen in SPSS, wo die Sprache Englisch statt Deutsch gewählt wird, erfolgen (Geiser, 2011, S.13f.).

Die Items aus dem Test zum deklarativen Sachwissen sowie die 36 Fehleritems in der Technischen Zeichnung werden zu jeweils sechs theoretisch begründeten Kompetenzdimensionen standardisiert zusammengefasst. Dies ermöglicht eine relativ systematische Betrachtungsweise des deklarativen Sachwissens und der analytischen Problemlösekompetenz. Schließlich liegt es, wie bereits erörtert, nahe, dass das deklarative Sachwissen für die analytische Problemlösekompetenz eine bedeutsame Rolle spielt. Die sechs Dimensionen, die einheitlich für das deklarative Sachwissen und für die analytische Problemlösekompetenz theoretisch hergeleitet werden, lauten:

- Schnittbezeichnungen
- Schraffur von Schnittflächen
- Linien in Schnitten
- Schnittverläufe
- Schnittansichten
- Räumliches Vorstellen

5.2 *Structural Equation Modeling* (SEM) zur Durchführung der Analysen (1-5)

Die anstehenden Analysen (1-5) zur Aufdeckung der PPIK-Theorie (Säule B) und eines adäquaten selbstregulierten Lernens (Säule C) werden mithilfe von Strukturgleichungsmodellen in Mplus7 durchgeführt. Wie lassen sich Strukturgleichungsmodelle beschreiben und welche Anwendung finden diese in den anstehenden Analysen? Auf diese Fragen wird anschließend eingegangen, um so den theorie-basierten Hintergrund der Strukturgleichungsmodellierung zu beleuchten.

Structural Equation Modeling (SEM) hat seinen Ursprung in einer Ansammlung miteinander verwandter statistischer Auswertungstechniken, u. a. 1904 bei Charles Spearman bzw. 1918 in der Pfadanalyse des Genetikers Sewall Wright (Matsueda, 2012, S.17ff.; Kaplan, 2009, S.2f.; Kline, 2011, S.15).

Erst 1970 erfuhr *Structural Equation Modeling* (SEM) durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit in den Disziplinen Ökonomie, Soziologie, Psychologie, Statistik und Politikwissenschaften einen bedeutenden Aufschwung (Matsueda, 2012, S.23).

Weitere entscheidende Fortschritte entstanden z. B. durch die Handhabung von ordinalen und diskreten Daten sowie die Modellierung von Wachstumsmodellen (z. B. LC) (Matsueda, 2012, S.28ff.).

Der Einsatz des Personal Computer mit entsprechenden Statistikprogrammen (z. B. LISREL) leistete ebenfalls einen wesentlichen Beitrag zur Verbreitung der SEM seit den 1980er Jahren (Kline, 2011, S.15).

Structural Equation Modeling (SEM) bezeichnet eine ganze Methodenfamilie multivariater Datenanalysen der Inferenzstatistik. Varianzen und Kovarianzen bilden für das Strukturgleichungsmodell in der Regel die Datengrundlage, weswegen auch der Begriff *covariance structure modeling* verwendet wird (Kaplan, 2009, S.1; Reinecke, 2014, S.1f.; Hoyle, 2012, S.1).

Die Verwandtschaft zu den inferenzstatistischen Methoden (wie z. B. Varianz-, Pfad- und Regressionsanalyse) wird zudem dadurch deutlich, dass die SEM als eine Generalisation, Integration und Extension dieser Modelle zu verstehen ist (Hoyle, 2012, S.4; Kaplan, 2009, S.3).

Es lassen sich kontinuierliche und kategoriale Daten sowohl aus Befragungen als auch aus Experimenten bzw. Quasi-Experimenten verwenden (Reinecke, 2014, S.1f.).

In Strukturgleichungsmodellen wird keine Theorie widerlegt, wie dies z. B. beim inferenzstatistischen Hypothesen-Test der Fall ist. Stattdessen wird überprüft, ob die beobachteten Daten zum hypothetischen Modell passen. Es findet folglich ein Vergleich zwischen der beobachteten (S) und der geschätzten (Σ) Kovarianzmatrix statt (Urban & Mayerl, 2014, S.14; Kline, 2011, S.12f.; West, Taylor & Wu, 2012, S.209; Kaplan, 2009, S.23; Reinecke, 2014, S.9).

Damit existiert ein bedeutender Vorteil der SEM sowohl gegenüber der Varianzanalyse (ANOVA) als auch gegenüber der multiplen Regressionsanalyse, da eine Variable gleichzeitig in abhängiger und unabhängiger Form vorliegen kann (Hoyle, 2012, S.4.; Weiber & Mühlhaus, 2014, S.7).

Außerdem erlaubt sie eine Differenzierung zwischen gemessenen (manifesten) und nicht-gemessenen (latenten) Variablen. Daraus ergeben sich in Strukturgleichungsmodellen ein sogenanntes Messmodell (manifeste Variablen) und ein Strukturmodell (latente Variablen). Die minderungskorrigierte Schätzung des Messmodells führt zudem zu Evidenzen hinsichtlich der Validität der Koeffizienten des Strukturmodells (Brown, 2006, S.1ff.; Byrne, 2012, S.4f.; Reinecke, 2014, S.1f.).

Strukturgleichungsmodelle erlauben es, die Varianzen in die drei Bereiche valide Varianz, systematische sowie zufällige Fehlervarianz aufzugliedern und damit Fehler zu bereinigen, was wiederum zu einer erhöhten Reliabilität führt (Kaplan, 2009, S.43; Urban & Mayerl, 2014, S.17ff.; Bollen & Hoyle, 2012, S.57f.).

Vermeehrt findet der Begriff der *unique variance* Anwendung. Damit ist die komplette Fehlervarianz eines Items bzw. Indikators gemeint, die sich in den spezifischen (*specific variance*) sowie den unspezifischen Fehleranteil (*error variance*) aufspalten lässt (Xing & Hall, 2015, S.124; Bollen & Curran, 2006, S.246).

Damit werden nicht direkt messbare Konstrukte – wie z. B. Kompetenzen – schätzbar (Bollen & Hoyle, 2012, S.56).

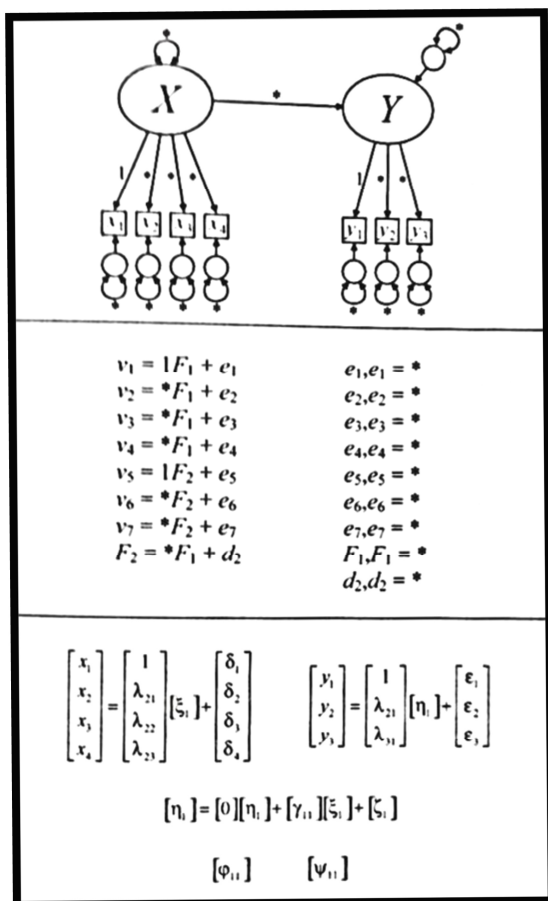


Abbildung 5.2: Darstellungsmöglichkeiten eines Strukturgleichungsmodells (Bollen & Hoyle, 2012, S.59)

hörigen Indikatoren x_1 - x_4 und einmal das Messmodell zwischen der latenten Variablen Y sowie den dazugehörigen Indikatoren y_1 - y_3 . Ebenfalls zeigt die latente Variable X einen Einfluss auf die latente Variable Y, der hier zugleich das Strukturmodell darstellt. Die Sternchen symbolisieren die frei zu schätzenden Parameter. Die 1 signalisiert eine Fixierung des Faktors auf den besagten Wert von eins. Der mittlere Bereich offenbart auf der linken Seite eine Schreibweise im *Double-Label-Format* mithilfe von Gleichungen. Die Indikatoren entsprechen V, die latenten Variablen F und die Fehlervarianzen e. Auch hier gilt es, die Parameter mit einem Sternchen frei zu schätzen. Im unteren Bereich ist das Strukturgleichungsmodell in der Matrixnotation zu erkennen. Die manifesten Variablen werden mit X für „unabhängig“ und Y für „abhängig“ gekennzeichnet. Für die zu schätzenden Parameter werden im Allgemeinen griechische Buchstaben verwendet. Hierbei korrespondiert ξ_1 mit der Variablen X und η_1 mit der Variablen Y. Die Faktorladungen λ korrespondieren mit den zu schätzenden Parametern. Die Fehlervarianzen werden durch γ und ϵ repräsentiert (Hoyle, 2012, S.4ff.).

Um aus den Ergebnissen eines Strukturgleichungsmodells als Hilfestellung einen kausalen Schluss zu ziehen, ist ein theoretisch begründetes Fundament zwingend erforderlich. Schließlich handelt es sich bei einer SEM lediglich um ein mathematisches Modell (Arzheimer, 2016, S.41ff.; Little, 2013, S.154).

Gerade diese zu schätzenden (latenten) Konstrukte weisen in den Sozialwissenschaften eine große Relevanz auf, wodurch die SEM und deren Gebrauch von großer Tragweite erscheint. Im Gegensatz hierzu bezog sich Sewall Wrights Pfadanalyse auf messbare (stetige) Daten in der Genetik (Kline, 2011, S.14-16).

In Abbildung 5.2 sind drei unterschiedliche Darstellungen des gleichen Strukturgleichungsmodells veranschaulicht. Die obere Darstellung zeigt ein Pfaddiagramm. Die latenten Variablen X und Y werden konventionell als Ellipsen bzw. als Kreise gezeichnet. x_1 - x_4 und y_1 - y_3 zeigen die manifesten Variablen (Indikatoren). Die latenten Variablen haben gerichtete Einflüsse auf die Indikatoren, die durch einseitige Pfeildarstellungen zur Geltung kommen. Dabei ergeben sich zwei Messmodelle:

einmal das Messmodell zwischen der latenten Variablen X sowie den dazugehörigen Indikatoren x_1 - x_4 und einmal das Messmodell zwischen der latenten Variablen Y sowie den dazugehörigen Indikatoren y_1 - y_3 .

Davon abgesehen lässt sich durch Hinzunahme von freien Parametern für jeden Datensatz ein willkürliches Modell generieren. Dieses hätte aus wissenschaftlicher Perspektive somit allerdings keine Relevanz (Kline, 2011, S.189; Reinecke, 2014, S.12).

Unterschiede lassen sich außerdem zwischen konfirmatorischer (CFA) und explorativer Faktoranalyse (EFA) feststellen (Brown, 2006, S.40ff.; Byrne, 2012, S.5; Hoyle, 2012, S.4; Kaplan, 2009, S.54; Brown & Moore, 2012, S.361f.).

Durch den Einsatz der explorativen Faktoranalyse (EFA) sind die Zusammenhänge zwischen manifesten und latenten Variablen unbekannt. Gegebenenfalls betrifft dies auch die latenten Variablen. Insofern ist die EFA aufgrund eines relativ unbekanntem theoretischen Hintergrunds mit der Suche nach einem geeigneten Strukturgleichungsmodell verbunden. Dies geschieht mithilfe der erhobenen Daten (Brown, 2006, S.20f.; Byrne, 2012, S.5f.; Hoyle, 2012, S.4).

Ein Gegenpol zur EFA ist die konfirmatorische Faktoranalyse (CFA), die auch in der vorliegenden Studie Anwendung findet.

Zur Modellidentifikation wird die Konstruktvarianz auf eins und der Mittelwert auf null fixiert (Little, 2013, S.82).

Für die Definition eines Strukturgleichungsmodells sind zahlreiche Parameter wie z. B. Varianzen, Regressionen und Residualvarianzen erforderlich. In diesem Kontext werden in der Regel griechische Buchstaben verwendet (vgl. Tabelle 5.2). Die nachfolgende Tabelle soll einen Überblick über die wichtigsten Parameter und deren griechische Buchstaben zur Verwendung in Strukturgleichungsmodellen veranschaulichen (Little, 2013, S.75).

Tabelle 5.2: Parameterbezeichnungen in der SEM (Little, 2013, S.75)

Buchstabenname	Groß	Klein	Interpretation SEM
Lambda	Λ	λ	Ladungen eines Indikators auf ein Konstrukt oder zwischen Konstrukten werden mit Lambda bezeichnet.
Psi	Ψ	ψ	Residualvarianzen eines Konstrukts bzw. Residualkovarianzen zwischen zwei Konstrukten werden im Falle endogener Variablen mit Psi angegeben.
Phi	Φ	φ	Varianzen eines Konstrukts bzw. Kovarianzen zwischen zwei Konstrukten werden im Falle von exogenen Variablen mit Phi ausgedrückt.
Theta	Θ	θ	Residualvarianzen auf einen Indikator bzw. Residualkovarianzen zwischen zwei Indikatoren werden mit Theta veranschaulicht.
Beta	B	β	Die Regression eines endogenen Konstrukts auf ein anderes wird mit Beta bezeichnet.
Tau	T	τ	Darstellung des <i>Intercept</i> bzw. <i>Thresholds</i> .
Alpha	A	α	Mittelwerte des latenten Konstrukts während der <i>Scaling</i> -Randbedingungen zur Bestimmung der Mittelwertstruktur (endogene Konstrukte).
Gamma	Γ	γ	Regression zwischen zwei Konstrukten. Hier werden endogene Variablen anhand von exogenen vorhergesagt.
Kappa	K	κ	Mittelwerte des latenten Konstrukts während der <i>Scaling</i> -Randbedingungen zur Bestimmung der Mittelwertstruktur (exogene Konstrukte).
Sigma	Σ	σ	Σ = die Varianz-Kovarianzmatrix. σ ist die Standardabweichung und σ^2 ist die Varianz bzw. Kovarianz eines Indikators.
Eta		η	Entspricht einem endogenen Konstrukt oder auch einer Variable.
Ksi		ξ	Entspricht einem exogenen Konstrukt oder auch einer Variable.
Chi		χ	<i>Misfit</i> einer Chi-Quadrat-Verteilung.
Delta	Δ		Veränderung zwischen zwei genesteten Modellen.

5.2.1 Konventionelle Herangehensweise und Modellfitwerte von Strukturgleichungsmodellen

Die Herangehensweise beim Modellieren von Strukturgleichungsmodellen ähnelt der eines Regelkreismodells aus der Kybernetik.

Zunächst wird die Theorie als Pfadanalyse konzipiert. Im Anschluss daran wird der Datensatz im Kovarianzformat via Diskrepanzfunktion geschätzt. Das Strukturgleichungsmodell wird langsam aufgebaut und beginnt mit den Messmodellen. Die Modellfitwerte verraten, ob die Diskrepanz zwischen dem hypothetischen und dem tatsächlichen Datenmodell klein genug ist (ein idealer Wert ist nahe Null). Ist dies der Fall, werden die Ergebnisse diskutiert. Sollte dem nicht so sein, wird dieser Prozess erneut solange zirkulär durchlaufen, bis das Modell fittet. Dieser in den Sozialwissenschaften konventionelle Prozess wird in Abbildung 5.3 veranschaulicht (Kaplan, 2009, S.8f.).

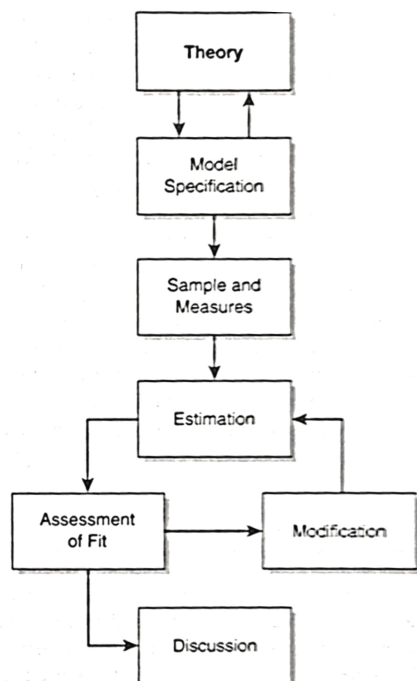


Abbildung 5.3 Herangehensweise SEM (Kaplan, 2009, S.9)

Die statistische Identifikation der Modelle kann unter Umständen zur Über- oder zur Unteridentifikation führen. Ist die Anzahl an bekannten individuellen Elementen der Inputmatrix größer als die Anzahl der unbekannt, frei zu schätzenden Parameter der Lösung, spricht man von einer Überidentifikation. Damit lassen die *Fit Indices* Rückschlüsse auf die Passung der tatsächlichen und geschätzten Kovarianzmatrixstruktur zu. Außerdem kann somit das Strukturgleichungsmodell entsprechend abgebildet werden. Sind die Freiheitsgrade ($df = 0$), so bedeutet dies, dass bekannte und unbekannte Elemente gleich sind. Damit wäre das Modell zwar gerade noch identifiziert, allerdings würde dies darauf hinweisen, dass das hypothetische Modell die gemessenen Daten perfekt abbildet. Deshalb liegen in einem solchen Fall keine *Fit Indices* vor. Im anderen Fall spricht man von einer Unteridentifikation; hier sind mehr unbekannte als bekannte Parameter vorhanden, wodurch sich das Modell nicht schätzen lässt. Es gibt jedoch auch Fälle, die zwar auf eine Unteridentifikation hinweisen, ihren Ursprung aber woanders (z. B. ungewöhnliche Werte in den Daten in Form von Ausreißern) haben (Kaplan, 2009, S.20; Brown & Moore, 2012, S.366; Little, 2013, S.85).

Gegebenenfalls kann es vorkommen, dass zwei Indikatoren untereinander korrelieren. Die Modellfitwerte lassen sich verbessern, wenn die Korrelation zugelassen wird. In diesem Fall muss jedoch eine theoretische Begründung vorausgehen. Existiert bei einem Indikator ein großer Anteil unaufgeklärter Varianz ($1-R^2$), so wäre eine Möglichkeit zur Modellverbesserung auf diesen Indikator zu verzichten (Brown & Moore, 2012, S.369ff.).

Eine andere Variante zur Behebung der Unteridentifikation besteht darin, weitere Restriktionen – beispielsweise mittels Fixierung von Koeffizienten auf entsprechende Werte – zu spezifizieren (Reinecke, 2014, S.58).

Eine Konstruktidentifikation wird verfehlt, wenn nicht genügend Informationen für jeden der zu schätzenden Parameter zur Verfügung steht. Daher sollte sie nicht mit der Modellidentifikation verwechselt werden (Little, 2013, S.85).

Zur Beurteilung der Modellschätzung bzw. Modellpassung werden für Strukturgleichungsmodelle sogenannte *Modellfit Indices* betrachtet. Hierbei werden die empirisch beobachteten Daten mit dem hypothetischen Modell verglichen. In diesem Zusammenhang lassen sich absolute von inkrementellen *Fit Indices* unterscheiden (Little, 2013, S.108; Brown, 2006, S.82ff.; Byrne, 2012, S.72f.; West et al., 2012, S.209).

Allerdings ist anzumerken, dass diese Werte keine festen Definitionen darstellen, sondern stattdessen im Gesamtkontext betrachtet werden müssen (Kline, 2011, S.190f.).

Diese *Fit Indices* werden weitestgehend aus dem Chi-Quadrat-Wert des Anpassungstests berechnet. Der Chi-Quadrat-Wert kann als ältester *Index* angesehen werden. Er ist allerdings in zu hohem Maße von der Stichprobengröße und der Verteilung abhängig, weshalb andere, von der Stichprobengröße unabhängige Anpassungswerte – wie z. B. der *Comparative Fit Index* (CFI) – zur Modellbeurteilung verwendet werden (Brown, 2006, S.81f.; Byrne, 2012, S.68ff.; Brown & Moore, 2012, S.369; Millsap, 2011, S.94f.).

Absolute *Fit Indices* zielen dabei auf die Modellevaluation ab. Diese erfolgt durch den Vergleich des hypothetisch geschätzten Modells mit einem perfekt passenden (*saturated*) Modell. Das *saturated* Modell repliziert die Stichprobenvarianz fehlerfrei. Ein absoluter *Fit Index* wäre beispielsweise der *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA). Inkrementelle *Fit Indices* wie z. B. der *Comparative Fit Index* (CFI) oder der *Tucker-Lewis Index* (TLI) beschreiben hingegen den Modellvergleich zwischen dem hypothetisch geschätzten Modell und einem möglichst schlecht passenden Modell. Ein solches Vergleichsmodell wäre z. B. das *Baseline-Modell* (Unabhängigkeitsmodell). Dieses schätzt ausschließlich die Varianzen, während alle anderen Parameter auf null fixiert sind (Kaplan, 2009, S.110; Brown, 2006, S.82ff.; Byrne, 2012, S.67ff.; Bühner, 2011, S.424; Reinecke, 2014, S.112; Little, 2013, S.106-118).

Wie bereits angedeutet, lassen sich aus dem Chi-Quadrat-Anpassungstest zahlreiche andere *Fit Indices* wie der für diese Untersuchung relevante *Comparative Fit Index* (CFI) berechnen (Brown, 2006, S.81f.; Byrne, 2012, S.70).

Die Modellgüte von Strukturgleichungsmodellen wird mit der Chi-Quadrat-Statistik über die Diskrepanz zwischen der hypothetisch geschätzten (Σ) und der tatsächlich beobachteten Kovarianzmatrix (S) beurteilt. Dies geschieht via Iteration, bei der die Anfangswerte sukzessive mit dem Ziel einer optimalen Passung variiert werden. Ändert sich die Diskrepanz während dieses iterativen Prozesses im Laufe der Zeit nicht mehr, wird der Prozess abgebrochen, womit das Ergebnis feststeht. Handelt es sich um einen signifikanten Test, so bedeutet dies, dass die Abweichungen zwischen der beobachteten und hypothetisch

geschätzten Kovarianzmatrix nicht auf Zufälle zurückzuführen sind. Eine Diskrepanz von null zwischen der hypothetisch geschätzten und der beobachteten Kovarianzmatrix bedeutet dabei, dass das geschätzte Modell exakt auf die beobachteten Daten passt, allerdings auch keine bedeutsamen Schätzwerte im Output generiert (Brown, 2006, S.81; Bühner, 2011, S.407; Hoyle, 2012, S.10).

Die Teststärke des Chi-Quadrat-Tests steigt mit zunehmender Stichprobengröße an, wodurch bereits kleine Modellabweichungen zur Modellverwerfung führen können (Brown, 2006, S.81; Byrne, 2012, S.68f.; Bühner, 2011, S.422).

Allerdings beeinflusst nicht nur die Stichprobengröße die Teststärke des Chi-Quadrat-Tests. Auch die Schiefe sowie die Kurtosis (Wölbung) der Verteilung manifester Variablen können bei einer entsprechenden Abweichung von der Normalverteilung zur Modelle Ablehnung führen (Brown, 2006, S.81f.; Byrne, 2012, S.68f.; Reinecke, 2014, S.113).

Vor diesem Hintergrund werden für die vorliegende Arbeit der *Tucker-Lewis Index* (TLI), der *Comparative Fit Index* (CFI) und der *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA) zur Modelleinschätzung verwendet. Da es sich in dieser Untersuchung zudem um kategoriale Daten handelt, ist das zusätzliche Heranziehen des *Weighted Root Mean Square Residual* (WRMR) hilfreich (Schreiber, Nora, Stage, Barlow & King, 2006, S.326f.).

Der *Comparative Fit Index* (CFI) und der *Tucker-Lewis Index* (TLI) sind beide wie zuvor beschrieben inkrementelle *Fit Indices* für Strukturgleichungsmodelle (SEM). Das heißt, sie vergleichen relative Fitwerte zwischen einem sogenannten Baseline- und einem aus den Daten heraus berechneten Modell. Das Baseline- (oder auch Unabhängigkeits-) Modell passt dabei möglichst schlecht auf den Datensatz und steht somit im Gegensatz zum berechneten Modell, das möglichst gut passen soll. Beim Baseline-Modell gibt es zwischen den beobachteten Variablen untereinander keine Korrelationen, weshalb die Kovarianzen zwischen den Variablen unerklärt bleiben. Der Unterschied zwischen dem *Comparative Fit Index* (CFI) und dem *Tucker-Lewis Index* (TLI) besteht darin, dass der CFI zwischen 0 und 1 genormt ist. Bei beiden Fitwerten spricht eine Näherung an 1 (TLI und CFI $\geq .95$) für einen guten Modellfit. Der CFI ist von der Stichprobengröße weitestgehend unabhängig (Kaplan, 2009, S.110ff.; Byrne, 2012, S.70f.; Kline, 2011, S.208f.; Kelloway, 2015, S.27).

Die Modellpassung kann, wie nachstehend in Tabelle 5.3 veranschaulicht, beurteilt werden:

Tabelle 5.3: Modell-Fit-Indizes (Little, 2013, S.109-115) / *WRMR modifiziert (DiStefano, Liu, Jiang & Shi, 2018, S.453-466)

Fit	CFI	TLI	RMSEA	WRMR*
Schlechter	<.85	<.85	>.10	WRMR \leq 1.0*
Sekundärer	.85-.90	.85-.90	.10-.08	
Akzeptabler	.90-.99	.90-.99	.08-.05	
Guter	.95-.99	.95-.99	.05-.02	
Sehr guter	>.99	>.99	<.01	

Der CFI lässt sich z. B. wie nach Formel 5.1 für das Prätestmodell (vgl. Analyse 5) berechnen:

$$CFI = 1 - \frac{(X_H^2 - df_H)}{(X_B^2 - df_B)} = 1 - \frac{(3394.526 - 2911)}{(9256.026 - 3081)} = .922$$

$$\text{Chiquadratwert}_{\text{hypothetisch}} = X_H^2$$

$$\text{Chiquadratwert}_{\text{Baselinemodell}} = X_B^2$$

$$\text{Freiheitsgrade}_{\text{hypothetisch}} = df_H$$

$$\text{Freiheitsgrade}_{\text{Baselinemodell}} = df_B$$

$$\text{Comparative_Fit_Index} = CFI$$

Formel 5.1: *Comparative Fit Index* (CFI) Prätestmodell aus Kapitel 5.8 (Kelloway, 2015, S.27; Brown, 2006, S.85; Byrne, 2012, S.70; Kline, 2011, S.208)

Für den TLI gilt nach Formel 5.2 bezogen auf das Prätestmodell (vgl. Analyse 5) dieser Untersuchung:

$$TLI = \left[\frac{X_B^2}{df_B} - \frac{X_H^2}{df_H} \right] \div \left[\frac{X_B^2}{df_B} - 1 \right] = \left[\frac{9256.026}{3081} - \frac{3394.526}{2911} \right] \div \left[\frac{9256.026}{3081} - 1 \right] = .917$$

$$\text{Chiquadratwert}_{\text{hypothetisch}} = X_H^2$$

$$\text{Chiquadratwert}_{\text{Baselinemodell}} = X_B^2$$

$$\text{Freiheitsgrade}_{\text{hypothetisch}} = df_H$$

$$\text{Freiheitsgrade}_{\text{Baselinemodell}} = df_B$$

$$\text{Tucker_Lewis_Index} = TLI$$

Formel 5.2: *Tucker-Lewis Index* (TLI) Prätestmodell aus Kapitel 5.8 (Kaplan, 2009, S.111; Brown, 2006, S.85f.)

Tabelle 5.3 zeigt, dass die Modellfitwerte für den CFI und den TLI für das Prätestmodell dieser Untersuchung akzeptiert werden können.

Der *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA) bestimmt die approximative Passung zwischen beobachteten Daten und Modell in Bezug auf die Stichprobengröße und berücksichtigt zugleich die jeweiligen Freiheitsgrade. Damit bleibt der RMSEA von der Stichprobengröße weitestgehend unbeeinflusst. Er ist im Gegensatz zu den inkrementellen Indices CFI und TLI ein absoluter Fit Index. Damit eignet er sich entsprechend gut zur Erklärung der empirisch beobachteten Daten, wenn die Diskrepanz zwischen der Kovarianzmatrix (S) der beobachteten Daten und der modelltheoretischen Kovarianzmatrix ($\widehat{\Sigma}$) möglichst klein ist (Millsap, 2011, S.97; Byrne, 2012, S.72ff.; Little, 2013, S.109ff.).

Der RMSEA indiziert folglich anhand seiner Kennzahl, wie schlecht das Modell zu den beobachteten Daten passt (*Badness-of-Fit-Indices*). Kleine Werte deuten auf einen guten Modell-Fit, große auf einen schlechten hin (Little, 2013, S. 109; Bühner, 2006, S.424).

Folgend wird der RMSEA bezogen auf die Daten des Outputs vom Prätestmodell (vgl. Analyse 5) aus Kapitel 5.8 berechnet. Formel 5.3 lautet:

$$RMSEA = \sqrt{\frac{(X_H^2 - df_H)}{(N-1) \times df_H}} = \sqrt{\frac{(3394.526 - 2911)}{(377-1) \times 2911}} = .021$$

Chiquadratwert _hypothetisch = X_H^2

Freiheitsgrade _hypothetisch = df_H

Stichprobe = N

Formel 5.3: RMSEA Prättestmodell aus Kapitel 5.8 (Little, 2013, S.109; Brown, 2006, S.83f.; Bühner, 2011, S.425; Byrne, 2012, S.74f.; Kline, 2011, S.205f.; Millsap, 2011, S.98)

Durch einen Blick in Tabelle 5.3 wird ersichtlich, dass der RMSEA des Gesamtbeispiels die an ihn gestellten Anforderungen erfüllt.

Der *Weighted Root Mean Residual* (WRMR) ist eine gewichtete Form des *Root Mean Residual* (RMR) bezüglich der Schwellenwerte von kategorialen Daten. Ein Wert von eins kann als akzeptabel angesehen werden. Der RMR weist auf eine Über- bzw. Unterschätzung der Kovarianz hin. Große Werte gehen mit einer Unterschätzung und kleine Werte mit einer Überschätzung einher. Dies bezieht sich auf die Diskrepanz zwischen der Kovarianzmatrix der beobachteten Werte (S) und der hypothetisch geschätzten Kovarianzmatrix ($\hat{\Sigma}$) (Reinecke, 2014, S.119; DiStefano et al., 2018, S.453-466).

Der WRMR wird wie folgt nach Formel 5.4 berechnet:

$$WRMR = \sqrt{\sum_{i=1}^e \frac{(s_i - \hat{\sigma}_i)^2}{v_i}} \cdot \frac{1}{e}$$

Elemente der Kovarianzmatrix S der beobachteten Daten = s_i

Elemente der hypothetischen Kovarianzmatrix $\hat{\Sigma} = \hat{\sigma}$

Anzahl der bekannten Größen, die zur Schätzung des Modells zur Verfügung stehen = e

Schätzung der asymptotischen Varianzen = v_i

Formel 5.4: WRMR (Reinecke, 2014, S.119; DiStefano et al., 2018, S.453ff.)

5.2.2 Modellvergleiche von Strukturgleichungsmodellen

Strukturgleichungsmodelle lassen sich via Chi-Quadrat-Differenztest miteinander vergleichen, wenn sich lediglich die Beziehungsstruktur zwischen den Variablen ändert und die Variablenanzahl gleich bleibt. Diese Modelle können als *nested model* bezeichnet werden. Die Bezeichnung „Chi-Quadrat-Differenztest“ impliziert dabei, dass der Modellvergleich auf einer Differenz absoluter Chi-Quadrat-Werte beruht. Durch Hinzunahme von Restriktionen lassen sich Freiheitsgrade gewinnen, da weniger Parameter identifiziert werden müssen. Ist durch den Modellvergleich der Chi-Quadrat-Differenztest nicht signifikant,

wird das restriktivere Modell beibehalten. Wird der Chi-Quadrat-Differenztest signifikant, ist es genau umgekehrt (Brown, 2006, S.163-166; Kline, 2011, S.214f.; Reinecke, 2014, S.62; Millsap, 2011, S.94).

Solche Modellvergleiche werden in dieser Studie zur Bestimmung der Anzahl an Dimensionen des Konstrukts der berufsfachlichen Kompetenz angestrebt. Hierbei gilt es, die Dimensionen von deklarativem Sachwissen und analytischer Problemlösekompetenz aufzudecken (vgl. Analyse 1).

Modellvergleichen kommt außerdem eine besondere Bedeutung zu, wenn multiple Gruppenvergleiche durchgeführt werden sollen. Dies ist z. B. bei der Prüfung auf Äquivalenz bzw. Invarianz der Fall. In der Regel werden beide Begriffe synonym verwendet, vorwiegend wird jedoch von Invarianz gesprochen (Kline, 2011, S.214f.; Reinecke, 2014, S.69ff.).

In der vorliegenden Untersuchung findet ein multipler Gruppenvergleich im Hinblick auf die vier unterschiedlichen Lerngruppen statt, die sich durch das verwendete informative tutorielle Feedback (KH vs. KMC) bzw. durch die eingesetzten Lernziele (spezifisch vs. unspezifisch) differenzieren lassen.

Auch longitudinale Prüfungen der Invarianz lassen sich mit dem Chi-Quadrat-Differenztest realisieren (Little, 2013, S.39).

Longitudinale Invarianz spielt insbesondere mit Blick auf Analyse 5 zur Prüfung der PPIK-Theorie eine entscheidende Rolle.

5.2.3 Der Umgang mit kategorialen Daten

Zahlreiche Studien – etwa in der Medizin oder in der Psychologie – werden mittels dichotomer Daten designt (Bollen & Curran, 2006, S.229).

Ordinal-kategoriale Daten sind sowohl diskret- als auch ordinal-skaliert. Dies betrifft z. B. dichotome und Likert-skalierte Daten (Millsap & Yun-Tein, 2004, S.279).

Kovarianzen und Produkt-Moment-Korrelationen setzen intervallskalierte Daten voraus. Andernfalls sind Unter- bzw. Überschätzungen denkbar. Damit ordinal-skalierte Variablen adäquat geschätzt werden können, ist die Verwendung von polychorischen Korrelationsmaßen notwendig. Darüber hinaus muss für Schätzungen dichotomer Daten wie beispielsweise beim Chi-Quadrat-Differenztest auf tetrachorische Korrelationen zurückgegriffen werden (Bovaird & Koziol, 2012, S.499ff.; Reinecke, 2014, S.33ff.).

Muthens Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet zwischen den Jahren 1978 und 1984 haben die Entwicklung dieser Strukturgleichungsmodelle entscheidend beeinflusst. Die erste Annäherung geschieht durch die Schätzung der *Thresholds* (Schwellen) mit dem Maximum-Likelihood-Schätzer (ML). Im zweiten Schritt werden die latenten tetrachorischen Korrelationen geschätzt. Abschließend entwickelt sich der ML-Schätzer zur Bestimmung der

asymptotischen Kovarianzmatrix und der latenten Korrelationen zum WLS-Schätzer (Kaplan, 2009, S.89).

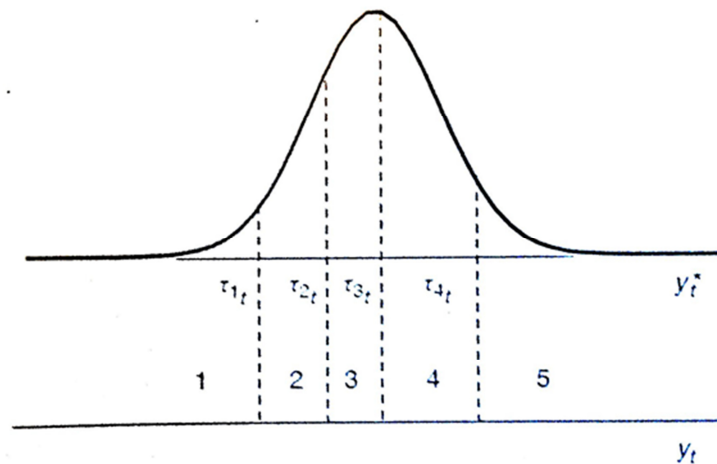


Abbildung 5.4: 5 Kategorien entsprechen 4 *Thresholds* (Bollen & Curran, 2006, S.233)

Die Anzahl der *Thresholds* kategorialer Daten resultiert aus der Anzahl der Antwortmöglichkeiten minus eins. Insofern hätte das Item mit fünf Antwortmöglichkeiten in Abbildung 5.4 vier *Thresholds* (Bovaird & Koziol, 2012, S.502; Xing & Hall, 2015, S.126; Bollen & Curran, 2006, S.232f.; Muthén & Muthén, 1998-2007, S.73).

In diesem Zusammenhang lässt sich erkennen, dass dichotome Daten lediglich einen *Threshold* aufweisen, wodurch sich deren Handhabung in der Praxis von kategorialen Daten mit mehreren *Thresholds* (z. B. während einer Invarianzprüfung) differenzieren lässt (Bollen & Curran, 2006, S.235f.).

Um eine von einer relativ großen Stichprobe unabhängige Schätzung zu ermöglichen, wurde von Muthen der WLSMV-Schätzer entwickelt. Dieser ist für kategoriale Daten geeignet und im Hinblick auf die vorliegende Verteilung zusätzlich verhältnismäßig robust (Bovaird & Koziol, 2012, S.501f.; Kaplan, 2009, S.90; Xing & Hall, 2015, S.126f.).

Der WLSMV-Schätzer bietet bei Mplus7 in Verbindung mit *Parameterization Theta* zusätzlich den Vorteil, dass die Residualvarianzen in Modellvergleichen wie beispielsweise der Invarianzprüfung spezifiziert werden können. Während bei der *Delta-Parameterization* Faktoren als Parameter einfließen und Residualvarianzen nicht, verhält es sich mit Verwendung der *Parameterization Theta* genau umgekehrt. Dazu werden die Residualvarianzen der ersten Gruppe automatisch auf eins fixiert. Die Residualvarianzen der weiteren Gruppen werden frei geschätzt (Bovaird & Koziol, 2012, S.502; Millsap & Yun-Tein, 2004, S.488f.; Muthén & Asparouhov, 2002, S.8f.; Muthén & Muthén, 1998-2007, S.75).

Da in der vorliegenden Studie kategoriale Daten in dichotomer Form zum Einsatz kommen, erscheinen die Schätzungen mit dem WLSMV-Schätzer und der *Parameterization Theta* als hilfreich.

Beim Chi-Quadrat-Differenztest ist es bedeutsam, dass sich die Modelle ausschließlich via Manipulation der Restriktionen (durch z. B. Gleichsetzung von Faktoren) voneinander

unterscheiden. Die Variablen und Indikatoren sind gleich. Damit handelt es sich um ein sogenanntes *nested model* (Millsap, 2011, S.94).

5.3 Stichprobe der Studie

Die benötigten Daten werden im Jahr 2017 experimentell longitudinal über zwei Messzeitpunkte im Land Rheinland-Pfalz aktiv herbeigeführt. Alle Analysen der Studie beziehen sich auf diese Stichprobe. Die Stichprobe besteht aus insgesamt $n=387$ Studierenden des Maschinenbaus folgender Fachschulen aus Rheinland-Pfalz: Balthasar-Neumann-Technikum Trier ($n=216$), Carl-Benz-Schule Koblenz ($n=53$), Meisterschule für Handwerker Kaiserslautern ($n=40$), Berufsbildende Schule Ingelheim am Rhein ($n=39$), Harald-Fissler-Schule Idar-Oberstein ($n=18$) sowie Elisabeth-Stiftung des DRK Birkenfeld Technik ($n=15$). Von den 375 am Prä- und im Posttest teilnehmenden Studierenden sind 10 weiblich und 365 männlich. Hiermit wird ersichtlich, dass geschlechtsspezifische Differenzen, beispielsweise zu den Dimensionen des deklarativen Sachwissens oder der analytischen Problemlösekompetenz, nicht als Gegenstand dieser Untersuchung angesehen werden können. Der Anteil an weiblichen Studierenden ist hierfür zu gering. Laut digitaler Befragung sind in der – dieser Arbeit zugrundeliegenden – longitudinalen, experimentellen sowie explanativen Feldstudie zudem folgende berufliche Erstausbildungen zu verzeichnen: Industriemechaniker ($n=127$), Zimmerer ($n=1$), Nachrichtengerätetechniker ($n=1$), Kraftfahrzeugmechatroniker bzw. Kraftfahrzeugmechaniker ($n=41$), Zerspanungsmechaniker ($n=29$), Werkzeugmacher ($n=37$), Feinwerkmechaniker ($n=17$), Konstruktionsmechaniker ($n=42$), Elektriker bzw. Elektroniker ($n=4$), Maschinen- und Anlagenmechaniker ($n=2$), technischer Produktdesigner bzw. technischer Zeichner ($n=30$), Mechatroniker ($n=20$), Verfahrensmechaniker ($n=10$), Fluggerätetechniker ($n=6$), Chemikant ($n=1$), Maschinenbaumechaniker ($n=2$), Gießereimechaniker ($n=1$), Maschinen- und Anlagenführer ($n=2$), Land- und Baumaschinenmechaniker ($n=4$), Zweiradmechaniker ($n=1$) und ohne Angabe ($n=3$). Die berufliche Erstausbildung der zukünftigen Techniker erscheint verhältnismäßig homogen. Schließlich besteht der überwiegende Anteil aus Industriemechanikern. Zwar gibt es auch exotische Ausnahmen wie einen Zimmerer; die Erstausbildungen, die im zwei- bis dreistelligen Zahlenbereich liegen, sind jedoch explizit dem Maschinenbau zuzuordnen.

5.4 Analyse 1: Prüfung der Dimensionen mittels konfirmatorischer Faktoranalyse (CFA)

Zu Beginn der Studie stellen sich folgende Fragen: Lässt sich für das deklarative Sachwissen und die analytische Problemlösekompetenz im Prä- sowie im Posttest tatsächlich eine

mehrdimensionale Struktur – die für eine Kompetenz sprechen würde – feststellen? Oder handelt es sich eher um ein eindimensionales Konstrukt? Gibt es im Falle einer mehrdimensionalen Struktur hinsichtlich der Anzahl der Dimensionen Unterschiede aufgrund von Ausdifferenzierungs- und Verschmelzungsprozessen als Folge des Lernprozesses? Diesen Fragestellungen wird in der sich anschließenden Analyse 1 auf den Grund gegangen.

5.4.1 Hypothesen zur Analyse 1

H₁: Durch die CFA lässt sich ein geeignetes Messmodell berufsfachlicher Kompetenz bei Technikern zum Thema Schnittdarstellungen in Technischen Zeichnungen konzipieren.

- a) Für das deklarative Sachwissen ergibt sich eine mehrdimensionale Struktur im Prätest. Diese Grundannahme wird mit der Untersuchung von Walker und Mitarbeitern (2016) begründet (vgl. Kapitel 2.2.5).
- b) Für das deklarative Sachwissen ergibt sich eine mehrdimensionale Struktur im Posttest. Diese Grundannahme wird mit der Untersuchung von Walker und Mitarbeitern (2016) begründet (vgl. Kapitel 2.2.5).
- c) Für die analytische Problemlösekompetenz lässt sich ebenfalls ein mehrdimensionales Modell im Prätest feststellen. Auch diese Annahme bezieht sich auf die zuvor durchgeführte Untersuchung Walker et al. (2016) (vgl. Kapitel 2.2.5).
- d) Für die analytische Problemlösekompetenz lässt sich ebenfalls ein mehrdimensionales Modell im Posttest feststellen. Auch diese Annahme bezieht sich auf die zuvor durchgeführte Untersuchung aus Walker et al. (2016) (vgl. Kapitel 2.2.5).

5.4.2 Methode zur Analyse 1

Das Strukturgleichungsmodell (SEM) – bestehend aus Mess- und Strukturmodell – wird im Rahmen der konfirmatorischen Faktoranalyse (CFA) theoretisch hergeleitet und begründet. Dadurch steht die inhaltliche Bestimmung der Faktoren bereits fest (Brown & Moore, 2012, S.362; Reinecke, 2014, S.137).

Anwendung findet die konfirmatorische Faktoranalyse (CFA) z. B. zur psychometrischen Evaluation, zur Entdeckung methodologischer Effekte, zur Feststellung der Konstruktvalidität sowie darüber hinaus zur Invarianzprüfung (Brown & Moore, 2012, S.362).

Der Einsatz dieser Forschungsmethode ist auch deshalb naheliegend, da die CFA als eine der am meisten verwendeten statistischen Methoden in den Sozialwissenschaften bezeichnet werden kann (Brown & Moore, 2012, S.377).

Die Metriken eines Strukturgleichungsmodells der CFA müssen vor dem Berechnen definiert werden. Dafür existieren zwei Herangehensweisen. Zum einen kann der Faktor einer Marker-Variablen (Indikator) auf eins fixiert werden. Zum andern ist es möglich, die Varianz der latenten Variablen auf eins zu fixieren (Brown & Moore, 2012, S.366; Kaplan, 2009, S.55).

Resultate werden beispielsweise in der Software Mplus7 in standardisierter Form (d. h. Werte zwischen 0 und 1) sowie in nicht standardisierter Form (d. h. original Schätzwerte) dokumentiert.

Um festzustellen, ob es sich beim deklarativen Sachwissen bzw. bei der analytischen Problemlösekompetenz um ein- oder tatsächlich mehrdimensionale Strukturmodelle handelt, wird in beiden Fällen gleichermaßen operiert. Diese Vorgehensweise wird nachfolgend für das deklarative Sachwissen im Vortest exemplarisch erläutert.

Zur Analyse der Mehrdimensionalität des deklarativen Sachwissens werden die sechs theoretischen Themenbereiche als latente Variablen (VSW1-VSW6) in der CFA konzipiert (vgl. Abbildung 5.5). Außerdem werden alle latenten Variablen untereinander korreliert. Auf diese Weise wird folglich ein sechsdimensionales Strukturmodell zur Messung des deklarativen Sachwissens theoretisch begründet entworfen.

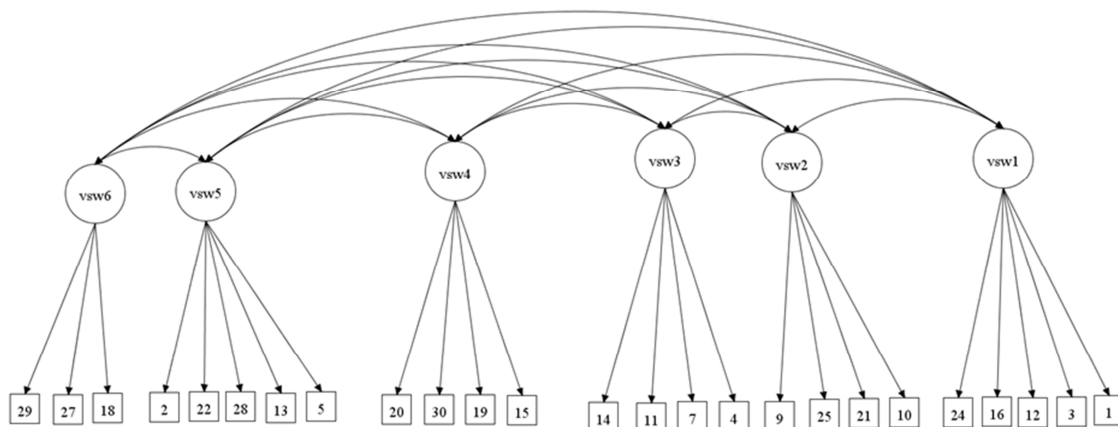


Abbildung 5.5: Strukturmodell der hypothetisch angenommenen 6 Dimensionen im Vortest

- Schnittverläufe = VSW1
- Schraffur von Schnittflächen = VSW2
- Linien in Schnitten = VSW3
- Schnittbezeichnungen = VSW4
- Schnittarten = VSW5
- Räumliches Vorstellen = VSW6

5.4.3 Ergebnisse zu Analyse 1

Das Strukturmodell wird mit dem WLSMV-Schätzer, der für kategoriale Daten als geeignet angesehen werden kann, geschätzt (Brown, 2006, S.388; Urban & Mayerl, 2014, S.70f.).

Abbildung 5.6 zeigt die Warnung im Anschluss in der Ausgabe von Mplus7:

```
THE MODEL ESTIMATION TERMINATED NORMALLY

WARNING:  THE LATENT VARIABLE COVARIANCE MATRIX (PSI) IS NOT POSITIVE
DEFINITE.  THIS COULD INDICATE A NEGATIVE VARIANCE/RESIDUAL VARIANCE FOR A
LATENT VARIABLE, A CORRELATION GREATER OR EQUAL TO ONE BETWEEN TWO LATENT
VARIABLES, OR A LINEAR DEPENDENCY AMONG MORE THAN TWO LATENT VARIABLES.
CHECK THE TECH4 OUTPUT FOR MORE INFORMATION.
PROBLEM INVOLVING VARIABLE VSW3.
```

Abbildung 5.6: Ausgabewarnung in Mplus7 bezüglich des hypothetischen sechsdimensionalen Modells des deklarativen Sachwissens

Wenngleich die Schätzung offensichtlich normal verläuft, meldet Mplus7 eine negativ definierte Kovarianzmatrix, die u. a. möglicherweise aufgrund einer Korrelation größer eins zwischen den latenten Variablen zustande kommt. Durch einen Blick auf die gegebenen Korrelationen zwischen den latenten Variablen im entsprechenden Output (Tech 4) von Mplus7, lassen sich tatsächlich Korrelationen größer eins feststellen (vgl. Abbildung 5.7). Der höchste Wert liegt bei $r = 1.273$ zwischen VSW1 (Schnittverläufe) und VSW6 (räumliches Vorstellen).

Der Wertebereich eines Korrelationskoeffizienten liegt zwischen minus und plus eins (Fahrmeir et al., 2007, S.11).

Eine Korrelation kann somit keine Werte größer eins annehmen. Da in den vorliegenden Berechnungen die Kovarianzen und Korrelationen jedoch geschätzt werden, sind derartige Ergebnisse tatsächlich möglich (Byrne, 2012, S.77f.).

Zwischen den latenten Variablen VSW1 (Schnittverläufe) und VSW6 (räumliches Vorstellen) kommt es in diesem Fall zu überlappenden Varianzen, weswegen sich diese nicht mehr valide voneinander unterscheiden lassen. Somit repräsentieren beide das gleiche Konstrukt und müssen daher zusammengefasst werden (Byrne, 2012, S.265ff.).

Auf diese Weise wird aus dem sechsdimensionalen Strukturmodell zur Messung des deklarativen Sachwissens ein Modell mit fünf Dimensionen kreiert. Dieses beinhaltet VSW1 (Schnittverläufe) und VSW6 (räumliches Vorstellen) als eine Dimension.

Um das sechsdimensionale Modell mit dem fünfdimensionalen Modell zu vergleichen, wird ein Chi-Quadrat-Differenztest durchgeführt (Byrne, 2012, S.269; Urban & Mayerl, 2014, S.217ff.).

ESTIMATED COVARIANCE MATRIX FOR THE LATENT VARIABLES					
	VSW1	VSW2	VSW3	VSW4	VSW5
VSW1	1.000				
VSW2	0.805	1.000			
VSW3	0.937	1.096	1.000		
VSW4	1.056	0.901	0.953	1.000	
VSW5	0.882	0.769	1.081	0.983	1.000
VSW6	1.273	0.992	0.981	1.079	1.152

ESTIMATED COVARIANCE MATRIX FOR THE LATENT VARIABLES	
	VSW6
VSW6	1.000

ESTIMATED CORRELATION MATRIX FOR THE LATENT VARIABLES					
	VSW1	VSW2	VSW3	VSW4	VSW5
VSW1	1.000				
VSW2	0.805	1.000			
VSW3	0.937	1.096	1.000		
VSW4	1.056	0.901	0.953	1.000	
VSW5	0.882	0.769	1.081	0.983	1.000
VSW6	1.273	0.992	0.981	1.079	1.152

Abbildung 5.7: Korrelationen und Kovarianzen bezüglich des hypothetischen sechsdimensionalen Modells des deklarativen Sachwissens

Allerdings erscheint beim Modellvergleich zwischen dem sechs- und dem fünfdimensionalen Modell mithilfe des Chi-Quadrat-Differenztests wieder die Warnung, dass Korrelationen größer eins geschätzt werden. Analog hierzu werden erneut die latenten Variablen, zwischen denen die höchsten Korrelationen bestehen, zusammengefasst. Dadurch ergibt sich ein vierdimensionales Modell, das nach dem bekannten Schema mit dem zuvor aufgestellten fünfdimensionalen Modell via Chi-Quadrat-Differenztest verglichen wird.

Diese Systematik wird solange wiederholt, bis zum einen keine hohen Korrelationen (*z. B.* $r \geq .90$) zwischen zwei latenten Variablen vorkommen und bis zum andern der Chi-Quadrat-Differenztest signifikant wird (Byrne, 2012, S.265ff.).

Allerdings kristallisiert sich durch dieses Procedere für das deklarative Sachwissen im Vor- und Nachtest ein eindimensionales Modell heraus. Um sicherzugehen, dass es sich bezüglich des deklarativen Sachwissens um kein mehrdimensionales Modell handelt, werden in einem zusätzlichen Test nicht nur die latenten Variablen zusammengefasst, zwischen denen die höchsten Korrelationen auftreten. Stattdessen werden auch jene kombiniert, welche die höchste Korrelation aufzeigen und sich zudem theoretisch begründen lassen. Die auf diese Weise im Vor- und Nachtest kombinierten latenten Variablen werden nachfolgend durch Tabelle 5.4 illustriert.

Tabelle 5.4: Theoriebegleitete Kombination der Dimensionen des deklarativen Sachwissens

Dimension	Prättest	Posttest
1	1, 4, 5, & 6	1&4
2	2&3	2&3
3	-	5&6

Während beim Strukturvergleich des zwei- mit dem dreidimensionalen Modell der Chi-Quadrat-Differenztest im Nachtest des deklarativen Sachwissens bereits signifikant wird, schlägt dieser im Vortest erst beim Vergleich zwischen dem zwei- mit dem eindimensionalen Modell an. Vor- und Nachtest (vgl. Abbildung 5.8 & 5.9) ergeben somit eine mehrdimensionale Struktur (vgl. Kapitel 5.2.2).

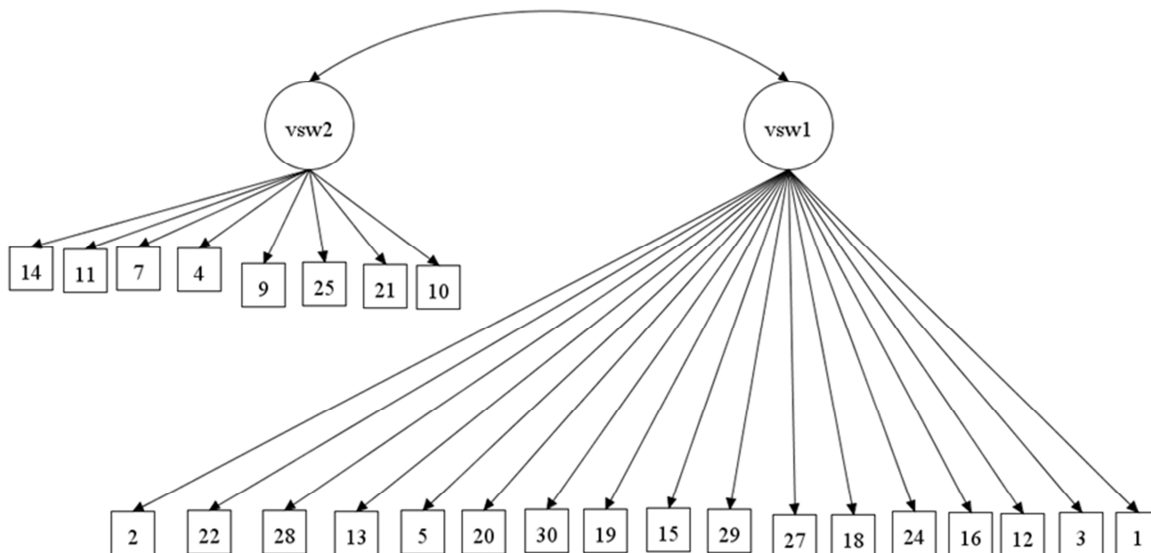


Abbildung 5.8: Zweidimensionale Struktur des deklarativen Sachwissens (Vortest)

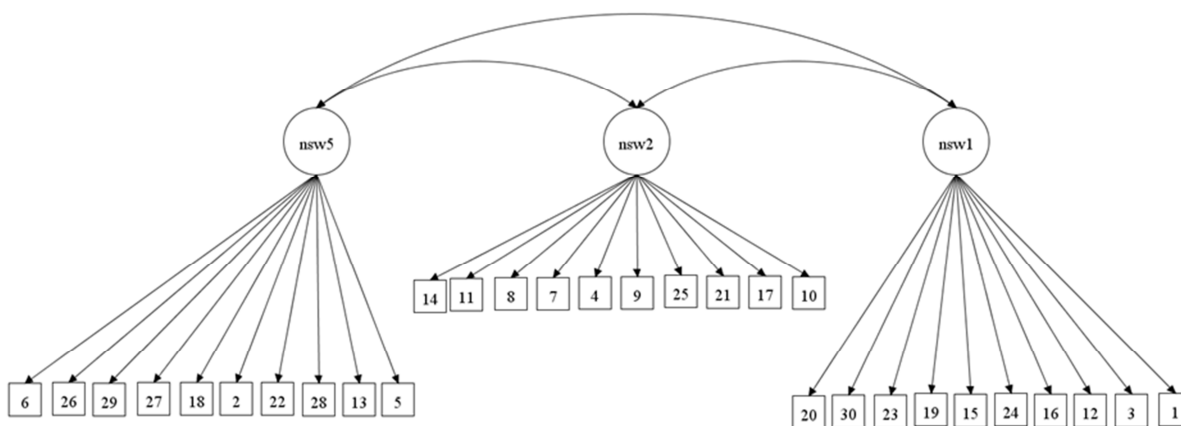


Abbildung 5.9: Dreidimensionale Struktur des deklarativen Sachwissens (Nachtest)

Die Prüfung der analytischen Problemlösekompetenz auf Mehrdimensionalität erfolgt wie bei dem zuvor beschriebenen deklarativen Sachwissen. Es werden die latenten Variablen zusammengefasst, zwischen denen die höchste Korrelation besteht. Das daraus resultierende Modell mit geringerer Anzahl an Dimensionen wird über den Chi-Quadrat-Differenztest mit dem vorherigen Modell, das eine Dimension mehr besitzt, verglichen. Für die analytische Problemlösekompetenz ergibt sich jedoch im Gegensatz zum deklarativen Sachwissen bereits hierbei ein fünfdimensionales Strukturmodell, und zwar sowohl für den Vor- als auch den Nachtest via Kombination der Dimensionen 2 und 6 zur neuen Dimension 2 (vgl. Abbildung 5.10).

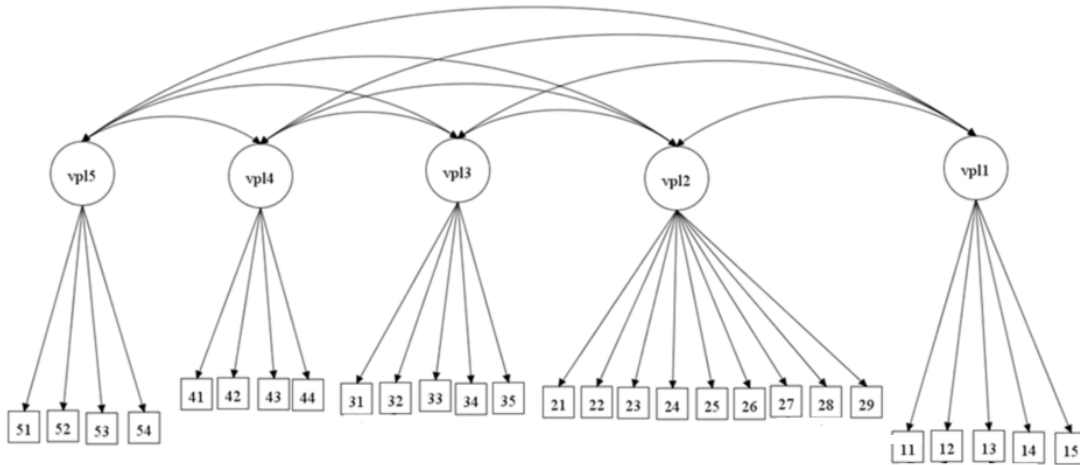


Abbildung 5.10: Fünfdimensionale Struktur der analytischen Problemlösekompetenz

Es folgt in Tabelle 5.5 eine Übersicht über die abschließenden Modelle mit ihren Rohmodellfitwerten inklusive des signifikanten Wertes aus dem Chi-Quadrat-Differenztest.

Tabelle 5.5: Rohwerte direkt nach dem Modellvergleich ohne weitere Modifikation

	Vortest Wissen (vt_w_1dim_real_zz)	Nachtest Wissen (07_nt_w_2dim_real)	Vortest Problemlösen (vt_pl_4dim)	Nachtest Problemlösen (Nt_pl_4dim)
X²-Differenztest	0.0056	0.0037	0.0000	0.0000
Dimensionen	2 vs. 1	3 vs. 2	5 vs. 4	5 vs. 4
RMSEA	0.035	0.022	0.054	0.060
CFI	0.901	0.948	0.903	0.931
TLI	0.892	0.944	0.894	0.924
WRMR	1.070	0.950	1.373	1.452
Entscheidung	zweidimensional	dreidimensional	fünfdimensional	fünfdimensional

5.4.4 Fazit zu Analyse 1

Alle Modelle deklarativen Sachwissens und analytischer Problemlösekompetenz weisen sowohl im Prä- als auch im Posttest durch das Zusammenführen einzelner Dimensionen mittels CFA mehrdimensionale Konstrukte auf. Damit lässt sich eine mehrdimensionale

Struktur der beiden jeweiligen Dimensionen berufsfachlicher Kompetenz sowohl im Vor- als auch im Nachtest feststellen. Die Analyse der analytischen Problemlösekompetenz kann, wie theoretisch beschrieben, durch das Zusammenfassen von Dimensionen mit Korrelationen größer eins realisiert werden. Bereits nach dem Vergleich des vier- mit dem fünfdimensionalen Modell erwies sich der Chi-Quadrat-Differenztest als signifikant, womit das fünfdimensionale Modell im Prä- und im Posttest beibehalten werden kann. Die mehrdimensionale Struktur des deklarativen Sachwissens entfaltet sich hingegen erst durch die Kombination von Dimensionen, die sowohl Korrelationen größer eins aufzeigen als auch theoretisch begründet zusammenpassen. Demgemäß kann die Hypothese H_{1a} bestätigt werden, da sich für das deklarative Sachwissen eine zweidimensionale Struktur im Prätest ergibt. Gleichmaßen fächert sich das deklarative Sachwissen im Posttest in drei Dimensionen auf, womit Hypothese H_{1b} bekräftigt wird. Zudem erweisen sich sowohl H_{1c} als auch H_{1d} als zutreffend, da im Prä- und im Posttest der analytischen Problemlösekompetenz eine fünfdimensionale Kompetenzstruktur zum Tragen kommt. Infolge der mit konfirmatorischer Faktorenanalyse (CFA) festgestellten Mehrdimensionalität deklarativen Sachwissens und analytischer Problemlösekompetenz sowohl im Prä- als auch im Posttest lässt sich die Hypothese H_1 vollständig bestätigen. Vor diesem Hintergrund ist folglich von mehrdimensionalen Modellen zur Messung der berufsfachlichen Kompetenz auszugehen.

5.5 Analyse 2: Prüfung auf Äquivalenz bzw. Invarianz

Während sich Säule (A) der Frage widmet, *was* die Studierenden lernen sollen, geht es in Säule (C) in erster Linie darum, *wie* das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen optimal gefördert werden könnte. Damit sich fundierte Aussagen zu Säule (C) treffen lassen, ist es notwendig, die *Treatment*-Gruppen miteinander zu vergleichen. Ist eine vergleichende Betrachtung jedoch überhaupt möglich? Oder sind unterscheidbare Besonderheiten der jeweiligen Gruppe zu verzeichnen, sodass sich trotz Randomisierung, Homogenisierung sowie Experimentaldesign kein Vergleich ziehen lässt? Dies soll im Zuge der vorliegenden Invarianzprüfung von Analyse 2 festgestellt werden.

5.5.1 Hypothesen zu Analyse 2

H_2 : Die Daten der latenten Variablen als Dimensionen des deklarativen Sachwissens und der analytischen Problemlösekompetenz zeichnen sich durch eine Invarianz zwischen den vier *Treatment*-Gruppen aus.

- a) Die zwei Dimensionen des deklarativen Sachwissens ergeben eine partielle *strict invariance* im Querschnitt der vier *Treatment*-Gruppen des Prätests.

- b) Die drei Dimensionen des deklarativen Sachwissens ergeben eine partielle *strict invariance* im Querschnitt der vier *Treatment*-Gruppen des Posttests.
- c) Die fünf Dimensionen der analytischen Problemkompetenz ergeben eine partielle *strict invariance* im Querschnitt der vier *Treatment*-Gruppen des Prätests.
- d) Die fünf Dimensionen der analytischen Problemkompetenz ergeben eine partielle *strict invariance* im Querschnitt der vier *Treatment*-Gruppen des Posttests.
- e) Die Dimensionen des deklarativen Sachwissens ergeben eine partielle *strict invariance* im Längsschnitt der vier *Treatment*-Gruppen.
- f) Die fünf Dimensionen der analytischen Problemkompetenz ergeben eine partielle *strict invariance* im Längsschnitt der vier *Treatment*-Gruppen.

5.5.2 Methode zu Analyse 2

Invarianzprüfungen sind seit den 2000er Jahren aufgrund verbesserter Software-Pakete (wie z. B. Mplus) in der Forschungslandschaft interdisziplinär gegenwärtig (Millsap, 2011, S.6).

Die Prüfung auf Invarianz lässt sich verhältnismäßig gut erklären, indem man eine Analogie zu Messungen in den Naturwissenschaften oder in der Technik herstellt. In diesem Fall sollte ein Messgerät (z. B. ein U-Rohrmanometer) auch unter unterschiedlichen Randbedingungen (wie etwa verschiedenen Zeitzuständen) die gleichen Messresultate hervorbringen (in diesem Beispiel Drücke).

Hier wird ersichtlich, dass es bei der Testung auf Invarianz bzw. Äquivalenz um die Validität geht. Würde das U-Rohrmanometer im oberen Beispiel nicht ausschließlich Drücke messen, wäre es zur Druckbestimmung nicht geeignet. Somit ist es von Bedeutung, dass sich die *scales*, welche durch die Gewichtung von Indikatoren Differenzen sichtbar machen, auf die gewünschten bzw. gesuchten Attribute beschränken. Leider sind derartige Messinstrumente, wie sie in den Natur oder in den Ingenieurwissenschaften tatsächlich möglich sind, in den Sozialwissenschaften aufgrund der menschlichen Einzigartigkeit eher die Ausnahme. In diesem Sinne müssen z. B. *Score*-Unterschiede von Items zwischen den Geschlechtern nicht direkt auf eine verfehlte Invarianz hindeuten. Anders verhält es sich jedoch, wenn ein Unterschied zwischen den Geschlechtern durch hinreichende theoretische Begründung ausgeschlossen werden kann. Verzerrte *Score*-Unterschiede von Items, die zu einer verfehlten Invarianz führen können, sind nicht ausschließlich von dem gemessenen Konstrukt abhängig. Ebenfalls die Relation der Individuen aus unterschiedlichen Gruppen kann Unterschiede hervorrufen. Aufgrund der multivariaten Daten lässt sich eine Invarianz der Indikatoren bzw. manifesten Variablen provozieren, indem die *scores* der latenten Variablen fixiert werden (Millsap, 2011, S.1-15).

Die Gruppen werden für den Vergleich aus theoretischer Perspektive zwar als äquivalent angenommen, jedoch handelt es sich hierbei um keine identischen Formationen. Aus diesem Grund können partielle Unterschiede, z. B. in Form von unterschiedlichen Zusammenhängen zwischen den Indikatoren, gerechtfertigt werden (Little, 2013, S.216f.).

Diese partielle Invarianz existiert somit, wenn wenige der Indikatoren nicht invariant sind, die restlichen Indikatoren hingegen als äquivalent betrachtet werden können. Schließlich kann es in den Gruppen kleine Unterschiede geben, da diese zwar ähnlich, allerdings nicht als identisch anzusehen sind (Millsap, 2011, S.107; Muthén & Muthén, 1998-2012, S.486).

Vergleicht man die Invarianzprüfung von kontinuierlichen Daten mit derer kategorialer Daten, so sind hier weiterführende Überlegungen vor allem im Hinblick auf die Modellidentifikation sowie das Gleichsetzen von Randbedingungen notwendig. Die vier Schritte – *configural*, *weak*, *strong* und *strict* – der Invarianzprüfung kontinuierlicher Daten werden so gut es geht auch für die Prüfung auf Äquivalenz kategorialer Daten angewendet. Ein modifizierter Chi-Quadrat-Differenztest kann hier z. B. ebenfalls für den Modellvergleich in Mplus7 herangezogen werden (Schroeders & Wilhelm, 2011, S.860; Edossa, Schroeders, Weinert & Artelt, 2018, S.193; Xing & Hall, 2015, S.128).

Invarianzprüfungen sind für den Vergleich unterschiedlicher Gruppen im Querschnitt von großer Tragweite.

Auch für den Vergleich longitudinaler Veränderungen einer Gruppe über einen längeren Zeitraum hinweg ist eine Invarianzprüfung unabdinglich. Ausschließlich wenn zwischen den Gruppen Invarianz vorliegt, lässt sich ein longitudinales SEM-Design rechtfertigen. Auf diese Weise kann mithilfe der vorliegenden Invarianz eine Evidenz zur Validität begründet werden (Little, 2013, S.39).

Das Vorgehen zur Mehrgruppenanalyse im Längsschnitt mittels einer SEM kann mit dem Vorgehen während einer Singlegruppenanalyse verglichen werden. Zuerst wird das konfigurale Basismodell geschätzt. Dieses sollte möglichst gute Modellfitwerte ergeben, denn schließlich werden hier Faktorladungen, *Thresholds* sowie Residualvarianzen frei geschätzt (Little, 2013, S.211-217).

Die Anzahl der Randbedingungen sollte mit der Anzahl an Faktoren übereinstimmen. Die Residualvarianzen lassen sich in Mplus7 via *Theta Parametrisation* in der Referenzgruppe auf eins fixieren und in den anderen Gruppen frei schätzen (Millsap & Yun-Tein, 2004, S.485-505).

Little erklärt *factorial invariance* im Fokus des Gruppenvergleichs mit folgender Analogie: Zwei Gärtner sehen zwei Pflanzen. Die eine steht auf einem südlich gelegenen Hügel und hat große, breite Blätter, ist von hohem Wuchs und hat einen schlanken Stamm. Die andere steht auf einem nördlich gelegenen Hügel, hat dünne Blätter, einen dicken Stamm und ist zudem klein. Die Gärtner argumentieren, dass die Unterschiede entweder auf unterschiedliche Pflanzenarten zurückzuführen sind oder dass für die Unterschiede der jeweilige Standort (südlicher Hügel vs. nördlicher Hügel) verantwortlich ist. Dazu vergleichen sie die Wurzeln (Indikatoren). Diese haben die gleiche Anzahl und die gleiche Länge (Ladungen). Auch die Dicke (*intercepts*) kann als vergleichbar angesehen werden. Hieraus

ergibt sich für die Gärtner die Schlussfolgerung, dass die Pflanzen (Konstrukte) zur gleichen Art (*factorial invariance*) zählen (Little, 2013, S.137f.).

Zur Beobachtung von Faktoren einer längsschnittlichen Untersuchung via Strukturgleichungsmodellierung ist es wesentlich, dass die Faktoren die gleiche inhaltliche Bedeutung für eine längere Zeit aufrechterhalten. Deshalb findet hier ebenfalls eine Invarianzprüfung mithilfe geeigneter Randbedingungen statt (Urban & Mayerl, 2014, S.167).

Longitudinale Invarianzprüfung lässt sich verhältnismäßig gut anhand der folgenden Frage verdeutlichen: Schafft es ein Vogelschwarm (Konstrukt) mit allen Vögeln (Indikatoren) von A nach B zu fliegen (*longitudinal factorial invariance*) (Little, 2013, S.138)?

Die inhaltliche Bedeutung der Faktoren wird mit den Randbedingungen rechnerisch erzwungen. Dadurch werden die Faktorenstrukturen über wiederholte Messungen konstant gehalten, wodurch sich die Invarianz oder Äquivalenz feststellen lässt. Invariant sind die Modelle wie beim Mehrgruppenvergleich, wenn der dafür notwendige Chi-Quadrat-Differenztest zum Vergleich des restriktiven Modells (inklusive Randbedingungen) mit dem Basismodell nicht signifikant wird (Little, 2013, S.219; Urban & Mayerl, 2014, S.219).

Zuerst wird in dieser Analyse die Prüfung auf Äquivalenz bzw. Invarianz im Querschnitt zwischen den vier Gruppen mit unterschiedlich kombiniertem Feedback und Lernzielen im Vor- und Nachtest vorgenommen. Zu Beginn stellt sich die Frage, ob die Gruppen grundsätzlich miteinander vergleichbar sind. Würde dies nicht zutreffen, so wäre eine longitudinale Invarianzprüfung überflüssig. Sowohl die Daten der fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz als auch der verschiedenen Dimensionen deklarativen Sachwissens liegen als kategoriale dichotome Daten (0&1) vor.

Damit rückt die Vorgehensweise von Schroeders und Wilhelm in den Fokus (vgl. Tabelle 5.6). Sie lässt sich gleichermaßen im Quer- und Längsschnitt anwenden (Schroeders & Wilhelm, 2011, S.860; Edossa et al., 2018, S.193).

Schroeders und Wilhelm prüfen die Invarianz kategorialer dichotomer Daten in drei Schritten. Im ersten Schritt werden für die Untersuchung im Querschnitt die Residualvarianzen der vier Gruppen auf eins und die Mittelwerte der latenten Variablen auf null fixiert. Die Ladungen und *thresholds* werden hingegen frei geschätzt. Dieser erste Schritt lässt sich als *configural invariance* begrifflich festhalten, vorausgesetzt, es geht ein akzeptables Modell mit adäquaten Fitwerten hervor (Schroeders & Wilhelm, 2011, S.858ff.; Muthén & Muthén, 1998-2012, S.485f.).

Als *strong invariance* wird der zweite Schritt bezeichnet. Hierbei wird ein zweites Modell generiert, das restriktiver als das vorherige ist. Dazu werden die zusammengehörigen Faktoren und *thresholds* über die vier Gruppen dieser Untersuchung hinweg gleichgesetzt. Lediglich die Fixierung der Residualvarianzen auf eins bleibt für die erste Gruppe, hier die Gruppe USKH (unspezifische Lernziele und Feedback *Knowledge-on-how-to-proceed*), bestehen. Die Residualvarianzen der anderen Gruppen werden frei geschätzt. Gleiches wird für die Faktorenmittelwerte vorgenommen. Ausschließlich die erste Gruppe USKH behält die Faktorenmittelwertfixierung auf null bei. Die Faktorenmittelwerte der anderen drei

Gruppen werden frei geschätzt. Das erste und zweite Modell wird anschließend mithilfe des Chi-Quadrat-Differenztests verglichen. Erscheint der Test nicht signifikant bedeutet dies, dass die Modelle vergleichbar sind und somit von *strong invariance* zwischen den vier Gruppen auszugehen ist. Im umgekehrten Fall eines signifikanten Chi-Quadrat-Differenztests zwischen Modell eins und zwei würde es sich um derart unterschiedliche Modelle handeln, dass keine *strong invariance* vorliegt (Muthén & Muthén, 1998-2012, S.485f.; Schroeders & Wilhelm, 2011, S.859ff.).

Der letzte Schritt stellt die *strict invariance* dar. Hier findet ausschließlich die Veränderung der Residualvarianzen zum vorherigen Modell zwei statt. Dazu werden die Residualvarianzen aller vier Gruppen erneut wie beim ersten Modell auf eins fixiert. Die restlichen Parameterrestriktionen bleiben wie beim vorherigen Modell zwei erhalten. Wieder wird die Invarianz mit einem nicht signifikanten Chi-Quadrat-Differenztest festgehalten. Damit liegt in der dritten Stufe *strict invariance* vor. Es folgt nachstehend eine Übersicht über die kategoriale dichotome Invarianzprüfung für Quer- und Längsschnitt (Schroeders & Wilhelm, 2011, S.859ff.; Muthén & Muthén, 1998-2012, S.485f.; Edossa et al., 2018, S.193).

Der Stern bedeutet eine freie Schätzung der jeweiligen Parameter. *Fixed* ohne Angabe (von 1 bzw. 0) steht für eine Gleichsetzung gleicher Parameter (wie z. B. *threshold t11*) über die vier Gruppen hinweg (Schroeders & Wilhelm, 2011, S.860; Edossa et al., 2018, S.193).

Tabelle 5.6 Invarianzprüfung kategorialer dichotomer Daten (Edossa et al., 2018, S.193; Schroeders & Wilhelm, 2011, S.860)

Categorical variables	Loadings	Thresholds	Residuals	Means
Configural invariance	(*)	*)	Fixed at 1	Fixed at 0
Strong invariance	(Fixed	Fixed)	Fixed at 1/*	Fixed at 0/*
Strict invariance	(Fixed	Fixed)	Fixed at 1	Fixed at 0/*

5.5.3 Ergebnisse zu Analyse 2 (Vergleich der Gruppen im Querschnitt)

Die Invarianzprüfung im Querschnitt der kategorialen dichotomen Daten (1&0) wird für jede der fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz sowie für jede der Dimensionen deklarativen Sachwissens über die vier Gruppen in Mplus7 mit dem WLSMV-Schätzer und der *Pharametrisation Theta* in den drei zuvor beschriebenen Stufen *configural*, *strong* und *strict invariance* absolviert. Die Modellvergleiche erfolgen wie beschrieben via Chi-Quadrat-Differenztest (Schroeders & Wilhelm, 2011, S.859ff.; Muthén & Muthén, 1998-2012, S.485f.).

Als Ergebnis liegt für alle fünf Dimensionen der analytischen Problemlösekompetenz sowie für die Dimensionen des deklarativen Sachwissens sowohl im Vor- als auch im Nachtest eine *strict invariance* bezüglich des Querschnitts zumindest partiell vor.

Zum besseren Verständnis wird als Beispiel nachfolgend das CFA-Modell der *strict invariance* für die vierte Dimension der analytischen Problemlösekompetenz im Prätest der Gruppe 1 USKH in Abbildung 5.11 veranschaulicht.

Um sicherzustellen, dass der Chi-Quadrat-Differenztest nicht signifikant wird, liegt lediglich zwischen den beiden Indikatoren VCC_SB sowie VA2_M eine Korrelation mit ($r = .539$) vor. Diese kann als nicht gravierend angesehen werden, da beide Indikatoren in der gleichen Dimension liegen und somit das gleiche Konstrukt messen.

Vor diesem Hintergrund kann eine partielle *strict invariance* im Querschnitt postuliert werden. Damit lassen sich die vier Gruppen des Vortestes durchaus miteinander vergleichen, wodurch von einer Evidenz zur Validität auszugehen ist. Gleiches lässt sich für alle fünf Dimensionen der analytischen Problemlösekompetenz festhalten.

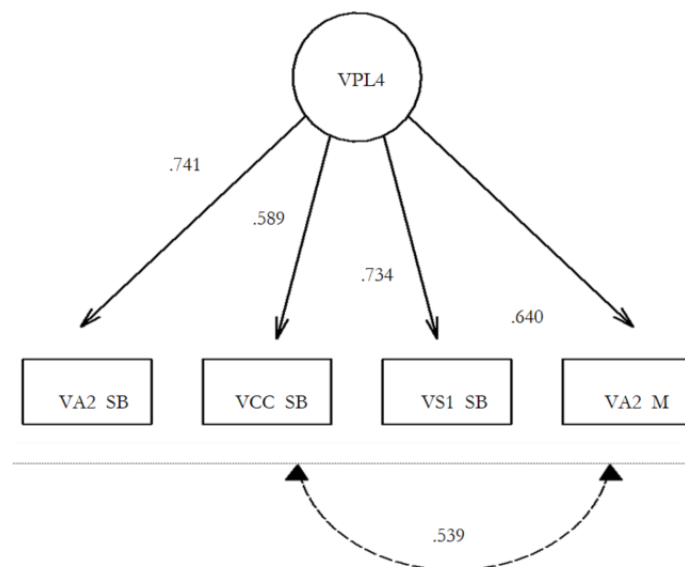


Abbildung 5.11: *Strict invariance* der Dimension 4 Problemlösen Gruppe 1 USKH (X^2 -Diff.Test-P-Value=.1931 / CFI=.991 / TLI=.992 / WRMR=1.512 / RMSEA=.028)

Die Invarianzprüfung der zwei Dimensionen deklarativen Sachwissens im Vortest sowie die Invarianzprüfung der drei Dimensionen deklarativen Sachwissens im Nachtest bringen ebenfalls eine partielle *strict invariance* bezüglich des Querschnitts zu Tage.

In Tabelle 5.7 wird ein prägnanter Überblick über die querschnittliche Invarianzprüfung der Subdimensionen „deklaratives Sachwissen“ und „analytische Problemlösekompetenz“ der berufsfachlichen Kompetenz im Vor- und Nachtest gewährt.

Tabelle 5.7: Partielle *strict invariance* im Gruppenvergleich ein Überblick

Dimension	ΔX^2	RMSEA	CFI	TLI	WRMR	Partielle Modifikation
VT_PL1	.8792	.000	1.000	1.005	.969	Eine Korrelation 2 Indikatoren (alle Gruppen) Eine Korrelation 2 Indikatoren (drei Gruppen) Eine Fixierung Residualvarianz (eine Gruppe)
VT_PL2	.0964	.044	.966	.965	1.713	Zwei Faktoren werden freigesetzt (alle Gruppen) Eine Korrelation 2 Indikatoren (drei Gruppen)
VT_PL3	.6319	.000	1.000	1.006	1.450	Eine Korrelation 2 Indikatoren (alle Gruppen)
VT_PL4	.1931	.028	.991	.992	1.512	USKH=Korrelation 2 Indikatoren
VT_PL5	.3561	.031	.996	.996	1.490	-
VT_SW1	.4480	.000	1.000	1.004	1.776	Einige Korrelationen zwischen Indikatoren (eine Gruppe) Eine Korrelation 2 Indikatoren (zwei Gruppen) Fixierung Korrelation zweier Indikatoren (eine Gruppe)
VT_SW2	.2045	.000	1.000	1.018	1.617	Einige Korrelationen zwischen Indikatoren (alle Gruppen)
NT_PL1	.6654	.049	.998	.998	1.557	Eine Korrelationen zwischen Indikatoren (eine Gruppen)
NT_PL2	.2114	.024	.990	.991	1.741	Zwei Korrelationen zwischen Indikatoren (zwei Gruppen) Vier Korrelationen zwischen Indikatoren (eine Gruppe)
NT_PL3	.1173	.061	.984	.983	1.856	Zwei Faktorladungen freigesetzt (alle Gruppen) Eine Korrelationen zwischen Indikatoren (zwei Gruppen) Eine Fixierung zwischen Indikatoren (eine Gruppe)
NT_PL4	.6185	.000	1.000	1.001	1.528	-
NT_PL5	.5226	.000	1.000	1.004	1.284	-
NT_SW1	.2330	.024	1.000	1.000	1.606	USKH drei Korrelationen Indikatoren werden zugelassen SPKH drei Residualvarianzen werden freigesetzt USKMC fünf Residualvarianzen werden freigesetzt SPMMC vier Residualvarianzen werden freigesetzt
NT_SW2	.2703	.015	.990	.990	1.711	Ein Faktor wird freigesetzt (alle Gruppen) Einige Korrelationen zwischen Indikatoren (alle Gruppen)
NT_SW3	.4011	.000	1.000	1.159	1.509	-

VT_SW1= Dimension 1 Deklaratives Sachwissen
 VT_SW2= Dimension 2 Deklaratives Sachwissen
 VT_PL1= Dimension 1 Analytische Problemlösekompetenz
 VT_PL2= Dimension 2 Analytische Problemlösekompetenz
 VT_PL3= Dimension 3 Analytische Problemlösekompetenz
 VT_PL4= Dimension 4 Analytische Problemlösekompetenz
 VT_PL5= Dimension 5 Analytische Problemlösekompetenz

NT_SW1= Dimension 1 Deklaratives Sachwissen
 NT_SW2= Dimension 2 Deklaratives Sachwissen
 NT_SW3= Dimension 2 Deklaratives Sachwissen
 NT_PL1= Dimension 1 Analytische Problemlösekompetenz
 NT_PL2= Dimension 2 Analytische Problemlösekompetenz
 NT_PL3= Dimension 3 Analytische Problemlösekompetenz
 NT_PL4= Dimension 4 Analytische Problemlösekompetenz
 NT_PL5= Dimension 5 Analytische Problemlösekompetenz

5.5.4 Ergebnisse zu Analyse 2 (longitudinale Invarianzprüfung)

Auch die longitudinale partielle *strict invariance* lässt sich in allen Dimensionen der analytischen Problemlösekompetenz sowie für die Dimension zwei des deklarativen Sachwissens feststellen. Hier ist das Vorgehen äquivalent zum Vorgehen der Prüfung auf Invarianz im Querschnitt mit kategorialen, dichotomen Daten (0&1) des Vor- und Nachttests (vgl. Kapitel 5.5.2 & 5.5.3). Im Gegensatz zur Modellierung für den Querschnitt liegen hier zwei statt vier Modelle vor – das Prä- und Posttest-Modell. Jede Dimension wird auf diese Weise für jede der vier Gruppen mittels einer separaten Datei getestet. Ein weiterer bemerkenswerter Unterschied besteht dahingehend, dass zwischen den Indikatoren und latenten Variablen im Vor- und Nachttest Korrelationen zugelassen werden. Alle Dimensionen der analytischen Problemlösekompetenz liefern ebenfalls eine longitudinale partielle *strict invariance*. Für das deklarative Sachwissen lässt sich ausschließlich eine longitudinale Invarianzprüfung der Dimension zwei realisieren. Der Grund hierfür ist, dass die Dimensionen im Vortest anders zusammengefasst sind als im Nachttest, wodurch ausschließlich die Dimension zwei des deklarativen Sachwissens sowohl für den Vor- als auch für den

Nachtest zur Verfügung steht. Es ergibt sich für alle vier Gruppen eine partielle *strict invariance* der Dimension zwei des deklarativen Sachwissens. Zur Veranschaulichung wird in Abbildung 5.12 das Modell der konfirmatorischen Faktorenanalyse (CFA) für die longitudinale partielle *strict invariance* der Gruppe 1 USKH in der Dimension fünf der analytischen Problemlösekompetenz dargestellt.

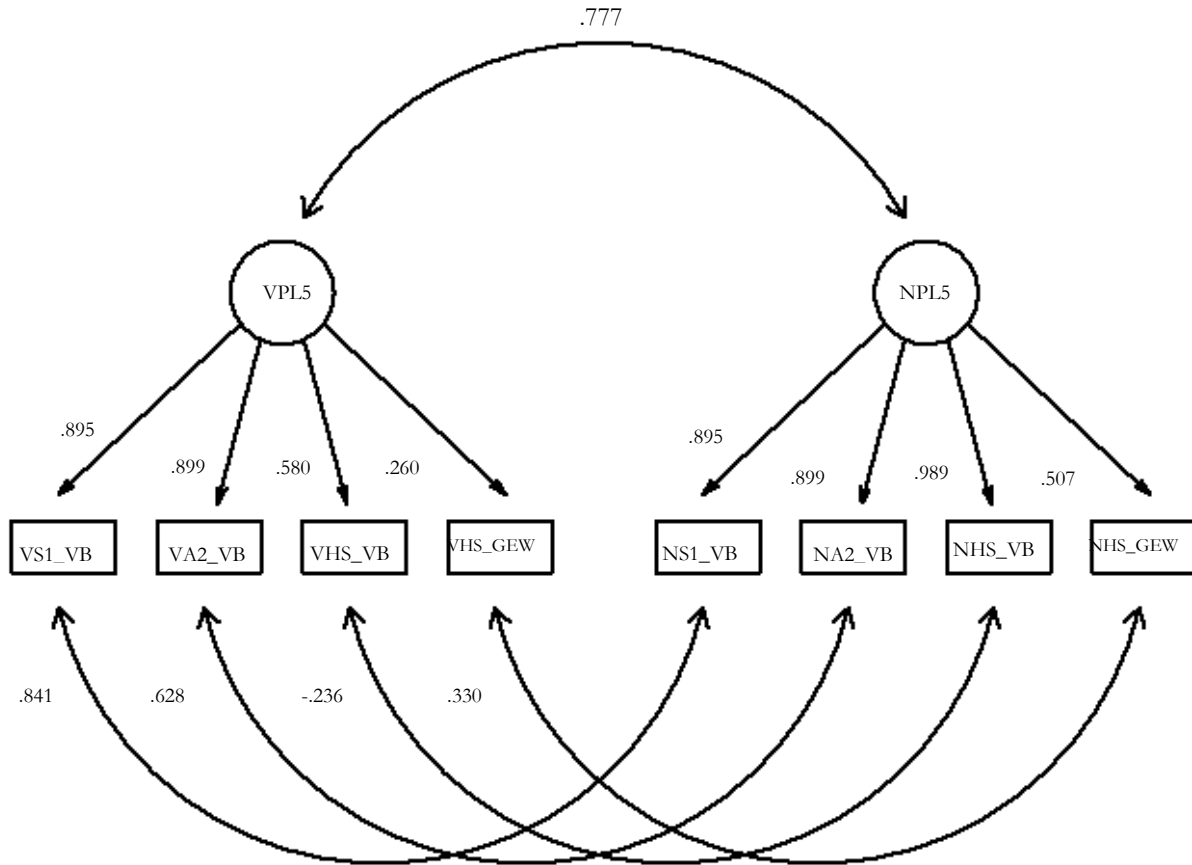


Abbildung 5.12: Strikte longitudinale partielle Invarianz der Gruppe 1 USKH Dimension 5 (X^2 -Diff:Test-P-Value=.1772 / CFI=1.000 / TLI=1.019 / WRMR=.411 / RMSEA=.000)

Diese partielle Invarianz wird erzielt, indem eine Faktorrestriktion und zwei Restriktionen der *Thresholds* aufgehoben werden (Muthén & Muthén, 1998-2012, S.486).

Der Modellvergleich über den Chi-Quadrat-Differenztest liefert adäquate Modellfitwerte (X^2 -Diff.Test-P-Value=.1772/ CFI=1.000/ TLI=1.019/ WRMR=.411/ RMSEA=.000) und wird nicht signifikant, wodurch für die Gruppe 1 USKH eine longitudinale partielle *strict invariance* festgestellt werden kann. Damit sind Aussagen über den Lernfortschritt infolge des jeweiligen *treatments* (USKH, SPKH, USKMC und SPKMC) bezüglich der fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz und der zweiten Dimension des deklarativen Sachwissens aufgrund der vorliegenden Evidenzen zur Validität zulässig. In diesem Zusammenhang wird – wie bereits zuvor für die Invarianzprüfung – im Querschnitt auch für die longitudinale Invarianzprüfung ein kurzer Modellüberblick in Tabelle 5.8 hinsichtlich der *strict invariance* dargeboten.

Tabelle 5.8: Partielle *strict invariance* longitudinal im Vergleich

Dimension	Gruppe	ΔX^2	RMSEA	CFI	TLI	WRMR	Partielle Modifikation
PL1	USKH	.6738	.151	.967	.957	1.501	Freisetzen von zwei Residualvarianzen
	SPKH	.1737	.032	.986	.973	.635	-
	USKMC	.2078	.130	.963	.954	1.286	Zwei Korrelationen und Faktoren frei (1Resid. Fix)
	SPKMC	.7777	.128	.974	.968	1.334	Zwei Faktoren und ein <i>Threshold</i> frei
PL2	USKH	-	-	-	-	-	-
	SPKH	.1377	.050	.935	.922	.887	Ein Faktor und eine Korrelation frei
	USKMC	.1300	.056	.931	.917	.916	Ein Faktor frei
	SPKMC	.8880	.028	.969	.963	.844	-
PL3	USKH	.4074	.000	1.000	1.110	.515	-
	SPKH	.3564	.000	1.000	1.062	.590	-
	USKMC	.0985	.024	.992	.987	.612	-
	SPKMC	.0758	.073	.912	.854	.749	-
PL4	USKH	.2281	.000	1.000	1.012	.616	Ein Faktor und eine Korrelation frei
	SPKH	.5530	.056	.978	.971	.783	-
	USKMC	.8228	.000	1.000	1.092	.634	-
	SPKMC	.7769	.000	1.000	1.118	.532	-
PL5	USKH	.1772	.000	1.000	1.019	.411	Ein Faktor und zwei <i>Thresholds</i> frei
	SPKH	.4281	.000	1.000	1.048	.478	-
	USKMC	.0832	.054	.987	.984	.805	-
	SPKMC	.3037	.059	.987	.983	.765	-
							Ein Faktor und eine Residualvarianz frei
SW2	USKH	.0599	.052	.841	.818	1.000	Drei <i>Thresholds</i> frei
	SPKH	.3792	.020	.975	.972	.876	Eine Korrelation (Indikator) fixiert
	USKMC	.1324	.044	.843	.811	.933	Ein Faktor und zwei <i>Thresholds</i> frei
	SPKMC	.8671	.000	1.000	1.006	.831	Zwei Faktoren und zwei <i>Thresholds</i> frei sowie eine Residualvarianz frei

VT_SW1= Dimension 1 Deklaratives Sachwissen
 VT_SW2= Dimension 2 Deklaratives Sachwissen
 VT_PL1= Dimension 1 Analytische Problemlösekompetenz
 VT_PL2= Dimension 2 Analytische Problemlösekompetenz
 VT_PL3= Dimension 3 Analytische Problemlösekompetenz
 VT_PL4= Dimension 4 Analytische Problemlösekompetenz
 VT_PL5= Dimension 5 Analytische Problemlösekompetenz

NT_SW1= Dimension 1 Deklaratives Sachwissen
 NT_SW2= Dimension 2 Deklaratives Sachwissen
 NT_SW3= Dimension 2 Deklaratives Sachwissen
 NT_PL1= Dimension 1 Analytische Problemlösekompetenz
 NT_PL2= Dimension 2 Analytische Problemlösekompetenz
 NT_PL3= Dimension 3 Analytische Problemlösekompetenz
 NT_PL4= Dimension 4 Analytische Problemlösekompetenz
 NT_PL5= Dimension 5 Analytische Problemlösekompetenz

5.5.5 Fazit zu Analyse 2: Prüfung auf Äquivalenz bzw. Invarianz

Am Anfang stellte sich die Frage, ob die vier *Treatment*-Gruppen tatsächlich miteinander zu vergleichen sind. Schließlich wäre es denkbar gewesen, dass sie sich unabhängig von Randomisierung, Homogenisierung und Experimentaldesign deutlich unterscheiden. Analog hierzu ließ sich mittels Invarianzprüfung feststellen, ob es sich innerhalb der Gruppen evident um ähnliche Gruppen handelt. Mit „ähnliche Gruppen“ wird darauf aufmerksam gemacht, dass sich die menschliche Einzigartigkeit in einer Gruppe nicht vollständig aufheben lässt und demzufolge naturgemäß geringfügige Unterschiede verzeichnet werden – und auch verzeichnet werden dürfen. Diese marginalen Unterschiede zwischen Indikatoren der Gruppen liegen auch teilweise in Analyse 2 zur Studie vor und sind aufgrund einer insgesamt überwiegenden Gemeinsamkeit als partielle *strict invariance* zu verzeichnen. Somit sind die Gruppen im Ergebnis miteinander vergleichbar. Dies konnte durch die Prüfung auf Invarianz für den Querschnitt sowohl im Prä- als auch im Posttest für das deklarative Sachwissen sowie die analytische Problemlösekompetenz festgestellt werden. Damit werden die Hypothesen H_{2a} , H_{2b} , H_{2c} und H_{2d} bestätigt. Erst durch die nachgewiesene Invarianz im Querschnitt von Prä- und Posttest kann auch im Längsschnitt eine Prüfung auf Invarianz legitimiert werden. Auch die longitudinale Invarianz für das deklarative Sachwissen und für die analytische Problemlösekompetenz lässt sich durch partielle *strict invariance* attestieren, wodurch ebenfalls die Hypothesen H_{2e} und H_{2f} bekräftigt werden. Durch diese Erkenntnisse können Vergleiche sowohl für die *Treatment*-Gruppen als auch Vergleiche zwischen Prä- und Posttest-Design begründet werden. Hierdurch wird eine Evidenz zur Validität festgestellt, mit deren Hilfe Analysen zwischen den Prä- und Posttest-Modellen möglich werden. Dies ist mit dem Fokus auf *intelligence-as-knowledge* in Bezug auf die PPIK-Theorie bedeutsam.

5.6 Analyse 3: Lernprogression durch das Lernarrangement

Ein Kernthema dieser Studie repräsentiert die Säule (C), die sich schwerpunktmäßig der Frage widmet, *wie* sich das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen angemessen fördern lässt. Für diese Untersuchung liegt partielle *strict invariance* der kategorialen dichotomen Daten aller fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz sowohl im Quer- als auch im Längsschnitt vor (vgl. Kapitel 5.5). Im Querschnitt kann für das deklarative Sachwissen im Prä- sowie Posttest ebenfalls partielle *strict invariance* festgestellt werden. Longitudinal war dies jedoch nur für die Dimension zwei möglich, da sich das deklarative Sachwissen zwischen Prä- und Posttest von ursprünglich zwei zu drei Dimensionen auffächerte. Diese Invarianz bildet die Grundvoraussetzung, um die Gruppen mithilfe des jeweiligen *treatments* über eine längere Zeit hinweg miteinander vergleichen zu können. Da diese Voraussetzungen erfüllt werden, liegt das Hauptaugenmerk der vorlie-

genden Analyse 3 auf folgenden Fragen: Wie stark ist die Lernprogression infolge des jeweiligen *treatments* zu verzeichnen? Ergibt sich für ein *treatment* ein besonders starker Lernzuwachs bzw. hat eines eine eher schwächere Wirkung? Diesen Fragen gilt es nachstehend auf den Grund zu gehen.

5.6.1 Hypothesen zu Analyse 3

H₃: Die vier Lerngruppen weisen infolge der Lerneinheit einen deutlichen Lernzuwachs auf. Demnach zeichnen sich alle *treatments* als klar lernwirksam ab. In Bezug auf das deklarative Sachwissen wird eine bessere *Treatment*-Wirkung von spezifischen Lernzielen kombiniert mit *Knowledge-on-how-to-proceed* (SPKH) als besonders lernwirksam erachtet. Für die analytische Problemlösekompetenz wird eine entsprechende Wirkung von unspezifischen Lernzielen kombiniert mit *Knowledge-on-metacognition* (USKMC) angenommen (vgl. Kapitel 2.3).

Zusätzlich wirkt der *Cognitive-Load* in entgegengesetzte Richtung zu den lernpsychologischen Kontextfaktoren, was mit Blick auf ITF und Lernziele in jedem Fall für ein angemessenes Lernarrangement spricht.

- a) Die Mittelwertverschiebungen verzeichnen für alle *Treatment*-Gruppen eine deutliche Lernprogression zwischen Prä- und Posttest. Folglich zeigen alle Lernarrangements der vier Gruppen eine sichtbare Wirkung auf die analytische Problemlösekompetenz.
- b) Die Mittelwertverschiebungen verzeichnen für alle *Treatment*-Gruppen eine deutliche Lernprogression zwischen Prä- und Posttest. Folglich zeigen alle Lernarrangements der vier Gruppen eine sichtbare Wirkung auf das deklarative Sachwissen.
- c) Das *Treatment* „spezifische Lernziele“ in Kombination mit „*Knowledge-on-how-to-proceed*-Feedback“ (SPKH) zeigt die stärkste Lernprogression bezüglich des deklarativen Sachwissens auf (vgl. Kapitel 2.3.2).
- d) Das *Treatment* „unspezifische Lernziele“ in Kombination mit „*Knowledge-on-metacognition*-Feedback“ (USKMC) zeigt die stärkste Lernprogression bezüglich der analytischen Problemlösekompetenz auf (vgl. Kapitel 2.3.2).
- e) Der *Cognitive-Load* bzw. *Extraneous Load* wirkt bezogen auf die lernpsychologischen Kontextfaktoren in entgegengesetzte Richtung und deutet daher auf ein angemessenes Lernarrangement aller *Treatment*-Gruppen hin.

5.6.2 Methode zu Analyse 3

Die Mittelwertvergleiche lassen sich realisieren, indem das CFA-Modell der jeweiligen longitudinalen *strict invariance* herangezogen wird. Hier sind ebenso die entsprechenden latenten Faktorenmittelwerte zum Messzeitpunkt 1 auf null fixiert. Im Gegensatz hierzu werden die latenten Faktorenmittelwerte zum Messzeitpunkt 2 frei geschätzt. Somit haben alle Mittelwertveränderungen der Gruppen in der jeweiligen Dimension der analytischen Problemlösekompetenz und in der zweiten Dimension des deklarativen Sachwissens den gleichen Bezugspunkt (null) (Dimitrov, 2006, S.434f.).

Als Indiz für ein angemessenes Lernarrangement werden die Korrelationen der lernpsychologischen Kontextfaktoren mit dem Fragebogen zum *Cognitive-Load* via SEM in Mplus7 herangezogen.

5.6.3 Ergebnisse zu Analyse 3

Betrachtet man die Mittelwertverschiebungen der analytischen Problemlösekompetenz in Tabelle 5.9, so sind in allen Lerngruppen relativ große Lernfortschritte zu verzeichnen. Dies bedeutet mit anderen Worten, dass für alle Lerngruppen eine sichtbare Lernprogression festgehalten werden kann. Die kleinste Veränderung wird in Dimension 5 der Lerngruppe USKH mit ($a = .375$) und die größte Veränderung in der Dimension 2 mit ($a = 1.530$) der Gruppe SPKMC dokumentiert.

Tabelle 5.9: Longitudinale Mittelwerte im Vergleich (Messzeitpunkt 1 = 0 / Strikte Invarianz liegt vor!)

	PL1 (Schnittverl.)	PL2 (Schraffur+RM)	PL3 (Linien in Schnitten)	PL4 (Schnittbez.)	PL5 (Schnittarten)
USKH	1.115 ¹⁾	-	.756	1.199	.375
SPKH	.543	1.452	1.144	1.427	.643
USKMC	.552	1.091	1.030	1.469	.547
SPKMC	.420	1.530	1.011	.962	.456

¹⁾ keine longitudinale *strict invariance*! Lediglich *strong invariance*

Die größten Lernfortschritte werden generell in den Dimensionen 2-4 realisiert. In den Dimensionen 1 und 5 ist die Lernprogression aller Gruppen ungefähr um die Hälfte kleiner. In den Dimensionen 1, 4 und 5 – die entweder rein spezifische Lernziele und Feedback (SPKH) oder durchweg unspezifische Lernziele kombiniert mit metakognitivem Feedback (USKMC) erhalten – scheinen die Lerngruppen am besten zu lernen. Für die Gruppe USKH der ersten Dimension analytischer Problemlösekompetenz liegt longitudinal jedoch lediglich *strong invariance* vor, wodurch die diesbezügliche Interpretierbarkeit in Frage gestellt werden muss. In der Dimension 3 zeichnen sich die Kombinationen SPKH, SPKMC und USKMC als adäquat ab. Ausgehend von den beobachteten Mittelwertver-

schiebungen kann festgehalten werden, dass die Lernenden hinsichtlich der Dimension 2 mit SPKH und SPKMC am besten gelernt haben. Für die Gruppe USKH in der zweiten Dimension analytischer Problemlösekompetenz lässt sich keine belastbare Aussage zur Invarianz treffen. Die zweite Dimension des deklarativen Sachwissens (Dimensionen 2 und 3 via CFA kombiniert, vgl. Kapitel 5.4) bringt ebenfalls signifikante Mittelwertverschiebungen der vier *Treatment*-Gruppen zum Vorschein (vgl. Tabelle 5.10).

Tabelle 5.10: Longitudinale Mittelwertvergleiche der 4 Gruppen - Dimension 2 deklaratives Sachwissen (Messzeitpunkt 1 = 0 / Strikte Invarianz liegt vor!)

	USKH	SPKH	USKMC	SPKMC
Mittelwertverschiebung	2.078	2.169	1.644	2.329

Schlägt man die Brücke zur zweiten Dimension der analytischen Problemlösekompetenz, lässt sich für die zweite Dimension des deklarativen Sachwissens eine vergleichbare Reihenfolge feststellen. Am größten ist die Lernprogression gemessen an der Mittelwertverschiebung der vierten Gruppe mit dem spezifischen Lernziel und der metakognitiven Feedbackkomponente (SPKMC) mit ($a = 2.329$). Den niedrigsten Lernfortschritt erzielen die Studierenden der dritten Gruppe mit unspezifischen Lernzielen und metakognitiv informativen tutoriellen Feedback (USKMC) mit ($a = 1.644$). Insgesamt zeichnet sich wie bei den fünf Dimensionen der analytischen Problemlösekompetenz erneut eine deutliche Mittelwertverschiebung ab, wodurch ein relativ großer Lernfortschritt für alle vier Gruppen zu konstatieren ist.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass sich durch die negativen Korrelationen der lernpsychologischen Kontextfaktoren mit dem Fragebogen zum *Cognitive-Load* ein angemessenes Lernarrangement etablieren lässt (vgl. Tabelle 5.11). Dies ist u. a. darauf zurückzuführen, dass keine Überforderungen der Studierenden erkennbar sind.

Tabelle 5.11: Korrelationen mit dem *Cognitive-Load* ($RMSEA = .025$ / $CFI = .920$ / $TLI = .915$ / $WRMR = 1.082$)

Dim.	NPL1	NPL2	NPL3	NPL4	NPL5	IP	NSW1	NSW2	NSW3
CL	-.013	-.094	-.260**	-.070	-.161	-.140**	-.207**	-.085	-.024

**Hochsignifikant ($p < .01$)

NSW1= Dimension 1 Deklaratives Sachwissen

NSW2= Dimension 2 Deklaratives Sachwissen

NSW3= Dimension 3 Deklaratives Sachwissen

NPL1= Dimension 1 Analytische Problemlösekompetenz

NPL2= Dimension 2 Analytische Problemlösekompetenz

NPL3= Dimension 3 Analytische Problemlösekompetenz

NPL4= Dimension 4 Analytische Problemlösekompetenz

NPL5= Dimension 5 Analytische Problemlösekompetenz

IP = *intelligence-as-process* (CFT 20-R)

CL= *Cognitive-Load* (Befragung)

5.6.4 Fazit zu Analyse 3

Mithilfe des Mittelwertvergleichs der *Treatment*-Gruppen, bei dem der Fokus auf der analytischen Problemlösekompetenz liegt, lässt sich die Hypothese H_{3a} bestätigen. Dementsprechend haben alle Studierenden unabhängig vom jeweiligen Lernarrangement deutlich dazu gelernt. Gleiches lässt sich für die zweite Dimension des deklarativen Sachwissens

feststellen, wodurch ebenfalls die Hypothese H_{3b} bestätigt wird. Die Indikatoren der Dimension 5 analytischer Problemlösekompetenz beziehen sich auf Bauteile, die nicht geschnitten werden dürfen, sowie auf eine Gewindedarstellung im Schnitt. Die Dimension 1 umfasst Indikatoren, die auf die Schnittverlaufslinie, Pfeile und deren Buchstaben abzielen. Da in den Dimensionen 1 und 5 die Lernprogression am geringsten ist, stellt sich die Frage, inwiefern sich diese beiden Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz von den anderen unterscheiden lassen. Möglicherweise könnte es daran liegen, dass diese beiden Dimensionen räumlich schwieriger zu diagnostizieren sind. So muss z. B. ein Bauteil, das nicht geschnitten werden darf, erst als solches identifiziert werden. Die anderen Dimensionen enthalten eher Indikatoren, bei denen die Fehler auf Anhieb zu erkennen sind. So sticht ein Schraffurwinkel einer Schnittfläche direkt ins Auge, wenn er von den nach der DIN EN ISO üblichen Winkeln (45° bzw. 135°) abweicht. Welche Lernziel-Feedback-Kombination als *treatment* am besten wirkt, lässt sich im Vergleich der Mittelwerte in den Dimensionen nicht eindeutig klären. Allerdings kann festgehalten werden, dass ein Lernarrangement mit unspezifischen Lernzielen und metakognitivem Feedback (USKMC) einer Kombination aus spezifischen Lernzielen mit spezifischem Feedback (SPKH) zumindest gleichwertig erscheint. In Anbetracht dieser Erkenntnisse lässt sich die Hypothese H_{3d} jedoch nicht bestätigen. Gleichwohl würde einiges für unspezifische Lernziele in Kombination mit metakognitivem Feedback (USKMC) sprechen, da hier die Studierenden vermutlich zu mehr Selbstständigkeit angeregt werden könnten. Schließlich müssen sie beim metakognitiven Feedback die Informationen zum Lernen selbst ausfindig machen und darüber hinaus eigene Strategien zur Informationsbeschaffung anwenden. Die Ergebnisse der Mittelwertverschiebungen der zweiten Dimension des deklarativen Sachwissens lassen bezüglich des Lernfortschritts eine mit der zweiten Dimension analytischer Problemlösekompetenz vergleichbare Rangordnung der *Treatment*-Gruppen erkennen. Somit würde sich im Hinblick auf ein günstiges Lernarrangement die Kombination aus spezifischen Lernzielen und einem metakognitiven informativen tutoriellen Feedback (Gruppe: SPKMC) sowohl für die zweite Dimension analytischer Problemlösekompetenz als auch für die themenverwandte zweite Dimension des deklarativen Sachwissens eignen. Vor diesem Hintergrund muss die Hypothese H_{3c} ebenfalls verworfen werden. Fraglich ist jedoch, ob dieses Lernarrangement auch in Bezug auf die Selbstregulation während der Lernprozesse als günstiger anzusehen ist. Der Fragebogen zum *Cognitive-Load* zeigt durchweg negative Korrelationen mit den lernpsychologischen Kontextfaktoren auf, wonach davon auszugehen ist, dass die Lernumgebung zu keiner Überforderung führte und die Hypothese H_{3e} somit bestätigt werden kann.

5.7 Analyse 4: RIASEC via Circumplex

Das Hexagonmodell nach Holland lässt sich auf einem Kreis als Circumplexstruktur aufzeichnen. Demnach kann auch die Interessenstruktur umfassender abgebildet werden, da

alle sechs Interessensfacetten miteinbezogen werden. In der folgenden Analyse geht es um die Abbildung der beruflichen Interessenstruktur der Studierenden auf dem Circumplex.

5.7.1 Hypothesen zu Analyse 4

H4: Die Interessenstruktur RIASEC nach Holland lässt sich mit dem Quasi-Circumplex von Nagy diagnostizieren.

- Die Interessenstruktur RIASEC wird via Quasi-Circumplexstruktur bestätigt.
- Ein hohes Interessensinventar einerseits bringt ein niedriges Interesse auf der gegenüberliegenden Seite des Quasi-Circumplex zum Vorschein (Calculushypothese).

5.7.2 Methode zu Analyse 4

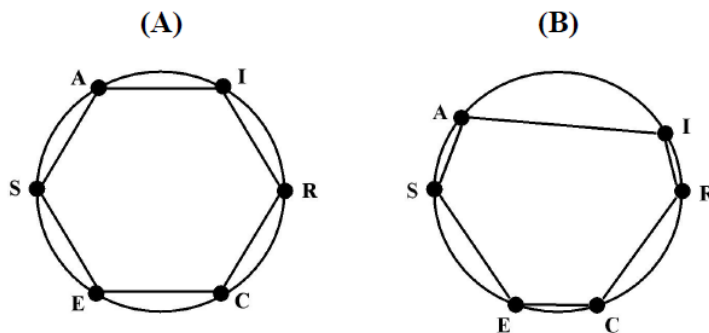


Abbildung 5.13: Circumplex (A) vs. Quasi-Circumplex (B) (Nagy, 2005, S.88)

Die Hexagonstruktur des Modells beruflicher Interessen nach Holland (vgl. Kapitel 2.2.8) kann auch auf einem Kreis abgebildet werden. Diese zweidimensionale Struktur wird als Circumplex bezeichnet. Je größer die Distanz zwischen zwei Variablen, desto verschiedenartiger sind sie und umgekehrt. Weisen alle

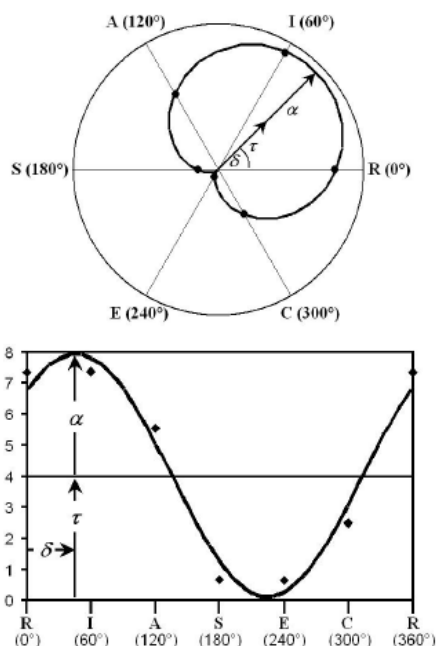


Abbildung 5.14: Kosinunsfunktion Circumplex (Nagy, 2005, S.91)

sechs Punkte der RIASEC-Theorie den gleichen Abstand auf, liegt ein ideales Hexagon auf dem Circumplex. Dies wird unter (A) in Abbildung 5.13 veranschaulicht. In der Realität ist dieses Hexagon jedoch eher verzerrt, sodass lediglich von einem Quasi-Circumplex wie unter (B) in Abbildung 5.13 dargestellt auszugehen ist. Eine zentrale Grundlage für die Quasi-Circumplexstruktur sind die Kovarianz- bzw. Korrelationsmatrizen der empirisch gewonnenen Daten (Nagy, 2005, S.87ff.).

Circumplexmodelle besitzen eine symmetrische Korrelationsfunktion, wodurch die Korrelation zweier Variablen ausschließlich vom aufgezeichneten Winkel zwischen den Variablen abhängt (Nagy, 2005, S.302).

Somit können individuelle Interessensprofile sparsam mit den drei Parametern Profilmiveau, Profilorientierung sowie Profildifferenzierung aufgezeichnet werden.

In Abbildung 5.14 wird ein Circumplex mittels geeigneter Kosinusfunktion skizziert. Im vorliegenden Beispiel lässt sich ein Hexagon auf der Kreisfunktion abbilden; oben als Feld- und unten als Profildarstellung. Die Profilausrichtung als Winkel δ entspricht dabei der Profilorientierung. Die Profilamplitude α kennzeichnet die Profildifferenzierung und deren Anteil τ als Niveau. Durch den Winkel δ von 45° ergibt sich im Falle von Abbildung 5.14 eine praktisch ausgerichtete und zugleich forschende Interessensorientierung (Nagy, 2005, S.89ff.).

Die Aufzeichnungen in Abbildung 5.14 können mit Formel 5.5 hergeleitet werden:

$$Y_{ij} = \tau_i + \alpha_i \cos(\theta_j - \delta_i) + e_{ij}.$$

Formel 5.5: Kosinusfunktion (Nagy, 2005, S.92; Browne, 1992, S.471)

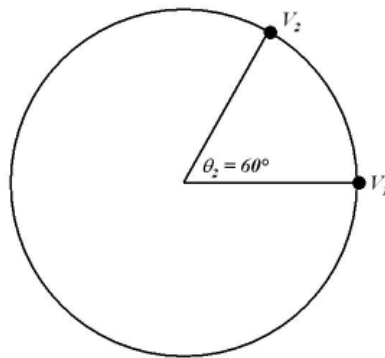


Abbildung 5.15: Referenzvariable (Nagy, 2005, S.95)

Der Messwert Y_{ij} einer Person i auf die Variablen j resultiert zudem aus den Abweichungen der beobachteten Person von dem per Kosinusfunktion vorhergesagten Wert auf der Variablen j . Θ_j bezeichnet die polare Position der Variablen j auf dem Circumplex. Die Individuen werden außerdem mit den personenspezifischen Parametern τ_i , α_i und δ_i beschrieben. Es wird ersichtlich, dass mit einer relativ hohen Ausprägung des Niveaus τ_i die Messwerte auf allen RIASEC-Skalen ebenfalls hoch sind. Damit Zusammenhänge zwischen den Interessen und anderen Variablen modelliert werden können, ist es obligatorisch, die tatsächliche Circumplexstruktur zu kennen (Nagy, 2005, S.92f.).

In Anbetracht dessen wird hierfür auf ein zirkuläres stochastisches Prozessmodell mit einer Fourierreihe (ZSPF) zurückgegriffen (Browne, 1992, S.485ff.).

Nagy konnte auf diese Weise die hexagonale RIASEC-Struktur in Form eines Quasi-Circumplex in Verbindung mit beruflichen Gymnasien nachweisen (Nagy, 2005, S.120).

Für dieses zirkuläre stochastische Prozessmodell mit einer Fourierreihe (ZSPF) gibt es vier gültige Grundannahmen. Erstens lässt sich die Varianz – wie für eine Faktorenanalyse

typisch – in einen wahren, auf die latente Variable zurückführbaren Wert und ein Residuum aufspalten. Im Residuum sind ein spezifischer Anteil sowie ein Fehleranteil enthalten. Zweitens ist es möglich, dass die Circumplexstruktur aufgrund der gemessenen Fehler verzerrt ist. Mit der dritten Annahme kann die Position einer latenten Variablen als Winkel zu einer Referenzvariablen festgestellt werden. Viertens und letztens gibt die Korrelation der wahren Werte zweier latenter Variablen den Abstand zueinander im Bogenmaß an. Der Winkel Θ zwischen den beiden Variablen V_2 und der Referenzvariablen V_1 beträgt in Abbildung 5.15 somit beispielsweise 60° (Nagy, 2005, S.94f.).

Mithilfe einer Fourierreihe lässt sich der zweidimensionale Abstand der Variablen als Umfang mit einer arbiträren Genauigkeit approximieren. Die in diesem Fall zutreffende Korrelationsfunktion wird durch Formel 5.6 dargestellt werden:

$$\rho(c_j, c_k) = \beta_0 + \beta_1 \cos(\theta_j - \theta_k).$$

Formel 5.6: Fourierreihe mit einer Komponente (Nagy, 2005, S.96)

Die Parameter β_0 und β_1 der Funktion addieren sich zu einem Wert von eins auf (vgl. Abbildung 5.16). Außerdem können sie ausschließlich positive Werte annehmen. Das Maximum liegt bei $\beta_1 = 1$ (Nagy, 2005, S.95ff.).

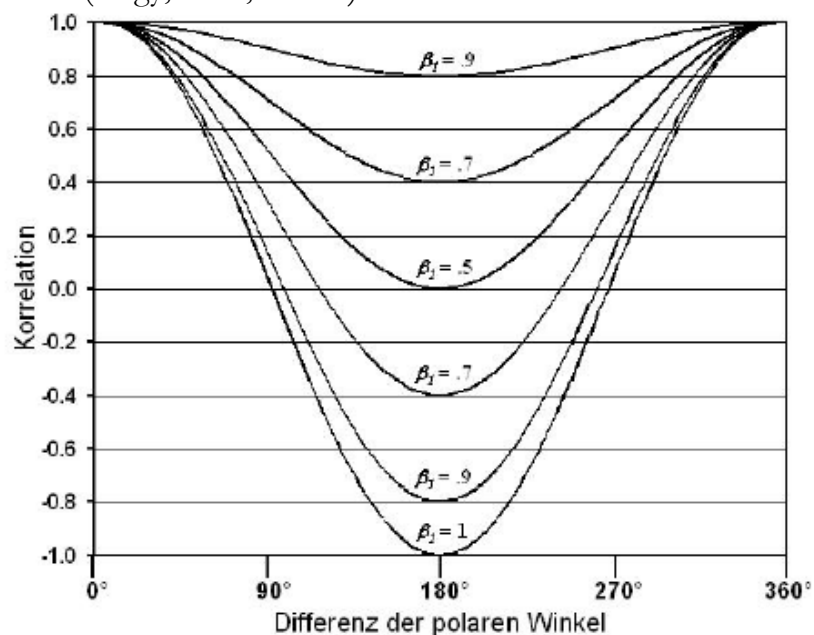


Abbildung 5.16: Annäherung der Korrelationsfunktion (Nagy, 2005, S.97)

Im SEM-Programm Mplus kann das zirkuläre stochastische Prozessmodell mit einer Fourierreihe (ZSPF) faktoranalytisch für eine Komponente wie im folgenden Pfaddiagramm realisiert werden (vgl. Abbildung 5.17) (Nagy, 2005, S.97f.).

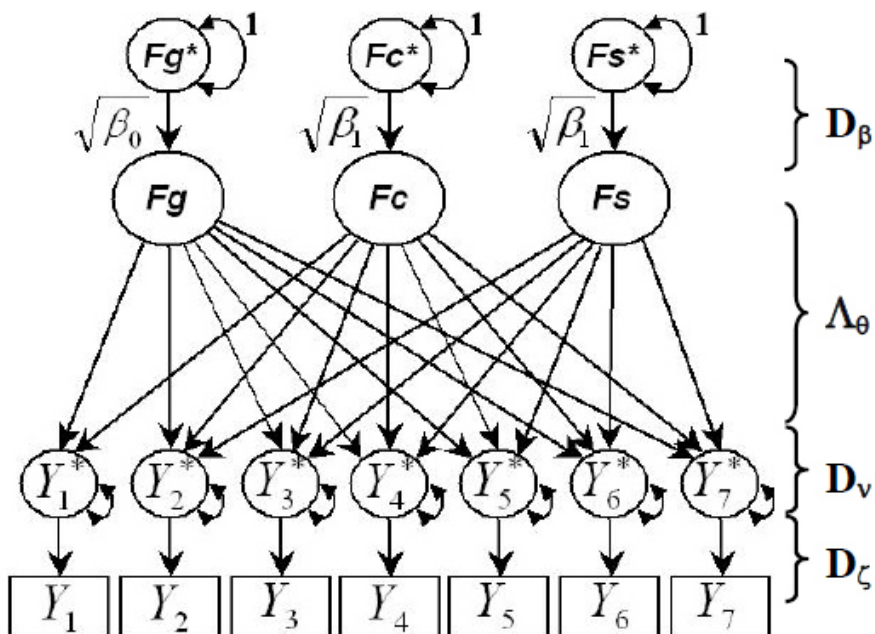


Abbildung 5.17: Faktoranalytische Umsetzung der ZSPF (Nagy, 2005, S.98)

Die Modellparameter sind in den entsprechenden Matrizen enthalten. D_ζ umfasst die Skalierungsparameter der beobachteten Variablen. Die Skalierungskonstanten ζ_j repräsentieren in diesem Fall die Kommunalitäten der manifesten Variablen, und D_v steht für die Diagonalmatrix der Residualvarianzen. Λ_θ beinhaltet die skalierten Faktorladungen auf den Circumplex. Die interindividuellen Unterschiede bezüglich des Niveaus werden über den Faktor F_G bestimmt. F_C und F_S stellen Positionsfaktoren dar. Die Varianzen der drei Faktoren F_G , F_C und F_S sind zudem auf eins fixiert. Zur spezifischeren Interpretation der Faktoren F_G , F_C und F_S dient Abbildung 5.18. Der Faktor F_G entspricht direkt dem Profilniveau τ_i , F_S dem Betrag auf der vertikalen und F_C dem Betrag auf der horizontalen Achse. Somit wird ersichtlich, dass sich der Winkel δ_i aus dem Kotangens der Faktorwerte von F_C und F_S berechnen lässt. Der Kotangens kann aus dem Verhältnis von Ankathete zur Gegenkathete ermittelt werden. Hier entspricht die Ankathete dem Faktor F_C und die Gegenkathete dem Faktor F_S (Nagy, 2005, S.97-105).

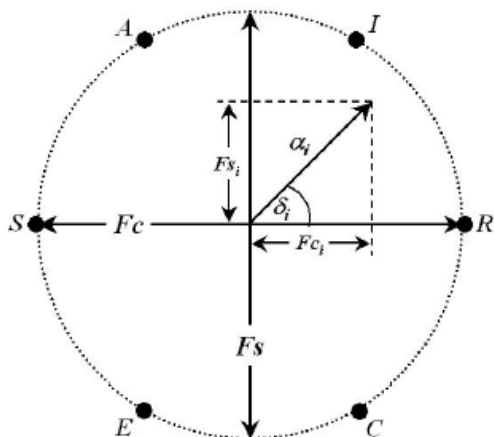


Abbildung 5.18: Darstellung von F_C und F_S (Nagy, 2005, S.100)

Es folgt eine kleine Formelzusammenfassung (vgl. Formel 5.7 & 5.8), um die drei Faktoren F_G , F_C und F_S adäquat interpretieren zu können:

$$\delta_i = \tan^{-1}(F_{S_i}/F_{C_i})$$

Formel 5.7: Profilorientierung (Nagy, 2005, S.104)

$$\alpha_i = (F_{C_i}^2 + F_{S_i}^2)^{\frac{1}{2}}$$

Formel 5.8: Profilamplitude (Nagy, 2005, S.104)

Auf diese Weise können aus den drei Faktoren F_G , F_C und F_S die Profilamplitude α_i , die Profilorientierung über den Winkel δ_i sowie das Profilniveau τ_i berechnet bzw. direkt abgelesen werden.

5.7.3 Ergebnisse zu Analyse 4 (Quasi-Circumplex)

Wie bereits in Kapitel 5.7.2 ausgeführt, ist für den Datensatz dieser Untersuchung lediglich ein Quasi-Circumplex zu erwarten. Dieser entspricht wie zuvor erläutert einem verzerrten Circumplex. Das faktoranalytische zirkuläre stochastische Prozessmodell mit einer Fourierreihe (ZSPF) dieser Untersuchung entspricht Abbildung 5.17. Die Schätzung des Modells erfolgt mit dem ML-Schätzer. Die Modellgüte erscheint mit ($RMSEA=.106/CFI=.966/TLI=.872/SRMR=.030$) als akzeptabel. Allerdings muss die negative Residualvarianz der latenten Variablen I (*investigative*) auf einen positiven Wert ($I@0.225$) fixiert werden. Danach werden darüber hinaus die einzelnen Ladungen der Faktoren GEN (F_G), COS (F_C) und SIN (F_S) offenbart. Somit können im Anschluss die exakten Winkel berechnet und der gültige Quasi-Circumplex der Untersuchung skizziert werden.

Tabelle 5.12: Ladungen von F_G (GEN), F_C (COS) und F_S (SIN) (fixierte Residualvarianz für I)

					Two Tailed p-Value
GEN	BY				
R		0.463	0.040	11.655	0.000
I		0.704	0.017	42.233	0.000
A		0.510	0.041	12.380	0.000
S		0.586	0.035	16.589	0.000
E		0.590	0.031	18.764	0.000
C		0.583	0.041	14.219	0.000
COS	BY				
R		0.372	0.033	11.374	0.000
I		0.273	0.084	3.258	0.001
A		-0.360	0.051	-7.077	0.000
S		-0.435	0.053	-8.201	0.000
E		-0.220	0.085	-2.571	0.010
C		0.093	0.084	1.108	0.268
SIN	BY				
R		0.000	0.000	999.000	999.000
I		0.496	0.049	10.084	0.000
A		0.195	0.071	2.751	0.006
S		-0.182	0.096	-1.887	0.059
E		-0.420	0.052	-8.100	0.000
C		-0.459	0.038	-12.205	0.000

Wie in Tabelle 5.12 zu entnehmen, ergibt sich für die latente Variable I das höchste Profilniveau (GEN). Erstaunlicherweise liegt für R das niedrigste Profilniveau vor. Aus den Faktoren für den Cosinus (COS) und den Sinus (SIN) lassen sich die jeweiligen Winkel der RIASEC-Variablen – wie bereits in Kapitel 5 (vgl. Formel 5.7 und Formel 5.8) aufgeführt – via Kotangens berechnen. Somit ergeben sich folgende Winkel mit Referenz zu R bei 0° :

$$I = \tan^{-1}\left(\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.273}{0.496}\right) = 29^\circ$$

$$A = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}\right) = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{0.360}{0.195}\right) = 119^\circ$$

$$S = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}\right) = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{0.435}{0.182}\right) = 247^\circ$$

$$E = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}\right) = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{0.220}{0.420}\right) = 208^\circ$$

$$C = 270^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}\right) = 270^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{0.093}{0.459}\right) = 281^\circ$$

Je nachdem, welches Vorzeichen (+ oder -) die Ladung der Faktoren COS bzw. SIN in-
nehoben, befindet sich der jeweilige Winkel in einem anderen Kreisquadranten. Deshalb

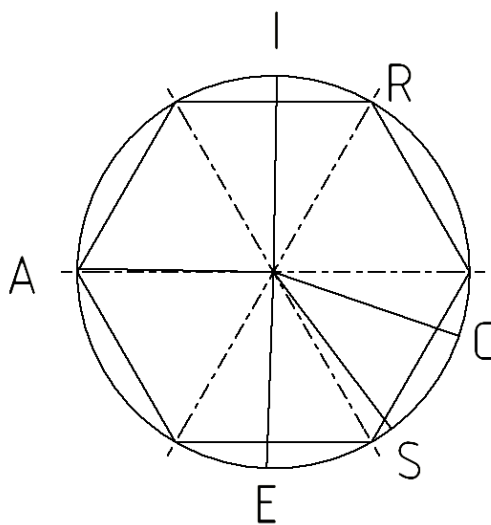


Abbildung 5.19: RIAESC

muss z. B. der berechnete Winkel *artistic* von den 180° der beiden ersten beiden Kreisquadranten abgezogen werden. Folglich ergibt sich tatsächlich ein Quasi-Circumplex. Die Reihenfolge wird jedoch offensichtlich nicht komplett erfüllt. Anstelle von RIASEC geht die Reihenfolge RIAESC hervor. Nebenstehend wird der Quasi-Circumplex im Vergleich zu dem perfekten Circumplex, dessen Winkelabstände 60° betragen, skizziert. In

Abbildung 5.19 ist zu erkennen, dass die Variablen R (*realistic*) und I (*investigative*) relativ nahe beieinander liegen. Der Abstand gemessen an dem Winkel in Grad ist statt den theoretischen 60° mit ca. 29° lediglich halb so groß. Dies lässt sich jedoch aus theoretischer Perspektive vertreten. Relativ gut ist die Variable A (*artistic*) mit 119° statt 120° auf dem Kreis positioniert. Ebenfalls noch relativ gering ist mit 19° die Abweichung von C (*conventional*). Allerdings ist dieser Winkel (vgl. Tabelle: 5.12) statistisch nicht signifikant, was sich im Rahmen einer größeren Stichprobe wahrscheinlich bereinigen würde. S (*social*) und E (*enterprise*) sind leider vertauscht. Sie liegen jedoch relativ nahe beieinander, vergleichbar mit I (*investigative*) und R (*realistic*). Hiermit lassen sich E (*enterprise*) und S (*social*) nach wie vor als Antagonisten von I (*investigative*) und R (*realistic*) betrachten. Der Antagonist C (*conventional*) von A (*artistic*) würde sogar passen.

Statt der Residualvarianzfixierung von I (*investigative*) lässt sich dieses Schätzproblem ebenfalls durch die Gleichsetzung der Faktorladungen von RIASEC lösen.

Diese Vorgehensweise wird z. B. zur Äquivalenzprüfung der *Scaling*-Parameter angewendet (Nagy, Marsh, Lüdke & Trautwein, 2009, S.312).

Hierbei treten vergleichbare Ergebnisse wie in Tabelle 5.13 ersichtlich zu Tage. Die Modellpassung ist sogar besser (RMSEA=.078/ CFI=.963/ TLI=.930/ SRMR=.1462). Analoge Werte in Bezug auf die Variablen COS und SIN kommen durch die Fixierung der Residualvarianz von I zum Tragen. Auch die Variable GEN – die F_G repräsentiert – zeigt einen ähnlichen Verlauf. Wieder offenbart I (*investigative*) das höchste und R (*realistic*) das niedrigste Profilmiveau. Erneut ist die Reihenfolge RIAESC statt RIASEC.

Tabelle 5.13 Ladungen von F_G (GEN), F_C (COS) und F_S (SIN) (gleiche Faktorladungen)

					Two Tailed p-Value
GEN	BY				
R		0.513	0.022	23.558	0.000
I		0.696	0.028	24.500	0.000
A		0.558	0.023	23.975	0.000
S		0.561	0.023	24.555	0.000
E		0.568	0.022	25.370	0.000
C		0.550	0.023	23.640	0.000
COS	BY				
R		0.413	0.021	20.108	0.000
I		0.260	0.079	3.266	0.001
A		-0.401	0.045	-8.983	0.000
S		-0.391	0.052	-7.468	0.000
E		-0.188	0.078	-2.403	0.016
C		0.079	0.079	1.000	0.318
SIN	BY				
R		0.000	0.000	999.000	999.000
I		0.496	0.052	9.459	0.000
A		0.203	0.075	2.690	0.007
S		-0.225	0.086	-2.611	0.009
E		-0.417	0.040	-10.467	0.000
C		-0.435	0.025	-17.122	0.000

Hieraus werden wiederholt die Abstände der Interessen als Winkel auf dem Circumplex realisiert. Die Winkel werden nachfolgend mit Referenz zu R von 0° berechnet:

$$I = \tan^{-1}\left(\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{0.260}{0.496}\right) = 28^\circ$$

$$A = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}\right) = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{0.401}{0.203}\right) = 117^\circ$$

$$S = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}\right) = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{0.391}{0.225}\right) = 240^\circ$$

$$E = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}\right) = 180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{0.188}{0.417}\right) = 204^\circ$$

$$C = 270^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{\text{Ankathete}}{\text{Gegenkathete}}\right) = 270^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{0.079}{0.435}\right) = 280^\circ$$

Es zeigen sich minimalste Abweichungen zur vorherigen Herangehensweise. Somit bleibt der Quasi-Circumplex bestehen. Auch in diesem Fall ist das Ergebnis des Winkels für C (*conventional*) nicht signifikant. Dies würde sich möglicherweise infolge einer größeren Stichprobe verändern.

Die Profilamplitude lässt sich als Resultierende im rechtwinkligen Dreieck mit dem Pythagoras (vgl. Formel 5.8) ermitteln. Es folgt:

Tabelle 5.14: Profilamplituden α im Vergleich

	I fixiert	Faktorladungen λ konstant
R		
I	$(0.273^2+0.496^2)^{1/2}=0.566$	$(0.260^2+0.496^2)^{1/2}=0.560$
A	$(0.360^2+0.195^2)^{1/2}=0.409$	$(0.401^2+0.203^2)^{1/2}=0.449$
S	$(0.435^2+0.182^2)^{1/2}=0.471$	$(0.391^2+0.225^2)^{1/2}=0.451$
E	$(0.220^2+0.420^2)^{1/2}=0.474$	$(0.188^2+0.417^2)^{1/2}=0.457$
C	$(0.093^2+0.459^2)^{1/2}=0.468$	$(0.079^2+0.435^2)^{1/2}=0.442$

Die Ergebnisse der Profilamplituden in Tabelle 5.14 als Maß der Differenzierung beider Varianten sind ähnlich – I (*investigative*) zeigt dabei die höchste Ausprägung. Die beruflichen Interessen nach RIASEC können mit einem Quasi-Circumplex aufgezeichnet werden. Demnach wird hier die Calculus-Hypothese weitestgehend bestätigt, allerdings ist die sich darbietende Struktur RIAESC.

5.7.4 Fazit zu Analyse 4: RIASEC via Circumplex

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass ein Quasi-Circumplex der Interessen zwar bestätigt werden kann, die sich ergebende Reihenfolge allerdings RIAESC statt RIASEC lautet. Es ist jedoch auch darauf hinzuweisen, dass die vertauschten Interessen S und E verhältnismäßig nahe beieinander liegen. Folglich zeigt sich der Quasi-Circumplex in Bezug auf die Positionierung der Interessen als eine übliche Struktur mit mehreren Agonisten und Antagonisten. Vor diesem Hintergrund kann für diese Analyse ein Quasi-Circumplex bestätigt werden. Hiermit wird zugleich die Hypothese H_{4a} verifiziert. Infolge der aufge-

zeichneten Winkel mit der Struktur RIAESC wird die Calculushypothese und damit H_{4b} bestätigt.

Die symmetrische Korrelationsfunktion als spezifische Eigenschaft von Circumplexmodellen begründet die Bestätigung von H_{4b} , da ausschließlich die Winkel zwischen den Variablen zu den Korrelationen maßgebend sind (Nagy, 2005, S.302).

5.8 Analyse 5: PPIK-Theorie (Säule B)

Die letzte Analyse widmet sich der Feststellung angemessener Evidenzen zur PPIK-Theorie, die in dieser Studie die komplette Säule (B) der lernpsychologischen Kontextfaktoren verkörpert. Dementsprechend geht es in diesem Kapitel um die Beantwortung der eingangs gestellten Frage, *welche* lernpsychologischen Kontextfaktoren zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen im Erwachsenenalter als erforderlich anzusehen sind. Hierzu wird zunächst das Gesamtmodell der lernpsychologischen Kontextfaktoren aus dem Prätest via SEM mit Mplus7 konzipiert. In diesem umfassenden Modell werden die Konstrukte *intelligence-as-process*, berufliche Interessen RIASEC (CFA), deklaratives Sachwissen und analytische Problemlösekompetenz modelliert. Als zweiter Schritt findet eine vergleichbare Modellierung zum Posttest statt. Somit werden ebenfalls die Konstrukte *intelligence-as-process*, berufliche Interessen RIASEC (CFA), deklaratives Sachwissen und analytische Problemlösekompetenz hinsichtlich des Posttests als SEM konzipiert. Aufgrund von Analyse 2 zur Invarianz lässt sich eine Brücke zwischen Prä- und Posttest schlagen, indem das deklarative Sachwissen aus dem Vortest als *intelligence-as-knowledge* im Posttest mitberücksichtigt wird. Dies lässt sich durch die partielle und *strict invariance* – zum einen im Quer- und zum anderen im Längsschnitt – zwischen den *Treatment-Gruppen* in Bezug auf das deklarative Sachwissen und die analytische Problemlösekompetenz begründen.

5.8.1 Hypothesen zu Analyse 5: PPIK-Theorie (Säule B)

H₅: Wie bereits angedeutet, werden sowohl für den Prä- als auch für den Posttest standardisierte Regressionen (β) des Konstrukts *intelligence-as-process*, der beruflichen Interessen R (*realistic*) und I (*investigative*) sowie der verschiedenen Dimensionen deklarativen Sachwissens auf die verschiedenen Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz erwartet. *Intelligence-as-process* sollte zudem auf die beruflichen Interessen R (*realistic*) und I (*investigative*) sowie, im Prä- und im Posttest, zusätzlich auf die Dimensionen des deklarativen Sachwissens gerichtete Einflüsse zeigen. Die beruflichen Interessen R (*realistic*) und I (*investigative*) müssten zudem im Vor- und Nachtest Regressionen (β) auf das deklarative Sachwissen zeigen. Sowohl im Prä- als auch im Posttest wird erwartet, dass die standardisierten Re-

gressionen (β) auf die analytische Problemlösekompetenz vom deklarativen Sachwissen am höchsten ausfallen. Zudem sollte *intelligence-as-knowledge* als im Vorfeld vorhandener Kontextfaktor größere Regressionen auf die Dimensionen der analytischen Problemlösekompetenz aufzeigen als die ebenfalls zuvor vorhandenen Kontextfaktoren *intelligence-as-process* sowie die beruflichen Interessen R (*realistic*) und I (*investigative*).

- a)** Das Konstrukt *intelligence-as-process* zeigt Regressionen (β) auf die Dimensionen deklarativen Sachwissens und auf die *intelligence-as-knowledge*.
- a) *Intelligence-as-process* lädt mit Regressionen (β) auf die zwei Dimensionen deklarativen Sachwissens im Prätest.
 - b) *Intelligence-as-process* lädt mit Regressionen (β) auf die drei Dimensionen deklarativen Sachwissens im Posttest.
 - c) *Intelligence-as-process* lädt mit Regressionen (β) auf *intelligence-as-knowledge*.
- b)** Das Konstrukt *intelligence-as-process* lädt mit Regressionen (β) auf die Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz.
- a) *Intelligence-as-process* lädt mit Regressionen (β) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz im Prätest.
 - b) *Intelligence-as-process* lädt mit Regressionen (β) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz im Posttest.
- c)** Das Konstrukt *intelligence-as-process* lädt mit Regressionen (β) auf die beruflichen Interessen R (*realistic*) und I (*investigative*).
- a) *Intelligence-as-process* lädt mit Regressionen (β) auf das berufliche Interesse R (*realistic*).
 - b) *Intelligence-as-process* lädt mit Regressionen (β) auf das berufliche Interesse I (*investigative*).
- d)** Die beruflichen Interessen R (*realistic*) und I (*investigative*) zeigen Regressionen (β) sowohl im Prä- als auch im Posttest auf die Dimensionen berufsfachlicher Kompetenz.
- a) Das berufliche Interesse R (*realistic*) lädt mit Regressionen (β) auf die beiden Dimensionen deklarativen Sachwissens im Prätest.
 - b) Das berufliche Interesse R (*realistic*) lädt mit Regressionen (β) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz im Prätest.
 - c) Das berufliche Interesse I (*investigative*) lädt mit Regressionen (β) auf die beiden Dimensionen deklarativen Sachwissens im Prätest.
 - d) Das berufliche Interesse I (*investigative*) lädt mit Regressionen (β) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz im Prätest.
 - e) Das berufliche Interesse R (*realistic*) lädt mit Regressionen (β) auf die drei Dimensionen deklarativen Sachwissens im Posttest.
 - f) Das berufliche Interesse R (*realistic*) lädt mit Regressionen (β) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz im Posttest.
 - g) Das berufliche Interesse I (*investigative*) lädt mit Regressionen (β) auf die drei Dimensionen deklarativen Sachwissens im Posttest.
 - h) Das berufliche Interesse I (*investigative*) lädt mit Regressionen (β) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz im Posttest.

- e) Die Dimensionen des deklarativen Sachwissens zeigen jeweils im Prä- und im Posttest die höchsten standardisierten Regressionen auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz. *Intelligence-as-knowledge* lässt von den bereits vorhandenen Kontextfaktoren den größten Einfluss auf die analytische Problemlösekompetenz im Posttest erkennen.
- a) Die Dimensionen des deklarativen Sachwissens zeigen im Prätest die höchsten standardisierten Regressionen (β) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz.
 - b) Die Dimensionen des deklarativen Sachwissens zeigen im Posttest die höchsten standardisierten Regressionen (β) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz.
 - c) *Intelligence-as-knowledge* zeigt von den bereits vorhandenen Kontextfaktoren die größten standardisierten Regressionen (β) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz im Posttest.

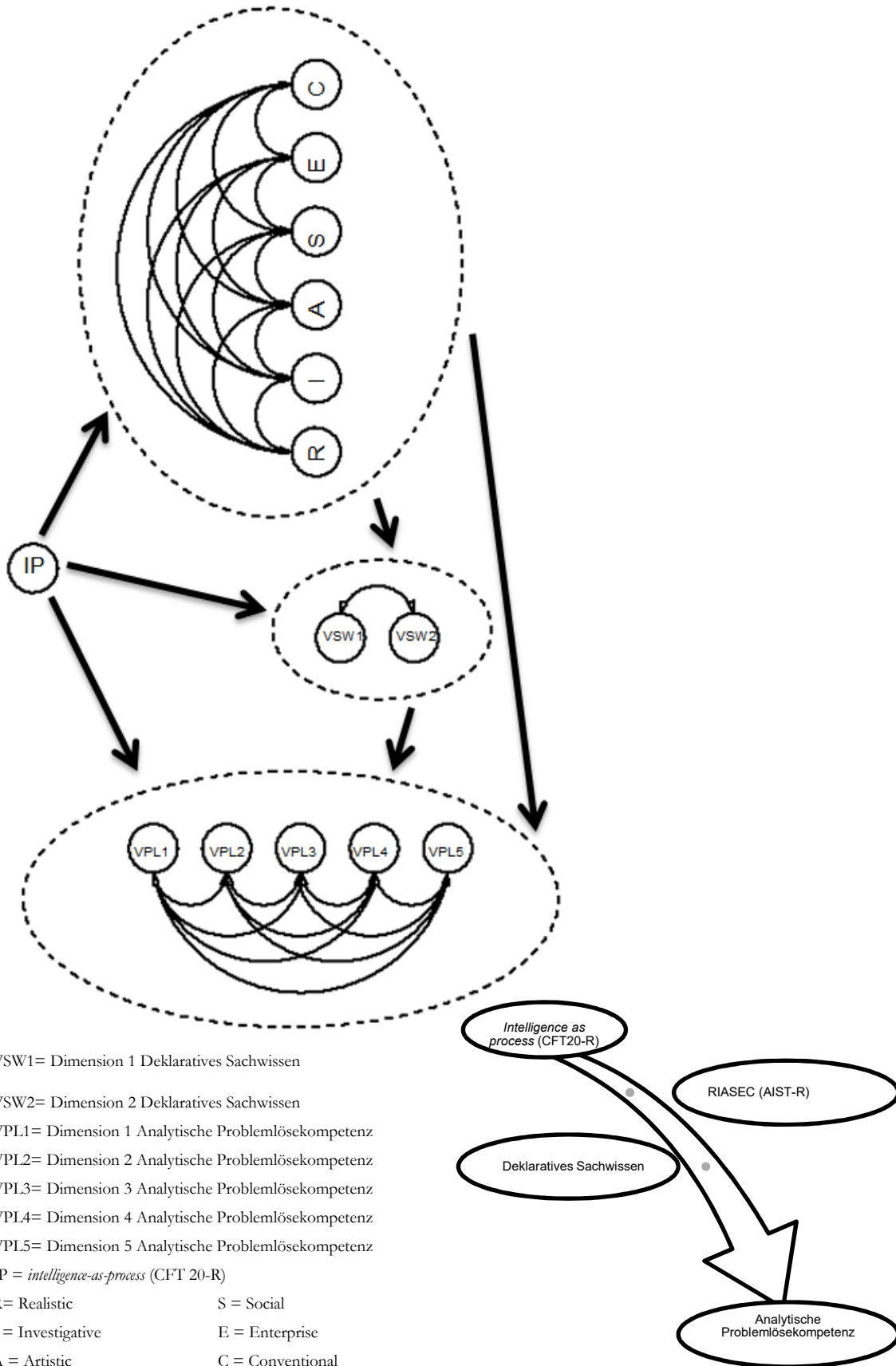
5.8.2 Methode zu Analyse 5: PPIK-Theorie (Säule B)

Zur Entwicklung des Gesamtmodells der PPIK-Theorie via SEM in Mplus7 werden die Erkenntnisse aus Analyse 1 und 2 mitberücksichtigt. Demzufolge lassen sich die mehrdimensionalen Konstrukte „deklaratives Sachwissen“ und „analytische Problemlösekompetenz“ als Dimensionen berufsfachlicher Kompetenz sowohl im Prä- als auch im Posttest in das Strukturgleichungsmodell integrieren. Neben diesen Konstrukten werden ebenfalls die beruflichen Interessen nach Holland RIASEC und das Konstrukt *intelligence-as-process* ins Strukturgleichungsmodell von Prä- und Posttest eingebettet. Die Pfade vom Strukturmodell werden hypothesengemäß zum einen für den Vor- und zum anderen für den Nachtest entwickelt. Im Anschluss an die beiden Strukturgleichungsmodelle von Prä- und Posttest folgt das Gesamtmodell, das die Wirkung von *intelligence-as-knowledge* auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz infolge des Lernarrangements aufzeichnet. Folglich finden auch in diesem Modell *intelligence-as-process* und die beruflichen Interessen nach Holland via RIASEC Berücksichtigung.

5.8.3 Ergebnisse zu Analyse 5: PPIK-Theorie (Säule B)

Abbildung 5.20 zeigt das Strukturmodell mit seinen Ladungen der zwei Dimensionen deklarativen Sachwissens (VSW1-VSW2) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz (VPL1-VPL5) im Vortest. *Intelligence-as-process* (IP) wird als exogene Variable veranschaulicht und lädt somit gerichtet auf die fünf Dimensionen der analytischen Problemlösekompetenz (VPL1-VPL5), auf die zwei Dimensionen des deklarativen Sachwissens (VSW1-2) und auf die beruflichen Interessen RIASEC. In Abbildung 5.20 sind zudem die beruflichen Interessen R, I, A, S, E, C als (CFA) nach Holland zu erkennen. Die-

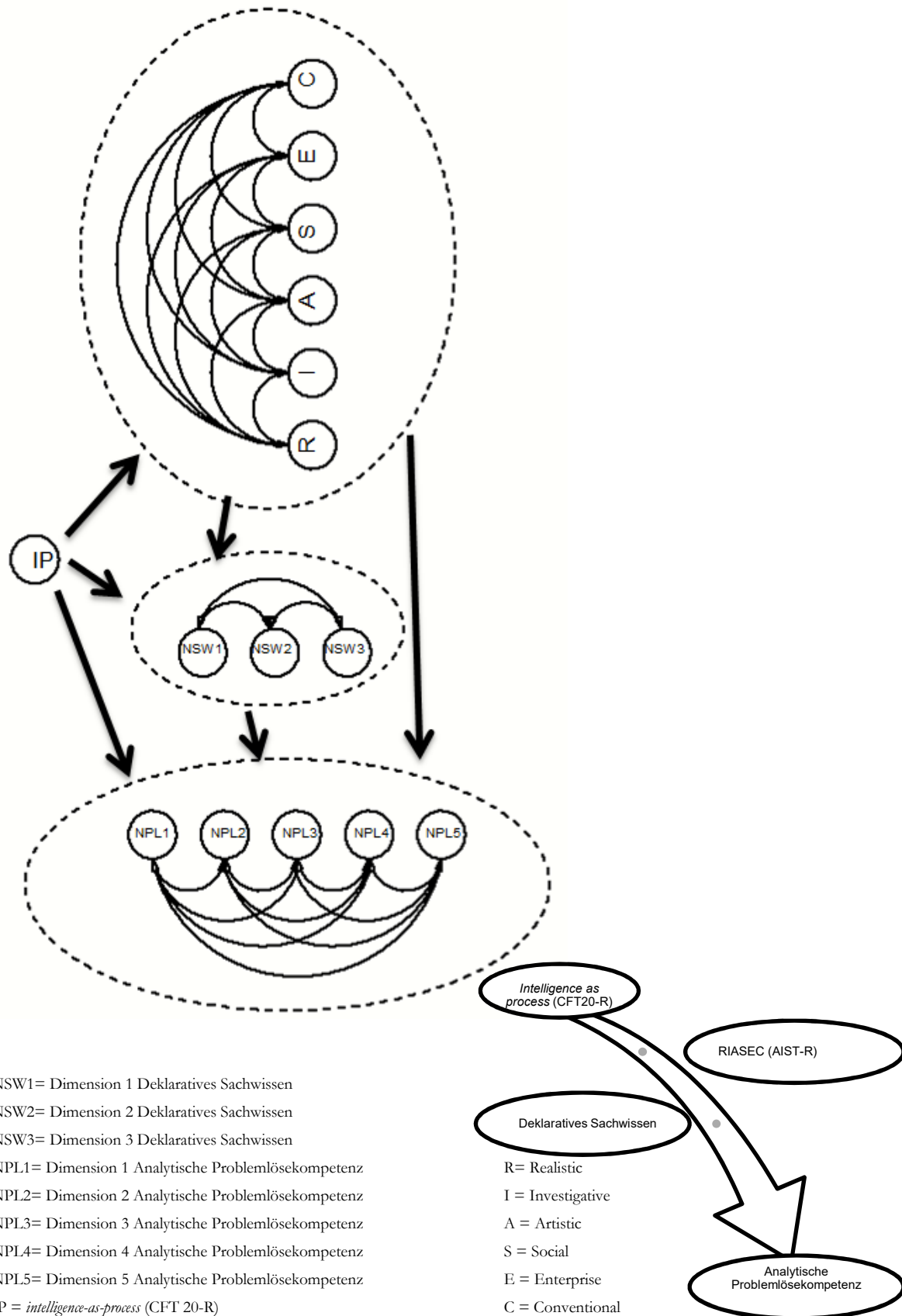
se laden gerichtet auf die zwei Dimensionen deklarativen Sachwissens (VSW1-VSW2) und auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz (VPL1-VPL5). Neben dem Strukturmodell mit seinen Pfaden ist die schematische Veranschaulichung der PPIK-Theorie aus dem Kapitel 2 (Säule B) zu erkennen. Diese Darstellung wird in diesem Fall jedoch für das Strukturmodell vom Prätest (Abbildung 5.20) modifiziert. Entsprechend bleibt das Konstrukt *intelligence-as-knowledge* zunächst noch unberücksichtigt. Ferner ist zu betonen, dass das Strukturgleichungsmodell zudem akzeptable Modellfitwerte liefert ($RMSEA = .021$ / $CFI = .922$ / $TLI = .917$ / $WRMR = 1.059$). Abbildung 5.20 und Tabelle 5.15 veranschaulichen die standardisierten Regressionen (β) der Pfade des Strukturmodells. *Intelligence-as-process* (IP) lädt signifikant auf alle Dimensionen des deklarativen Sachwissens (VSW1-VSW2) sowie, mit Ausnahme von Dimension 4, auf die Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz (VPL1-VPL5). Die höchsten standardisierten Regressionen von *intelligence-as-process* (IP) zeigen sich mit ($\beta = .284^{**}$) auf die Dimension 2 der analytischen Problemlösekompetenz (VPL2) sowie auf die Dimension 2 des deklarativen Sachwissens (VSW2) mit ($\beta = .280^{**}$). Die niedrigsten standardisierten Regressionen von *intelligence-as-process* (IP) zeigen sich – wenn auch nicht signifikant – mit ($\beta = .106$) auf die Dimension 4 der analytischen Problemlösekompetenz (VPL4) sowie auf die Dimension 1 des deklarativen Sachwissens (VSW1) ($\beta = .215$). Die Regressionen der zwei Dimensionen deklarativen Sachwissens (VSW1-VSW2) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz (VPL1-VPL5) sind generell höher. Hochsignifikante Regressionen des deklarativen Sachwissens (VSW1-VSW2) werden ausschließlich von der Dimension 1 auf die Dimensionen 3 mit ($\beta = .719^{**}$) und 4 mit ($\beta = .507^{**}$) analytischer Problemlösekompetenz (VPL3-VPL4) erreicht. Für die Dimensionen 1, 2 und 5 analytischer Problemlösekompetenz können keine signifikanten Regressionen festgestellt werden. Die stärksten Regressionen gehen von der ersten Dimension deklarativen Sachwissens (VSW1) auf die Dimensionen 1 bis 4 analytischer Problemlösekompetenz aus (VPL1-VPL4). Auf die Dimension 5 analytischer Problemlösekompetenz (VPL5) lädt die zweite Dimension des deklarativen Sachwissens (VSW2) mit ($\beta = .451$) am höchsten. Auf alle fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz (VPL1-VPL5) lädt eine der Dimensionen des erlernbaren deklarativen Sachwissens (VSW1-VSW2) deutlich höher als vergleichsweise das Konstrukt *intelligence-as-process* (IP). Die noch nicht signifikant gewordenen Regressionen würden wahrscheinlich infolge einer größeren Stichprobe signifikant werden. Für den Prätest lädt tatsächlich die Facette I (*investigative*) als einzige auf die beiden Dimensionen des deklarativen Sachwissens (VSW1-VSW2): I (*investigative*) lädt dabei mit ($\beta = .226$) auf die erste und mit ($\beta = .222$) auf die zweite Dimension ($p = .065-.095$). Für die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz (VPL1-VPL5) stellen sich diffuse Ergebnisse dar, die nicht belastbar sind. *Intelligence-as-process* (IP) zeigt auf die beruflichen Interessen RIASEC keine nennenswerten Regressionen.



VSW1= Dimension 1 Deklaratives Sachwissen
 VSW2= Dimension 2 Deklaratives Sachwissen
 VPL1= Dimension 1 Analytische Problemlösekompetenz
 VPL2= Dimension 2 Analytische Problemlösekompetenz
 VPL3= Dimension 3 Analytische Problemlösekompetenz
 VPL4= Dimension 4 Analytische Problemlösekompetenz
 VPL5= Dimension 5 Analytische Problemlösekompetenz
 IP = *intelligence-as-process* (CFT 20-R)
 R= Realistic S = Social
 I = Investigative E = Enterprising
 A = Artistic C = Conventional

Abbildung 5.20: Strukturmodell Prätest und Schemadarstellung (RMSEA= .021 / CFI= .922 / TLI= .917 / WRMR= 1.059)

Das Strukturgleichungsmodell des Posttests in Abbildung 5.21 umfasst strukturell drei (NSW1-NSW3) anstelle von zwei Dimensionen (VSW1-VSW2) deklarativen Sachwissens. Verglichen mit dem Prätest findet für das Strukturmodell des Posttests jedoch wieder keine Prüfung von *intelligence-as-knowledge* statt, was in der schematischen Darstellung der PPIK-Theorie mit Bezug zum Strukturmodell deutlich wird. Die Zusammenhänge werden analog zum Vortest modelliert (vgl. Tabelle 5.15). Das Modell zeichnet sich ebenfalls durch eine akzeptable Passungsgüte aus ($RMSEA = .022$ / $CFI = .916$ / $TLI = .914$ / $WRMR = 1.058$). *Intelligence-as-process* (IP) lädt am stärksten mit ($\beta = .390^{**}$) auf die dritte Dimension deklarativen Sachwissens (NSW3). Alle Ladungen von *intelligence-as-process* (IP) auf die drei Dimensionen deklarativen Sachwissens werden zudem hochsignifikant. In Bezug auf die analytische Problemlösekompetenz (NPL1-NPL5) lädt *intelligence-as-process* (IP) mit ($\beta = .231^{**}$) am höchsten auf die Dimension 2 analytischer Problemlösekompetenz (NPL2). Die Regressionen von *intelligence-as-process* (IP) auf die Dimensionen 1, 3, 4 und 5 analytischer Problemlösekompetenz werden überdies noch nicht signifikant. Insgesamt scheinen sich hier die Regressionen auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz im Vergleich zum Vortest leicht zu verringern, während sich die Regressionen auf die Dimensionen des deklarativen Sachwissens etwas zu steigern scheinen. Für den Nachtest lassen sich ähnliche Ergebnisse festhalten wie für den Vortest. Hier sind die standardisierten Regressionen der Facette berufliches Interesse I (*investigative*) auf die beiden Dimensionen deklarativen Sachwissens (NSW1-NSW2) hochsignifikant geworden. Die Regressionen sind zudem mit ($\beta = .308^{**}$) von I auf die erste Dimension und mit ($\beta = .286^{**}$) von I auf die zweite Dimension deklarativen Sachwissens drastisch höher als im Vergleich zum Vortest. Die Regressionen auf die hinzugekommene dritte Dimension des deklarativen Sachwissens (NSW3) werden durch die Facetten R (*realistic*) und S (*social*) realisiert. Sie werden in der vorliegenden verhältnismäßig kleinen Stichprobe noch nicht signifikant. Für die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz (NPL1-NPL5) werden in Bezug auf die beruflichen Interessen erneut diffuse Resultate sichtbar. Auch hier erscheinen die Regressionen von *intelligence-as-process* (IP) auf die Facetten beruflicher Interessen nach Holland wieder als zu gering.



NSW1= Dimension 1 Deklaratives Sachwissen

NSW2= Dimension 2 Deklaratives Sachwissen

NSW3= Dimension 3 Deklaratives Sachwissen

NPL1= Dimension 1 Analytische Problemlösekompetenz

NPL2= Dimension 2 Analytische Problemlösekompetenz

NPL3= Dimension 3 Analytische Problemlösekompetenz

NPL4= Dimension 4 Analytische Problemlösekompetenz

NPL5= Dimension 5 Analytische Problemlösekompetenz

IP = *intelligence-as-process* (CFT 20-R)

Abbildung 5.21: Strukturgleichungsmodell Posttest und Schemadarstellung ($RMSEA = .022$ / $CFI = .916$ / $TLI = .914$ / $WRMR = 1.058$)

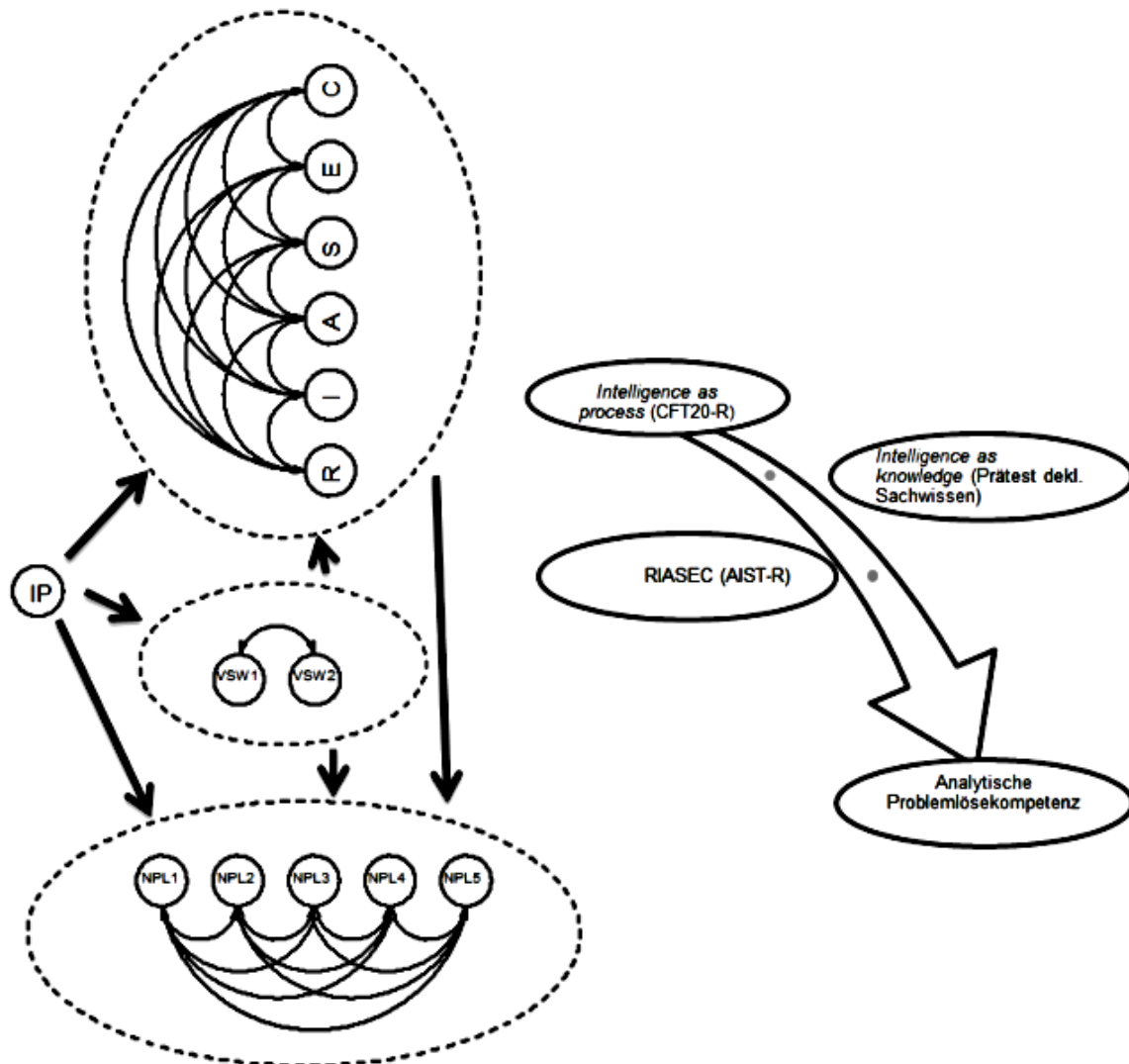
Bedenkt man, dass in den Dimensionen deklarativen Sachwissens (NSW1-NSW3) ebenfalls das Konstrukt *intelligence-as-process* (IP) inbegriffen ist, kommt einer reziproken Wissensentwicklung infolge einer adäquaten Passung zwischen beruflichen Interessen und *intelligence-as-process* (IP) tatsächlich eine nicht unerhebliche Bedeutung zu. Die höchste Regression einer Dimension deklarativen Sachwissens auf eine Dimension analytischer Problemlösekompetenz erzielt die Dimension 1 deklarativen Sachwissens (NSW1) auf die Dimension 4 analytischer Problemlösekompetenz mit $(\beta = .804^{**})$ (NPL4). Insgesamt sind für jede Dimension analytischer Problemlösekompetenz (NPL1-NPL5) deutlich höhere Regressionen seitens des deklarativen Sachwissens (NSW1-NSW3) zu erkennen als für *intelligence-as-process* (IP), zumindest bei einer der drei Dimensionen deklarativen Sachwissens. In einer größeren Stichprobe würden die noch nicht signifikanten gewordenen Regressionen möglicherweise ebenfalls signifikant werden. Neben dem beruflichen Interesse *investigative*, das auf die Dimensionen 1 und 2 des deklarativen Sachwissens (NSW1-NSW2) hochsignifikant lädt, treten ebenso die Interessensfacetten *realistic* und *social* in Erscheinung. Diese scheinen zunehmend auf die Dimension 3 des deklarativen Sachwissens (NSW3) zu laden, auch wenn sie bisher noch nicht signifikant greifbar werden. Die standardisierten Regressionen (β) und Korrelationen (r) aus Prä- und Posttest werden nachfolgend visualisiert.

Tabelle 5.15: Gegenüberstellung der standardisierten Regressionen (β) aus Prä- und Posttest (**Hochsignifikant/ $p < .01$).

		Prätest								
		Dimension	1_PL	2_PL	3_PL	4_PL	5_PL	IP	1_SW	2_SW
Posttest	1_PL	X		.190**	.315**	.600**	.222**	.260**	.294	.153
	2_PL	.167	X		.474**	.218**	.387**	.284**	.335	.288
	3_PL	.530**	.771**	X		.266**	.242**	.239**	.719**	-0.073
	4_PL	.662**	.200	.391**	X		.608**	.106	.507**	.172
	5_PL	.248**	.327**	.369**	.410**	X		.196**	.154	.451
	IP	.129	.231**	.143	.188	.061	X		.215**	.280**
	1_SW	.303	.102	.641**	.804**	.223	.298**	X		.853**
	2_SW	.062	.357	-.112	-.339	.360	.333**	.800**	X	
	3_SW	.015	-.137	-.013	-.097	-.101	.390**	.797**	.832**	X

**Hochsignifikant ($p < .01$)

Bis zum jetzigen Zeitpunkt ist die Wirkung von *intelligence-as-knowledge* noch offengeblieben. Die entsprechenden standardisierten Regressionen lassen sich durch den Zusammenschluss von Prä- und Posttest via SEM realisieren ($RMSEA = .023 / CFI = .911 / TLI = .914 / WRMR = 1.086$) (vgl. Abbildung 5.22). Möglich ist dies infolge der vorherrschenden Invarianz von Prä- und Posttest aus Analyse 2. *Intelligence-as-process* lädt hier hochsignifikant auf *intelligence-as-knowledge* ($\beta = .232^{**}-.269^{**}$). Damit lässt sich auch dieser Pfad der PPIK-Theorie darlegen. In Anbetracht der verhältnismäßig kleinen Stichprobe können jedoch keine belastbaren Regressionen der beruflichen Interessen auf das Konstrukt *intelligence-as-knowledge* ausfindig gemacht werden. Als ebenfalls bereits vorhandener lernpsychologischer Kontextfaktor sind bei *intelligence-as-knowledge* jedoch deutlich stärkere Regressionen auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz zu verzeichnen als dies bei *intelligence-as-process* der Fall ist. Während sich die standardisierten Regressionen von *intelligence-as-process* hochsignifikant im Bereich von ($\beta = .166^{**}-.361^{**}$) bewegen, zeigen die Regressionen von *intelligence-as-knowledge* Werte von ($\beta = .204^{**}-.814^{**}$) auf.



VSW1= Dimension 1 Deklaratives Sachwissen

VSW2= Dimension 2 Deklaratives Sachwissen

NPL1= Dimension 1 Analytische Problemlösekompetenz

NPL2= Dimension 2 Analytische Problemlösekompetenz

NPL3= Dimension 3 Analytische Problemlösekompetenz

NPL4= Dimension 4 Analytische Problemlösekompetenz

NPL5= Dimension 5 Analytische Problemlösekompetenz

IP = *intelligence-as-process* (CFT 20-R)

R= Realistic

A = Artistic

E = Enterprise

I = Investigative

S = Social

C = Conventional

Abbildung 5.22: Strukturmodell Prä- Posttest und Schemadarstellung ($RMSEA = .023$ / $CFI = .911$ / $TLI = .914$ / $WRMR = 1.086$)

Drei Regressionen von *intelligence-as-knowledge* erwiesen sich als noch nicht signifikant, was sich allerdings infolge einer größeren Stichprobe wahrscheinlich ändern würde. Nahezu alle Pfade der PPIK-Theorie können mithilfe von Evidenzen aus der vorliegenden Analyse 5 aufgedeckt werden (vgl. Abbildung 5.23).

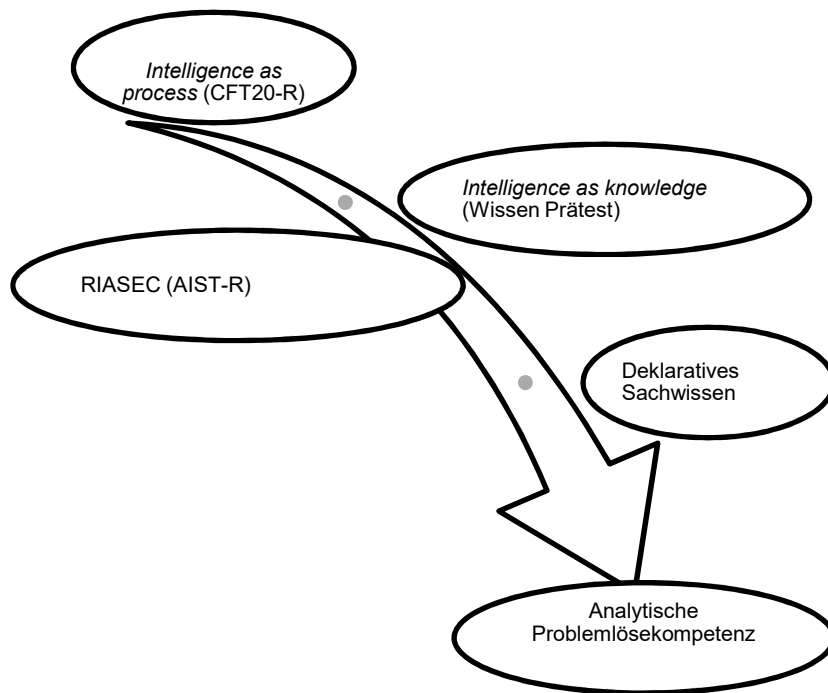
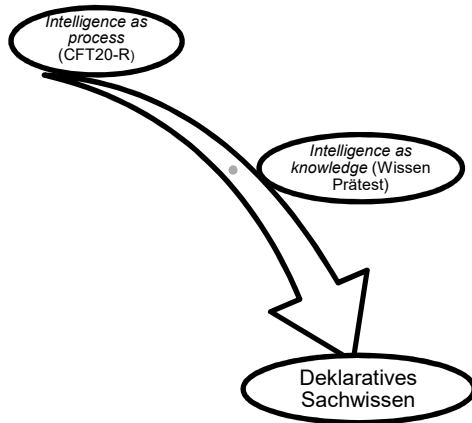


Abbildung 5.23: Schematische Darstellung PPIK-Theorie

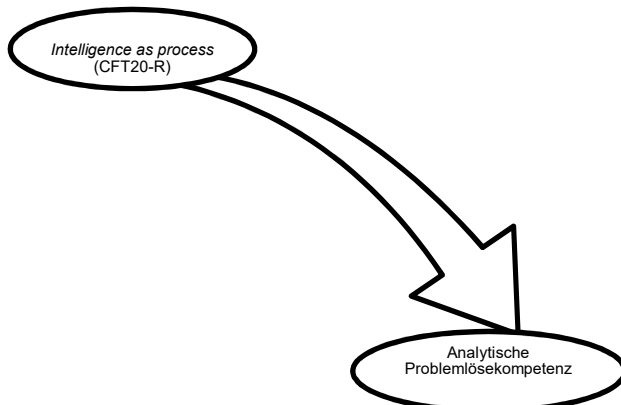
5.8.4 Fazit zu Analyse 5: PPIK-Theorie (Säule B)

Das Konstrukt *intelligence-as-process* lädt tatsächlich hochsignifikant auf beide Dimensionen deklarativen Sachwissens im Prätest ($\beta = .215^{**}-.280^{**}$), wodurch sich die Hypothese H_{5aa} bestätigen lässt. Ähnliche Resultate zeigen sich im Posttest. In diesem lädt *intelligence-as-process* gleichermaßen auf die drei Dimensionen deklarativen Sachwissens ($\beta = .298^{**}-.390^{**}$). Die Regressionen haben hier sogar etwas zugenommen, was dafür spricht, dass die Studierenden – die eine höhere *intelligence-as-process* aufweisen – infolge des Lernarrangements mehr dazu gelernt haben als die anderen und sich dieser Vorgang somit in den Regressionen des Nachtests widerspiegelt (vgl. Abbildung 5.24). Die Hypothese H_{5ab} wird damit bekräftigt.

In der Gesamtbetrachtung der Modelle von Prä- und Posttest (vgl. Abbildung 5.24) dient das deklarative Sachwissen aus dem Vortest als *intelligence-as-knowledge*, was mit der vorliegenden Invarianz im Quer- und Längsschnitt begründet werden kann. In diesem Sinne zeichnen sich ebenfalls hochsignifikante Regressionen von *intelligence-as-process* auf die beiden Dimensionen deklarativen Sachwissens als *intelligence-as-knowledge* ab ($\beta = .232^{**}-.269^{**}$). Infolgedessen lässt sich gleichermaßen die Hypothese H_{5ac} stützen.

Abbildung 5.24: Bestätigung der Pfade von H_{5a}

kann nahezu komplett bestätigt werden (vgl. Abbildung 5.25). Demgemäß werden die Regressionen von *intelligence-as-process* auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz vom Prätest bis auf die Dimension 4 allesamt hochsignifikant ($\beta = .106^{**}-.284^{**}$). Die einzige nicht signifikant gewordene Regression ist mit ($\beta = .106$) zugleich die niedrigste. Insofern stellt sich H_{5ba} insgesamt betrachtet als zutreffend heraus. Ähnliches zeichnet sich auch im Hinblick auf den Nachtest ab, allerdings werden die Regressionen von *intelligence-as-process* auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz größtenteils noch nicht signifikant ($\beta = .061-.231$). Die hochsignifikant gewordene Regression auf die Dimension 2 analytischer Problemlösekompetenz ist gleichzeitig auch die größte mit ($\beta = .231^{**}$).

Abbildung 5.25: Bestätigung der Pfade von H_{5b}

Vergleicht man die beiden größten Regressionen aus Prä- und Posttest, handelt es sich in beiden Fällen um die Regression von *intelligence-as-process* auf die Dimension 2 analytischer Problemlösekompetenz, die zudem in beiden Fällen hochsignifikant geworden ist. Im Nachtest fällt diese Regression hingegen ein wenig geringer aus. Möglicherweise tritt *intelligence-as-process* infolge des Lernprozesses etwas in den Hintergrund, während an dessen Stelle das erworbene deklarative Sachwissen zu treten scheint. Es wäre natürlich ebenfalls denkbar, dass die bisher noch nicht signifikant gewordenen Regressionen im Rahmen einer größeren Stichprobe signifikant werden würden und folglich ebenfalls höhere Regressionen aufzeigen. Insgesamt gesehen lassen sich jedoch Regressionen von *intelligence-as-process* auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz als Evidenz zur PPIK-Theorie belegen. Ob *intelligence-as-process* infolge des Lernprozesses tatsächlich weniger bedeutsam für die analytische Problemlösekompetenz wird, wäre in einer weiteren Studie mit einer größeren

Intelligence-as-process lädt somit hochsignifikant auf alle Dimensionen deklarativen Sachwissens sowohl im Vor- als auch im Nachtest. Darüber hinaus werden hochsignifikante Ladungen von *intelligence-as-process* auf *intelligence-as-knowledge* verzeichnet. Insofern wird die gesamte Hypothesenfamilie H_{5a} ausnahmslos bestätigt, wodurch bedeutsame Pfade im Gesamtmodell der PPIK-Theorie bekräftigt werden. Auch die postulierte Hypothesenfamilie H_{5b}

...

Stichprobe zu überprüfen. Summa summarum kann die Hypothese H_{5bb} größtenteils bestätigt werden.

Die Hypothese H_{5c} , in der *intelligence-as-process* auf die Dimensionen beruflichen Interesses I (*investigative*) und R (*realistic*) lädt, lässt sich nicht verifizieren. Einerseits werden die Regressionen nicht signifikant und andererseits lassen diese keine Rückschlüsse auf einen gerichteten Zusammenhang zu. Vor diesem Hintergrund ist eine Bestätigung der beiden Hypothesen in H_{5c} nicht möglich.

Demgegenüber verhält es sich in der Hypothesenfamilie H_{5d} im Hinblick auf die Regressionen von beiden Facetten des beruflichen Interesses I (*investigative*) und R (*realistic*) auf die Dimensionen berufsfachlicher Kompetenz teilweise anders (vgl. Abbildung 5.26): Während sich sowohl im Prä- als auch im Posttest keine signifikanten und aussagekräftigen Regressionen dieser beiden Facetten auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz ergeben, lädt das berufliche Interesse I (*investigative*) fast signifikant ($p=.065-.095$) auf die beiden Dimensionen des deklarativen Sachwissens (SW1 und SW2) im Vor- und hochsignifikant im Nachtest. Für den Prätest ergeben sich Regressionen von I (*investigative*) auf die beiden Dimensionen deklarativen Sachwissens (VSW1-VSW2) mit ($\beta = .222-.226$).

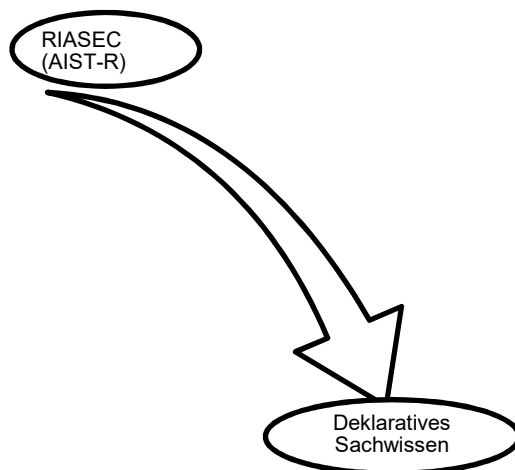


Abbildung 5.26: Pfade von I auf dekl. Sachw. bestätigt

Hiernach lässt sich die Hypothese H_{5dc} bestätigen. Vergleichbare Resultate zeigen sich ebenso im Posttest. Auch hier ergeben sich sogar hochsignifikant gewordene Regressionen von I (*investigative*) auf die beiden Dimensionen deklarativen Sachwissens (NSW1-NSW2) mit ($\beta = .286^{**}-.308^{**}$), wodurch sich die Hypothese H_{5dd} gleichermaßen bekräftigen lässt. Das berufliche Interesse R (*realistic*) liefert ausschließlich auf die dritte Dimension deklarativen Sachwissens (NSW3) zum Posttest eine noch nicht signifikant gewordene Regression von ($\beta = .143$), deren Interpretation aufgrund einer höheren Ladung des beruflichen Interesses S (*social*) an dieser Stelle noch unbeantwortet bleiben muss. Durch die Bestätigung der Hypothesen H_{5dc} und H_{5dd} lässt sich zumindest der Einfluss von beruflichem Interesse infolge der beruflichen Interessensfacette I (*investigative*) auf die entsprechenden Dimensionen deklarativen Sachwissens im Prä- und Posttest als Teil der berufsfachlichen Kompetenz erklären. Demzufolge kann das Hypothesenbündel H_{5d} teilweise aufrechterhalten werden. In einer weiteren Studie mit größerer Stichprobe wäre somit zu überprüfen, ob sich weitere Evidenzen zum Einfluss des beruflichen Interesses auf die Dimensionen berufsfachliche Kompetenz ergeben.

In Verbindung mit der PPIK-Theorie spielt der Einfluss der Dimensionen des deklarativen Sachwissens auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz jedoch eine entscheidende Rolle. Beide Hypothesen, sowohl H_{5ca} als auch H_{5eb} , können in diesem Zusammenhang größtenteils bestätigt werden (vgl. Abbildung 5.27). Im Vortest liegen die Regressionen der beiden Dimensionen deklarativen Sachwissens (VSW1-VSW2) auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz (VPL1-VPL5) bei ($\beta = .294-719^{**}$). Es werden zwar nur zwei Ladungen hochsignifikant, allerdings ist anzunehmen, dass in einer größeren Stichprobe die anderen Ladungen ebenfalls signifikant werden würden, zumal die signifikant gewordenen Ladungen am größten ausgefallen sind. Für den Nachtest liegen vergleichbare Ergebnisse vor. Die drei Dimensionen deklarativen Sachwissens (NSW1-NSW3) laden mit ($\beta = .303-804^{**}$) auf die fünf Dimensionen (NPL1-NPL5) analytischer Problemlösekompetenz. Wieder werden die beiden größten Ladungen auf jeweils zwei der fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz hochsignifikant. Betrachtet man die Stärke der Regressionen, so wird deren Relevanz für die analytische Problemlösekompetenz klar ersichtlich. Weder *intelligence-as-process* noch die beruflichen Interessen üben einen vergleichbar starken Einfluss auf die analytische Problemlösekompetenz aus. Da die Regressionen deklarativen Sachwissens im Posttest auf die analytische Problemlösekompetenz etwas steigen und die Regressionen von *intelligence-as-process* zeitgleich sinken, entsteht der Eindruck, dass das erlernte deklarative Sachwissen zum Problemlösen an Bedeutung gewinnt, während *intelligence-as-process* vermeintlich an Bedeutung verliert. Interessanterweise zeigt sich *intelligence-as-knowledge* mit relativ starken Regressionen auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz im Posttest ($\beta = .204-814^{**}$). Drei Regressionen sind zwar vermutlich aufgrund der relativ kleinen Stichprobe noch nicht signifikant geworden, zeigen aber dennoch einen beachtlichen Einfluss auf die Dimensionen. Demgemäß kann die Hypothese H_{5ec} ebenfalls weitestgehend bestätigt werden, was allen Hypothesen aus H_{5e} gemein ist.

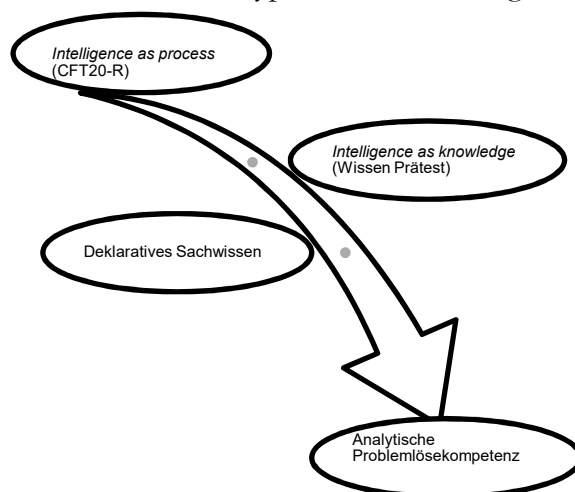


Abbildung 5.27: Pfade IP und dekl. Sachwissen auf anal. Problemlösefähigkeit bestätigt

5.9 Fazit: Analysen zur Studie

Die Analysen der vorliegenden Studie dienen zum einen dazu, Evidenzen hinsichtlich lernpsychologischer Kontextfaktoren im Erwachsenenalter (vgl. PPIK-Theorie aus Säule B) zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen nach DIN EN ISO (vgl. Säule A) zum Vorschein zu bringen. Zum anderen geht es in den Analysen ebenso darum, aufzudecken, *wie* das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen mit dem Konzept des selbstregulierten Lernens (Säule C) angemessen gefördert werden kann.

Im Fokus der ersten Analyse zu Beginn der Studie stand die Frage, ob es sich beim deklarativen Sachwissen und der analytischen Problemlösekompetenz als lernpsychologische Kontextfaktoren tatsächlich um mehrdimensionale Konstrukte handelt. Demgemäß wurden die sechs theoretisch begründeten Dimensionen zum einen für das deklarative Sachwissen und zum anderen für die analytische Problemlösekompetenz via *nested models* in einer CFA analysiert. Für die analytische Problemlösekompetenz kristallisierte sich im Prä- und Posttest eine fünfdimensionale Struktur heraus. Für das deklarative Sachwissen konnten ebenfalls mehrdimensionale Konstrukte verzeichnet werden. Im Prätest stellte sich eine zweidimensionale und im Posttest eine dreidimensionale Struktur heraus. Infolgedessen manifestiert sich für beide Konstrukte berufsfachlicher Kompetenz eine mehrdimensionale Struktur.

Intelligence-as-knowledge ist ein zentrales Konstrukt der PPIK-Theorie. Um dieses in das Strukturgleichungsmodell des Posttests zu integrieren, werden dafür stellvertretend die Dimensionen des deklarativen Sachwissens aus dem Vortest verwendet. Allerdings stellt sich hier die Frage, ob eine Brücke zwischen Prä- und Posttest geschlagen werden darf oder ob die beiden Testzeitpunkte aufgrund überzufälliger Unterschiede nicht miteinander vergleichbar erscheinen. Aus diesem Grund wird u. a. in Analyse 2 eine Invarianzprüfung im Querschnitt sowohl für Prä- als auch Posttest vorgenommen. Es zeigte sich für alle Dimensionen deklarativen Sachwissens und analytischer Problemlösekompetenz eine partielle *strict invariance* für den Vor- und Nachtest. Erst infolge dieser vorliegenden Invarianz im Querschnitt war es zielführend, ebenso im Längsschnitt eine Invarianzprüfung zu absolvieren. Auch in der longitudinalen Invarianzprüfung zeigte sich Äquivalenz für die Dimensionen des deklarativen Sachwissens und der analytischen Problemlösekompetenz. Diese Resultate bringen Evidenzen einer angemessenen Validität zutage, mit jener eine Brücke zwischen Prä- und Posttest zulässig erscheint. Dementsprechend lassen sich die Dimensionen des deklarativen Sachwissens aus dem Vortest tatsächlich als *intelligence-as-knowledge* gemäß der PPIK-Theorie in den Posttest integrieren.

In dem besagten Gesamtmodell zur PPIK-Theorie, das in Analyse 5 vorgestellt wird, konnte der bedeutsame Einfluss von *intelligence-as-knowledge* evident auf die fünf Dimensionen analytischer Problemlösekompetenz nachgewiesen werden. Ebenso zeigte sich der Einfluss von *intelligence-as-process* auf die Dimensionen deklarativen Sachwissens und analytischer Problemlösekompetenz. Nicht hinreichend erkennbar wurde jedoch der Einfluss

von *intelligence-as-process* auf die beiden Dimensionen der beruflichen Interessen I (*investigative*) und R (*realistic*) sowie der Einfluss von *intelligence-as-knowledge* auf I (*investigative*) und R (*realistic*). Dennoch zeigte größtenteils das berufliche Interesse I (*investigative*) hochsignifikante Regressionen auf die Dimensionen 1 und 2 des deklarativen Sachwissens sowohl im Prä- als auch im Posttest. Die größten Regressionen auf die analytische Problemlösekompetenz wurden zum einen von den Dimensionen des deklarativen Sachwissens und zum anderen von *intelligence-as-knowledge* erzielt. Damit werden zahlreiche Evidenzen zur Bestätigung der PPIK-Theorie als Erklärung lernpsychologischer Kontextfaktoren beim Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen nach DIN EN ISO aufgedeckt.

Analyse 4 zeichnet die Struktur beruflicher Interessen der Studierenden nach dem RIA-SEC-Modell auf einem Quasi-Circumplex auf. Tatsächlich ließ sich eine Quasi-Circumplexstruktur beruflicher Interessen nach Holland bestätigen. Allerdings kristallisierte sich die Reihenfolge RIAESC statt RIASEC heraus, womit sich wiederum die Calculushypothese verifizieren lässt.

Neben der Untermauerung der PPIK-Theorie (Säule B) lag ein weiterer zentraler Fokus auf der Frage, *wie* mit dem Modell des selbstregulierten Lernens eine angemessene Lernumgebung zur Förderung des Lesens und Interpretierens Technischer Zeichnungen umgesetzt werden könnte (Säule C). Demzufolge zeigte Analyse 3, dass alle vier Gruppen deutlich dazu gelernt haben. Für diesen Gruppenvergleich war im Vorfeld ebenfalls die Analyse 2 zur Invarianzprüfung im Quer- und Längsschnitt erforderlich. Infolge der vorliegenden Invarianz im Querschnitt für Prä- und Posttest und anschließend auch im Längsschnitt ließen sich die Ergebnisse zur Lernprogression der vier Gruppen vergleichen. Alle Kombinationen von ITF und Lernzielen zeigten deutliche Fortschritte. Ein Vorteil eines metakognitiven Feedbacks in Kombination mit unspezifischen Lernzielen kann nicht bestätigt werden. Allerdings stand die Wirkung einer solchen Kombination den anderen *treatments* in nichts zurück. Folglich spricht nichts dagegen, diese Kombination aus metakognitivem informativem tutoriellem Feedback in Verbindung mit unspezifischen Lernzielen im Unterricht für das selbstregulierte Lernen einzusetzen.

Möglicherweise bringt der Einsatz von metakognitiven Feedbacks zusammen mit unspezifischen Lernzielen vorteilhafte Lerneffekte hinsichtlich adäquater Lernstrategien mit sich, die jedoch nicht Untersuchungsgegenstand dieser Studie sind.

6 Zusammenfassung und Gesamtdiskussion

Die Technische Zeichnung ist das zentrale Kommunikationsmittel der Produktdokumentation im Maschinenbau. Die weltweite kooperative Produktion kann nur dann gelingen, wenn alle an der Produktion beteiligten Partner die gleiche Sprache sprechen, z. B. mithilfe von Technischen Zeichnungen nach DIN EN ISO. Demgemäß hat dieses Themengebiet – u. a. für angehende staatlich geprüfte Techniker im Maschinenbau – zur erfolgreichen Kommunikation während der gesamten Wertschöpfung eines Produkts und darüber hinaus eine große Relevanz.

Die Abgrenzung der Technischen Zeichnung nach DIN EN ISO zu einer Skizze bzw. einem Plan wurde in Säule (A) behandelt. Zudem wurde charakterisiert, *was* unter dem Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen zu verstehen ist.

Die vorliegende Studie diente außerdem zur Aufdeckung lernpsychologischer Kontextfaktoren im Erwachsenenalter, die zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen als bedeutsam erachtet werden können. In diesem Zusammenhang erwies sich die PPIK-Theorie von Ackerman (1996) als belastbares Erklärungsmodell. Operationalisiert wurde diese Theorie schließlich im Rahmen von Säule (B), die der Frage nachging, *welche* lernpsychologischen Kontextfaktoren zum Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen erforderlich sind.

Das Vorwissen der Studierenden in Form von *intelligence-as-knowledge* stellte sich als wichtiger lernpsychologischer Kontextfaktor im Erwachsenenalter heraus (vgl. Analyse 5). Erstaunlicherweise ist dieser Faktor erlernbar, wodurch ersichtlich wird, *welch* fundamentale Bedeutung vorzeitigen Lernprozessen zukommt. Gelingt es in Schule, Ausbildung und Beruf frühzeitig *intelligence-as-knowledge* aufzubauen, lassen sich zukünftige Lernprozesse positiv beeinflussen. Dementsprechend wird eine effizientere kognitive Verarbeitung neuer Informationen beim Lernen gewährleistet.

Allerdings entscheidet das Individuum ausschließlich selbst darüber, ob es an einem Lernprozess partizipiert oder eben nicht. Demzufolge können derartige Lernprozesse zum Aufbau von *intelligence-as-knowledge* dem Lernenden höchstens mehr oder weniger gut ermöglicht werden.

In diesem Kontext sind auch die beruflichen Interessen zu erwähnen, die maßgeblich daran beteiligt sind, in welche Domäne(n) die Lernenden ihre kognitiven Ressourcen investieren. Auch dieses Konstrukt nach dem Modell von Holland (1997) wird in der PPIK-Theorie passgenau integriert. Analog hierzu zeigt das berufliche Interesse *investigative* bedeutsame Einflüsse auf das deklarative Sachwissen im Prä- und Posttest (vgl. Analyse 5). Außerdem ließen sich die beruflichen Interessen nach Holland mit einem Quasi-Circumplex aufzeichnen. Vor diesem Hintergrund konnte auch die Calculushypothese (vgl. Analyse 4) bestätigt werden. Folglich gehen Interessen vom Agonisten (z. B. *realistic*) automatisch mit einem geringeren Interesse beim Antagonisten (hier *social*) einher. Grundsätzlich ist ein erfolgreicher Lernprozess jedoch maßgeblich von den Interessen des Ler-

nenden abhängig. Das Interesse zeigt sich als relevanter lernpsychologischer Kontextfaktor zum Aufbau deklarativen Sachwissens. Dieses hat den stärksten Einfluss auf die analytische Problemlösekompetenz und kann in künftigen Lernprozessen in Form von *intelligence-as-knowledge* als entscheidender Anknüpfungspunkt zum weiteren Wissenserwerb dienen. Somit kommt einer angemessenen Passung zwischen den beruflichen Interessen des Individuums und seiner tatsächlichen beruflichen Umwelt eine tragende Funktion zu. Die Befunde der Studie plädieren im Übrigen für eine adäquate Förderung der individuellen Interessen der Lernenden während ihres Lernprozesses. Dies lässt sich möglicherweise z. B. durch Absolvieren der Sekundarstufe zwei an berufsbildenden Gymnasien mit entsprechendem Schwerpunkt (z. B. Technik) frühzeitig unterstützen.

Deklaratives Sachwissen und analytische Problemlösekompetenz als integrative Bestandteile der berufsfachlichen Kompetenz und der PPIK-Theorie zeigen sich sowohl im Prä- als auch im Posttest als mehrdimensionale Konstrukte (vgl. Analyse 1). Das Modell der berufsfachlichen Kompetenz lässt sich im Sinne erlernbarer lernpsychologischer Kontextfaktoren in die PPIK-Theorie integrieren. Dies betrifft zum einen das Fachwissen und zum anderen die Problemlösekompetenz, die jeweils gleichermaßen als mehrdimensionale Konstrukte – wie auch in der vorliegenden Studie – in Erscheinung treten können.

Neben dem Konstrukt *intelligence-as-knowledge* zeigte das erlernbare deklarative Sachwissen die stärksten Einflüsse auf die analytische Problemlösekompetenz, gleichwohl das Konstrukt *intelligence-as-process* auf beide Dimensionen berufsfachlicher Kompetenz entscheidend mitwirkt. Des Weiteren ist *intelligence-as-knowledge* zuvor unter Zuhilfenahme von *intelligence-as-process* und weiteren lernpsychologischen Kontextfaktoren zur Informationsverarbeitung wie beispielsweise dem Arbeitsgedächtnis erlernt worden.

Dennoch existieren zahlreiche Knotenpunkte bezüglich berufsrelevanten Problemen als Schnittstellen zum Fachwissen, die sich dank eines ausgeprägten Fachwissens erfolgreicher auflösen lassen. Insofern kann diesem eine zentrale Rolle zum Lösen von beruflichen Problemen und Aufgabenstellungen zugesprochen werden.

Die PPIK-Theorie als Modell zur integrativen und intellektuellen Kompetenzentwicklung im Erwachsenenalter wurde infolge zahlreicher Indizien aus den durchgeführten Analysen 1-5 bestätigt. Interessant wäre eine vergleichbare Studie über diese oder eine verwandte berufliche Domäne mit größerer Stichprobe, die weitere belastbare Erkenntnisse zu Ackermans Theorie hervorbringen könnte. Insbesondere die partielle *strict invariance*, die sowohl im Quer- als auch im Längsschnitt der experimentellen Feldstudie festgestellt werden konnte (vgl. Analyse 2), liefert Evidenzen zu einer angemessenen Validität.

Mithilfe dieser Invarianz als Evidenz zur Validität ließen sich überdies die vier *Treatment*-Gruppen, denen unterschiedliche Feedback- und Lernzielkombinationen zugrunde liegen, hinsichtlich des selbstregulierten Lernens aus Säule (C) differenzieren (vgl. Analyse 3).

Diese vier Gruppen beinhalteten passende Schnittstellen, die sich aufgrund der unabhängigen Variablen während des selbstregulierten Lernens ergeben. Jene Variablen sind darüber hinaus als *treatments* zwischen internen und externen Prozessen zu verstehen. Beide

Prozesse sind im Modell des selbstregulierten Lernens von Schiefele und Pekrun (1996) als externe und interne Lernsteuerung inbegriffen. Die externe Lernsteuerung spiegelt die pädagogisch-didaktische Perspektive wider, die anhand der erweiterten Lernschleife als Modell von Arnold und Mueller (1993) spezifiziert wird. Da der Lernprozess den Studierenden von außen über die erweiterte Lernschleife lediglich ermöglicht werden kann, entscheiden die Lernenden selbst darüber, ob sie Lernziele und informatives tutorielles Feedback an dieser Schnittstelle in ihren eigenen internen Regelkreis integrieren.

Dieser interne Regelkreis der Lernenden (in der internen Lernsteuerung des Gesamtmodells von Schiefele und Pekrun (1996)) wird mittels Dreischichtenmodell (Boekaerts, 1999) aus kognitionspsychologischer Perspektive heraus modelliert. Demnach könnte der Lernende die von außen zur Verfügung gestellten *treatments* (ITF & Lernziele) in seine intermediäre und äußere Schicht des Dreischichtenmodells integrieren und von dort mit seinen vorhandenen individuellen lernpsychologischen Kontextfaktoren (PPIK-Theorie) in der zentralen Schicht für seinen internen Regelkreis zum Lernen verwenden.

Im Vergleich konnte zwar keine höhere Lernprogression in der favorisierten Lerngruppe mit unspezifischen Lernzielen und metakognitivem Feedback festgestellt werden, allerdings wurden mit diesem *treatment* auch keine weniger verwertbaren Ergebnisse als mit den anderen Feedbackvarianten erzielt. Da alle Versuchsgruppen eine relativ starke Lernprogression aufweisen, lässt sich diese Lernziel-Feedback-Kombination zum selbstregulierten Lernen rechtfertigen und begründen. Infolgedessen stellt das selbstregulierte Lernen grundsätzlich eine empfehlenswerte Möglichkeit für die Praxis in Schule, Ausbildung und Beruf dar, *wie* das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen nach DIN EN ISO effizient gefördert werden kann.

Unspezifische Lernziele kombiniert mit metakognitivem Feedback würden den Lernenden möglicherweise noch größere individuelle Freiräume während des Lernprozesses gewähren. Dies würde den Charakter der eigenen Wissenskonstruktion mit Blick auf das selbstregulierte Lernen aus der pädagogisch-didaktischen Perspektive sehr wahrscheinlich etwas stärker betonen. In Anbetracht der Ergebnisse aus Analyse 3 der vorliegenden Studie wäre es jedenfalls empfehlenswert.

Summa summarum lässt sich das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen bei Technikern lernpsychologisch mit der PPIK-Theorie erklären. Das selbstregulierte Lernen erscheint zur Förderung der Lernprozesse als angemessene und zugleich wirksame Alternative zu anderen Lernmethoden.

7 Ausblick und Implikationen

Zu Beginn wurden einige Fragen mit Fokus auf den Lernprozess skizziert, die von verschiedenen Lernbegleitern (wie beispielsweise Lehrern) möglicherweise aufgrund unterschiedlicher Erfahrungen und Präferenzen epistemologisch konträr beantwortet werden würden. Lässt sich das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen tatsächlich lernen oder ist dies eher als kognitive Fähigkeit der individuellen Begabung zuzuschreiben? Ist der Lernerfolg wesentlich vom bereits erworbenen Vorwissen abhängig oder nicht? Lernen besonders interessierte Zeichnungsleser besser als weniger interessierte? Kann ein geeignetes Feedback während des Lernprozesses wirksam platziert werden? Gibt es Ziele, die sich gegenüber anderen als erfolgsversprechender antizipieren lassen? Die evidenzbasierten Analysen der Studie plädieren für die PPIK-Theorie von Ackerman (1996) (Säule B), wonach sich die intellektuelle Kompetenzentwicklung infolge reziproker Prozesse zwischen Wissen, Fähigkeiten und Persönlichkeit vollzieht.

In Bezug auf die Fachschule lässt sich somit das individuelle Interesse der Studierenden z. B. mit Projekten als abschließende Leistungsfeststellung im jeweiligen Modul vermutlich angemessener in den Lernprozess integrieren, als im Vergleich zu standardmäßigen Klausuren. In diesem Sinne wäre es zu befürworten, diese Form der Leistungsfeststellung auch in Zukunft als mögliche Option für Lernbegleiter im Lehrplan der Fachschule zu erhalten. Von diesem konkreten Beispiel ausgehend erscheint es generell bedeutsam, Lernprozesse so zu initiieren, dass die Studierenden ihre individuellen Interessen mit einbringen können. An dieser Stelle sind professionelle Lernbegleiter herausgefordert, individuelle Interessen der Studierenden im Lernprozess zu fördern – wenngleich es dem Individuum selbst vorbehalten bleibt, ob es tatsächlich am angebotenen Lernarrangement partizipiert oder nicht.

Da das Schulsystem mit seinen Abschlüssen Lebenschancen eröffnet, kann durchaus danach gefragt werden, ob individuelle Interessen als Ausdruck der Persönlichkeit anhand von Schulnoten, wie etwa beim Numerus clausus im Abitur (z. B. für das anschließende Medizinstudium), angemessen mitberücksichtigt werden. Mit Verweis auf die PPIK-Theorie kann somit dem beruflichen Interesse beispielsweise für die weitere Kompetenzentwicklung im Studium und einem damit verbundenen Studienerfolg ein bedeutsamer Stellenwert eingeräumt werden. Auch für die Personalauswahl von Technikern im Handwerk und der Industrie sollte demzufolge das berufliche Interesse nicht unberücksichtigt bleiben.

Darüber hinaus hat das Vorwissen (*intelligence-as-knowledge*) einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Entwicklung der berufsfachlichen Kompetenz. Demgemäß erscheint z. B. die Weiterbildung zum staatlich geprüften Techniker (EQF-6) als besonders wertvoll, da diese zusätzlich zu einer abgeschlossenen Berufsausbildung auch eine einjährige sowie einschlägige Berufserfahrung in der entsprechenden beruflichen Domäne voraussetzt. Durch diesen zentralen Stellenwert des Vorwissens kann gefolgert werden, dass im Rahmen der

Personalauswahl von Technikern in Handwerk und Industrie auch die Berufserfahrung durch Unternehmen verhältnismäßig Beachtung finden sollte.

Das selbstregulierte Lernen (Schiefele & Pekrun, 1996) (Säule C) in Form der erweiterten Lernschleife von Arnold und Mueller (1993), kombiniert mit dem informativen tutoriellen Feedback von Narciss (2006) und den Lernzielen nach Künsting (2007), erwies sich als sehr wirksam. Alle *Treatment*-Gruppen zeigten eine deutliche Lernprogression. Vor diesem Hintergrund lässt sich der Einsatz von selbstregulierten Lernprozessen durch Lernbegleiter begründen. Selbstreguliertes Lernen erscheint mit Fokus auf lebenslanges Lernen, Digitalisierung (z. B. in Krisensituationen wie einer Pandemie), Globalisierung und einer konstruktivistischen Haltung als bedeutsam.

Die in dieser Studie erfasste berufsfachliche Kompetenz könnte in künftigen Studien mit weiteren Kompetenzfacetten in Richtung Handlungskompetenz weiterentwickelt werden. Selbst wenn ein Techniker in der Lage ist, eine Technische Zeichnung adäquat zu interpretieren, ist es dennoch möglich, dass eine geeignete Fehlerkorrektur, z. B. aufgrund von Konflikten im Unternehmen, ausbleibt. Infolgedessen sind Kompetenzen u. a. zur Kooperation (in diesem Fall mit dem Produktdesigner) im Unternehmen ebenfalls relevant. Ähnlich angelegte Studien sind auch in anderen beruflichen Domänen wie beispielsweise der Bau- oder Elektrotechnik vorstellbar. Ebenso wäre es zu antizipieren, vergleichbare Lernprozesse über mehrere Messzeitpunkte zu prüfen. Außerdem könnten in das Modell der PPIK-Theorie weitere lernpsychologische Kontextfaktoren wie etwa Motivation mit aufgenommen werden. Im Hinblick auf Lernarrangements wären darüber hinaus weitere *Treatment*-Gruppen, z. B. durch Miteinbezug von kooperativen Lernformen, vorstellbar. Um einen höheren Informationsgehalt für die Strukturgleichungsmodelle zu erzielen, wären ferner entsprechende Studien mit größeren Stichproben ($n > 1000$) anzustreben.

Das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen bei Technikern im Maschinenbau lässt sich mit der PPIK-Theorie (Säule B) angemessen modellieren. Das selbstregulierte Lernen (Säule C) stellt ein adäquates Lernarrangement zur Förderung der berufsfachlichen Kompetenz im Rahmen der Weiterbildung zum staatlich geprüften Technikern (EQF-6) dar.

Lernbegleiter, wie etwa in berufsbildenden Schulen, Fachhochschulen und Universitäten, können auf Grundlage der durch die vorliegende Studie gewonnenen Evidenzen die reziproke Kompetenzentwicklung zwischen Fähigkeiten, Wissen und Persönlichkeit mithilfe der PPIK-Theorie begründen. Dies gilt auch für die Förderung von Lernprozessen zum Lesen Technischer Zeichnungen durch selbstreguliertes Lernen. Diese Erkenntnisse stehen für Lernbegleiter künftig zur professionellen Gestaltung von Lernarrangements gewinnbringend zur Verfügung.

8 Literaturverzeichnis

- Abele, S. (2014). *Modellierung und Entwicklung berufsfachlicher Kompetenz in der gewerblich-technischen Ausbildung* (Empirische Berufsbildungsforschung, Bd. 1, 1. Aufl.). Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2013. Stuttgart: Franz Steiner Verlag.
- Abele, S., Behrendt, S., Weber, W. & Nickolaus, R. (2016). Berufsfachliche Kompetenzen von Kfz-Mechatronikern. Messverfahren, Kompetenzdimensionen und erzielte Leistungen (KOKO Kfz). In K. Beck, M. Landenberger & F. Oser (Hrsg.), *Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse aus der BMBF-Förderinitiative ASCOT* (Wirtschaft - Beruf - Ethik, Bd. 32, 1. Auflage, S. 171-203). Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag GmbH & Co. KG.
- Abele, S., Greiff, S., Gschwendtner, T., Wüstenberg, S., Nickolaus, R., Nitzschke, A. et al. (2012). Dynamische Problemlösekompetenz. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 15 (2), 363-391.
- Ackerman, P. L. (1996). A theory of adult intellectual development: Process, personality, interests, and knowledge. *Intelligence*, 22 (2), 227-257.
- Ackerman, P. L. (1998). Knowledge Structures and Adult Intellectual Development. Report No. 98-3. *College Entrance Examination Board*.
- Ackerman, P. L. (2000). Domain-specific knowledge as the "dark matter" of adult intelligence: Gf/Gc, personality and interest correlates. *The Journals of Gerontology: Series B*, 55 (2), P69-84.
- Ackerman, P. L. & Beier, M. E. (2003). Trait Complexes, Cognitive Investment, and Domain Knowledge. In R. J. Sternberg & E. L. Grigorenko (Eds.), *The psychology of abilities, competencies, and expertise*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Ackerman, P. L., Beier, M. E. & Boyle, M. O. (2005). Working memory and intelligence: the same or different constructs? *Psychological Bulletin*, 131 (1), 30-60.
- Aeppli, J., Gasser, L., Gutzwiller, E. & Tettenborn, A. (Hrsg.). (2010). *Empirisches wissenschaftliches Arbeiten. Ein Studienbuch für die Bildungswissenschaften*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- American Educational Research Association; American Psychological Association; National Council on Measurement in Education. (2014). *Standards for educational and psychological testing*. Washington, DC: American Educational Research Association.
- American Educational Research Association; American Psychological Association; National Council on Measurement in Education; Joint Committee on Standards for Educational and Psychological Testing (U.S.). (1995). *Standards for educational and psychological testing* (Reprint). Washington/D.C.: American Psychological Assoc.

- Ames, C. (1992). Classrooms: Goals, structures, and student motivation. *Journal of Educational Psychology*, 84 (3), 261-271.
- Ames, C. & Archer, J. (1988). Achievement goals in the classroom: Students' learning strategies and motivation processes. *Journal of Educational Psychology*, 80 (3), 260-267.
- Anderson, J. R. (2007). *Kognitive Psychologie* (6. Aufl.). Heidelberg: Spektrum, Akad. Verlag.
- Arnold, R. (2007). *Ich lerne, also bin ich. Eine systemisch-konstruktivistische Didaktik* (Systemische Pädagogik). Heidelberg: Carl-Auer-Systeme-Verl.
- Arnold, R. & Mueller, H.-J. (1993). Handlungsorientierung und ganzheitliches Lernen in der Berufsbildung - 10 Annäherungsversuche. *Erziehungswissenschaft und Beruf*, 41 (4), 323-333.
- Arnold, R. & Pätzold, H. (2002). *Schulpädagogik kompakt. Prüfungswissen auf den Punkt gebracht* (Studium kompakt). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Arnold, R. & Schüssler, I. (1998). *Wandel der Lernkulturen. Ideen und Bausteine für ein lebendiges Lernen*. Darmstadt: Wiss. Buchges.
- Arzheimer, K. (2016). *Strukturgleichungsmodelle. Eine anwendungsorientierte Einführung* (Lehrbuch). Wiesbaden: Springer VS.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4 (11), 417-423.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action* (Oxford psychology series, vol. 45). Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D., Chincotta, D. & Adlam, A. (2001). Working memory and the control of action: Evidence from task switching. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130 (4), 641-657.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (1974). Working Memory. In *Psychology of Learning and Motivation* (S. 47-89). Elsevier.
- Bergmann, C. & Eder, F. (2005). *Allgemeiner Interessen-Struktur-Test mit Umwelt-Struktur-Test (UST-R). AIST-R ; Manual (Revision)*. Göttingen: Beltz-Test Hogrefe.
- Blömeke, S. (2013). *Validierung als Aufgabe im Forschungsprogramm „Kompetenzmodellierung und Kompetenzerfassung im Hochschulsektor“* (KoKoHs Working Papers, 2). Berlin & Mainz: Humboldt-Universität & Johannes Gutenberg-Universität.
- Boekaerts, M. (1999). Self-regulated learning: Where we are today. *International journal of educational research*, 31 (6), 445-457.
- Bollen, K. A. & Curran, P. J. (2006). *Latent curve models. A structural equation perspective* (Wiley series in probability and statistics). Hoboken, N.J: Wiley-Interscience.

- Bollen, K. A. & Hoyle, R. H. (2012). Latent Variables in Structural Equation Modeling. In R. H. Hoyle (Hrsg.), *Handbook of Struktural Equation Modeling. Latent Variables in Structural Equation Modeling* (S. 56-67). New York London: Guilford.
- Bovaird, J. A. & Koziol, N. A. (2012). Measurement Models for Orderd- Categorical Indicators. In R. H. Hoyle (Hrsg.), *Handbook of Struktural Equation Modeling. Latent Variables in Structural Equation Modeling* (S. 495-511). New York London: Guilford.
- Brown, T. A. (2006). *Confirmatory factor analysis for applied research* (Methodology in the social sciences). New York, NY: Guilford Press.
- Brown, T. A. & Moore, M. T. (2012). Confirmatory factor analysis. In R. H. Hoyle (Hrsg.), *Handbook of Struktural Equation Modeling. Latent Variables in Structural Equation Modeling* (S. 361-379). New York London: Guilford.
- Browne, M. W. (1992). Circumplex models for correlation matrices. *Psychometrika*, 57 (4), 469-497.
- Brunken, R., Plass, J. L. & Leutner, D. (2003). Direct Measurement of Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38 (1), 53-61.
- Bühner, M. (2006). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (2., aktualisierte Aufl.). München: Pearson Studium.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (PS Psychologie, 3., aktualisierte und erw. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Butler, D. L. & Winne, P. H. (1995). Feedback and Self-Regulated Learning: A Theoretical Synthesis. *Review of Educational Research*, 65 (3), 245-281.
- Byrne, B. M. (2012). *Structural equation modeling with Mplus. Basic concepts, applications, and programming* (Multivariate applications series). New York , London: Routledge Taylor & Francis Group.
- Cattell, R. B. (1987). *Intelligence. Its Structure, Growth and Action* (Advances in psychology, vol. 35, 1. Aufl.). s.l.: Elsevier textbooks.
- Chamorro-Premuzic, T., Furnham, A. & Ackerman, P. L. (2006). Ability and personality correlates of general knowledge. *Personality and Individual Differences*, 41 (3), 419-429.
- Chi, M., Glaser, G. & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Hrsg.), *Advances in the psychology of human intelligence. Volume 1*. Hillsdale: Erlbaum.
- Corno, L. (1989). Chapter 5. Self-Regulated Learning: A Volitional Analysis. In B. J. Zimmerman (Ed.), *Self-regulated learning and academic achievement. Theory, research, and practice* (Springer Series in Cognitive Development, pp. 111-141). New York, NY: Springer.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39 (2), 223-238.

- Dimitrov, D. M. (2006). Comparing groups on latent variables: a structural equation modeling approach. *Work (Reading, Mass.)*, 26 (4), 429-436.
- DiStefano, C., Liu, J., Jiang, N. & Shi, D. (2018). Examination of the Weighted Root Mean Square Residual: Evidence for Trustworthiness? *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 25 (3), 453-466.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (Springer-Lehrbuch, 5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage). Berlin: Springer.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung* (Kohlhammer-Standards Psychologie Studententext, 1. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Dweck, C. S. & Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological Review*, 95 (2), 256-273.
- Edossa, A. K., Schroeders, U., Weinert, S. & Artelt, C. (2018). The development of emotional and behavioral self-regulation and their effects on academic achievement in childhood. *International Journal of Behavioral Development*, 42 (2), 192-202.
- Elliot, A. J. & Harackiewicz, J. M. (1996). Approach and avoidance achievement goals and intrinsic motivation. A mediational analysis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 70 (3), 461-475.
- Euler, D. (2020). Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen Grundbildung. Projekt Berufspädagogik. In R. Arnold, A. Lipsmeier & M. Rohs (Hrsg.), *HANDBUCH BERUFSBILDUNG* (3., völlig neu bearbeitete Auflage, S. 205-218). Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss.
- Fahrmeir, L., Künstler, R., Pigeot, I. & Tutz, G. (2007). *Statistik. Der Weg zur Datenanalyse* (Springer-Lehrbuch, 6., überarb. Aufl.). Berlin: Springer.
- Foellinger, O. (1980). *Regelungstechnik. Einf. in d. methoden u. ihre Anwendung* (AEG-TELEFUNKEN fachbuecher zur kybernetik, anwendung.3., verb. aufl.). Berlin: AEG-TELEFUNKEN Ag.
- Franco, G. (2019). *Handbuch Karl Popper*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer VS.
- Fritz, A. (Hrsg.). (2016). *Technisches Zeichnen. Grundlagen, Normen, Beispiele, darstellende Geometrie : Lehr-, Übungs- und Nachschlagewerk für Schule, Fortbildung, Studium und Praxis, mit mehr als 100 Tabellen und weit über 1.000 Zeichnungen* (35., überarbeitete und erweiterte Auflage). Berlin: Cornelsen.
- Funke, J. (2003). *Problemlösendes Denken* (Einführungen und Allgemeine Psychologie, 1. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Funke, J. & Vaterrodt, B. (2004). *Was ist Intelligenz?* (Beck'sche Reihe C.-H.-Beck-Wissen, Bd. 2088, 2., überarb. Aufl., Orig.-Ausg.). München: Beck.

- Future skills supply and demand in Europe. Forecast 2012.* (2012) (Research paper (European Centre for the Development of Vocational Training), Bd. 26). Luxembourg: Publications Office.
- Geiser, C. (2011). *Datenanalyse mit Mplus. Eine anwendungsorientierte Einführung* (2., durchgesehene Auflage). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden.
- Geißel, B. (2008). Prädikatoren der Entwicklung zentraler Aspekte von Fachkompetenz in Berufen der gewerblich-technischen Erstausbildung. In D. Münk, K. Breuer & T. Deißinger, K. Breuer & T. Deißinger (Hrsg.), *Berufs- und Wirtschaftspädagogik. Probleme und Perspektiven aus nationaler und internationaler Sicht* (S. 10-20). Barbara Budrich.
- Gnahs, D. (2010). *Kompetenzen - Erwerb, Erfassung, Instrumente* (Studententexte für Erwachsenenbildung, 2., aktualisierte und überarb. Aufl.). Bielefeld: Bertelsmann.
- Gopher, D. & Braune, R. (1984). On the Psychophysics of Workload: Why Bother with Subjective Measures? *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 26 (5), 519-532.
- Götz, T. (2004). *Emotionales Erleben und selbstreguliertes Lernen bei Schülern im Fach Mathematik* (Psychologie, Bd. 20). Zugl.: München, Univ., Diss, 2002. München: Utz.
- Götz, T. & Aufenanger, S. (2005), Deutsche Gesellschaft für Erziehungswissenschaft.
- Gschwendtner, T., Geißel, B. & Nickolaus, R. (2010). Modellierung beruflicher Fachkompetenz in der gewerblich-technischen Grundbildung. In E. Klieme, D. Leutner & M. Tenk (Hrsg.), *Kompetenzmodellierung. Zwischenbilanz des DFG-Schwerpunktprogramms und Perspektiven des Forschungsansatzes.* (56). Weinheim: Beltz.
- Hartig, J., Frey, A. & Jude, N. (2012). Validität. In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Hempel, C. G. & Oppenheim, P. (1948). Studies in the Logic of Explanation. *Philosophy of Science*, 15 (2), 135-175.
- Heyman, G. D. & Dweck, C. S. (1992). Achievement goals and intrinsic motivation. Their relation and their role in adaptive motivation. *Motivation and Emotion*, 16 (3), 231-247.
- Hoffmann, N. (2012). *Grundstruktur von Forschungsprozessen.* IWM Koblenz-Landau.
- Holland, J. L. (1997). *Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments:* Psychological Assessment Resources.
- Horn, J. L. & Cattell, R. B. (1967). Age differences in fluid and crystallized intelligence. *Acta Psychologica*, 26, 107-129.
- Hoyle, R. (2012). Introduction and Overview. In R. H. Hoyle (Hrsg.), *Handbook of Struktural Equation Modeling. Latent Variables in Structural Equation Modeling* (S. 3-16). New York London: Guilford.

- Hussy, W. & Selg, H. (1998). *Denken und Problemlösen* (Urban-Taschenbücher, Bd. 557, 2., überarb. und erw. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- IW-Trends_2016-01-06_Flake_Werner_Zibrowius. (2016), 43 (1). Zugriff am 13.04.2020. Verfügbar unter https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2016/278405/IW-Trends_2016-01-06_Flake_Werner_Zibrowius.pdf
- Kaplan, D. (2009). *Structural equation modeling. Foundations and extensions* (Advanced quantitative techniques in the social sciences, Bd. 10, 2. ed.). Los Angeles: SAGE.
- Kelloway, E. K. (2015). *Using Mplus for structural equation modeling. A researcher's guide* (2nd edition). Los Angeles: SAGE.
- Kiehl, P., Breutmann, N., Goethe, W., Grode, H.-P., Liess, E., Machert, D. et al. (2001). *Klein Einführung in die DIN-Normen* (13., neubearbeitete und erweiterte Auflage). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.
- Kirkpatrick, D. L. (1967). *Evaluation of training*. New York: McGraw-Hill Book.
- Klieme, E. & Hartig, J. (2008). Kompetenzkonzepte in den Sozialwissenschaften und im erziehungswissenschaftlichen Diskurs. In M. Prenzel, I. Gogolin & H.-H. Krüger (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* (Zeitschrift für Erziehungswissenschaft Sonderheft, Bd. 8). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Kline, R. B. (2011). *Principles and practice of structural equation modeling* (Methodology in the social sciences, 3. ed.). New York: Guilford Press.
- Köller, O. (1998). *Zielorientierungen und schulisches Lernen*: Waxmann Verlag.
- Krapp, A., Schiefele, U. & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie*, 10 (2), 120-148.
- Krause, U.-M. (2007). *Feedback und kooperatives Lernen*. Münster New York Berlin München: Waxmann Verlag.
- Kulhavy, R. W. (1977). Feedback in Written Instruction. *Review of Educational Research*, 47 (2), 211-232.
- Kulhavy, R. W. & Stock, W. A. (1989). Feedback in written instruction: The place of response certitude. *Educational Psychology Review*, 1 (4), 279-308.
- Kulik, A. & Kulik, C.-L. (1988). Timing of Feedback and Verbal Learning. *Review of Educational Research*, 58 (1), 79-97.
- Künne, B. & Hahne, M. (Hrsg.). (2012). *Entwicklung eines Prozessmodells der Interpretation Technischer Zeichnungen* (1. Aufl.). Zugl.: Dortmund, Techn. Univ., Diss., 2012. Soest: Maschinenelemente-Verlag.

- Künsting, J. (2007). *Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren*: Dissertationsschrift. Zugriff am 18.05.2016. Verfügbar unter https://duepublico2.uni-due.de/receive/duepublico_mods_00016955
- Labisch, S. & Weber, C. (2005). *Technisches Zeichnen. Intensiv und effektiv lernen und üben ; mit 55 Tabellen ; [mit aktueller Normung und 321 Übungen* (Viewegs Fachbücher der Technik, 2., überarb. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg.
- Labisch, S. & Weber, C. (2013). *Technisches Zeichnen. Selbstständig lernen und effektiv üben* (Lehrbuch, 4., überarb. und erw. Aufl.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Larkin, J., McDermott, J., Simon, D. P. & Simon, H. A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science (New York, N.Y.)*, 208 (4450), 1335-1342.
- Larson, C. O., Dansereau, D. F., O'Donnell, A. M., Hythecker, V. I., Lambiotte, J. G. & Rocklin, T. R. (1985). Effects of metacognitive and elaborative activity on cooperative learning and transfer. *Contemporary Educational Psychology*, 10 (4), 342-348.
- Latham, G. P. & Locke, E. A. (1979). Goal setting—A motivational technique that works. *Organizational Dynamics*, 8 (2), 68-80.
- Latham, G. P. & Locke, E. A. (1991). Self-regulation through goal setting. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50 (2), 212-247.
- Leutner, D., Funke, J., Klieme, E. & Wirth, J. (2012). Problemlösefähigkeit als fächerübergreifende Kompetenz. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (1. Aufl., S. 11-19). s.l.: VS Verlag für Sozialwissenschaften (GWV).
- Lienert, G. A. (1969). *Testaufbau und Testanalyse* (3., durch den Anhang über Faktorenanalyse ergänzte Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Little, T. D. (2013). *Longitudinal structural equation modeling* (Methodology in the social sciences). New York, NY: Guilford Press.
- Locke, E. A., Chah, D.-O., Harrison, S. & Lustgarten, N. (1989). Separating the effects of goal specificity from goal level. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 43 (2), 270-287.
- Locke, E. A., Latham, G. P. & Smith, K. J. (1990). *A theory of goal setting & task performance*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
- Lockl, K. (2002). *Selbstreguliertes Lernen im Grundschulalter. Entwicklungspsychologische Studien zur Lernzeiteinteilung*: Dissertationsschrift.
- Marschner, J. (2011). *Adaptives Feedback zur Unterstützung des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren*: Dissertationsschrift. Zugriff am 18.05.2020. Verfügbar unter https://duepublico2.uni-due.de/receive/duepublico_mods_00025590

- Matsueda, R. L. (2012). Chapter 2. Key Advances in the History of Structural Equation Modeling. In R. H. Hoyle (Hrsg.), *Handbook of Struktural Equation Modeling. Latent Variables in Structural Equation Modeling* (S. 17-42). New York London: Guilford.
- Mayer, R. E. (2003). What Causes Individual Differences in Cognitive Performance? In E. L. Grigorenko & R. J. Sternberg (Eds.), *The psychology of abilities, competencies, and expertise* (pp. 263-274). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mento, A. J., Steel, R. P. & Karren, R. J. (1987). A meta-analytic study of the effects of goal setting on task performance. 1966–1984. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 39 (1), 52-83.
- Merrill, D. C., Reiser, B. J., Merrill, S. K. & Landes, S. (1995). Tutoring: Guided Learning by Doing. *Cognition and Instruction*, 13 (3), 315-372.
- Millsap, R. E. (2011). *Statistical approaches to measurement invariance*. New York: Routledge.
- Millsap, R. E. & Yun-Tein, J. (2004). Assessing Factorial Invariance in Ordered-Categorical Measures. *Multivariate Behavioral Research*, 39 (3), 479-515.
- Ministerium für Bildung, Frauen und Jugend. (2003). Lehrplan für die Fachschule Fachbereich Technik Fachrichtung Maschinentechnik. Zugriff am 30.06.16. Verfügbar unter http://berufsbildendeschule.bildungrp.de/fileadmin/user_upload/bbs/berufsbildendeschule.bildungrp.de/Lehrplaene/Dokumente/lehrplan_bbs_2003/fs/FS_Maschinenbau.pdf
- Mischel, W. (1973). Toward a cognitive social learning reconceptualization of personality. *Psychological Review*, 80 (4), 252-283.
- Mittenecker, E. (1977). *Planung und statistische Auswertung von Experimenten. E. Einführung für Psychologen, Biologen u. Mediziner* (8., neubearb. Aufl. unveränd. Nachdr. 1977). Wien: Deuticke.
- Moosbrugger, H. (2012). Item-Response-Theorie (IRT). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Springer-Lehrbuch, 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage, S. 227-274). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2007). Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test (Testgütekriterien). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 7-26). Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2020). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (3rd ed. 2020). Berlin: Springer Berlin Heidelberg; Imprint: Springer.
- Muthen, B. O. & Muthen, L. K. (Hrsg.). (2020), Mplus. Zugriff am 18.05.2020 Verfügbar unter https://www.statmodel.com/IRT_History.shtml
- Muthén, B. O. & Asparouhov, T. (2002). Latent variable analysis with categorical outcomes: Multiple-group and growth modeling in Mplus. *Mplus web notes*, 4 (5), 1-22.

- Muthén, L. K. & Muthén, B. O. (1998-2012). *Mplus User's Guide* (Seventh Edition). Los Angeles, CA: Muthén & Muthén.
- Muthén, L. K. & Muthén, B. O. (1998-2007). *Mplus User's Guide* (Fifth Edition). Los Angeles, CA: Muthén & Muthén.
- Nagy, G. (2005). *Berufliche Interessen, kognitive und fachgebundene Kompetenzen. Ihre Bedeutung für die Studienfachwahl und die Bewährung im Studium.*: Dissertationschrift.
- Nagy, G., Marsh, H. W., Lüdtke, O. & Trautwein, U. (2009). Representing the circles in our minds: Confirmatory factor analysis of circumplex structures and profiles. In T. Teo & M. S. Khine (Hrsg.), *Structural equation modeling in educational research. Concepts and Applications* (S. 287-315). Rotterdam: Sense Publishers.
- Nakamura, J. & Csikszentmihalyi, M. (2009). Flow theory and research. In C. R. Snyder & S. J. Lopez (Eds.), *Oxford handbook of positive psychology* (Oxford library of psychology, 2nd ed., pp. 195-206). New York: Oxford Univ. Press.
- Narciss, S. (2006). *Informatives tutorielles Feedback. Entwicklungs- und Evaluationsprinzipien auf der Basis instruktionspsychologischer Erkenntnisse* (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 56). Münster: Waxmann.
- Nicholls, J. G. (1984). Achievement motivation: Conceptions of ability, subjective experience, task choice, and performance. *Psychological Review*, 91 (3), 328-346.
- Nickolaus, R. (2011). Die Erfassung fachlicher Kompetenzen und ihrer Entwicklungen in der beruflichen Bildung. Forschungsstand und Perspektiven. In O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hrsg.), *Stationen empirischer Bildungsforschung. Traditionslinien und Perspektiven ; [Klaus Beck zum 70. Geburtstag gewidmet* (1. Aufl., S. 331-351). Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss.
- Nickolaus, R., Abele, S. & Gschwendtner, T. (2011). Valide Abschätzungen von Kompetenzen als eine notwendige Basis zur Effektbeurteilung pädagogischer Handlungsprogramme. Herausforderungen, Ansätze und Perspektiven. In M. Fischer, M. Becker & G. Spöttl (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik in der beruflichen Bildung. Probleme und Perspektiven* (S. 57-74). Frankfurt am Main u. a.: Peter Lang.
- Nickolaus, R. & Seeber, S. (2013). Berufliche Kompetenzen: Modellierungen und diagnostische Verfahren. In A. Frey, U. Lissmann & B. Schwarz (Hrsg.), *Handbuch Berufspädagogische Diagnostik* (Pädagogik 2014, 1. Aufl., S. 166-194). s.l.: Beltz.
- Nolen, S. B. (1988). Reasons for Studying: Motivational Orientations and Study Strategies. *Cognition and Instruction*, 5 (4), 269-287.
- Oberauer, K., Schulze, R., Wilhelm, O. & Süß, H.-M. (2005). Working memory and intelligence--their correlation and their relation: comment on Ackerman, Beier, and Boyle (2005). *Psychological Bulletin*, 131 (1), 61-5; author reply 72-5.

- Oettingen, G. & Gollwitzer, P. M. (2000). Das Setzen und Verwirklichen von Zielen. *Zeitschrift für Psychologie / Journal of Psychology*, 208 (3-4), 406-430.
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2004). Cognitive Load Theory: Instructional Implications of the Interaction between Information Structures and Cognitive Architecture. *Instructional Science*, 32 (1/2), 1-8.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H. & van Gerven, P. W. M. (2003). Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. *Educational Psychologist*, 38 (1), 63-71.
- Pekrun, R. (1988). *Emotion, Motivation und Persönlichkeit* (Fortschritte der psychologischen Forschung, Bd. 1). München: Psychologie-Verl.-Union.
- Pommer, M. (2003). *Informatives Feedback. Wirkung auf Lernerfolg und Motivation bei computergestütztem Training sprachrezeptiver Fähigkeiten* (Internationale Hochschulschriften, Bd. 415, 1. Aufl.). Münster: Waxmann.
- Prenzel, M. (1988). *Die Wirkungsweise von Interesse. Ein pädagogisch-psychologisches Erklärungsmodell* (Beiträge zur psychologischen Forschung, Bd. 13). Zugl.: München, Univ., Habil.-Schr., 1987. Opladen: Westdt. Verl.
- Pridemore, D. R. & Klein, J. D. (1991). Control of feedback in computer-assisted instruction. *Educational Technology Research and Development*, 39 (4), 27-32.
- Rausch, A. (2017). Dispositional predictors of problem solving in the field of office work. *Vocations and Learning*, 10 (2), 177-199.
- Reinecke, J. (2014). *Strukturgleichungsmodelle in den Sozialwissenschaften* (2., aktualisierte und erweiterte Auflage). München: De Gruyter Oldenbourg.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testtheorie - Testkonstruktion* (Psychologie Lehrbuch, 2., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Bern: Huber.
- Rubio, S., Diaz, E., Martin, J. & Puente, J. M. (2004). Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. *Applied Psychology*, 53 (1), 61-86.
- Schacter, D. L. (2001). *Wir sind Erinnerung. Gedächtnis und Persönlichkeit* (rororo rororo-Sachbuch, Bd. 61159). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verl.
- Schellmann, B. & Stephan, A. (2014). *Technisches Zeichnen, technische Kommunikation. Grund- und Fachbildung Metall : Informationsband* (Europa-Fachbuchreihe für Metallberufe, 9. Auflage). Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel.
- Schiefele, U. (1988). Der Einfluß von Interesse auf Umfang, Inhalt und Struktur studienbezogenen Wissens. *Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 10 (4), 356-370.
- Schiefele, U. (2008). Lernmotivation und Interesse. In W. Schneider, M. Hasselhorn & J. Bengel (Hrsg.), *Handbuch der pädagogischen Psychologie* (Handbuch der Psychologie, / hrsg. von J. Bengel ... ; Bd. 10, S. 38-49). Göttingen: Hogrefe.

- Schiefele, U. (2009). Kapitel 7: Motivation. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (Springer-Lehrbuch, S. 153-175). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schiefele, U. & Pekrun, R. (1996). Psychologische Modelle des fremdgesteuerten und selbstgesteuerten Lernens. In F. E. Weinert, N.-P. Birbaumer & C. F. Graumann (Hrsg.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion* (Enzyklopädie der Psychologie Praxisgebiete Pädagogische Psychologie, Bd. 2, S. 249-278). Göttingen: Hogrefe Verl. für Psychologie.
- Schiefele, U. & Schaffner, E. (2015). Kapitel 7. Motivation. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (Springer-Lehrbuch, 2. Aufl. 2015. vollst. überarb. u. aktualisierte, S. 153-176). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schlömerkemper, J. (2010). *Konzepte pädagogischer Forschung. Eine Einführung in Hermeneutik und Empirie* (UTB Erziehungswissenschaft, Pädagogik, Bd. 3273, 1. Aufl.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Schreiber, B. (1998). *Selbstreguliertes Lernen. Entwicklung und Evaluation von Trainingsansätzen für Berufstätige* (Pädagogische Psychologie und Entwicklungspsychologie, Bd. 8). Zugl.: Erfurt, Mühlhausen, Pädag. Hochsch., Diss., 1997. Münster: Waxmann.
- Schreiber, J. B., Nora, A., Stage, F. K., Barlow, E. A. & King, J. (2006). Reporting Structural Equation Modeling and Confirmatory Factor Analysis Results: A Review. *The Journal of Educational Research*, 99 (6), 323-338.
- Schroeders, U. & Wilhelm, O. (2011). Equivalence of Reading and Listening Comprehension Across Test Media. *Educational and Psychological Measurement*, 71 (5), 849-869.
- Seeber, S. (2014). Struktur und kognitive Voraussetzungen beruflicher Fachkompetenz: Am Beispiel Medizinischer und Zahnmedizinischer Fachangestellter. In E. Winther (Hrsg.), *Perspektiven der empirischen Berufsbildungsforschung. Kompetenz und Professionalisierung* (Zeitschrift für Erziehungswissenschaft Sonderheft, 22 = 17,1). Wiesbaden: Springer VS.
- Siebert, H. (2006). *Selbstgesteuertes Lernen und Lernberatung. Konstruktivistische Perspektiven* (Grundlagen der Weiterbildung, 2., überarb. Aufl.). Augsburg: ZIEL.
- Sigloch, H. (2017). *Technische Fluidmechanik* (10., aktualisierte Auflage). Berlin: Springer
- Squire, L. R. (1992). Declarative and nondeclarative memory: multiple brain systems supporting learning and memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4 (3), 232-243.
- Stemann, J. (2016). Technische Problemlösekompetenz im Alltag. Theoretische Entwicklung und empirische Prüfung des Kompetenzkonstruktes Problemlösen im Umgang mit technischen Geräten. *Universität Duisburg-Essen*.
- Stern, E. & Hardy, I. (2002). In Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (Beltz Pädagogik, 2., unveränd. Aufl., Dr. nach Typoskript, S. 153-168). Weinheim: Beltz.

- Süß, H.-M. (1996). *Intelligenz, Wissen und Problemlösen. Kognitive Voraussetzungen für erfolgreiches Handeln bei computersimulierten Problemen* (Schriftenreihe Lehr- und Forschungstexte Psychologie, N.F., 5). Zugl.: Mannheim, Univ., Habil.-Schr., 1995. Göttingen: Hogrefe.
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12 (2), 257-285.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4 (4), 295-312.
- Sweller, J. & Levine, M. (1982). *Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning* (Bd. 8).
- Todt, E. (1978). *Das Interesse. Empirische Untersuchungen zu einem Motivationskonzept*. Bern, Stuttgart, Wien: Huber.
- Tsang, P. S. & Velazquez, V. L. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics*, 39 (3), 358-381.
- Urban, D. & Mayerl, J. (2014). *Strukturgleichungsmodellierung. Ein Ratgeber für die Praxis* (SpringerLink). Wiesbaden: Springer VS.
- Van Merriënboer, J. J. G. & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. *Medical education*, 44 (1), 85-93.
- Vasilyeva, E., Puuronen, S., Pechenizkiy, M. & Rasanen, P. (2007). Feedback adaptation in web-based learning systems. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning*, 17 (4/5), 337.
- Velten, S., Nitzschke, A., Nickolaus, R. & Walker, F. (2018). Die Fachkompetenzstruktur von Technikern für Elektrotechnik und Einflussfaktoren auf ihre Kompetenzentwicklung. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 6 (1).
- Walker, F. (2013). *Der Einfluss von Handlungsmöglichkeiten auf den Wissenserwerb bei der Durchführung technischer Experimente*: Dissertationsschrift. Zugriff am 19.07.2016. Verfügbar unter https://duepublico2.uni-due.de/receive/duepublico_mods_00032554
- Walker, F., Link, N., Waveren, L., Hedrich, M., Geißel, B. & Nickolaus, R. (2016). Berufsfachliche Kompetenzen von Elektronikern¹ für Automatisierungstechnik. Kompetenzdimensionen, Messverfahren und erzielte Leistungen (KOKO EA). In K. Beck, M. Landenberger & F. Oser (Hrsg.), *Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung. Ergebnisse aus der BMBF-Förderinitiative ASCOT* (Wirtschaft - Beruf - Ethik, Bd. 32, 1. Auflage, S. 139-169). Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag GmbH & Co. KG.
- Waveren, L. & Nickolaus, R. (2015). Struktur- und Niveaumodell des Fachwissens bei Elektronikern für Automatisierungstechnik am Ende der Ausbildung. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 3 (2).

- Weiber, R. & Mühlhaus, D. (2014). *Strukturgleichungsmodellierung. Eine anwendungsorientierte Einführung in die Kausalanalyse mit Hilfe von AMOS, SmartPLS und SPSS* (Springer-Lehrbuch, 2., erw. und korr. Aufl.). Berlin: Springer Gabler.
- Weinert, F. E. (Hrsg.). (2002). *Leistungsmessungen in Schulen* (Beltz Pädagogik, 2., unveränd. Aufl., Dr. nach Typoskript). Weinheim: Beltz.
- Weiß, R. H. & Weiß, B. (2006). *Grundintelligenztest Skala 2 - Revision (CFT Grundintelligenztest Skala 2. Revision ; CFT 20-R; Manual*. Göttingen: Hogrefe.
- West, S. G., Taylor, A. B. & Wu, W. (2012). Model fit and model selection in structural equation modeling. In R. H. Hoyle (Hrsg.), *Handbook of Structural Equation Modeling. Latent Variables in Structural Equation Modeling* (S. 209-231). New York London: Guilford.
- Wilhelm, O. & Nickolaus, R. (2013). Was grenzt das Kompetenzkonzept von etablierten Kategorien wie Fähigkeit, Fertigkeit oder Intelligenz ab? *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 16 (S1), 23-26.
- Wolters, C. A. (2004). Advancing Achievement Goal Theory: Using Goal Structures and Goal Orientations to Predict Students' Motivation, Cognition, and Achievement. *Journal of Educational Psychology*, 96 (2), 236-250.
- Xing, C. & Hall, J. A. (2015). Confirmatory Factor Analysis and Measurement Invariance Testing with Ordinal Data: An Application in Revising the Flirting Styles Inventory. *Communication Methods and Measures*, 9 (3), 123-151.
- Zimmerman, B. J. (Ed.). (1989). *Self-regulated learning and academic achievement. Theory, research, and practice* (Springer Series in Cognitive Development). New York, NY: Springer.
- Zinn, B. & Wyrwal, M. (2017). Berufsfachliche Kompetenzen zum Ende der Grundstufe in der Fachschule Bautechnik. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik (ZBW)*, 113 (2), S. 228-250.

9 Weitere Verzeichnisse

9.1 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 0.1: Aufbau der Arbeit – ein Überblick</i>	13
<i>Abbildung 1.1: Technische Zeichnung Zahnrad</i>	16
<i>Abbildung 1.2: Zeichnungsinterpretation eines Automobilzulieferers (Labisch & Weber, 2005, S.1)</i>	16
<i>Abbildung 1.3 Zukünftiger beruflicher Bedarf (Future skills supply and demand in Europe, 2012, S.27)</i>	17
<i>Abbildung 1.4: Überblick Grundstruktur von Forschungsprozessen (Hoffmann, 2012)</i>	20
<i>Abbildung 2.1 Operationalisierung im Gesamtkontext der Studie</i>	28
<i>Abbildung 2.2: Differenzierung Zeichnung, Plan, Schema und Skizze (Künne & Habne, 2012, S.8)</i>	30
<i>Abbildung 2.3: Informationen in Technischen Zeichnungen und Stücklisten (Fritz, 2016, S.156)</i>	31
<i>Abbildung 2.4: Lesen, Interpretieren und Referenzieren Technischer Zeichnungen (Künne & Habne, 2012, S.19)</i>	34
<i>Abbildung 2.5: Welle, Lager Gehäuse (Schellmann & Stephan, 2014, S.9)</i>	35
<i>Abbildung 2.6: Werkstoffschraffuren (Fritz, 2016, S.68)</i>	36
<i>Abbildung 2.7: Vollschnitt eines Zahnrads</i>	36
<i>Abbildung 2.8: Fehlerhafte Ableitung aus dem 3-D Modell</i>	37
<i>Abbildung 2.9: Schnittverlauf</i>	38
<i>Abbildung 2.10: Zeichnungsausschnitt aus der Testzeichnung inklusive Fehler</i>	39
<i>Abbildung 2.11: Teilschnitt Welle</i>	40
<i>Abbildung 2.12: Klappung um schräg liegende Körperkante (Fritz, 2016, S.67)</i>	40
<i>Abbildung 2.13: Innengewinde Schnitt (Fritz, 2016, S.71)</i>	40
<i>Abbildung 2.14: Säule (A)</i>	41
<i>Abbildung 2.15: PPIK-Theorie modifiziert für diese Studie (Ackerman, 1996, S.238)</i>	45
<i>Abbildung 2.16: Modell Arbeitsgedächtnis (Baddeley, 2000, S.421)</i>	49
<i>Abbildung 2.17: Cognitive-Load (van Merriënboer & Sweller, 2010, S.88)</i>	53
<i>Abbildung 2.18: Modifizierung der dualistischen Grundstruktur berufsfachlicher Kompetenz mit Referenz zu dieser Untersuchung (Nickolaus & Seeber, 2013, S.177-182; Nickolaus, 2011, S.333)</i>	56
<i>Abbildung 2.19: Strukturmodell berufsfachliche Kompetenz von Elektronikern für Automatisierungstechnik (Walker et al., 2016, S.161)</i>	58

<i>Abbildung 2.20: Hexagonales Interessensmodell (Holland, 1997, S.41ff.)</i>	68
<i>Abbildung 2.21: Konsistenz (A) und Inkonsistenz (B) hypothetischer Interessensprofile (Nagy, 2005, S.47)</i>	69
<i>Abbildung 2.22: Säule (B)</i>	71
<i>Abbildung 2.23: Das Dreischichtenmodell von Boekaerts (Götz & Ganser, 2006, S.11; Boekaerts, 1999, S.449)</i>	75
<i>Abbildung 2.24: Selbstregulierendes Lernen (Schiefele & Pekrun, 1996, S.271)</i>	77
<i>Abbildung 2.25: Lernarrangement der Studie</i>	78
<i>Abbildung 2.26: Leistung und Zielschwierigkeit (Latham & Locke, 1991, S.214)</i>	83
<i>Abbildung 2.27: Externale Ziele der Künsting-Studie (Künsting, 2007, S.63)</i>	85
<i>Abbildung 2.28: Künstings externale Ziele (Künsting, 2007, S.142)</i>	86
<i>Abbildung 2.29: Feedback Einteilung (Vasilyeva, Puuronen, Pechenizkiy & Rasanen, 2007, S.7)</i>	89
<i>Abbildung 2.30: Kybernetischer Regelkreis an Foellinger angelehnt (Foellinger, 1980, S.13)</i>	93
<i>Abbildung 2.31: Interner und externer Regelkreis bezüglich Feedback (Narciss, 2006, S.70)</i>	95
<i>Abbildung 2.32: Determinanten des Informationswerts von Feedback (Narciss, 2006, S.81)</i>	96
<i>Abbildung 2.33: ITF und Steigerung der Information</i>	103
<i>Abbildung 2.34: Säule (C) sowie Schnittstellen zu Säule (A) und (B)</i>	105
<i>Abbildung 2.35: Operationalisierung der Studie via Säule (A), (B) und (C)</i>	108
<i>Abbildung 3.1: Design und Durchführung im Gesamtkontext der Studie</i>	110
<i>Abbildung 3.2: Gütekriterien psychometrischer Tests (modifiziert und aktualisiert hinsichtlich Validität) (Lienert, 1969, S.12; Bühner, 2006, S.44)</i>	114
<i>Abbildung 3.3: PTT (links) und KTT (rechts) zu den Ermittlungsunterschieden hinsichtlich individuellen Merkmalsausprägungen (Walker, 2013, S.145)</i>	125
<i>Abbildung 3.4: IC-Funktion Rasch-Modell (Moosbrugger, 2012, S.239)</i>	126
<i>Abbildung 3.5: Rasch-Modell inklusive Lösungs- und Gegenwahrscheinlichkeit (Moosbrugger, 2012, S.237)</i>	129
<i>Abbildung 3.6: Konstante Tangentensteigung beim dichotomen Rasch-Modell (Moosbrugger, 2012, S.238)</i>	130
<i>Abbildung 3.7: Zusammenhänge zwischen Datenmatrix (manifeste Variable), mathematischem Modell und latenter Variablenschätzung (Walker, 2013, S.148)</i>	133
<i>Abbildung 3.8: Ablauf Prätest der Studie (Tag 1)</i>	144
<i>Abbildung 3.9: Ablauf Posttest der Studie (Tag 2)</i>	144
<i>Abbildung 3.10: Treatment der Studie</i>	145
<i>Abbildung 3.11: Lernschleife als organisatorischer Unterrichtsentwurf (Arnold & Mueller, 1993, S.323ff.)</i>	148
<i>Abbildung 5.1: Analysen zur Studie – Diskussion – Ausblick im Gesamtkontext der Studie</i>	158
<i>Abbildung 5.2: Darstellungsmöglichkeiten eines Strukturgleichungsmodells (Bollen & Hoyle, 2012, S.59)</i>	162

<i>Abbildung 5.3 Herangehensweise SEM (Kaplan, 2009, S.9)</i>	164
<i>Abbildung 5.4: 5 Kategorien entsprechen 4 Thresholds (Bollen & Curran, 2006, S.233)</i>	170
<i>Abbildung 5.5: Strukturmodell der hypothetisch angenommenen 6 Dimensionen im Vortest</i>	173
<i>Abbildung 5.6: Ausgabewarnung in Mplus7 bezüglich des hypothetischen sechsdimensionalen Modells des deklarativen Sachwissens</i>	174
<i>Abbildung 5.7: Korrelationen und Kovarianzen bezüglich des hypothetischen sechsdimensionalen Modells des deklarativen Sachwissens</i>	175
<i>Abbildung 5.8: Zweidimensionale Struktur des deklarativen Sachwissens (Vortest)</i>	176
<i>Abbildung 5.9: Dreidimensionale Struktur des deklarativen Sachwissens (Nachtest)</i>	176
<i>Abbildung 5.10: Fünfdimensionale Struktur der analytischen Problemlösekompetenz</i>	177
<i>Abbildung 5.11: Strict invariance der Dimension 4 Problemlösen Gruppe 1 USKH (X^2-Diff.Test-P-Value=.1931 / CFI=.991 / TLI=.992 / WRMR=1.512 / RMSEA=.028)</i>	183
<i>Abbildung 5.12: Strikte longitudinale partielle Invarianz der Gruppe 1 USKH Dimension 5 (X^2-Diff.Test-P-Value=.1772 / CFI=1.000 / TLI=1.019 / WRMR=.411 / RMSEA=.000)</i>	185
<i>Abbildung 5.13: Circumplex (A) vs. Quasi-Circumplex (B) (Nagy, 2005, S.88)</i>	192
<i>Abbildung 5.14: Kosinuskurve Circumplex (Nagy, 2005, S.91)</i>	192
<i>Abbildung 5.15: Referenzvariable (Nagy, 2005, S.95)</i>	193
<i>Abbildung 5.16: Annäherung der Korrelationsfunktion (Nagy, 2005, S.97)</i>	194
<i>Abbildung 5.17: Faktoranalytische Umsetzung der ZSPF (Nagy, 2005, S.98)</i>	195
<i>Abbildung 5.18: Darstellung von F_C und F_S (Nagy, 2005, S.100)</i>	195
<i>Abbildung 5.19: RIAESC</i>	197
<i>Abbildung 5.20: Strukturmodell Prättest und Schemadarstellung (RMSEA= .021 / CFI= .922 / TLI= .917 / WRMR= 1.059)</i>	204
<i>Abbildung 5.21: Strukturgleichungsmodell Posttest und Schemadarstellung (RMSEA= .022 / CFI= .916 / TLI= .914 / WRMR= 1.058)</i>	206
<i>Abbildung 5.22: Strukturmodell Prä- Posttest und Schemadarstellung (RMSEA = .023 / CFI= .911 / TLI= .914 / WRMR = 1.086)</i>	208
<i>Abbildung 5.23: Schematische Darstellung PPIK-Theorie</i>	209
<i>Abbildung 5.24: Bestätigung der Pfade von H_{5a}</i>	210
<i>Abbildung 5.25: Bestätigung der Pfade von H_{5b}</i>	210
<i>Abbildung 5.26: Pfade von I auf dekl. Sachw. bestätigt</i>	211
<i>Abbildung 5.27: Pfade IP und dekl. Sachwissen auf anal. Problemlösefähigkeit bestätigt</i>	212

9.2 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 2.1: Barrieretypen (Hussy & Selg, 1998, S.95; Dörner, 1976, S.14)</i>	61
<i>Tabelle 2.2: Taxonomie der Wissensbegriffe (Süß, 1996, S.66)</i>	64
<i>Tabelle 2.3: Wissensbegriffe von Süß für diese Untersuchung</i>	64
<i>Tabelle 2.4: Indikatoren zur Untersuchung von Feedbackeffekten (Narciss, 2006, S.93)</i>	100
<i>Tabelle 2.5: Beispiele Feedback zur Studie</i>	103
<i>Tabelle 3.1: Statistische Einheiten, Merkmale, Gesamtheiten (Fahrmeir et al., 2007, S.15)</i>	121
<i>Tabelle 3.2: Skalenniveaus im Überblick (Fahrmeir et al., 2007, S.18)</i>	121
<i>Tabelle 3.3: Merkmalstypen (Fahrmeir et al., 2007, S.20)</i>	122
<i>Tabelle 3.4: Beispiel relativ großer inhaltlicher Zusammenhang der Elemente (Item 1)</i>	135
<i>Tabelle 3.5: Auszug zur Veranschaulichung aus der Testbatterie dieser Untersuchung</i>	137
<i>Tabelle 3.6: Subtests CFT 20-R Teil 1 (Weiß & Weiß, 2006, S.18)</i>	139
<i>Tabelle 3.7: Kategorien zur Messung des Cognitive-Load (Brunken et al., 2003, S.55)</i>	142
<i>Tabelle 4.1: Übersicht der unabhängigen Variablen während der Durchführung</i>	152
<i>Tabelle 4.2: Tag 1 (ca. 3 Schulstunden = 146 min.)</i>	154
<i>Tabelle 4.3: Tag 2 (ca. 4 Schulstunden = 180 min.)</i>	156
<i>Tabelle 5.1: Umwandlung Nachtest deklaratives Sachwissen von Moodle in SPSS</i>	159
<i>Tabelle 5.2: Parameterbezeichnungen in der SEM (Little, 2013, S.75)</i>	163
<i>Tabelle 5.3: Modell-Fit-Indizes (Little, 2013, S.109-115) / *WRMR modifiziert (DiStefano, Liu, Jiang & Shi, 2018, S.453-466)</i>	166
<i>Tabelle 5.4: Theoriebegleitete Kombination der Dimensionen des deklarativen Sachwissens</i>	175
<i>Tabelle 5.5: Rohwerte direkt nach dem Modellvergleich ohne weitere Modifikation</i>	177
<i>Tabelle 5.6 Invarianzprüfung kategorialer dichotomer Daten (Edossa et al., 2018, S.193; Schroeders & Wilhelm, 2011, S.860)</i>	182
<i>Tabelle 5.7: Partielle strict invariance im Gruppenvergleich ein Überblick</i>	184
<i>Tabelle 5.8: Partielle strict invariance longitudinal im Vergleich</i>	186
<i>Tabelle 5.9: Longitudinale Mittelwerte im Vergleich (Messzeitpunkt 1 = 0 / Strikte Invarianz liegt vor!)</i>	189
<i>Tabelle 5.10: Longitudinale Mittelwertvergleiche der 4 Gruppen - Dimension 2 deklaratives Sachwissen (Messzeitpunkt 1 = 0 / Strikte Invarianz liegt vor!)</i>	190
<i>Tabelle 5.11: Korrelationen mit dem Cognitive-Load (RMSEA= .025 / CFI= .920 / TLI= .915 / WRMR= 1.082)</i>	190
<i>Tabelle 5.12: Ladungen von F_G (GEN), F_C (COS) und F_S (SIN) (fixierte Residualvarianz für I)</i>	196

Tabelle 5.13 Ladungen von F_G (GEN), F_C (COS) und F_S (SIN) (gleiche Faktorladungen)	198
Tabelle 5.14: Profilamplituden a im Vergleich	199
Tabelle 5.15: Gegenüberstellung der standardisierten Regressionen (β) aus Prä- und Posttest (**Hochsignifikant/ $p < .01$).	207

9.3 Formelverzeichnis

Formel 2.1: Bernoulligleichung (Sigloch, 2017, S.115)	47
Formel 3.1: Reliabilitätskoeffizient (Rost, 2004, S.38)	118
Formel 3.2: Wettquotient Rasch-Modell (Rost, 2004, S.117)	127
Formel 3.3: Logit der Wahrscheinlichkeit (Rost, 2004, S.117)	127
Formel 3.4: Lineare Funktion der Personenfähigkeit und der Itemschwierigkeit (Rost, 2004, S.119)	127
Formel 3.5: Rasch-Modell (Moosbrugger, 2012, S.236ff.; Rost, 2004, S.119; Bühner, 2006, S.318ff.)	129
Formel 3.6: Likelihood-Funktion allgemein (Moosbrugger, 2012, S.239; Rost, 2004, S.113)	131
Formel 3.7: Likelihood-Funktion Rasch-Modell (Moosbrugger, 2012, S.239; Rost, 2004, S.123; Bühner, 2006, S.337)	131
Formel 3.8: Randsummen sind für die Funktion relevant (Rost, 2004, S.124)	132
Formel 3.9: Marginale Likelihood-Funktion (Rost, 2004, S.128)	132
Formel 5.1: Comparative Fit Index (CFI) Prätestmodell aus Kapitel 5.8 (Kelloway, 2015, S.27; Brown, 2006, S.85; Byrne, 2012, S.70; Kline, 2011, S.208)	167
Formel 5.2: Tucker-Lewis Index (TLI) Prätestmodell aus Kapitel 5.8 (Kaplan, 2009, S.111; Brown, 2006, S.85f.)	167
Formel 5.3: RMSEA Prätestmodell aus Kapitel 5.8 (Little, 2013, S.109; Brown, 2006, S.83f.; Bühner, 2011, S.425; Byrne, 2012, S.74f.; Kline, 2011, S.205f.; Millsap, 2011, S.98)	168
Formel 5.4: WRMR (Reinecke, 2014, S.119; DiStefano et al., 2018, S.453ff.)	168
Formel 5.5: Kosinusfunktion (Nagy, 2005, S.92; Browne, 1992, S.471)	193
Formel 5.6: Fourierreihe mit einer Komponente (Nagy, 2005, S.96)	194
Formel 5.7: Profilorientierung (Nagy, 2005, S.104)	195
Formel 5.8: Profilamplitude (Nagy, 2005, S.104)	195

10 Anhang

Zur Person und beruflicher Werdegang

Eberhard Hüster wurde 1981 in Idar-Oberstein geboren.

Berufsausbildungen: zum Kfz-Mechaniker und zum staatl. gepr. Sportlehrer:

- 1997-2001 Kraftfahrzeugmechaniker (2001 Gesellenbrief der Handwerkskammer Koblenz).
- 2001-2003 staatl. gepr. Sportlehrer an der Europäischen Sportakademie in Trier (mit Erfolg bestanden).

Wehrdienst: 2001 bei der Luftlandeversorgungskompanie 260, Merzig.

Studiengänge: Dipl. Ing.- Maschinenbau Konstruktion / Entwicklung (FH) und Lehramt für berufsbildende Schulen (BBS) mit der Fächerkombination Metalltechnik und Sport:

- 2004-2009 Studium an der Fachhochschule Trier am Standort Birkenfeld (mit Erfolg bestanden).
- 2009-2011 Studium an der Technischen Universität Kaiserslautern (Prüfung 1. Staatsexamen für das Lehramt an BBS im Juni 2011 mit Erfolg bestanden).

Referendariat im Studienseminar Trier: Lehramt BBS mit der Fächerkombination Metalltechnik und Sport:

2011-2013 Referendar im Studienseminar Trier für das Lehramt an BBS mit der Fächerkombination Metalltechnik und Sport (Prüfung 2. Staatsexamen für das Lehramt an BBS im Mai 2013 mit Erfolg bestanden).

Werdegang als Lehrer des Landes Rheinland-Pfalz:

- 2013-2016 Studienrat auf Probe am BNT Trier mit den Fächern Metalltechnik und Sport.
- 2016-2021 Studienrat auf Lebenszeit am BNT Trier mit den Fächern Metalltechnik und Sport.
- Mit Wirkung vom 18.05.2021 Oberstudienrat am BNT Trier mit den Fächern Metalltechnik und Sport.

Wissenschaftlicher Werdegang:

Externe Promotion von 2016 bis 2023 im Fachbereich Sozialwissenschaften der RPTU Kaiserslautern-Landau auf dem Gebiet der Berufspädagogik. Gutachter waren Prof. Dr. Dr. h. c. Rolf Arnold und Jun. Prof. Dr. Hannes Saas. Tag der Disputation war Mittwoch, der 25.01.2023.

Aufgaben und (spezifische) Ziele der Lerneinheit

Sie sind Techniker in einem Konstruktionsbüro und bekommen vom Kunden bezüglich Ihres Kundenauftrags die Technische Zeichnung des Gehäuses der Baugruppe Antrieb reklamiert. Sind die Schnittdarstellungen in der Technischen Zeichnung korrekt dargestellt? Oder müsste der technische Zeichner die Schnittdarstellungen nochmal überarbeiten? Wenn Sie Darstellungsfehler erkennen, benennen Sie diese bitte und erklären dem technischen Zeichner adäquate Verbesserungsvorschläge nach DIN ISO 128-40, 128-44 und 128-50. Um dies umsetzen zu können versuchen sie folgende Ziele zu realisieren:

Tabelle 10.1: Aufgaben und Ziele der Lerneinheit

Lernen Sie bitte, wie parallele Schnittebenen in Schnittdarstellungen veranschaulicht werden. Legen Sie dabei bitte besondere Aufmerksamkeit darauf, ob die Schnittverlaufskante zwischen den parallel verlaufenden Schnittflächen in der Schnittdarstellung ebenfalls eingezeichnet wird.
Lernen Sie bitte, wie Schnittebenen in komplexen Schnittdarstellungen bezüglich runder Bauteile z. B. Flansche veranschaulicht werden. Legen Sie dabei bitte besondere Aufmerksamkeit darauf, ob die Schnittverlaufskante zwischen den Schnittflächen in der Schnittdarstellung ebenfalls eingezeichnet wird.
Lernen Sie bitte, mit welcher Linie die Schnittverlaufslinie komplexer Schnittverläufe dargestellt wird. Richten Sie dabei bitte das Augenmerk auf die zu verwendende Liniengruppe und Linienbreite sowie auf den zu verwendenden Linientyp.
Lernen Sie bitte, die Bedeutung der beiden Pfeile, die auf die Schnittverlaufslinie zeigen.
Lernen Sie bitte, ob Schnittdarstellungen grundsätzlich durch einen Schnittverlauf kenntlich gemacht werden müssen.

Lernen Sie bitte, wie der Schnittverlauf durch das Bauteil verläuft. Richten Sie dabei das Augenmerk darauf, ob der Schnittverlauf auch außerhalb des Bauteils verlaufen darf.
Lernen Sie bitte, wie Schnittdarstellungen um schrägliegende Körperkanten veranschaulicht werden.
Lernen Sie bitte, wie, wo und wann der Maßstab eines Schnitts angegeben wird.
Lernen Sie bitte, mit welchem Winkel die allgemeine Schraffur von Bauteilschnittflächen dargestellt wird.
Lernen Sie bitte, wie sich der Schraffurwinkel von Schnittflächen im Falle von aufeinanderstoßenden Schnittflächen z. B. bei einer Zusammenbauzeichnung verhält.
Lernen Sie bitte, welche Möglichkeiten sich für die Schraffur von Schnittflächen bezüglich des Werkstoffs ergeben und ob dies generell sinnvoll ist.
Lernen Sie bitte, wie sehr schmale Schnittflächen dargestellt werden.
Lernen Sie bitte, mit welcher Linie die Schraffur eingezeichnet wird. Gehen Sie besonders auf den Linientyp und die Linienbreite der zu verwendenden Liniengruppe ein.
Lernen Sie bitte, wie sich die Abstände der Schraffur bezüglich Bauteile unterschiedlicher Größe z. B. in der Zusammenbauzeichnung verhalten.
Lernen Sie bitte, was unter einem Halbschnitt bzw. Vollschnitt zu verstehen ist.
Lernen Sie bitte, was unter einem Teilschnitt zu verstehen ist. Richten Sie dabei bitte das Augenmerk auch auf den Linientyp und Linienbreite der Begrenzungslinie unter Berücksichtigung der zu verwendenden Liniengruppe.
Lernen Sie bitte, mit welchem Linientyp und mit welcher Linienbreite Körperkanten in Schnitten zusammenhängend mit der zu verwendenden Liniengruppe dargestellt werden.
Lernen Sie bitte, ob verdeckte Kanten in Schnittdarstellung Verwendung finden.
Lernen Sie bitte, ob volle Werkstücke z. B. Schrauben oder Wälzkörper eines Lagers in einer Schnittdarstellung ebenfalls geschnitten werden.
Lernen Sie bitte, welche Art von Bauteilen geschnitten wird und warum dies gegebenenfalls als sinnvoll angesehen werden kann.
Lernen Sie bitte, wann Baugruppen geschnitten in der Zusammenbauzeichnung dargestellt werden.
Lernen Sie bitte, ob es sinnvoll ist, möglichst viele Schnittansichten zu generieren.

Lernen Sie bitte das räumliche Vorstellen von Schnittdarstellungen dieser Zeichnung, indem Sie sich einen dreidimensionalen Körper aus den unterschiedlichen Schnittdarstellungen gedanklich generieren. Die Isometrische Ansicht über dem Schriftfeld dient Ihnen als Hilfestellung.

Beginnen Sie damit, die Ansichten der Schnitte (d. h. von welcher Seite Sie auf den Schnitt sehen) zu identifizieren.

Lernen Sie bitte das räumliche Vorstellen von Schnittdarstellungen dieser Zeichnung, indem Sie sich einen dreidimensionalen Körper aus den unterschiedlichen Schnittdarstellungen gedanklich generieren. Die Isometrische Ansicht über dem Schriftfeld dient Ihnen als Hilfestellung.

Als Zweites identifizieren Sie um welche Schnittart es sich handelt (z. B. Halbschnitt, Vollschnitt, komplexer Schnitt).

Lernen Sie bitte das räumliche Vorstellen von Schnittdarstellungen dieser Zeichnung, indem Sie sich einen dreidimensionalen Körper aus den unterschiedlichen Schnittdarstellungen gedanklich generieren. Die Isometrische Ansicht über dem Schriftfeld dient Ihnen als Hilfestellung.

Als Drittes identifizieren Sie die einzelnen Kanten im Schnitt bezüglich der Darstellung dieser in den anderen Ansichten.

Lernen Sie bitte wie Zahnräder im Schnitt dargestellt werden. Legen Sie dabei Ihr Augenmerk auf die Darstellung der Zähne.

Lernen Sie bitte wie Gewinde im Schnitt darzustellen sind. Richten Sie Ihre Aufmerksamkeit dabei u. a. darauf ob der Gewindeteil schraffiert wird oder nicht sowie auf die Linienbreite und den Linientyp der für die Gewindekontur verwendet wird.

Lernen Sie bitte, welche Schnitte gekennzeichnet werden und welche nicht.

Lernen Sie bitte alles zum Thema Schnittbezeichnungen. Richten Sie Ihre Aufmerksamkeit besonders darauf: Welche Schnitte überhaupt beschriftet werden und wie die Beschriftung von Schnitten auszusehen hat.

Lernen Sie bitte, wie ein komplexer Schnittverlauf benannt wird und welche Texthöhe für die Buchstaben erforderlich ist.

Aufgaben und (unspezifische) Ziele der Lerneinheit

Sie sind Techniker in einem Konstruktionsbüro und bekommen vom Kunden bezüglich Ihres Kundenauftrags die Technische Zeichnung des Gehäuses der Baugruppe Antrieb reklamiert. Sind die Schnittdarstellungen in der Technischen Zeichnung korrekt dargestellt? Oder müsste der technische Zeichner die Schnittdarstellungen nochmal überarbeiten? Wenn Sie Darstellungsfehler erkennen, benennen Sie diese bitte und erklären dem technischen Zeichner adäquate Verbesserungsvorschläge nach DIN ISO 128-40, 128-44 und 128-50. Um dies umsetzen zu können versuchen sie folgende Ziele zu realisieren:

Tabelle 10.2: Aufgaben und Ziele der Lerneinheit

Lernen Sie bitte alles über Schnittverläufe nach DIN in Technischen Zeichnungen.
Lernen Sie bitte alles zum Thema Maßstabsangabe von Schnitten.
Lernen Sie bitte alles über die Schraffur von Schnittflächen in Technischen Zeichnungen nach DIN.
Lernen Sie bitte alles über Schnittmöglichkeiten bzw. Schnittarten.
Lernen Sie bitte alles zum Thema Körperkanten in Schnitten.
Lernen Sie bitte Gründe für Schnittdarstellungen bzw. Gründe auf das Schneiden von Bauteilen zu verzichten.
Lernen Sie bitte das räumliche Vorstellen von Schnittdarstellungen dieser Zeichnung, indem Sie sich gedanklich einen dreidimensionalen Körper aus den unterschiedlichen Schnittdarstellungen generieren. Die Isometrische Ansicht über dem Schriftfeld dient Ihnen als Hilfestellung.
Lernen Sie bitte wie Zahnräder im Schnitt dargestellt werden.
Lernen Sie bitte wie Gewinde im Schnitt darzustellen sind.
Lernen Sie bitte alles zum Thema Schnittbezeichnungen

Der Fragebogen zur Erfassung der internalen Zielorientierungen (experimentelle Studie)

Hallo liebe Studierende, hallo lieber Studierender,

auf Seite 1 und 2 finden Sie Aussagen dazu, welche Ziele man bei der Bearbeitung oder Auswahl von Aufgaben haben kann – Dazu zwei gleichwertige Beispiele:

1. Einerseits kann man das Ziel haben, die Lösung von Aufgaben herbeizuführen. Dann will man das gewünschte Ergebnis von Aufgaben erreichen.
2. Andererseits kann man das Ziel haben, etwas über Aufgaben zu lernen. Dann will man neues Wissen über Aufgaben und den Lösungsweg erwerben.

Welche Ziele haben Sie, wenn Sie Aufgaben bearbeiten oder auswählen? Machen Sie dazu bei jeder Aussage immer nur ein Kreuz für das, was am ehesten auf Sie zutrifft. Alle folgenden Aussagen sind gleichwertig und Ihre Daten bleiben anonym.

Viel Spaß! 😊

Tabelle10.3: Fragebogen zur Erfassung der internalen Zielorientierungen (Künsting, 2007, S.208 ff.)

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
Ich suche oft nach Gelegenheiten, um mein Wissen und meine Fertigkeiten zu erweitern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Meine Fertigkeiten und mein Wissen bei Aufgaben zu erweitern zählt für mich mehr als die eigentliche Lösung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das zügige Lösen von Aufgaben ist mir wichtiger als alles zu verstehen und mir zu merken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etwas über den Lösungsweg von Aufgaben zu lernen ist mir wichtiger als die Lösung zügig herbeizuführen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aufgaben gehe ich an, um sie zu lösen und nicht, um neue Kenntnisse zu gewinnen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bevorzuge Aufgaben, bei denen ich anderen meine Fähigkeiten zeigen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Aufgaben gehe ich mit dem Ziel an, sie möglichst direkt und schnell zu lösen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alles zu verstehen und zu behalten ist mir bei Aufgaben wichtiger als sie zügig zu lösen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei einer Aufgabe konzentriere ich mich auf das gewünschte Ergebnis und nicht auf den Lösungsweg.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei Aufgaben konzentriere ich mich darauf, etwas über den Lösungsweg zu lernen und nicht auf das gewünschte Ergebnis.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich suche mir stets herausfordernde Aufgaben, bei denen ich viel lernen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mir ist es wichtiger zu vermeiden dumm da zustehen als etwas Neues zu lernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mir machen herausfordernde und schwierige Aufgaben Spaß, bei denen ich etwas Neues lernen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mir machen Aufgaben Spaß, bei denen es in erster Linie darauf ankommt, das Ergebnis zu erreichen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aufgaben bearbeite ich, um sie zu lösen und nicht, um mein Wissen zu erweitern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich versuche herauszufinden, was ich tun muss, um anderen meine Fähigkeiten zu zeigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etwas über Aufgaben zu lernen ist mir wichtiger als der Nutzen durch ihre Lösung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich gehe eine neue Aufgabe nicht an, wenn ich dabei inkompetent wirken könnte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für mich ist es wichtig, dass ich eine bessere Leistung zeige als andere.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bei Aufgaben reizt es mich mehr etwas zu lernen als die Lösung herbeizuführen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei neuen Aufgaben verfolge ich in erster Linie das Ziel, den Ergebniszustand herbeizuführen anstatt etwas hinzuzulernen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich bin beunruhigt, wenn sich bei einer Aufgabe zeigen könnte, dass meine Fähigkeiten nicht ausreichen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei neuen Aufgaben zählt für mich die erfolgreiche Lösung mehr als etwas Neues zu erfahren.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich vermeide Aufgaben, bei denen ich schlecht abschneiden könnte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich mag es, wenn andere merken, wie gut ich bin.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Zuordnung der Items zu den vier Skalen:

1. Lernzielorientierung: Items 1, 2, 4, 8, 10, 11, 13, 17, 20, 2.
2. Problemlösezielorientierung: Items 3, 5, 7, 9, 14, 15, 21, 23, 3.
3. Annäherungs-Leistungszielorientierung: Items 6, 16, 25.
4. Vermeidungs-Leistungszielorientierung: Items 12, 18, 22, 24.

Der Fragebogen zur Erfassung des *Cognitive-Load* (experimentelle Studie)

Liebe Studierende, lieber Studierender,

vielen Dank, dass Sie in den letzten 20 Minuten die Aufträge als Techniker in der Konstruktionsabteilung ausgeführt haben! Bei den folgenden Fragen sollten Sie einschätzen, wie beanspruchend oder anstrengend die Aufträge waren, die für Sie ausgeteilt wurden. Machen Sie pro Frage immer nur ein Kreuz für das, was am ehesten auf Sie zutrifft.

Tabelle 10.4: Fragebogen zur Erfassung des *Cognitive-Load* (Künsting, 2007, S.211)

1. In die Lösung oder Bearbeitung der vorangegangenen Aufträge investierte ich:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7
Geringe Anstrengung				Hohe Anstrengung		

2. Die vorangegangenen Aufträge fand ich:

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7
einfach				schwer		

3. Wie einfach oder schwer waren die vorangegangenen Aufträge zu verstehen?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7
einfach				schwer		

4. Wie stark haben die Aufträge deine unmittelbar-gründliche Aufmerksamkeit erfordert?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7
kaum				sehr stark		

5. Wie stark haben die Aufträge bei dir Zeitdruck verursacht?

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	2	3	4	5	6	7
kaum				sehr stark		

Erfassung demografischer Daten und des Interesses am Schulfach Technik (in Anlehnung an Baumert et al.,1986; in beiden vorliegenden Studien verwendet)

Auf diesem Blatt Sollten Sie zunächst unter Punkt 1 Angaben zu Ihrer Person machen. Unter Punkt 2 finden Sie sechs Aussagen, mit denen wir Ihr Interesse am Modul Dokumentieren von Bauteilen und Baugruppen erfragen möchten. Machen Sie pro Aussage immer nur ein Kreuz für das, was am ehesten auf Sie zutrifft. Alle Daten werden anonym behandelt.

1. Angaben zu Ihrer Person: Wie alt sind Sie? _____

Kreuzen Sie hier Ihr Geschlecht an: weiblich: männlich:

Tragen Sie hier Ihre letzte Zeugnisnote für die folgenden Fächer ein:

Technik: Mathematik: Deutsch: Englisch:

2. Angaben zu Ihrem Interesse am Modul Dokumentieren von Bauteilen und Baugruppen :

Tabelle 10.5: Erfassung demografischer Daten und des Interesses am Modul Dokumentieren von Bauteilen und Baugruppen (Künsting, 2007, S. 221)

Aussage	Trifft völlig zu	Trifft eher zu	Trifft eher nicht zu	Trifft gar nicht zu
Mir liegt viel daran, über das Modul Dokumentieren von Bauteilen und Baugruppen viel zu wissen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Es ist für mich persönlich wichtig, das im Modul Dokumentieren von Bauteilen und Baugruppen Gelernte zu behalten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich freue mich auf den Unterricht im Modul Dokumentieren von Bauteilen und Baugruppen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Im Modul Dokumentieren von Bauteilen und Baugruppen würde ich gern mehr Unterricht haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Das Modul Dokumentieren von Bauteilen und Baugruppen gehört für mich zu den wichtigen Modulen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mein Interesse am Modul Dokumentieren von Bauteilen und Baugruppen ist hoch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tabelle 10.6: Itemkatalog (Testbatterie) dieser Untersuchung

1	Item Schnittverläufe
Unspezifische Lernziele	Lernen Sie bitte alles über Schnittverläufe nach DIN in Technischen Zeichnungen.
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, wie parallele Schnittebenen in Schnittdarstellungen veranschaulicht werden. Legen Sie dabei bitte besondere Aufmerksamkeit darauf, ob die Schnittverlaufskante zwischen den parallel verlaufenden Schnittflächen in der Schnittdarstellung ebenfalls eingezeichnet wird.
Frage Feedbacktest (W/F)	Parallel verlaufende Schnittebenen werden in der Schnittansicht in einer Ebene liegend gezeichnet. Dabei wird die Kante, die aus dem Schnittverlauf bezüglich des Versatzes der beiden Schnittflächen entsteht nicht gezeichnet. Davon ausgehend ist in zwei Schnittdarstellungen der Zeichnung jeweils eine Kante zu viel eingezeichnet.
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	1. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 66 noch einmal durch. 2. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen den Absatz 3 auf der S. 66 noch einmal durch.
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	1. Feedbackphase -Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen. -Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufe. 2. Feedbackphase -Suchen Sie unter Schnittverläufen im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht. -Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.
Deklaratives Sachwissen	Werden bei einem komplexen Schnittverlauf parallel verlaufende Schnittebenen in der Schnittdarstellung so dargestellt, als ob sie in einer Ebene Liegen würden? W) Parallel verlaufende Schnittebenen werden in der Schnittansicht in einer Ebene liegend gezeichnet. Dabei wird die Kante, die aus dem Schnittverlauf bezüglich des Versatzes der beiden Schnittflächen entsteht nicht gezeichnet. F)Nein, schließlich liegen die Schnittebenen nicht in einer Ebene und müssen somit real gezeichnet werden. F)Ja, dabei werden alle Kanten, die durch den Schnittverlauf entstehen eingezeichnet. F) Nein, dabei werden alle Kanten, die durch den Schnittverlauf entstehen eingezeichnet. E) Weiß nicht.

Analytische Problemlösekompetenz	<p>Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>1. Fehler in C-C (Vier Kanten durch den Schnitt zu viel drin)</p> <p>1.1 Kante zu viel</p> <p>1.2 Kante zu viel</p> <p>1.3 Kante zu viel</p> <p>1.4 Kante zu viel</p> <p>Ursache : Darstellungsfehler aus dem 3-D Modell. Der Schnitt wird 1:1 übernommen und nicht an die DIN angepasst. Entsprechend erfordert dies eine manuelle Korrektur des Experten (z. B Maschinenbautechniker).</p> <p>Fehlertyp 2/ abhängig</p>	<p>Referenz zur Übungszeichnung</p> <p>1. Fehler in A-A und in der Schnittansicht rechts unten (Zwei Kanten durch den Schnitt zu viel drin)</p> <p>1.1 Kante zu viel</p> <p>1.2 Kante zu viel</p> <p>Ursache : Darstellungsfehler aus dem 3-D Modell. Der Schnitt wird 1:1 übernommen und nicht an die DIN angepasst. Entsprechend erfordert dies eine manuelle Korrektur des Experten (z. B Maschinenbautechniker).</p> <p>Fehlertyp 2/ unabhängig</p>
2	Item Schnittverläufe	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, wie Schnittebenen in komplexen Schnittdarstellungen bezüglich runder Bauteile z. B. Flansche veranschaulicht werden. Legen Sie dabei bitte besondere Aufmerksamkeit darauf, ob die Schnittverlaufskante zwischen den Schnittflächen in der Schnittdarstellung ebenfalls eingezeichnet wird.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Auch um einen Winkel versetzte Schnittflächen über die Mitte z. B. geschnittener Flansch, verlaufen beim komplexen Schnittverlauf in einer Ebene. Dabei wird die Kante, welche aus dem Schnittverlauf entsteht, nicht gezeichnet.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 66 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen den 2. und 3. Absatz der S. 66 noch einmal durch.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufe.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>-Suchen Sie unter Schnittverläufen im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	

Deklaratives Sachwissen	<p>Komplexer Schnittverlauf runder Körper z. B. Flansch durch den Mittelpunkt.</p> <p>W) Die Schnittflächen des runden Körpers z. B. Flansch werden in eine Ebene geklappt, so dass der Durchmesser des runden Körpers in der Schnittdarstellung erhalten bleibt.</p> <p>F) Die Pfeile signalisieren die Blickrichtung, die Schnittflächen werden dabei nicht in eine Ebene geklappt.</p> <p>F) Runde Körper z. B. Flansch werden grundsätzlich im Halb- bzw. Vollschnitt dargestellt.</p> <p>F) Die Schnittflächen des runden Körpers werden nicht in eine Ebene geklappt, dabei kann sich der Durchmesser aufgrund der Schnittdarstellung verkleinern.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-
3	Item Schnittverläufe	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, mit welcher Linie die Schnittverlaufslinie komplexer Schnittverläufe dargestellt wird. Richten Sie dabei bitte das Augenmerk auf die zu verwendende Liniengruppe und Linienbreite sowie auf den zu verwendenden Linientyp.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Die Schnittverlaufslinie in der Zeichnung muss mit der 0,5er Strich-Punktlinie dargestellt werden.	
Feedback <i>Knowledge on meta-cognition</i> (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen S. 24-26 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Schlagen Sie zu diesem Thema im Hoischen die Tabelle auf der S. 24, die Tabelle auf der S. 25 und das erste Zeichnungsbeispiel auf der S.26 nach.</p>	
Feedback <i>Knowledge on how to proceed</i> (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Linienarten.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Linienbreite und Linientyp.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>-Suchen Sie unter Linienarten im entsprechenden Kapitel des Hoischen, das entsprechende Bild. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	

Deklaratives Sachwissen	<p>Mit welcher Linie wird ein Schnittverlauf bezüglich der verwendeten 0,5er Liniengruppe gezeichnet?</p> <p>W) Strichpunktlinie, breit, 0,5mm. F) Vollinie, breit, 0,5mm F) Strichpunktlinie, schmal, 0,25mm. F) Vollinie, breit, 0,7mm. E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>3 Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>Fehler: Der Schnittverlauf in der Baugruppenzeichnung C-C besitzt die Linienbreite 0,25mm statt 0,5mm.</p> <p>Ursache: Falsche Einstellungen der Layer</p> <p>Fehlertyp 1 unabhängig</p>	<p>3 Referenz zur Übungszeichnung</p> <p>Fehler : (falscher Bemaßungsstil). Der Schnittverlauf in der Gehäusezeichnung A-B besitzt die Linienbreite 0,25mm statt 0,5mm.</p> <p>Ursache: Falsche Einstellungen der Layer</p> <p>Fehlertyp 1 unabhängig</p>
4	Item Schnittverläufe	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, die Bedeutung der beiden Pfeile, die auf die Schnittverlaufslinie zeigen.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Die Pfeile des Schnittverlaufs AB sind korrekt nach DIN dargestellt.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 66 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 2 der S. 66 noch einmal durch.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufe.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie unter Schnittverläufen im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild mit den Pfeilen auf den Schnittverlauf. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	

Deklaratives Sachwissen	<p>Wie wird die Blickrichtung eines Halbschnitts gekennzeichnet.</p> <p>W) Ein Halbschnitt ist eindeutig erkennbar, somit auch die Blickrichtung.</p> <p>F) Durch zwei Pfeile, die auf den Schnittverlauf zeigen.</p> <p>F) Durch eine Schnittverlaufslinie.</p> <p>F) Durch die verwendeten Großbuchstaben in der Schnittbezeichnung.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>4 Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>Fehler: Die Pfeile des Schnittverlaufs C-C in der Baugruppenzeichnung entsprechen nicht der DIN.</p> <p>4.1 Links</p> <p>4.2 Rechts</p> <p>Ursache: Fehlerhafte Einstellungen im entsprechenden Stilmenü des CAD-Programms.</p> <p>Fehlertyp 1 abhängig</p>	<p>4 Referenz zur Übungszeichnung</p> <p>Fehler: Die Pfeile des Schnittverlaufs A-B in der Gehäusezeichnung entsprechen nicht der DIN.</p> <p>1.1 Links</p> <p>1.2 Rechts</p> <p>Ursache: Fehlerhafte Einstellungen im entsprechenden Stilmenü des CAD-Programms.</p> <p>Fehlertyp 1 abhängig</p>
5	Item Schnittverläufe	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, ob Schnittdarstellungen grundsätzlich durch einen Schnittverlauf kenntlich gemacht werden müssen.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Der Schnittverlauf wird eingezeichnet, wenn er nicht eindeutig erkennbar ist. So wie beim Schnitt A-B der vorliegenden Zeichnung.	
Feedback <i>Knowledge on meta-cognition</i> (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen S. 24-26 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Schlagen Sie zu diesem Thema im Hoischen die Tabelle auf der S. 24, die Tabelle auf der S. 25 und das erste Zeichnungsbeispiel auf der S.26 nach.</p>	
Feedback <i>Knowledge on how to proceed</i> (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <ul style="list-style-type: none"> -Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen. -Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufe. <p>2. Feedbackphase</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suchen Sie im Hoischen unter Schnittverläufen im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild eines Schnitts ohne Schnittverlauf. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht. -Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut. 	

Deklaratives Sachwissen	<p>Welche Schnitte erhalten eine Schnittverlaufslinie?</p> <p>W) Komplexe Schnittverläufe. F) Alle Schnittdarstellungen. F) Vollschnitt. F) Halbschnitt. E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>5 Schnittbenennung ist falsch Die Benennung des ersten Schnitts mit C-C entspricht nicht der DIN. 5.1 Schnittbuchstabe links 5.2 Schnittbuchstabe rechts Ursache: Versehentliches Setzen und Löschen von Schnitten Fehlertyp 1 abhängig</p>	<p>5 Schnittbenennung ist falsch Die Benennung des ersten Schnitts mit A-B entspricht nicht der DIN. 1.1 A 1.2 B Ursache: Versehentliches Setzen und Löschen von Schnitten Fehlertyp 1 abhängig</p>
6	Item Schnittverläufe	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, wie der Schnittverlauf durch das Bauteil verläuft. Richten Sie dabei das Augenmerk darauf, ob der Schnittverlauf auch außerhalb des Bauteils verlaufen darf.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Wenn es notwendig ist, darf der Schnittverlauf außerhalb des Bauteils verlaufen.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase Lesen Sie dazu die S. 67.</p> <p>2. Feedbackphase Lesen Sie dazu den letzten Satz auf der S. 67.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase -Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen. -Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufe.</p> <p>2. Feedbackphase - Suchen Sie im Hoischen unter Schnittverläufen im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild eines Schnittverlaufs, der außerhalb des Bauteils verläuft . Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht. -Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	

Deklaratives Sachwissen	<p>Darf ein Schnittverlauf außerhalb des Bauteils verlaufen?</p> <p>W) Ja, wenn es notwendig ist.</p> <p>F) Ja, allerdings ausschließlich beim Halbschnitt</p> <p>F) Ja, dies kann grundsätzlich nach Belieben so gemacht werden.</p> <p>F) Nein, der Schnitt muss durch das Bauteil verlaufen.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-
7	Item Schnittverläufe	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, wie Schnittdarstellungen um schrägliegende Körperkanten veranschaulicht werden.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Schnitte können um schräg liegende Kanten geklappt werden, um schiefe Projektionen zu vermeiden.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 67 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 3 der S. 67 noch einmal durch.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufe.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie unter Schnittverläufen im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild eines Schnitts, der um eine schräge Körperkante geklappt dargestellt wird. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	

Deklaratives Sachwissen	<p>Wie werden Schnittdarstellungen um schrägliegende Körperkanten veranschaulicht?</p> <p>W) Schnitte können um schrägliegende Kanten geklappt werden, um schiefe Projektionen zu vermeiden.</p> <p>F) Schnitte können um schräg liegende Kanten in einer Detailansicht dargestellt werden.</p> <p>F) Durch entsprechende Projektionen.</p> <p>F) Schnitte können nicht um schrägliegende Körperkanten gesetzt werden.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-
8	Item Maßstabsangabe	
Unspezifische Lernziele	Lernen Sie bitte alles zum Thema Maßstabsangabe von Schnitten.	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, wie, wo und wann der Maßstab eines Schnitts angegeben wird.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Der Schnitt erhält grundsätzlich eine Maßstabsangabe, somit sind auch in dieser Zeichnung zusätzliche Maßstabsangaben erforderlich.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 21 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 21 letzter Abschnitt noch einmal durch.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Maßstab.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Maßstäbe.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>-Lesen Sie den Text zum Thema Maßstäbe in Ruhe durch.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	

Deklaratives Sachwissen	<p>Wann erfolgt die Maßstabsangabe eines Schnitts</p> <p>W) Wenn der Maßstab vom verwendeten Zeichnungsmaßstab im Schriftfeld abweicht.</p> <p>F) Der Maßstab wird grundsätzlich als Zusatz der Schnittdarstellung angegeben.</p> <p>F) In der Schnittdarstellung wird der Maßstab grundsätzlich nicht angegeben, da der Maßstab im Schriftfeld steht.</p> <p>F) Die Schnittdarstellung orientiert sich bezüglich des Maßstabs an der zugehörigen Ansicht.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>8 Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>Fehler: In der Baugruppenzeichnung (Ansicht 2) muss die Maßstabsangabe korrigiert werden, da der Maßstab dem im Schriftfeld widerspricht.</p> <p>Ursache: In den Voreinstellungen wird der Maßstab grundsätzlich angegeben. Entsprechend bedarf es einer fachgerechten Manipulation.</p> <p>Fehlertyp 1 unabhängig</p>	<p>8 Referenz zur Übungszeichnung</p> <p>Fehler: In der Gehäusezeichnung darf keine Maßstabsangabe erfolgen, da der Maßstab der Ansichten dem im Schriftfeld entspricht.</p> <p>Ursache: In den Voreinstellungen wird der Maßstab grundsätzlich angegeben. Entsprechend bedarf es einer fachgerechten Manipulation.</p> <p>Fehlertyp 1 unabhängig</p>
9	Item Schraffur von Schnittflächen	
Unspezifische Lernziele	Lernen Sie bitte alles über die Schraffur von Schnittflächen in Technischen Zeichnungen nach DIN	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, mit welchem Winkel die allgemeine Schraffur von Bauteilschnittflächen dargestellt wird.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Geschnittene Flächen werden mit einer Schraffur im Winkel von 45° gezeichnet. Dies müsste in der vorliegenden Zeichnung entsprechend korrigiert werden.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 64 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 4 der S. 64 noch einmal durch.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <ul style="list-style-type: none"> -Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen. -Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittdarstellung. <p>2. Feedbackphase</p> <ul style="list-style-type: none"> -Suchen Sie im Hoischen unter Schnittdarstellung im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild eines Schnitts mit entsprechendem Schraffurschwerpunkt. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht. -Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut. 	

Deklaratives Sachwissen	<p>Wie werden die Schnittflächen eines Bauteils in der Schnittdarstellung veranschaulicht?</p> <p>W) Die Schnittflächen werden durch eine Schraffur im konstanten Winkel von 45° veranschaulicht.</p> <p>F) Die Schnittflächen werden durch eine Schraffur mit einem nach der Flächengröße variierenden Winkel veranschaulicht.</p> <p>F) Die Schnittflächen werden durch eine Schraffur mit einem nach der Flächengröße variierenden Abstand bei einem konstanten Winkel von 45° veranschaulicht.</p> <p>F) Schnittflächen werden durch die Schnittverlaufslinie veranschaulicht.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	<p>9 Referenz zur Übungszeichnung Fehler: Die Schraffurwinkel der Schnittflächen in der Gehäusezeichnung entsprechen größtenteils nicht 45° bzw. 135°.</p> <p>9.1 Schraffur Teilschnitt Seitenansicht</p> <p>9.2 Schraffur Schnitt neben der Draufsicht</p> <p>Ursache: Die Schraffur muss der Norm z. B. über bearbeiten entsprechend angepasst werden, da hier die Ansi Norm eingestellt ist.</p> <p>Fehlertyp 1/ abhängig</p>
10	Item Schraffur von Schnittflächen	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, wie sich der Schraffurwinkel von Schnittflächen im Falle von aufeinanderstoßenden Schnittflächen, z. B. bei einer Zusammenbauzeichnung, verhält.	
Frage Feedbacktest (W/F)	In der Zusammenbauzeichnung erhalten unterschiedliche Bauteile einen anderen Schraffurwinkel.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 64 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 5 der S. 64 noch einmal durch.</p>	

Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittdarstellung.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie unter Schnittdarstellung im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild eines Schnitts mit entsprechend gegenläufiger Schraffur. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Wie werden große Schnittflächen dargestellt?</p> <p>W) Es besteht die Möglichkeit einer Schraffurbeschränkung auf die Umrissezonen der Schnittflächen.</p> <p>F) Wie jede Schnittfläche mit einer Schraffur von 45°.</p> <p>F) Wie jede Schnittfläche mit einer Schraffur von 35°.</p> <p>F) Große Schnittflächen müssen entsprechend verkleinert dargestellt werden.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-
11	Item Schraffur von Schnittflächen	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, welche Möglichkeiten sich für die Schraffur von Schnittflächen bezüglich des Werkstoffs ergeben und ob dies generell sinnvoll ist.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Aus der Schraffurart geht grundsätzlich der verwendete Werkstoff hervor, wie in der vorliegenden Zeichnung zu erkennen ist.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 68 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen den letzten Abschnitt auf der S. 68 noch einmal durch.</p>	

Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schraffuren.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie unter Schnittdarstellung und der Überschrift Schraffuren das entsprechende Bild unterschiedlicher Schraffurarten. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Werden die Schnittflächen unterschiedlicher Bauteile mit verschiedenen Werkstoffen einer Baugruppenzeichnung unterschiedlich schraffiert?</p> <p>W) Ja, allerdings nur, wenn es zur Übersicht notwendig ist. Dabei werden die Werkstoffe zusätzlich im Schriftfeld bzw. in der Stückliste angegeben.</p> <p>F) Nein, der entsprechende Werkstoff steht schließlich im Schriftfeld bzw. in der Stückliste.</p> <p>F) Ja, somit kann auf die Werkstoffangabe im Schriftfeld bzw. in der Stückliste verzichtet werden.</p> <p>F) Ja, allerdings geschieht dies in der Einzelteilzeichnung. Dadurch ist der Werkstoff sofort ersichtlich.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-
12	Item Schraffur von Schnittflächen	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, wie sehr schmale Schnittflächen dargestellt werden.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Schmale Schnittflächen werden in einer Detailansicht gezeichnet um die Schraffur darzustellen.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 64 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 7 der S. 64 noch einmal durch.</p>	

Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittdarstellung.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie im Hoischen unter Schnittdarstellung im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild eines Schnitts mit entsprechend dünnen Schnittflächen. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Wie werden schmale Schnittflächen gezeichnet?</p> <p>W) Sie werden geschwärzt dargestellt.</p> <p>F) Wie jede Schnittfläche mit einer Schraffur von 45°.</p> <p>F) Wie jede Schnittfläche mit einer Schraffur von 35°.</p> <p>F) Dünne Schnittflächen müssen entsprechend vergrößert dargestellt werden.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-
13	Item Schraffur von Schnittflächen	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, mit welcher Linie die Schraffur eingezeichnet wird. Gehen Sie besonders auf den Linientyp und die Linienbreite der zu verwendenden Liniengruppe ein	
Frage Feedbacktest (W/F)	Die Linienbreite der Schraffur von Schnittflächen im Maschinenbau beträgt 0,25mm und gehört damit zur 0,5er Liniengruppe. Dies wurde in der vorliegenden Zeichnung so umgesetzt.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 24 und 25 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die Tabelle S. 24 und die Tabelle 25.</p>	

Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase -Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Linienarten. Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Linienarten.</p> <p>2. Feedbackphase - Suchen Sie im Hoischen unter Linienarten in der entsprechenden Tabelle Linien für Schraffuren. -Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Mit welcher Linie werden Schraffuren in Schnitten bezüglich der verwendeten 0,5er Liniengruppe gezeichnet?</p> <p>W) Vollinie, schmal, 0,25mm. F) Vollinie, breit, 0,35mm. F) Strichlinie, schmal, 0,25mm. F) Vollinie, schmal, 0,18mm. E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	<p>13 Referenz zur Übungszeichnung</p> <p>Fehler: Im Teilschnitt der Seitenansicht vom Gehäuse beträgt die Linienbreite der Schraffur 0,5mm statt 0,25mm.</p> <p>Ursache: Nicht DIN konforme Linieneinstellung der Schraffur über die Layer.</p> <p>Fehlertyp 1/ unabhängig</p>
14	Item Schraffur von Schnittflächen	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, wie sich die Abstände der Schraffur bezüglich Bauteile unterschiedlicher Größe z. B. in der Zusammenbauzeichnung verhalten.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Der Abstand der Schraffur geschnittener Bauteile im Zusammenbau nimmt bei kleineren Bauteilen ab.	
Feedback Knowledge on metaognition (KH)	<p>1. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 64 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 5 der S. 64 noch einmal durch.</p>	

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)</p>	<p>1. Feedbackphase</p> <ul style="list-style-type: none"> -Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen. -Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittdarstellung. <p>2. Feedbackphase</p> <ul style="list-style-type: none"> - Suchen Sie unter Schnittdarstellung im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild unterschiedlicher Schraffurabstände zweier Bauteile. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht. -Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Deklaratives Sachwissen</p>	<p>Mit welcher Linie werden Schraffuren in Schnitten bezüglich der verwendeten 0,5er Liniengruppe gezeichnet?</p> <ul style="list-style-type: none"> W) Vollinie, schmal, 0,25mm. F) Vollinie, breit, 0,35mm. F) Strichlinie, schmal, 0,25mm. F) Vollinie, schmal, 0,18mm. E) Weiß nicht.

Analytische Problemlösekompetenz	<p>14 Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>Fehler: Dies betrifft:</p> <p>14.1 Kolben im linken Teilschnitt der Ansicht 2 Schraffur fehlt</p> <p>Fehlertyp 2/ unabhängig</p> <p>14.2 Pleulunterseite im rechten Teilschnitt der Ansicht 2 (Schraffur falsch)</p> <p>Fehlertyp 1/ abhängig</p> <p>14.3 Pleulunterseite in der Schnittansicht C-C (Schraffur fehlt)</p> <p>Fehlertyp 2/ unabhängig</p> <p>14.4 Kolben im Halbschnitt (Schraffur fehlt)</p> <p>Fehlertyp 2/ abhängig</p> <p>14.5 Pleulunterseite im Halbschnitt (Schraffur fehlt)</p> <p>Fehlertyp 2/ abhängig</p> <p>14.6 Kolben im oberen Teilschnitt von Schnitt1 (Schraffur fehlt)</p> <p>Fehlertyp 2/ unabhängig</p> <p>14.7 Pleuloberseite im unteren Teilschnitt von Schnitt 1 (Schraffur falsch)</p> <p>Fehlertyp 1/ abhängig</p> <p>14.8 Schraffur Pleuloberseite in der Ansicht 2 falsch</p> <p>Fehlertyp 1/ abhängig</p> <p>Ursache : Die Schraffur muss der Norm z. B. über Bearbeiten entsprechend angepasst werden, da hier die Ansi Norm eingestellt ist.</p>	-
15	Item Schnittarten	
Unspezifische Lernziele	Lernen Sie bitte alles über Schnittmöglichkeiten bzw. Schnittarten.	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, was unter einem Halbschnitt bzw. Vollschnitt zu verstehen ist.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Beim Halbschnitt wird das Bauteil in der Mitte längs der Symmetrielinie durchgeschnitten dargestellt. Die Schnittdarstellung rechts neben der Draufsicht in der Zeichnung ist somit ein Halbschnitt.	

Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 65 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 1-2 der S. 65 noch einmal durch.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase -Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen. -Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittarten.</p> <p>2. Feedbackphase - Suchen Sie unter Schnittdarstellung die Überschrift Schnittarten, die entsprechenden Bilder unterschiedlicher Schnittarten. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht. -Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Wie wird ein Halbschnitt veranschaulicht?</p> <p>W) Ein Viertel des symmetrischen Holkörpers wird bei vertikaler Darstellung rechts der Symmetrielinie entfernt.</p> <p>F)Der symmetrische Körper wird halbiert.</p> <p>F)Durch die Schnittverlaufslinie.</p> <p>F)Ein Viertel des symmetrischen Holkörpers wird bei vertikaler Darstellung links der Symmetrielinie entfernt.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-
16	Item Schnittarten	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, was unter einem Teilschnitt zu verstehen ist. Richten Sie dabei bitte das Augenmerk auch auf den Linientyp und Linienbreite der Begrenzungslinie unter Berücksichtigung der zu verwendenden Liniengruppe.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Beim Teilschnitt wird die Begrenzungslinie mit der 0,5er Vollinie dargestellt. So wie im Teilschnitt der Seitenansicht dieser Zeichnung zu erkennen.	

Feedback <i>Knowledge on metacognition</i> (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 65 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 3 der S. 65 noch einmal durch</p>	
Feedback <i>Knowledge on how to proceed</i> (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittarten.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie im Hoischen unter Schnittdarstellung die Überschrift Schnittarten, die entsprechenden Bilder von Teilschnitten. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Was ist ein Teilschnitt?</p> <p>W) Der Teilschnitt zeigt in einem bestimmten Bereich einer Baugruppe oder in bestimmten Bereichen eines Bauteils, dessen Innenleben. Diese Bereiche können mit einer Freihandlinie als Begrenzung dargestellt werden.</p> <p>F) Der Teilschnitt ist der Schnitt eines Bauteils.</p> <p>F) Der Teilschnitt zeigt die Hälfte des Bauteils in Schnittdarstellung.</p> <p>F) Der Teilschnitt ist die Definition der Schnittansicht in der Referenzansicht.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>16 Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>Fehler. Folgende Begrenzungslinien sind Fehlerhaft:</p> <p>16.1 Begrenzungslinie linker Teilschnitt Ansicht 2 zu breit.</p> <p>16.2 Begrenzungslinie rechter Teilschnitt Ansicht 2 zu breit und falscher Linientyp.</p> <p>16.3 Begrenzungslinie im oberen Teilschnitt der Ansicht Schnitt 1 ist ein falscher Linientyp.</p> <p>Ursache: Anwendungsfehler</p> <p>Fehlertyp 1/unabhängig</p>	<p>16 Referenz zur (Übungszeichnung)</p> <p>Fehler. Die Begrenzungslinie in dem Teilschnitt der Seitenansicht hat den falschen Linientyp und die falsche Linienbreite.</p> <p>Ursache: Anwendungsfehler</p> <p>Fehlertyp 1 unabhängig</p>
17	Item Körperkanten in Schnitten	
Unspezifische Lernziele	Lernen Sie bitte alles zum Thema Körperkanten in Schnitten.	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, mit welchem Linientyp und mit welcher Linienbreite Körperkanten in Schnitten zusammenhängend mit der zu verwendenden Liniengruppe dargestellt werden.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Im Schnitt liegende Körperkanten werden mit der Linienbreite 0,5 gezeichnet. Dies müsste im Schnitt A-B bei einer Körperkante entsprechend korrigiert werden.	

Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 64 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 2 der S. 64 noch einmal durch.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase -Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen. -Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittdarstellung.</p> <p>2. Feedbackphase - Suchen Sie im Hoischen unter Schnittdarstellung die entsprechende Textstelle. -Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Werden in einer Schnittdarstellung verdeckte Kanten eingezeichnet?</p> <p>W) In Schnittansichten werden keine verdeckten Kanten eingezeichnet. F) In Schnittansichten werden verdeckte Kanten in den Schnittflächen vernachlässigt. F) In Schnittansichten werden ebenfalls die verdeckten Kanten eingezeichnet. F) Die Schnittansicht ist so zu wählen, dass es keine verdeckten Kanten gibt. E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>17 Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung) Fehler. Folgende Körperkanten im Schnitt sind Fehlerhaft: 18.1 Ansicht 2 linke Körperkante im linken Teilschnitt ist zu dünn 18.2 Ansicht 2 rechte Körperkante im linken Teilschnitt ist zu dünn Ursache: Anwendungsfehler Fehlertyp 1/ abhängig</p>	<p>17Referenz zur (Übungszeichnung) Fehler. Im Schnitt A-B ist eine Körperkante zu dünn. Ursache: Anwendungsfehler Fehlertyp 1 unabhängig</p>
18	Item Körperkanten in Schnitten	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, ob verdeckte Kanten in Schnittdarstellung Verwendung finden.	
Frage Feedbacktest (W/F)	In Schnitten werden zur Vollständigkeit verdeckte Kanten eingezeichnet, so wie dies in einigen Schnitten dieser Zeichnung erfolgt ist.	

Feedback <i>Knowledge on metacognition</i> (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 64 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 2 der S. 64 noch einmal durch.</p>	
Feedback <i>Knowledge on how to proceed</i> (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittdarstellung.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie unter Schnittdarstellung die entsprechende Textstelle.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Werden in einer Schnittdarstellung verdeckte Kanten eingezeichnet?</p> <p>W) In Schnittansichten werden keine verdeckten Kanten eingezeichnet.</p> <p>F) In Schnittansichten werden verdeckte Kanten in den Schnittflächen vernachlässigt.</p> <p>F) In Schnittansichten werden ebenfalls die verdeckten Kanten eingezeichnet.</p> <p>F) Die Schnittansicht ist so zu wählen, dass es keine verdeckten Kanten gibt.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>18 Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>Fehler: In der Schnittansicht Schnitt 1 werden verdeckten Kanten dargestellt.</p> <p>Ursache: Falsche Einstellung im entsprechenden Menü.</p> <p>Fehlertyp 1 / unabhängig</p>	<p>18 Referenz zur (Übungszeichnung)</p> <p>Fehler: Folgende Schnitte werden mit verdeckten Kanten dargestellt.</p> <p>19.1 Teilschnitt Seitenansicht</p> <p>19.2 Schnitt A-B</p> <p>Ursache: Falsche Einstellung im entsprechenden Menü.</p> <p>Fehlertyp 1/ abhängig</p>
19	Item Gründe für Schnittdarstellungen	
Unspezifische Lernziele	Lernen Sie bitte Gründe für Schnittdarstellungen bzw. Gründe auf das Schneiden von Bauteilen zu verzichten.	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, ob volle Werkstücke z. B. Schrauben oder Wälzkörper eines Lagers in einer Schnittdarstellung ebenfalls geschnitten werden.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Schrauben werden grundsätzlich im Vollschnitt dargestellt.	
Feedback <i>Knowledge on metacognition</i> (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die Seite 65.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die unteren Textabschnitte auf der Seite 65.</p>	

Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittarten.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie unter Schnittdarstellung die Überschrift Schnittarten und dazu die entsprechenden Bilder von vollen Werkstücken, die geschnitten sind. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Werden volle Bauteile z. B. Normstifte in einer Schnittdarstellung ebenfalls geschnitten dargestellt?</p> <p>W) Grundsätzlich nicht.</p> <p>F) Normteile werden nie geschnitten in einer Schnittdarstellung veranschaulicht.</p> <p>F) Normteile werden wie jedes andere Bauteil in der Schnittansicht geschnitten dargestellt.</p> <p>F) Normteile werden nur in der Einzelteilzeichnung geschnitten dargestellt.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-
20	Item Gründe für Schnittdarstellungen	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, welche Art von Bauteilen geschnitten wird und warum dies gegebenenfalls als sinnvoll angesehen werden kann.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Hohlkörper werden geschnitten um das Innenleben des Bauteils sichtbar zu machen. Dies ist in der vorliegenden Zeichnung der Fall.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 64 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 1 der S. 64 noch einmal durch.</p>	

Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittdarstellung.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie unter Schnittdarstellung die entsprechende Textstelle.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Warum werden Bauteile geschnitten dargestellt?</p> <p>W) Um das Innenleben von hohlen Bauteilen zu veranschaulichen.</p> <p>F) Um Symmetrische Bauteile darzustellen.</p> <p>F) Um nicht symmetrische Bauteile darzustellen.</p> <p>F) Als zusätzliche Ansicht zur Vereinfachung.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>ehler: Der Kolbenbolzen wird als volles Bauteil in folgenden Ansichten geschnitten.</p> <p>1 Halbschnitt</p> <p>2 Ansicht 2</p> <p>3 Schnitt 1</p> <p>sache: Voreinstellungen sind nicht korrekt und müssen manipuliert werden.</p> <p>Fehlertyp 2/ unabhängig</p>	-
21	Item Gründe für Schnittdarstellungen	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, wann Baugruppen geschnitten in der Zusammenbauzeichnung dargestellt werden.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Zusammenbauzeichnungen werden oft im Schnitt dargestellt, weil sie oft ein entsprechendes Innenleben aufweisen, welches ohne Schnitt nicht darzustellen ist.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 64 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 1 der S. 64 noch einmal durch.</p>	

Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittdarstellung.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie unter Schnittdarstellung die entsprechende Textstelle.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Welchen Zeichnungen kommt hinsichtlich komplexer Schnittverläufe die größte Bedeutung zu?</p> <p>W) Zusammenbauzeichnungen.</p> <p>F) Einzelteilzeichnung von Wellen.</p> <p>F) Einzelteilzeichnung von Passfedern.</p> <p>F) Explosionszeichnungen zur Montage.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-
22	Item Gründe für Schnittdarstellungen	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, ob es sinnvoll ist, möglichst viele Schnittansichten zu generieren. .	
Frage Feedbacktest (W/F)	Von einem Bauteil sollten so viele Schnittdarstellungen wie möglich gezeichnet werden. Dies wurde in der vorliegenden Zeichnung beherzigt.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen dier S. 61 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Kapitel 3.1.1 der S. 61 bis zur Überschrift Darstellungsmethoden noch einmal durch.</p>	

Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Ansichten.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Anordnung der Ansichten und Darstellungsmethoden.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>-Suchen Sie unter Anordnung der Ansichten und Darstellungsmethoden die entsprechende Textstelle.-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Ist es sinnvoll so viele Schnittansichten wie möglich zu zeichnen?</p> <p>W) Nein, die Anzahl soll auf das Notwendigste begrenzt bleiben.</p> <p>F) Ja, auf diese Weise lässt sich der 3-D Körper besser erfassen.</p> <p>F) Nein, die Anzahl der Schnitte ist auf zwei begrenzt.</p> <p>F) Ja, dadurch lässt sich das Bauteil besser bemaßen.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>22 Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>Fehler: Alle Ansichten außer dem Halbschnitt und dem Schnitt 1 sind überflüssig.</p> <p>22.1 Ansicht 2</p> <p>22.2 C-C</p> <p>Ursache: Falsche Programmanwendung</p> <p>ehlertyp 2/unabhängig</p>	<p>22 Referenz zur (Übungszeichnung)</p> <p>Fehler: Alle Ansichten außer den drei Ansichten Vorder- Seiten- und Draufsicht sind überflüssig.</p> <p>1.1 Schnitt A-B</p> <p>1.2 Schnitt ohne Bezeichnung neben der Draufsicht</p> <p>Ursache: Falsche Programmanwendung</p> <p>Fehlertyp 2/unabhängig</p>
23	Item Räumliches Vorstellen	
Unspezifische Lernziele	<p>Lernen Sie bitte das räumliche Vorstellen von Schnittdarstellungen dieser Zeichnung, indem Sie sich gedanklich einen dreidimensionalen Körper aus den unterschiedlichen Schnittdarstellungen generieren. Die Isometrische Ansicht über dem Schriftfeld dient Ihnen als Hilfestellung.</p>	
Spezifische Lernziele	<p>Lernen Sie bitte das räumliche Vorstellen von Schnittdarstellungen dieser Zeichnung, indem Sie sich einen dreidimensionalen Körper aus den unterschiedlichen Schnittdarstellungen gedanklich generieren. Die Isometrische Ansicht über dem Schriftfeld dient Ihnen als Hilfestellung.</p> <p>Beginnen Sie damit, die Ansichten der Schnitte (d. h. von welcher Seite Sie auf den Schnitt sehen.</p>	
Frage Feedbacktest (W/F)	<p>Der Teilschnitt dieser Zeichnung stellt die Seitenansicht dar.</p> <p>Beim komplexen Schnittverlauf A-B wird die Blickrichtung auf den Körper durch die beiden Pfeile auf der Schnittverlaufslinie ersichtlich.</p> <p>Beim unteren Schnitt neben der Draufsicht fehlt die Definition in der diesbezüglichen Referenzansicht, welche die Draufsicht ist.</p>	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die Seiten 62, 65 und 66 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die Absätze 2-3 der Seiten 66, Absatz 3 S. 65 sowie Projektionsmethode 1 S. 62 noch einmal durch.</p>	

Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Ansichten und Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Projektionsmethode 1, Schnittarten und Schnittverlauf.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie unter Anordnung der Ansichten und Darstellungsmethoden die entsprechenden Bilder. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>
Deklaratives Sachwissen	<p>Ist eine Schnittdarstellung als Vorderansicht denkbar?</p> <p>W) Ja, z. B: bei Wellen kann aufgrund der Symmetrie die Schnittdarstellung als Vorderansicht sinnvoll sein.</p> <p>F) Nein, eine Schnittdarstellung braucht grundsätzlich eine Referenzansicht.</p> <p>F) Ja, das ist allerdings nur bei komplexen Schnittverläufen der fall.</p> <p>F) Nein, da das geschnittene Bauteil nur ein geringer Anteil der Geometrie veranschaulicht.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>
Analytische Problemlösekompetenz	-
24	Item Räumliches Vorstellen
Unspezifische Lernziele	-
Spezifische Lernziele	<p>Lernen Sie bitte das räumliche Vorstellen von Schnittdarstellungen dieser Zeichnung, indem Sie sich einen dreidimensionalen Körper aus den unterschiedlichen Schnittdarstellungen gedanklich generieren. Die Isometrische Ansicht über dem Schriftfeld dient Ihnen als Hilfestellung.</p> <p>Als Zweites identifizieren Sie um welche Schnittart es sich handelt (z. B. Halbschnitt, Vollschnitt, komplexer Schnitt).</p>
Frage Feedbacktest (W/F)	<p>In der vorliegenden Zeichnung zeigt die Seitenansicht einen Teilschnitt und der Schnitt neben der Draufsicht besitzt einen (nicht eingezeichneten) komplexen Schnittverlauf. Der Schnitt A-B besitzt einen eingezeichneten komplexen Schnittverlauf.</p>
Feedback Knowledge on meta-cognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die Seiten 65 und 66 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen Absatz 3 S. 65 und die Absätze 2-3 der Seite 66 noch einmal durch.</p>

Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittarten und Schnittverlauf.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>-Suchen Sie unter Schnittarten und Schnittverlauf die entsprechenden Bilder. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Wie wird ein Vollschnitt veranschaulicht?</p> <p>W) Der symmetrische Körper wird halbiert dargestellt.</p> <p>F) Ein Viertel des symmetrischen Holkörpers wird bei vertikaler Darstellung rechts der Symmetrielinie entfernt.</p> <p>F) Durch die Schnittverlaufslinie.</p> <p>F) Ein Viertel des symmetrischen Holkörpers wird bei vertikaler Darstellung links der Symmetrielinie entfernt.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	
25	Item Räumliches Vorstellen	
Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	<p>Lernen Sie bitte das räumliche Vorstellen von Schnittdarstellungen dieser Zeichnung, indem Sie sich einen dreidimensionalen Körper aus den unterschiedlichen Schnittdarstellungen gedanklich generieren. Die Isometrische Ansicht über dem Schriftfeld dient Ihnen als Hilfestellung.</p> <p>Als Drittes identifizieren Sie die einzelnen Kanten im Schnitt bezüglich der Darstellung dieser in den anderen Ansichten.</p>	
Frage Feedbacktest (W/F)	<p>In der vorliegenden Zeichnung sind in dem Schnitt A-B und in dem Schnitt neben der Draufsicht insgesamt acht Körperkanten zu wenig eingezeichnet.</p>	

Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Betrachten Sie die Seitenansicht genau und lesen Sie dazu im Hoischen die S. 79-80.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Legen Sie das Augenmerk auf den Teilschnitt und lesen Sie im Hoischen die S. 79-80 insbesondere zur Überschrift räumliches Vorstellen.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Stellen Sie sich den 3-D Körper bildlich mithilfe der unterschiedlichen Ansichten vor und recherchieren Sie im Sachwortregister vom Hoischen nach Lesen von Technischen Zeichnungen.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Vergleichen Sie die Körperkanten der unterschiedlichen Ansichten miteinander und suchen Sie in dem Kapitel zum Lesen von Technischen Zeichnungen nach der Überschrift Räumliches Vorstellen.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Welche Seite eines Bauteils zeigt ein Vollschnitt, in der von der Vorderansicht rechts liegenden Seitenansicht, nach der in Deutschland verwendeten Projektionsmethode 1 der DIN?</p> <p>W) Seitenansicht von links.</p> <p>F) Seitenansicht von rechts.</p> <p>F) Draufsicht.</p> <p>F) Untersicht.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>25 Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>Fehler:</p> <p>25.1 Kante ist im linken Teilschnitt der Ansicht 2 zu wenig drin. Dies lässt sich auf einen Anwendungsfehler bei der Erstellung des Teilschnitts zurückführen</p> <p>25.2 Kante ist im linken Teilschnitt der Ansicht 2 zu wenig drin. Dies lässt sich auf einen Anwendungsfehler bei der Erstellung des Teilschnitts zurückführen</p> <p>25.3 Kante ist im linken Teilschnitt der Ansicht 2 zu wenig drin. Dies lässt sich auf einen Anwendungsfehler bei der Erstellung des Teilschnitts zurückführen</p> <p>Ursache: Anwendungsfehler</p> <p>hlertyp 2/abhängig</p>	<p>25 Referenz zur (Übungszeichnung)</p> <p>Fehler:</p> <p>25.1 Schnittverlauf des Schnitts neben der Draufsicht ist nicht eingezeichnet.</p> <p>Ursache: Anwendungsfehler</p> <p>Fehlertyp 2/unabhängig</p> <p>1.5 Kante (Ansicht neben Draufsicht) fehlt.</p> <p>1.6 Kante (Ansicht neben Draufsicht) fehlt.</p> <p>1.7 Kante (Ansicht neben Draufsicht) fehlt.</p> <p>1.8 Kante (Ansicht neben Draufsicht) fehlt.</p> <p>1.9 Kante (Schnitt A-B) fehlt.</p> <p>1.10 Kante (Schnitt A-B) fehlt.</p> <p>1.11 Kante (Schnitt A-B) fehlt.</p> <p>1.12 Kante (Schnitt A-B) fehlt.</p> <p>Ursache: Anwendungsfehler</p> <p>Fehlertyp 2/ abhängig</p>
26	Item Darstellung von Zahnrädern und Gewinden	

Unspezifische Lernziele	Lernen Sie bitte wie Zahnräder im Schnitt dargestellt werden.	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte wie Zahnräder im Schnitt dargestellt werden. Legen Sie dabei Ihr Augenmerk auf die Darstellung der Zähne.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Im Schnitt wird jedes Zahnrad als Stirnrad geschnitten gezeichnet. Vom Schnitt ausgenommen sind die Zähne.	
Feedback Knowledge on metacognition (KFH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Betrachten Sie die Seitenansicht genau und lesen Sie dazu im Hoischen die S. 79-80.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Legen Sie das Augenmerk auf den Teilschnitt und lesen Sie im Hoischen die S. 79-80 insbesondere zur Überschrift räumliches Vorstellen.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Zahnräder, Darstellung.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Teilzeichnungen (Einzelne Zahnräder).</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>-Suchen Sie im Hoischen unter Darstellung von Zahnrädern die entsprechende Textstelle.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Wie werden Zahnräder im Schnitt dargestellt?</p> <p>W) Im Schnitt wird jedes Zahnrad als Stirnrad geschnitten gezeichnet. Vom Schnitt ausgenommen sind die Zähne.</p> <p>F) Zahnräder werden wie jedes andere Bauteil im Schnitt dargestellt.</p> <p>F) Zahnräder werden nicht geschnitten dargestellt.</p> <p>F) Zahnräder werden ausschließlich im Vollschnitt gezeichnet.</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-
27	Item Darstellung von Zahnrädern und Gewinden	

Unspezifische Lernziele	Lernen Sie bitte wie Gewinde im Schnitt darzustellen sind.	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte wie Gewinde im Schnitt darzustellen sind. Richten Sie Ihre Aufmerksamkeit dabei u. a. darauf ob der Gewindeteil schraffiert wird oder nicht sowie auf die Linienbreite und den Linientyp der für die Gewindekontur verwendet wird.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Beim Innengewinde wird im Schnitt der Kerndurchmesser als breite- und der Außendurchmesser als schmale Volllinie gezeichnet, diese Gewindedarstellung ist in der vorliegenden Zeichnung nicht zu erkennen.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 71 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen S. 71 Kapitel 3.2.2 die ersten drei Abschnitte noch einmal durch.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Gewinde.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Innengewinde.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>-Suchen Sie im Hoischen unter Darstellung von Gewinde die entsprechenden Bilder von Innengewinden in Schnittdarstellung. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Wie wird ein Innengewinde eines Sacklochs im Schnitt gezeichnet?</p> <p>W) Der Kerndurchmesser mit breiter Volllinie und der Außendurchmesser mit der schmalen Volllinie, Das Gewinde erhält ebenfalls die Schraffur der Schnittfläche.</p> <p>F) Der Kerndurchmesser mit breiter Volllinie und der Außendurchmesser mit der schmalen Volllinie, Das Gewinde erhält nicht die Schraffur der Schnittfläche.</p> <p>F) Kern und Außendurchmesser erhalten die schmale Volllinie.</p> <p>F) Der Kerndurchmesser wird mit der schmalen- und der Innendurchmesser mit der breiten Volllinie gezeichnet</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>27. Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>Fehler: Das Gewinde im unteren Halbschnitt für die Schraube im oberen Pleul fehlt.</p> <p>Ursache: Falsche Einstellung in der entsprechenden Ansicht.</p> <p>Fehlertyp 2 unabhängig</p>	<p>27 Referenz zur (Übungszeichnung)</p> <p>Fehler: Gewindedarstellungen in folgenden Ansichten fehlen.</p> <p>27.1 Seitenansicht</p> <p>27.2 Schnitt A-B</p> <p>27.3 Schnittdarstellung neben der Draufsicht</p> <p>Ursache: Falsche Einstellung in der entsprechenden Ansicht.</p> <p>Fehlertyp 2/ unabhängig</p>

28	Item Schnittbezeichnungen	
Unspezifische Lernziele	Lernen Sie bitte alles zum Thema Schnittbezeichnungen	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, welche Schnitte gekennzeichnet werden und welche nicht.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Schnittdarstellungen werden im Gegensatz zu der vorliegenden Zeichnung grundsätzlich gekennzeichnet.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 66 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen den ersten Absatz auf der S. 66 noch einmal durch.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufe.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie im Hoischen unter Schnittverläufen im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild mit der Schnittbezeichnung. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Wie wird der erste Vollschnitt in einer Zeichnung gekennzeichnet?</p> <p>W) Keine Kennzeichnung</p> <p>F) Schnitt 1</p> <p>F) A-A</p> <p>F) A-B</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-
29	Item Schnittbezeichnungen	

Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte alles zum Thema Schnittbezeichnungen. Richten Sie Ihre Aufmerksamkeit besonders darauf: Welche Schnitte überhaupt beschriftet werden und wie die Beschriftung von Schnitten auszusehen hat.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Der erste Schnitt einer Zeichnung, welcher im Verlauf nicht eindeutig zu erkennen ist, wird mit Schnitt-1 bezeichnet.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen S. 66 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen S. 66 den letzten Absatz noch einmal durch.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufe.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie im Hoischen unter Schnittverläufen im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild mit der Schnittbezeichnung. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Wie wird der erste Teilschnitt in einer Zeichnung gekennzeichnet?</p> <p>W) Keine Kennzeichnung</p> <p>F) Schnitt 1</p> <p>F) A-A</p> <p>F) A-B</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	<p>29 Zeichnung Baugruppe (Testzeichnung)</p> <p>Fehler: Die Bezeichnung folgender Schnitte ist falsch.</p> <p>29.1 Bezeichnung Ansicht 2</p> <p>29.2 Bezeichnung C-C</p> <p>29.3 Bezeichnung Schnitt 1</p> <p>Ursache: Falsche Schnittbenennung durch die entsprechende Beschriftung</p> <p>Fehlertyp 1/unabhängig</p>	<p>29 Referenz zur (Übungszeichnung)</p> <p>Fehler: Die Bezeichnung folgender Schnitte ist falsch.</p> <p>30.1 Bezeichnung A-B</p> <p>30.2 Fehlende Bezeichnung Schnitt neben der Draufsicht</p> <p>30.3 Textgröße A-B ist zu klein</p> <p>Ursache: Falsche Schnittbenennung durch die entsprechende Beschriftung</p> <p>Fehlertyp 1/unabhängig</p>
30	Item Schnittbezeichnungen	

Unspezifische Lernziele	-	
Spezifische Lernziele	Lernen Sie bitte, wie ein komplexer Schnittverlauf benannt wird und welche Texthöhe für die Buchstaben erforderlich ist.	
Frage Feedbacktest (W/F)	Der erste komplexe Schnitt einer Zeichnung wird mit A-A gekennzeichnet. Hier muss die Höhe der Buchstaben 5mm betragen. Dies muss in der vorliegenden Zeichnung korrigiert werden.	
Feedback Knowledge on metacognition (KH)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen die S. 66 und die S, 28 noch einmal durch.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>Lesen Sie zu diesem Thema im Hoischen den 3. Abschnitt der S. 66 und die Tabelle der S. 28 noch einmal durch.</p>	
Feedback Knowledge on how to proceed (KMC)	<p>1. Feedbackphase</p> <p>-Recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schnittdarstellungen.</p> <p>-Suchen Sie anschließend im entsprechenden Kapitel nach der geeigneten Überschrift bezüglich Schnittverläufe.</p> <p>2. Feedbackphase</p> <p>- Suchen Sie im Hoischen unter Schnittverläufen im Kapitel Schnittdarstellungen das entsprechende Bild mit der Schnittbeschriftung. Die Bildnummerierung ist im Text relativ gut zu erkennen, was die Suche nach den entsprechenden Textstellen vereinfacht.</p> <p>-Außerdem recherchieren Sie im Sachwortverzeichnis nach Schriftform bezüglich der Texthöhe.</p> <p>-Diagnostizieren Sie im Anschluss die Zeichnung erneut.</p>	
Deklaratives Sachwissen	<p>Wie wird der erste Schnitt in einer Zeichnung gekennzeichnet?</p> <p>W) A-A</p> <p>F) Schnitt 1</p> <p>F) A</p> <p>F) A-B</p> <p>E) Weiß nicht.</p>	
Analytische Problemlösekompetenz	-	-

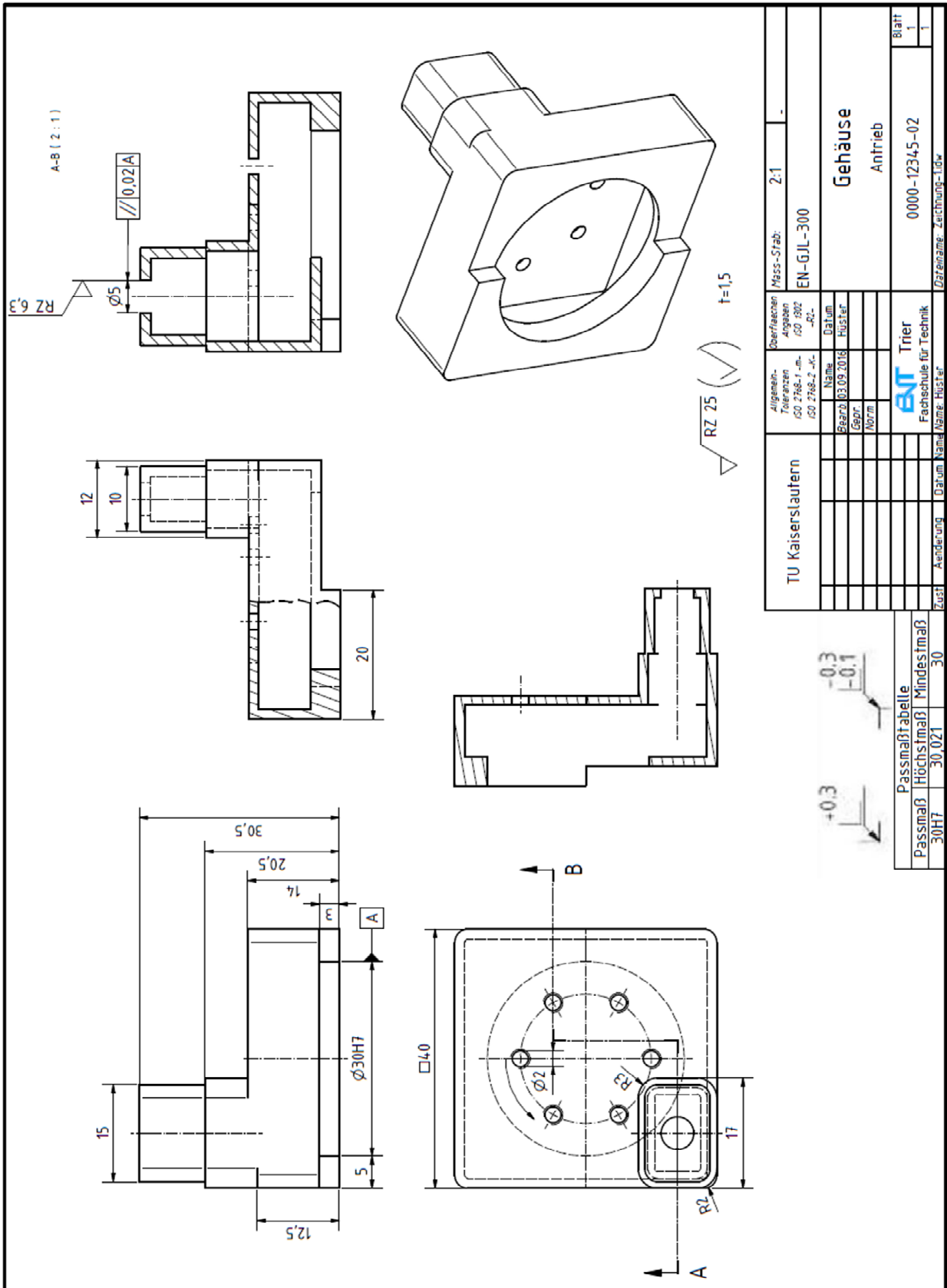


Abbildung 10.1: Übungszeichnung für den Lernprozess (Original in DIN-A3)

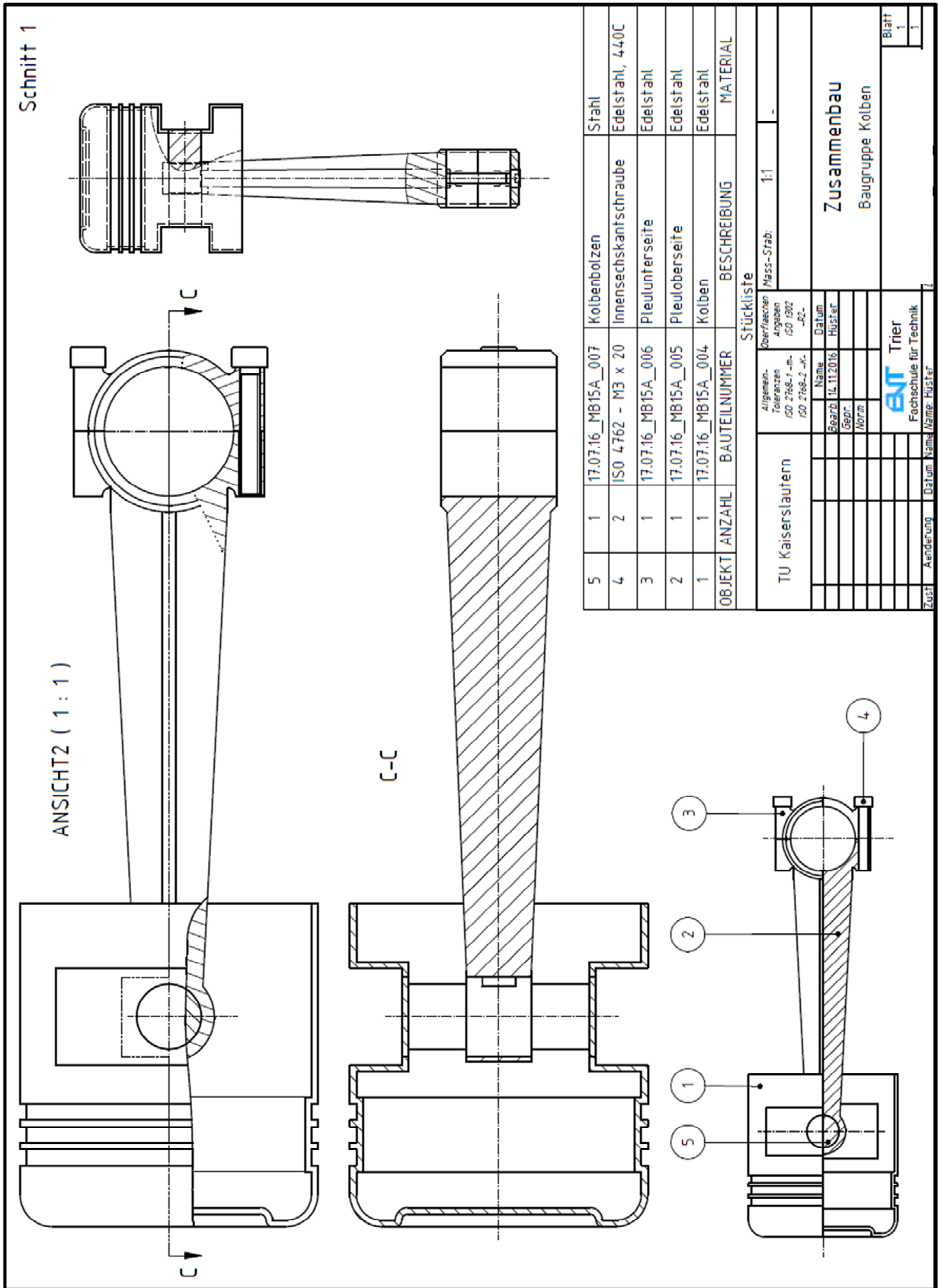


Abbildung 10.2: Testzeichnung zur Feststellung der Analytischen Problemlösekompetenz (Original in DIN-A3)

Lässt sich das Lesen und Interpretieren Technischer Zeichnungen tatsächlich lernen oder ist dies eher als kognitive Fähigkeit der individuellen Begabung zuzuschreiben? Ist der Lernerfolg wesentlich vom bereits erworbenen Vorwissen abhängig oder nicht? Lernen besonders interessierte Zeichnungsleser besser als weniger interessierte? Kann ein geeignetes Feedback während des Lernprozesses wirksam platziert werden? Gibt es Ziele, die sich gegenüber anderen als erfolgsversprechender antizipieren lassen? Es ist vorstellbar, dass diese Fragen von unterschiedlichen, am Lernprozess beteiligten Personen (wie beispielsweise Lehrerinnen und Lehrer) aus verschiedener epistemologischer Überzeugung heraus konträr beantwortet werden würden. Vor diesem Hintergrund werden den Leserinnen und Lesern im Rahmen der vorliegenden empirischen Untersuchung Evidenzen zu einer angemessenen Argumentation in dieser Debatte präsentiert.

Logos Verlag Berlin

ISBN 978-3-8325-5626-6

<https://www.logos-verlag.de/oekobuch>