

**Methodenbericht zur Interventionstudie zur Förderung der kollaborativen
diagnostischen Problemlösung im Projekt DigiDIn-Kfz**

Dave Rexhäuser

Informationen zum Projekt

Das Projekt Digitale Diagnostik und Intervention im Kfz-Wesen (DigiDIn-Kfz) im Verbundprojekt ASCOT+ (Technology-based Assessment of Skills and Competences in VET; das "+" steht für den Transfer der Ergebnisse in die Ausbildungs- und Prüfungspraxis), wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Bundesinstitut für Berufsbildung.

Ziel dieses Berichts

Dieser Bericht beschreibt eine Studie, die im Rahmen des Projekts DigiDIn-Kfz, Teilprojekt Förderung der kollaborativen diagnostischen Problemlösung, durchgeführt wurde. Wir haben eine Intervention entwickelt und evaluiert, mit der Auszubildende in der Automobilindustrie eine Strategie zur kollaborativen Diagnose (kollaborativ diagnostischen Problemlösung) von Fahrzeugstörungen erlernen. Es ist ein Datensatz aus dieser Studie vorhanden, der in eine Publikation eingeflossen ist. Der Datensatz ist unter dem Dateinamen: „*DigiDIn-Kfz_TPKollaboration_Daten*“ gespeichert. Die dazugehörige Publikation (Rexhäuser et al., in Vorbereitung) befindet sich in Vorbereitung. Der vorliegende Bericht versteht sich als Ergänzung zur Publikation. Es wird empfohlen, diese Publikationen, nach ihrer Veröffentlichung, zuerst zu lesen. Die Studie fand zwischen November 2022 und Januar 2023 am [REDACTED] (kodierte als Schule A), am [REDACTED] (kodierte als Schule B), am [REDACTED] (kodierte als Schule C), sowie am [REDACTED] (kodierte als Schule D) statt (kodierte als Schule D).

Stichprobe und Design

Wir haben eine Studie mit drei Versuchsbedingungen in zwei Sitzungen an Berufsschulen durchgeführt. Die Datensätze von 154 Teilnehmenden und damit 77 Dyaden wurden in die Analysen der Studie einbezogen. Insgesamt untersuchten wir neun Berufsschulklassen von Kfz-Mechatroniker:innen Auszubildenden aus den vier oben genannten Berufsschulen in Sachsen, Deutschland. Die Zuordnung der Teilnehmenden zu den Dyaden erfolgte zufällig im jeweiligen Klassenverbund.

Datensätze von 35 weiteren Teilnehmenden wurden ausgeschlossen. Datensätze wurden ausgeschlossen, wenn die Teilnehmenden weniger als 75 % aller Aufgaben bearbeiteten oder wenn sie ein Mitglied des Versuchsteams in der Dyade hatten. Die Zuordnung von Mitgliedern des Versuchsteams zu den Dyaden war notwendig, wenn die Klasse eine ungerade Anzahl von Auszubildenden hatte. Bei sechs Dyaden wechselten die Teilnehmenden zwischen der ersten und der zweiten Sitzung. Der Wechsel war notwendig, weil Teilnehmende bei der zweiten Sitzung fehlten. Neu gebildete Dyaden wurden in die Analysen einbezogen, sofern beide Teilnehmende an beiden Sitzungen teilnahmen. Diese Dyaden wiesen keine Extremwerte auf (d. h. nicht mehr als 3 Standardabweichungen über oder unter dem Mittelwert). Bei allen anderen Dyaden blieben die Teilnehmenden dieselben. Ausgeschlossene Datensätze sind nicht in den übermittelten Daten enthalten.

Die Studie fand in insgesamt zwei Sitzungen statt. In der ersten Sitzung wurde ein Pretest durchgeführt. In der zweiten Sitzung fanden die Intervention und der Posttest statt. Zwischen den beiden Sitzungen lagen acht Tage. Die Sitzungen wurden während der regulären Schulzeit in den Klassenräumen der Auszubildenden durchgeführt.

Für die Intervention und die Posttests in der zweiten Sitzung wurden die Dyaden zufällig den Versuchsbedingungen zugewiesen. Zunächst erhielten alle Auszubildenden eine papierbasierte Einführung in eine Strategie zur kollaborativen diagnostischen Problemlösung

(siehe Anhang A1). Anschließend erhielt die erste Gruppe Arbeitsbeispiele (Worked examples) mit spezifischen Selbsterklärungsprompts, während die zweite Gruppe mit Worked Examples und generelleren Selbsterklärungsprompts arbeitete. In der dritten Bedingung (Kontrollgruppe) erhielten die Auszubildenden weder Worked Examples noch Selbsterklärungsprompts. Stattdessen konnten sie in einer Kfz-Computersimulation gemeinsam kollaborative diagnostische Problemlösefälle innerhalb ihrer Dyaden bearbeiten.

Prozedur

Tabelle 1 zeigt einen Überblick über die Abläufe in der ersten und zweiten Sitzung. Das gesamte Material, mit Ausnahme der Instruktion der Strategie zur kollaborativen diagnostischen Problemlösung, wurde in digitaler Form präsentiert. Die verwendete digitale Lernumgebung war seitenbasiert (page-based) und erlaubte kein Zurückspringen auf vorherige Seiten, nachdem die Teilnehmer eine Seite verlassen hatten. Die Anleitung zur Kollaborationsstrategie war papierbasiert und ermöglichte es den Teilnehmern, individuell daran zu arbeiten, z. B. Markierungen oder Notizen zu machen. Wir sagten den Teilnehmern, wann wir erwarteten, dass sie eine Phase abgeschlossen hatten und mit der nächsten Phase fortfahren konnten. Auf diese Weise stellten wir sicher, dass die Teilnehmer innerhalb und zwischen den Bedingungen gleich viel Zeit für die Aufgabe aufwenden konnten, und vermieden, dass wenige langsame Teilnehmer lange Wartezeiten für die anderen Teilnehmer verursachten.

Tabelle 1*Abläufe in Sitzung 1 und Sitzung 2*

Phase	Inhalt	Mindest- dauer in Minuten	Höchst- dauer in Minuten
Sitzung 1			
Einführung 1	Allgemeine Einführung, demografische Daten und Einführung in die Computersimulation und das kollaborative Lernumgebung	45	60
	Erfassung diagnostischen und kollaboratives Vorwissens	15	30
Pause 1.1		15	18
Kollaboration 1	Erfassung der Motivation 1 & Kollaborativ diagnostische Problemlösung 1	35	50
Pause 1.2		10	20
Abschluss 1	Erfassung Zufriedenheit, wahrgenommenen Qualität, Beschreibung und Anwendung der Strategie & Abschluss 1	30	60
Gesamt Sitzung 1		150	238
Sitzung 2			
Einführung 2	Introduction and refresher on computer simulation	10	30
	Instruktionsphase: CDPS-Strategie	10	20
Pause 2.1		15	17
Training	Gruppenspezifische Trainingsphase	35	55
	Erfassung der kognitiven Belastung	5	10
Pause 2.2		7	15
Kollaboration 2	Erfassung der Motivation 1 & Kollaborativ diagnostische Problemlösung 2	35	55
Pause 2.3		10	20
Abschluss 2	Erfassung Zufriedenheit, wahrgenommenen Qualität, Beschreibung und Anwendung der Strategie & Abschluss 2	25	60
Gesamt Sitzung 2		132	282

Lernmaterialien

Die in der Instruktionsphase vorgestellte CDPS-Strategie (Siehe Anhang A1) gliederte sich in drei inhaltliche Bereiche: (1) Das Szenario der kollaborativen Kfz-Fehlerdiagnose wurde vorgestellt und damit das entsprechende Vorwissen der Teilnehmenden aktiviert. (2) Dann wurden fünf Prinzipien erfolgreicher Kollaboration vorgestellt, die während des gesamten Diagnoseprozesses wichtig sind. Die Prinzipien zielen darauf ab, (a) die Beteiligung aller Kollaborationspartner und die Anwendung von vier grundlegenden kollaborativen Aktivitäten zu fördern: (b) Teilen von Informationen, (c) Elizitieren von

Informationen, (d) Koordinierung der Zusammenarbeit, (e) Verhandlung über Widersprüche während des Prozesses. Mit dem Prinzip "Teile dein Wissen" wurden die Teilnehmer beispielsweise darüber informiert, dass nicht alle Teilnehmer einer Kollaboration dasselbe wissen und es daher wichtig ist, verfügbare Informationen zu teilen. (3) Schließlich wurde ein idealer CDPS-Prozess einer kollaborativen Kfz-Fehlerdiagnose instruiert, der in vier Prozessschritte unterteilt ist (Klärung der Ausgangssituation, Austausch von Hypothesen über die Fehlerursache, Planung und Durchführung von Tests, Auswertung der Testergebnisse). Der angeleitete Idealprozess basierte auf Vorarbeiten von Meier et al. (2023), die eine modellbasierte Diagnosestrategie anleiteten, erweitert um Erkenntnisse aus eigenen Vorarbeiten zum CDPS-Prozess für Kfz-Techniker (Radkowitsch et al., eingereicht). Für jeden dieser Schritte wurde eine umfassende Anleitung mit relevanten Zielen, erfolgversprechenden kollaborativen und diagnostischen Aktivitäten und Erfolgsindikatoren gegeben. Für den Schritt "Klärung der Ausgangssituation" wurde beispielsweise darauf hingewiesen, dass der Austausch von Informationen über Fahrzeugdaten, Kundenbeanstandungen und Fahrzeugzustand besonders wichtig ist. Im Anschluss an die Strategieunterweisung erhielten die Teilnehmer einen kurzen Überblick über die Strategie (Siehe Anhang A1). Diese Übersicht konnte während der Trainingsphase als Bewertungsschema genutzt werden, um die Qualität der bearbeiteten Beispiele (Experimentalgruppen) bzw. die eigenen CDPS-Prozesse bei der unangeleiteten Bearbeitung der CDPS-Fälle (Kontrollgruppe) zu beurteilen.

In der Trainingsphase übten die beiden Versuchsgruppen die CDPS-Strategie in Einzelarbeit an jeweils zwei worked examples mit Selbsterklärungsprompts. Die worked examples (Abbildung 1) zeigten eine Text-Chat-Kommunikation zwischen zwei Kollaborationspartnern in den Rollen Werkstatt und Service-Hotline bezüglich einer kollaborativen Kfz-Fehlerdiagnose. Die Chat-Kommunikation der Arbeitsbeispiele ist in

Chat-Abschnitte unterteilt, die den vier in der Kollaborationsstrategie angewiesenen Prozessschritten entsprechen. Je nach Gruppe erhielten die Teilnehmer für jeden der Chatabschnitte unterschiedlich spezifische Aufforderungen zur Selbsterklärung (siehe unten). Die Kontrollgruppe bearbeitete in dieser Zeit in ihren Dyaden zwei Fälle von Diagnose von Kfz-Störungen in der Computersimulation. Abgesehen von der Strategie (einschließlich des Bewertungsschemas) erhielt die Kontrollgruppe keine zusätzliche Anleitung für die Bearbeitung der Fälle.

Leon (Werkstatt):

Guten Morgen,

wir haben einen Golf 4 in die Werkstatt bekommen. Der Kunde hat mitgeteilt, dass das Fahrzeug weniger Leistung hat und die Motorkontrolllampe dauerhaft leuchtet. Ich habe eine Probefahrt gemacht und kann den Fehler so bestätigen.

Die Schlüsselnummer lautet 0603 560 2004. Der Motorcode ist AXR.

Ich habe bereits den Fehlerspeicher ausgelesen. Es ist ein Fehler vorhanden: 4625 Ladedruckventil Unterbrechung/Masseschluss.

Timo (Hotline):

Guten Morgen,

vielen Dank für die Informationen. Einen Moment bitte, ich suche im System nach dem Fahrzeug und dem Fehlercode.

Erklären Sie, warum Leon und Timo den ersten Schritt „Klärung der Ausgangssituation“ hier gut durchlaufen. Beziehe Sie sich dabei auf die relevanten Informationen, die Leon zu Beginn teilt.

Musterantwort:

„Leon und Timo klären die Ausgangssituation zu Beginn ihrer gemeinsamen Diagnose sehr gut, weil Leon direkt zu Beginn alle relevanten Informationen zum Fahrzeug (Schlüsselnummer und Motorkennbuchstabe) teilt. Er beschreibt außerdem die Kundenbeanstandung vollständig und erklärt, dass er die Beanstandung nachvollziehen konnte. Weiterhin teilt Leon den Fehlerspeichereintrag selbstständig, sodass Timo alle relevanten Informationen für den 1. Schritt vorliegen.“

Abbildung 1 Worked example mit spezifischer Selbsterklärungsaufgabe und Musterlösung

Die beiden Gruppen mit den worked examples bekamen unterschiedliche spezifische Aufforderungen zur Selbsterklärung. Die spezifischere Gruppe wurde auf konkrete (un-)erfolgreiche Aktivitäten innerhalb der Beispiele hingewiesen, die sie erklären sollten (z.B. "Was macht der Hotline-Mitarbeiter im Beispiel, um die Fehler des Werkstattmitarbeiters zu kompensieren?"). Die Gruppe mit den weniger spezifischen (generellen) Aufforderungen wurde gebeten, allgemeiner zu erklären, was an den Beispielen erfolgreich oder nicht erfolgreich war (General; "Was hat in diesem Beispiel gut und was schlecht funktioniert?). Die Teilnehmenden wurden angewiesen, die Informationen aus der instruierten CDPS-Strategie zur Beantwortung der Aufforderungen zu nutzen. Nach der Selbsterklärung jedes Chatabschnitts wurde den Auszubildenden eine Musterlösung gezeigt

(z.B. weil der Hotline-Mitarbeiter sehr gezielt nach den notwendigen Informationen fragt, z.B. Fahrzeugdaten, Symptome der Kundenbeschwerde und Fehlerspeichereintrag, kann er die mangelnde Beteiligung des Werkstattmitarbeiters kompensieren) und so die Möglichkeit gegeben, die eigenen Erklärungen zu reflektieren. Beide Gruppen erhielten die gleichen Musterlösungen. Das erste Beispiel zeigte eine schlechte Qualität der Chat-Kommunikation im Hinblick auf die Anwendung der zuvor instruierten Strategie in allen vier Chat-Abschnitten. Im zweiten Arbeitsbeispiel wurde eine gute Kommunikation in allen Chatabschnitten gezeigt. Wie bereits erwähnt, erhielt die Kontrollgruppe weder Arbeitsbeispiele noch Selbsterklärungsaufgaben. Die Bearbeitungszeit (time-on-task) war für die Versuchsgruppen (Beispiele und Selbsterklärungsaufgaben) und die Kontrollgruppe (ungeführte Bearbeitung von CDPS-Fälle) gleich und betrug insgesamt 30 Minuten (15 Minuten pro Beispiel/Fall).

Testmaterial

Zuerst haben wir das diagnostische und kollaborative Vorwissen der Teilnehmenden via Selbsteinschätzungsskalen erhoben. Anschließend haben wir verschiedene Tests durchgeführt, um die Auswirkung von Worked examples und unterschiedlich spezifische Selbsterklärungsprompts auf das Erlernen kollaborativer diagnostischer Problemlösung (CDPS) zu bewerten. Um die Anwendung der instruierten Strategie im Prozess des CDPS zu evaluieren, haben wir ein Testverfahren in Anlehnung an Radkowitz et al. (eingereicht) verwendet. Hierbei kodierten wir kollaborative und diagnostische Aktivitäten sowie den Austausch von (korrekten) lösungsrelevanten Inhalten in den Textchatnachrichten der Dyaden als Prozessvariablen. Weiterhin bewerteten wir die Motivation der Teilnehmenden jeweils vor der Durchführung der kollaborativ diagnostische Problemlösung. Als Ergebnisvariablen wurden die Diagnosegenauigkeit, die Qualität, mit der die Teilnehmer die instruierte Strategie beschreiben und anwenden konnten, sowie die subjektive Zufriedenheit und Wahrnehmung

der Qualität der CDPS-Prozesse untersucht. Alle diese Tests wurden als Pretest und Posttest durchgeführt. Schließlich haben wir die kognitive Belastung der Teilnehmer einmal nach der Trainingsphase erfasst. Alle Instrumente sind in den weiteren Abschnitten genauer beschrieben. Skalen und Items der Instrumente können in der Datei „*DigiDIn-Kfz_TPKollaboration_Scalebook*“ eingesehen werden.

Diagnostisches und kollaboratives Vorwissen

In Anlehnung an Meier et al. (2022, 2023) verwendeten wir fünf von 24 Items aus dem Test zur diagnoserelevanten Rezeptionskompetenz (DRC) von Norwig et al. (2021), um die diagnostischen Vorkenntnisse zu erfassen. Der DRC-Test erfasst die Fähigkeit, diagnoserelevante Dokumente, wie z. B. elektrische Schaltpläne, zu lesen, und stellt damit eine wichtige Voraussetzung für den Diagnoseerfolg in unseren simulationsbasierten CDPS-Fällen dar. Die Itemauswahl folgt der Studie von Meier et al. (2023) zur Vermeidung von Floor- und Ceiling-Effekten und basiert auf den höchsten Item-Gesamt-Korrelationen des DRC-Tests (Norwig et al., 2021).

Die Fähigkeiten und Einstellungen der Auszubildenden zur Kollaboration und Kooperation wurde anhand einer Selbsteinschätzungsskala bewertet. Die 21 Items der verwendeten Skala umfassen die Kategorien: Kollaboration/Kooperation im Allgemeinen (3 Items), Perspektiveübernahme (4 Items), Austausch (Teilen und Elizitieren) relevanter Informationen (5 Items), Koordination (5 Items) und Verhandlung mit Kollaborations-/Kooperationspartnern (4 Items). Die Reliabilitäten erreichten in allen Einzelskalen ein sehr hohes Niveau von Cronbachs $\alpha = 0,99$. Die Skalen werden mit einer 7-stufigen Likert-Skala erhoben, die von völliger Ablehnung bis zu völliger Zustimmung reicht.

Kollaborative und diagnostische Aktivitäten

Bei der Kodierung der kollaborativen und diagnostischen Aktivitäten folgen wir dem Verfahren und dem Kodierschema aus unserer früheren Studie (Radkowitz et al.,

eingereicht). Wir kodierten alle Chat-Segmente in je eine kollaborative und eine diagnostische Aktivität. Mögliche kollaborative Aktivitäten sind (A) Teilen von Informationen, (B) das Elizitieren von Informationen, (C) Koordinieren der Zusammenarbeit, (D) Verhandeln und (E) Aufrechterhalten der Kommunikation. Die diagnostischen Aktivitäten lassen sich in vier Kategorien einteilen: (1) Hypothesen generieren, (2) Evidenz generieren, (3) Evidenz interpretieren und (4) Sonstiges. Die Methode erwies sich bei der Kodierung der kollaborativen und diagnostischen Aktivitäten mit einem Cohen's kappa von $\kappa = .79$ (kollaborative Aktivitäten) und $\kappa = .85$ (diagnostische Aktivitäten; Radkowitz et al., eingereicht) als sehr zuverlässig.

Kodierung lösungsrelevanter Inhalte

Die Identifikation bestimmter Informationen als relevant und der korrekte Austausch dieser mit dem Kollaborationspartner sind notwendige Voraussetzungen für eine korrekte Lösung der CDPS-Fälle. Wir haben daher den Austausch von lösungsrelevanten Inhalten in den Chats der Dyaden untersucht. Die Spezifikation von lösungsrelevanten Inhalte basiert auf Expertenlösungen des zu bearbeitenden CDPS-Falles. Auf dieser Grundlage kodierten wir die Chatprotokolle der einzelnen Dyaden danach, (1) ob der relevante Inhalt im Chatprotokoll vorkam oder nicht und (2) ob der relevante Inhalt korrekt ausgetauscht wurde oder nicht. So konnte es beispielsweise vorkommen, dass Dyaden über einen bestimmten Referenzwert sprachen, der für die Diagnose des Falles relevant war, der Wert selbst aber nicht korrekt ausgetauscht wurde. In diesen Fällen haben wir kodiert, dass der entsprechende Referenzwert zwar erwähnt, aber nicht korrekt ausgetauscht wurde. Für jede Dyade berechneten wir den Prozentsatz ausgetauschter relevanter Inhalte und korrekt ausgetauschter relevanter Inhalte. Dieses Kodierverfahren wurde bereits von Radkowitz et al. (eingereicht) für denselben diagnostischen Fall verwendet. Basierend auf den Ergebnissen der ersten Studie wurden kleinere Anpassungen am Umfang der lösungsrelevanten Inhalte vorgenommen. Die

Anpassung umfasste das Streichen von vier redundanten Inhalten im Prozessschritt der Evidenzgenerierung. Eine studentische Hilfskraft und der Erstautor testeten das angepasste Kodierschema in 40 von 77 (51,95%) Dyaden-Chatprotokollen. Bei der Kodierung wurden schwankende Interrater-Reliabilitäten erzielt. In Sitzung 1 erreichte die Kodierung zwischen Cohens $\kappa = .16$ (schlecht) und Cohens $\kappa = 1$ (perfekt). Im Durchschnitt wurde eine gute Interrater-Reliabilität von Cohen's $\kappa = .66$ erreicht. In Sitzung 2 lag die Kodierung zwischen Cohen's $\kappa = .14$ (schlecht) und Cohen's $\kappa = 1$ (perfekt). Im Durchschnitt wurde eine gute Interrater-Reliabilität von Cohen's $\kappa = .69$ erreicht.

Motivation

Erneut folgen wir Meier et al. (2022, 2023) und verwenden denselben Fragebogen zur Einschätzung der aktuellen Motivation der Auszubildenden (Vollmeyer & Rheinberg, 2000). Es wurde lediglich eine sprachliche Anpassung an den Kontext der kollaborativen DPS vorgenommen (im Gegensatz zu der individuellen DPS in Meier et al., 2023). Die sprachlichen Anpassungen wurden im Rahmen eines Peer-Review-Verfahrens vorgenommen. Es wurde ein 19 Punkte umfassender Fragebogen mit einer siebenstufigen Likert-Skala verwendet, die zwischen "stimme überhaupt nicht zu" und "stimme voll zu" variiert. Der Fragebogen umfasst fünf Skalen, deren Reliabilitätswerte in beiden Sessions alle im guten bis sehr guten Bereich lagen. Die Selbstwirksamkeitserwartung (Bandura, 2006) in Bezug auf den bevorstehenden CDPS-Fall wurde mit fünf Items erfasst (Sitzung 1: Cronbachs $\alpha = 0,88$; Sitzung 2: Cronbachs $\alpha = 0,88$). Das Interesse an CDPS (Schiefele, 1991) wurde ebenfalls mit fünf Items erhoben (Sitzung 1: Cronbachs $\alpha = 0,82$; Sitzung 2: Cronbachs $\alpha = 0,78$). Vier Items fragten danach, ob die Auszubildenden die folgenden CDPS als herausfordernd empfanden (Sitzung 1: Cronbachs $\alpha = 0,79$; Sitzung 2: Cronbachs $\alpha = 0,82$). Die Angst vor Inkompetenz wurde mit weiteren fünf Items erfasst (Sitzung 1: Cronbachs $\alpha = 0,87$; Sitzung 2: Cronbachs $\alpha = 0,92$).

Diagnostische Genauigkeit

Auf der Grundlage der Erkenntnisse von Radkowitz et al. (eingereicht) und Meier et al. (2023) haben wir den Score für die diagnostische Genauigkeit zu einem 5-stufigen Score weiterentwickelt. Die Dyaden erhielten je nach Leistung folgende diagnostische Genauigkeitsscores: (0) die erfolgsrelevante Messung wurde nicht (korrekt) durchgeführt; (1) die erfolgsrelevante Messung wurde korrekt durchgeführt und der korrekte Ist-Wert benannt; (2) die erfolgsrelevante Messung wurde korrekt durchgeführt, benannt und korrekt interpretiert; (3) aus der korrekten Messung und korrekten Interpretation ergibt sich eine korrekte Ableitung des defekten Bauteils; (4) aus der korrekten Ableitung, die sich aus einer korrekten Interpretation und Messung ergibt, wird ein korrekter Reparaturvorschlag abgeleitet. Die Bewertung der Korrektheit der erfolgsrelevanten Messung, der Benennung, der Interpretation, der Ableitung des fehlerhaften Bauteils sowie des Reparaturvorschlags basiert auf Expertenurteilen, die auf zuvor erstellten Expertenlösungen des bearbeiteten CDPS-Falls beruhen. Die Bewertung der erfolgsrelevanten Messung sowie aller Möglichkeiten, diese korrekt durchzuführen, basiert auf der Auswertung von durch die Simulation generierten Logdaten. Ob die Dyaden die Messung richtig benannt und interpretiert sowie die fehlerhafte Komponente korrekt abgeleitet haben, wird anhand der ausgetauschten Chatnachrichten und der von den Dyaden gemachten Reparaturvorschläge bewertet. Die Korrektheit des von den Dyaden gemachten Reparaturvorschlags wird anhand der Reparaturvorschläge bewertet. Die Auswertung der diagnostischen Genauigkeit wurde vom Erstautor und einer studentischen Hilfskraft durchgeführt, wobei gute Inter-Rater-Reliabilitäten erzielt wurden (Session 1: Cohen's $\kappa = .74$; Session 2: Cohen's $\kappa = .60$).

Strategiebeschreibung und Strategieanwendung

Der Test zur Beschreibung der Kollaborationsstrategie und der Test zur Anwendung der Kollaborationsstrategie wurden am Ende jeder Sitzung durchgeführt. Die Interrater-

Reliabilität für beide Tests wurde durch den Vergleich der Codierungen einer studentischen Hilfskraft und des Erstautors ermittelt. Die Interrater-Reliabilität des Tests zur Beschreibung der Kollaborationsstrategie wurde an 100 % der Antworten der Befragten getestet; für den Test zur Vervollständigung der Kollaborationsstrategie wurden 50 von 154 (32,5 %) Antworten der Probanden für jedes Item in Sitzung 1 und Sitzung 2 doppelt kodiert.

Der Test zur Beschreibung der Kollaborationsstrategie bestand aus zwei Aufgaben. In der ersten Aufgabe sollten die Probanden beschreiben, welche Informationen sie im Falle einer kollaborativen Kfz-Fehlerdiagnose sammeln, bevor sie eine technische Anfrage an die Service-Hotline stellen. Für diese Aufgabe konnten die Auszubildenden maximal vier Punkte erreichen. Die Interrater-Reliabilität war sowohl für Sitzung 1 (Cohens $\kappa = .59$) als auch für Sitzung 2 (Cohens $\kappa = .65$) gut. Die zweite Aufgabe forderte die Teilnehmer auf, die Schritte zu beschreiben, die in den Prozess der kollaborativen Diagnose von Kfz-Fehlfunktionen involviert sind. Auch hier konnten maximal 4 Punkte erreicht werden. Eine gute Interrater-Reliabilität wurde in Sitzung 1 (Cohen's $\kappa = .59$) und Sitzung 2 (Cohen's $\kappa = .61$) erreicht. Insgesamt konnten im Test zur Beschreibung der Kollaborationsstrategie maximal 8 Punkte erreicht werden.

Im Test zur Anwendung der Kollaborationsstrategie wurden den Teilnehmenden Kollaborationsszenarien sowie die notwendigen Informationen zu verschiedenen Schritten im Prozess einer kollaborativen Kfz-Fehlerdiagnose gegeben. Für jedes der einzelnen Szenarien sollten die Teilnehmenden eine Nachricht an einen vordefinierten Kollaborationspartner formulieren. Insgesamt wurden acht Aufgaben gestellt. Die erste Aufgabe forderte die Teilnehmenden auf, eine erste technische Anfrage an eine Service-Hotline zu formulieren, die auf den verfügbaren Informationen über eine vorliegende Autofehlfunktion basiert. Es konnten maximal 6 Punkte erreicht werden. Die Interrater-Reliabilität war gut (Sitzung 1: Cohen's $\kappa = .78$; Sitzung 2: Cohen's $\kappa = .72$). In der zweiten Aufgabe sollte eine Aussage über

die eigenen Annahmen zur Ursache der Störung formuliert werden. Es gab maximal 10 Punkte. Es wurde eine mäßige bis gute Interrater-Reliabilität erreicht (Sitzung 1: Cohens $\kappa = .53$; Sitzung 2: Cohens $\kappa = .73$). Aufgabe drei war die einzige, bei der nicht nach einer formulierten Nachricht gefragt wurde, sondern nur nach dem geplanten nächsten Schritt nach dem Austausch von Annahmen über die Ursache der Störung. Es konnten zwei Punkte erreicht werden. Die Interrater-Reliabilitäten waren mäßig (Sitzung 1: Cohens $\kappa = .64$; Sitzung 2: Cohens $\kappa = .65$). In den Aufgaben vier, fünf und sechs wurden den Teilnehmenden Chat-Segmente gezeigt, die einen Austausch über durchzuführende Tests zeigten. Die Teilnehmenden wurden gebeten, die Chat-Segmente auf die Vollständigkeit der darin enthaltenen Informationen hin zu bewerten und bei fehlenden Informationen eine Nachricht zu formulieren, in der diese angefordert wurden. Bei Aufgabe vier konnten maximal 2 Punkte erreicht werden. Es zeigten sich gute Interrater-Reliabilitäten (Sitzung 1: Cohen's $\kappa = .75$; Sitzung 2: Cohen's $\kappa = .75$). In Aufgabe fünf konnte ein Punkt erreicht werden. Es zeigten sich sehr gute Interrater-Reliabilitäten (Sitzung 1: Cohen's $\kappa = .96$; Sitzung 2: Cohen's $\kappa = .91$). Bei Aufgabe sechs konnten maximal 4 Punkte erreicht werden. Es zeigten sich gute Interrater-Reliabilitäten (Sitzung 1: Cohen's $\kappa = .78$; Sitzung 2: Cohen's $\kappa = .68$). In der siebten Aufgabe wurden die Teilnehmenden gebeten, eine Nachricht zu formulieren, in der sie über alle wichtigen Informationen einer vorgestellten Messung berichten. Es waren bis zu 6 Punkte möglich. Die Interrater-Reliabilität erreichte ein gutes Niveau (Sitzung 1: Cohen's $\kappa = .68$; Sitzung 2: Cohen's $\kappa = .65$). In der achten Aufgabe sollten die Teilnehmenden ein Testergebnis auswerten, daraus die Störungsursache ableiten und ihre Folgemaßnahmen in einer Nachricht beschreiben. Es wurden maximal 8 Punkte vergeben. Die Kodierungen zeigten mäßige bis gute Interrater-Reliabilitäten (Sitzung 1: Cohen's $\kappa = .53$; Sitzung 2: Cohen's $\kappa = .63$). Insgesamt konnten im Test zur Anwendung der Kollaborationsstrategie maximal 39 Punkte erreicht werden.

Zufriedenheit und Qualität

Nach der Bearbeitung der CDPS-Fälle in den Dyaden im Prä- und Posttest erfassten wir die Zufriedenheit (3 Items; Beispiel: Die gemeinsame Fehlerdiagnose hat mir Spaß gemacht) und die wahrgenommene Qualität (3 Items; Beispiel: Ich denke, dass die Zusammenarbeit mir bei der Störungsdiagnose geholfen hat) mit dem kollaborativen Prozess. Erfasst wurde dies mittels einer Selbsteinschätzungsskala auf einer 7-stufigen Likert-Skala, die von "stimme überhaupt nicht zu" bis "stimme voll zu" reichte. Die Skalen zur Zufriedenheit (Sitzung 1: Cronbachs $\alpha = 0,84$; Sitzung 2: Cronbachs $\alpha = 0,91$) und zur wahrgenommenen Qualität (Sitzung 1: Cronbachs $\alpha = 0,87$; Sitzung 2: Cronbachs $\alpha = 0,89$) erreichten gute Reliabilitäten.

Kognitive Belastung

Wir bewerteten die kognitive Belastung nach der Intervention mithilfe einer siebenstufigen Likert-Skala, die von Klepsch et al. (2017) und Klepsch & Seufert (2020, 2021) übernommen wurde. Die Skala reicht von "stimme überhaupt nicht zu" bis "stimme voll und ganz zu". Im Einzelnen haben wir die intrinsische kognitive Belastung (zwei Items), die extrinsische kognitive Belastung (drei Items) und die germane kognitive Belastung (zwei Items) der Auszubildenden bewertet. Sprachlich haben wir die Items an das Setting angepasst, in dem wir die "Aufgabe" durch "Lernmaterial" ersetzt haben. Die Reliabilitäten der Skalen waren akzeptabel bis gut (intrinsische Belastung: Cronbachs $\alpha = 0,59$; Fremdbelastung: Cronbach's $\alpha = 0,72$; Eigenbelastung: Cronbach's $\alpha = 0,68$).

Referenzen

- Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 8, 1997. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997>
- Klepsch, M., & Seufert, T. (2020). Understanding instructional design effects by differentiated measurement of intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Instructional Science*, 48(1), 45–77. <https://doi.org/10.1007/s11251-020-09502-9>
- Klepsch, M., & Seufert, T. (2021). Making an Effort Versus Experiencing Load. *Frontiers in Education*, 6, 645284. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.645284>
- Meier, J., Hesse, P., Abele, S., Renkl, A., & Glogger-Frey, I. (2023). Better Self-Explaining Backwards or Forwards? Video-Based Modelling Examples for Learning a Diagnostic Strategy and the Use of Different Self-Explanation Prompts. *Manuscript Submitted for Publication*.
- Meier, J., Spliethoff, L., Hesse, P., Abele, S., Renkl, A., & Glogger-Frey, I. (2022). Promoting car mechatronics apprentices' diagnostic strategy with modeling examples: Development and evaluation of a simulation-based learning environment. *Studies in Educational Evaluation*, 72, 101117. <https://doi.org/10.1016/j.stueduc.2021.101117>
- Norwig, K., Güzel, E., Hartmann, S., & Gschwendtner, T. (2021). „Tools to tap into the content of human minds“ – Think-Aloud-Interviews und Cognitive Labs als zentrale Bausteine zur Identifikation von Barrieren in Fehlerdiagnoseprozessen bei Auszubildenden des Kfz-Handwerks und zur Entwicklung adressantespezifischer Lehr-/Lernarrangements [“Tools to tap into the content of human minds” – The use of Think-Aloud and Cognitive Laboratory Interviews for Identifying Cognitive Barriers of Car Mechatronics Apprentices Diagnosing Electronic Car Systems and for Developing Educational Interventions Tailored to the Apprentices' Needs.]. *Zeitschrift*

Für Berufs- Und Wirtschaftspädagogik, 117, 658–693. <https://doi.org/10.25162/zbw-2021-0025>

Radkowitzsch, A., Rexhäuser, D., Richters, C., Glogger-Frey, I., & Abele, S. (eingereicht).

Investigating collaborative diagnostic problem solving in automotive malfunction diagnosis: Deriving starting points for instructional support.

Rexhäuser, D. Radkowitzsch, A., Richters, C., Glogger-Frey, I., & Abele, S. (in Vorbereitung).

Does specificity matter? Fostering collaborative diagnostic problem solving using worked examples with self-explanation prompts of varying specificity.

Vollmeyer, R., & Rheinberg, F. (2000). Does motivation affect performance via persistence?

Learning and Instruction, 10(4), 293–309. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(99\)00031-6](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(99)00031-6)

Anhang

AI Instruktion CDPS-Strategie

Auf den folgenden Seiten stellen wir Ihnen eine Strategie für eine erfolgreiche gemeinsame Fehlersuche sowie einen idealen Ablauf einer gemeinsamen Fehlersuche vor.

Strategie zur gemeinsamen Fehlersuche

Aus Ihrem Ausbildungsalltag kennen Sie sicherlich bereits Situationen, in denen Sie gemeinsam mit anderen (z. B. mit Ausbilder:innen, Lehrer:innen oder anderen Auszubildenden) eine Kfz-Fehlersuche durchgeführt haben. Eine Zusammenarbeit verschiedener Personen ist oft hilfreich oder sogar notwendig, um eine Fehlersuche erfolgreich abzuschließen. Im Arbeitsalltag einer:in Kfz-Mechatroniker:in kann es auch notwendig sein, dass eine technische Anfrage an eine Kfz-Servicehotline gestellt werden muss. Solche Anfragen erfolgen oft schriftlich über ein Kontaktformular oder einen (Service-)Chat. Um genau solche Situationen soll es heute gehen.

Neben dem fachlichen Know-how kommt es bei gemeinsamen Fehlersuchen darauf an, wie "erfolgreich" die Partner:innen miteinander kommunizieren. **Wir wollen Ihnen heute zeigen, was eine gelungene Kommunikation in der gemeinsamen Kfz-Fehlersuche ausmacht und was Sie selbst machen können, um die Kommunikation zu unterstützen.**

Ziel der Kommunikation innerhalb einer gemeinsamen Fehlersuche ist es, dass beide Partner:innen eine möglichst **genaue und korrekte Vorstellung der Situation** haben. Das heißt, dass beide Partner:innen über den aktuellen Zustand des Fahrzeugs Bescheid wissen und wissen, wo im gemeinsamen Fehlersuchprozess sie sich gerade befinden. Um dieses Ziel zu erreichen, sollten Sie sich an die folgenden **Grundsätze** halten:

Grundsatz 1: Übernehmen Sie Verantwortung!

Beide Partner:innen sind gleichermaßen für eine gelungene Kommunikation verantwortlich, also auch Sie!

Grundsatz 2: Teilen Sie ihr Wissen!

Sie wissen nicht, welche Informationen Ihrem Gegenüber vorliegen, deshalb: Teilen Sie Ihrem Gegenüber alles Relevante mit, was Sie über die Diagnosesituation wissen (und denken)!

Grundsatz 3: Fragen Sie nach!

Fragen Sie bei Ihrem Gegenüber nach, wenn Ihnen etwas unklar ist oder Ihnen Informationen fehlen!

Grundsatz 4: Sagen Sie, was Sie machen und warum!

Für Ihr Gegenüber ist es oft hilfreich zu wissen, was Sie aktuell machen, welche Handlungen Sie planen, welche Handlungen Sie bereits abgeschlossen haben und welche Beweggründe Sie für Ihre Handlungen haben. Deshalb teilen Sie Ihrem Gegenüber Ihre Handlung(en) und die Gründe dafür mit und fragen Sie auch nach seinen:ihren Handlungen und Beweggründen!

Grundsatz 5: Äußern Sie ihre Meinung!

Wenn Sie einmal anderer Meinung als Ihr Gegenüber sind, dann teilen Sie Ihre Bedenken mit. Genauso sollten Sie aber auch mitteilen, wenn Sie Ihrem Gegenüber zustimmen!

Alle diese Grundsätze sind in jedem Schritt einer gemeinsamen Fehlersuche wichtig!

Idealer Ablauf einer gemeinsamen Fehlersuche

Im Folgenden wollen wir Ihnen zeigen, welche Schritte bei einer gemeinsamen Kfz-Fehlersuche auftreten und welche konkreten Ziele und Inhalte in den einzelnen Schritten im Vordergrund stehen.

Eine gemeinsame Fehlersuche läuft idealerweise in **vier Schritten** ab. Diese Schritte sind:

1. Klärung der **Ausgangssituation**,
2. Formulierung und Austausch begründeter **Vermutungen** über die Fehlerursache,
3. Planen und Durchführen von **Tests** und
4. **Bewertung** der Testergebnisse.

Im **1. Schritt, der Klärung der Ausgangssituation**, wollen Sie zuerst ein **gemeinsames Verständnis** über die Ausgangssituation und die Problemstellung erlangen. Hierzu sollten Sie folgende relevante Informationen mit Ihrer:m Partner:in austauschen:

- **Fahrzeugdaten** (Schlüsselnummern, Motorkennbuchstabe),
- **Kundenbeanstandung** (Kundenauftrag)
- **Aktueller Fahrzeugzustand** (Nachvollziehbarkeit der Kundenbeanstandung und Fehlerspeichereinträge)

Der 1. Schritt ist erfolgreich abgeschlossen, wenn Sie und Ihr:e Diagnosepartner:in alle relevanten Informationen vorliegen haben.

Im **2. Schritt (Austausch begründeter Vermutungen zur Fehlerursache)** sollten Sie zuerst Ihre Vermutungen zur möglichen Fehlerursache austauschen. Ihre Vermutungen sollten Sie Ihrer/m Partner:in dabei so begründen, dass er oder sie nachvollziehen kann, wie Sie zu Ihren Vermutungen gekommen sind. Nach dem Austausch Ihrer Vermutungen sollten Sie gemeinsam die Relevanz der besprochenen Fehlerursachen gewichten und eine Bearbeitungsreihenfolge für die folgende Fehlersuche festlegen.

Erfolgreich abgeschlossen ist dieser 2. Schritt, wenn Sie alle Ihnen bekannten möglichen Vermutungen zur Fehlerursache ausgetauscht und begründet haben und Sie gemeinsam eine Bearbeitungsreihenfolge festgelegt haben.

Im **3. Schritt** geht es darum, notwendige **Tests** (z. B. elektrotechnische Messungen), anhand der zuvor festgelegten Bearbeitungsreihenfolge, zu **planen und durchzuführen**. Das heißt, dass Sie und Ihr:e Partner:in sich über alle relevanten Informationen zu den notwendigen Tests austauschen sollten. Konkret sollten Sie zu jedem Test wissen:

- **Was Sie testen wollen (Testgröße):** z.B. Widerstandsmessung, akustische Tests
- **Wo getestet werden soll (Testort):** Bauteil und Messpunkte, an denen getestet werden soll
- **Wie getestet werden soll (Testbedingungen):** Fahrzeugzustand während der Testung (z.B: Zündung aus) sowie eingesetzte Werkzeuge und Hilfsmittel (z.B: Y-Adapter)
- **Sollwerte**
- **Istwerte (Testergebnisse)**

Erfolgreich abgeschlossen ist der 3. Schritt, wenn Sie alle notwendigen Tests geplant und durchgeführt haben und Sie sich über die (korrekten) Testergebnisse ausgetauscht haben.

Im **4. Schritt** geht es an die gemeinsame **Bewertung der Testergebnisse**. Hier sollten Sie gemeinsam besprechen, wie die Testergebnisse in Hinblick auf die aufgestellten Vermutungen zur Fehlerursache zu bewerten sind. Das funktioniert über einen Abgleich von Soll- und Istwerten. Anhand Ihrer Bewertungen können Sie anschließend Bauteile als Fehlerursache identifizieren oder ausschließen und damit einen gemeinsamen Reparaturvorschlag für die Instandsetzung entwickeln. Der 4. Schritt ist erfolgreich abgeschlossen, wenn Sie gemeinsam ein Bauteil als Fehlerursache identifiziert und einen gemeinsamen Reparaturvorschlag formuliert haben.

Der zuvor dargestellte Prozess stellt einen idealen Ablauf dar, der in der Praxis selten genauso auftritt. In der Praxis kann es zum Beispiel notwendig sein, zwischen verschiedenen Schritten der Fehlersuche zu springen oder noch einmal zu bereits bearbeiteten Schritten zurückzukehren. Wenn dies einmal der Fall sein sollte, dann sollten Sie das gemeinsam besprechen.

Auf der nächsten Seite finden Sie eine Abbildung; die den idealen Prozess einer gemeinsamen Fehlersuche noch einmal zusammengefasst darstellt. Nehmen Sie sich noch einmal ein paar Minuten Zeit und versuchen Sie, den idealen Ablauf einer gemeinsamen Fehlersuche anhand dieser Kurzübersicht zu verinnerlichen.



Abbildung 1: Übersicht idealer Ablauf einer gemeinsamen Fehlersuche