

Erwerb komplexer fahraufgabenbezogener Problemlösekompetenzen: von der Theorie zur Praxis

Über die Eignung des 4C/ID-Modells zur didaktischen
Gestaltung von Lernumgebungen zur Vermittlung von
Gefahrenwahrnehmung

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Philosophie
der Fakultät HW
Bereich Empirische Humanwissenschaften
der Universität des Saarlandes

vorgelegt von
Jana Hilz
aus Oschatz

Saarbrücken, 2021

Dekan: Prof. Dr. Stefan Panzer

Berichterstatter: Prof. Dr. Roland Brünken
PD Dr. Antje Biermann

Tag der Disputation: 18. Dezember 2020

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Empirische Bildungsforschung der Universität des Saarlandes unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Roland Brünken.

Die erfolgreiche Erstellung der vorliegenden Arbeit sowie meine fachliche und persönliche Weiterentwicklung verdanke ich einer Reihe an Personen, die mich auf ganz vielfältige Weise in meinem Projekt unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Roland Brünken für die Betreuung und die enorme Unterstützung bei der Umsetzung der gesamten Arbeit. Ihr Zutrauen in meine Fähigkeiten und Ihre Zuversicht haben mich darin bestärkt, mich den Anforderungen zu stellen.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Arbeitskollegen, insbesondere bei Frau Dr. Sarah Malone, die mir stets eine wertvolle Gesprächspartnerin war und jede Auseinandersetzung mit der Arbeit durch ihr Wissen und ihre Ratschläge bereichert hat.

Herrn Tobias Gall möchte ich für die verschiedenen Programmierungsarbeiten im Projekt danken, die entscheidend zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben. Ebenso danke ich Herrn Dr. Christian Müller und Herrn Rafael Math vom DfKi in Saarbrücken für die Erstellung der Fahrsimulatorszenarien. Danken möchte ich an dieser Stelle auch allen studentischen Hilfskräften, die mich im Projekt unterstützt und mich durch ihr Mitwirken bei anfallenden Aufgaben entlastet haben. Zu nennen sind hier Katharina Scheurer, Marie Lattek, Lenja Späther, Kristin Altmeyer, Lars Nickel-Jucknat und Manuel Zachej.

Auch allen Fahrlehrern, Berufsschullehrern und Trainern gilt mein Dank für ihr Interesse und ihre Aufgeschlossenheit, mich bei der Organisation meiner Erhebungen zu unterstützen. Zudem danke ich den zahlreichen Studienteilnehmern, ohne deren Beteiligung die vorliegende Arbeit nie zustande gekommen wäre.

Mein abschließender Dank gilt meiner Familie, meinem Partner sowie meinen Freunden für die immense Unterstützung, die ich in jeglicher Hinsicht erfahren durfte sowie für ihre Geduld und ihr grenzenloses Verständnis während der gesamten Zeit.

Zusammenfassung

Eine Teilkompetenz des Fahrenkönnens, die bei Fahranfängern deutlich geringer ausgeprägt ist als bei erfahrenen Fahrern, ist die Gefahrenwahrnehmung (Horswill & McKenna, 2004). Bei der Gefahrenwahrnehmung handelt es sich um eine sicherheitsrelevante Kompetenz. Eine geringere Ausprägung ist mit einer höheren Unfallneigung assoziiert.

In Deutschland gliedert sich die Fahrausbildung in zwei Teile: in einen theoretischen und einen fahrpraktischen Teil. Im Theorieunterricht wird vermittelt, woraus sich im Verkehr Gefahrensituationen ergeben und es wird aufgezeigt, wie Gefahren abgewendet oder vermieden werden können. Die Idee ist, dass das, was im Theorieunterricht vermittelt wurde, automatisch auch im Realverkehr vom Fahranfänger umgesetzt werden kann. Wissen, das dekontextualisiert vermittelt wurde, kann aber beim Lösen realer Probleme oft nicht spontan angewendet werden (Renkl, 1996). Relevantes Wissen, das den Fahranfänger befähigt, angemessene Entscheidungen zu treffen, sollte deshalb im realen Anwendungskontext erworben werden (Brown, Collins, & Duguid, 1989).

Bislang wird gefahrenspezifisches Wissen nach Bestehen der Fahrprüfung überwiegend eigenständig durch die bloße Teilnahme am Straßenverkehr erworben, sprich durch komplexes Problemlösen. Diese Art des Lernens ist für Domänenneulinge nicht die effektivste und effizienteste, um Wissen und Können zu erwerben. Unfallstatistiken zeigen, dass Fahranfänger in den ersten Monaten des Fertigkeitserwerbs zu schwerwiegenden Fahrfehlern neigen. Der Erwerb von Fahrerfahrung ist mit einem Dilemma verbunden, in der Literatur auch als *Young Driver Paradox* bezeichnet. Einerseits steigt das Risiko zu verunfallen mit der Häufigkeit, mit der der Fahranfänger aktiv am Verkehr teilnimmt. Andererseits werden nur durch das Fahren selbst die Kompetenzen erworben, die Fahrer zur Vermeidung von Unfällen befähigen (Debus, Leutner, Brünken, Skottke, & Biermann, 2008).

Im Vergleich zum Fahrenlernen im Realverkehr bieten Fahrsimulationen die Möglichkeit einer realitätsnahen Auseinandersetzung mit domänenspezifischen Inhalten, ohne dass der Lerner Risiken ausgesetzt ist. Dass mittels computerbasierter Lernanwendungen, die über bewegtes Bildmaterial gefahrenspezifisches Wissen vermitteln, Gefahrenwahrnehmung effektiv trainiert werden kann, konnte bereits vielfach empirisch nachgewiesen werden (z. B. McDonald, Goodwin, Pradhan, Romoser, & Williams, 2015).

Nicht nur, dass es sich zu Beginn der Phase des eigenständigen Fahrens um eine riskante Zeit handelt, in der Fahrerfahrungen häufig unangeleitet gesammelt werden, bei vielen alltäglichen Tätigkeiten lässt sich beobachten, dass jahrelange Erfahrung nicht unbedingt dazu führt, dass Personen qualitativ immer besser in ihren Leistungen werden. Bloßes Sammeln von Erfahrungen, das heißt, wenn immer wieder die gleichen Abläufe und die gleichen Aktivitäten wiederholt ausgeführt werden, führt eher zu

Automatisierung und damit zu geringerer kognitiver Beanspruchung durch die Aufgabe (Shiffrin & Schneider, 1977). Flexibel anwendbares Wissen kann auf effektivere und effizientere Weise erworben werden: durch Anleitung und zielgerichtetes Üben, wie es bspw. im Rahmen des *Cognitive Apprenticeship* (Collins, Brown, & Newman, 1989) praktiziert wird. Voraussetzung für flexibel anwendbares Wissen sind kognitive Schemata bzw. mentale Modelle, in denen nicht nur Faktenwissen, sondern auch Wissen über kausale Zusammenhänge zwischen diesen einzelnen Wissens-elementen auf eine Weise organisiert ist, sodass es rasch abgerufen werden kann.

Ein Instruktionsdesignmodell, das den Erwerb von Handlungswissen in den Mittelpunkt stellt und den Erwerb flexibel anwendbaren Wissens zum Ziel hat, ist das 4C/ID-Modell (van Merriënboer & Kirschner, 2018). Kernstück von Lernumgebungen, die auf dem 4C/ID-Modell basieren, sind Aufgaben, die Lerner mit ganzheitlichen authentischen Problemen konfrontieren. Da das Modell bereits in anderen, aber strukturell vergleichbaren Wissensbereichen, wie beispielsweise in der medizinischen Ausbildung, erfolgreich für die Entwicklung von Lernumgebungen eingesetzt werden konnte, war es naheliegend, dieses Modell auch auf dessen Anwendbarkeit für den Bereich Gefahrenwahrnehmung zu prüfen. Zu diesem Zweck wurden im vorliegenden Projekt insgesamt drei Studien durchgeführt.

Anhand des *Expert Performance Approach* (Ericsson & Smith, 1991) konnten in Studie 1 sicherheitsrelevante Lerninhalte identifiziert werden, die für Studie 2 aufbereitet und zu Lernaufgaben weiterentwickelt wurden. Mit Studie 2 wurde das Ziel verfolgt, spezifische Modellannahmen des der Lernanwendung zugrunde gelegten Instruktionsdesigns auf ihre Gültigkeit für den Wissensbereich Gefahrenwahrnehmung zu überprüfen. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die Annahme des 4C/ID-Modells, dass Lernanwendungen zur Fahranfängervorbereitung sowohl Unterstützende als auch Prozedurale Zusatzinformationen bereitstellen sollten, um Lerner optimal beim Kompetenzerwerb zu unterstützen, da durch beide Arten an Zusatzinformationen unterschiedliche Teilkompetenzen der Gefahrenwahrnehmung gefördert werden. Mit den Ergebnissen von Studie 3 konnte aufgezeigt werden, dass mit adaptiv auf die Bedürfnisse der Lerner zugeschnittener instruktionaler Unterstützung effizienter gelernt werden kann als mit instruktionaler Unterstützung, die für alle Lerner gleich und vollumfänglich dargeboten wird.

Durch das vorliegende Projekt konnte die Eignung des 4C/ID-Modells für eine weitere komplexe Domäne außerhalb technischer oder medizinischer Wissensbereiche bestätigt werden. Auch kann aufgrund der Ergebnisse angenommen werden, dass dieser Instruktionsdesignansatz neben der Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung auch zur Förderung weiterer fahrbezogener Teilkompetenzen gewinnbringend eingesetzt werden kann.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	ii
Abkürzungsverzeichnis	vii
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	x
1 Einleitung	1
1.1 Einleitung und Problemstellung	1
1.2 Gefahrenwahrnehmung als sicherheitsrelevante Teilkompetenz beim Fahren	4
2 Theoretischer Hintergrund: Lerngegenstand	6
2.1 Gegenstandsbereich Gefahrenwahrnehmung	6
2.2 Erfassung von Gefahrenwahrnehmung.....	10
2.3 Training von Gefahrenwahrnehmung	12
2.3.1 DriveSmart.....	14
2.3.2 DriverZED.....	18
2.3.3 RAPT	20
2.3.4 eDrive	25
2.3.5 Weitere Trainingsanwendungen	27
2.3.6 Zusammenfassung und Fazit	30
2.4 Fahrkompetenzerwerb.....	40
2.4.1 3-Ebenen-Modell des Kompetenzerwerbs von Rasmussen	42
2.4.2 Hierarchisches Modell des Fahrverhaltens und GDE-Matrix	43
2.4.3 Arbeitsmodell der Fahrkompetenz.....	47
2.4.4 Fahrkompetenzstrukturmodell	49
2.4.5 Zusammenfassung und Fazit	50
2.5 Expertise und Expertiseerwerb	51
2.5.1 Merkmale von Expertise.....	55
2.5.2 Theorien zur Expertiseentwicklung.....	58
2.5.3 Deliberate Practice	65
2.5.4 Methoden der Expertiseforschung.....	68
2.6 Gefahrenwahrnehmung als komplexes Problemlösen	72

2.7	Zusammenfassung.....	76
3	Theoretischer Hintergrund: Instruktionsdesign	79
3.1	Lehr-Lerntheoretische Ausrichtungen.....	79
3.2	Instruktionsdesign und Instruktionsdesignmodelle	81
3.3	Four-Component Instructional Design (4C/ID)-Modell	83
3.3.1	Theoretische Basis des 4C/ID-Modells	88
3.3.2	Gestaltung einer Lernumgebung nach Maßgabe des 4C/ID-Modells	91
4	Einleitung der drei empirischen Studien.....	99
5	Studie 1: Identifikation von Lerninhalten	100
5.1	Theoretischer Hintergrund.....	100
5.2	Zielsetzung und Hypothesen	105
5.3	Methode.....	106
5.3.1	Experimentelles Design	106
5.3.2	Stichprobe	106
5.3.3	Testmaterial und technische Ausstattung.....	107
5.3.4	Vorgehen	111
5.4	Ergebnisse.....	112
5.4.1	Verwendete Leistungsmaße.....	112
5.4.2	Stichprobe	112
5.4.3	Allgemeine Reaktionsfähigkeit.....	113
5.4.4	Hazard Perception-Aufgaben	113
5.5	Diskussion	116
6	Studie 2: Prüfung der Validität zweier Modellkomponenten.....	121
6.1	Theoretischer Hintergrund.....	121
6.2	Zielsetzung und Hypothesen	122
6.3	Methode.....	124
6.3.1	Experimentelles Design	124
6.3.2	Stichprobe	124
6.3.3	Testmaterial und technische Ausstattung.....	125
6.3.4	Vorgehen	129
6.4	Ergebnisse.....	129
6.4.1	Verwendete Leistungsmaße.....	130

6.4.2	Stichprobe	130
6.4.3	Lernerfolgskontrolle (Testvideo am Ende der Lernaufgabe).....	131
6.5	Diskussion.....	132
7	Studie 3: Adaptive Instruktionale Unterstützung.....	135
7.1	Theoretischer Hintergrund.....	135
7.2	Zielsetzung und Hypothesen	139
7.3	Methode.....	142
7.3.1	Design	142
7.3.2	Stichprobe	142
7.3.3	Testmaterial und technische Ausstattung.....	143
7.3.4	Vorgehen	149
7.4	Ergebnisse.....	150
7.4.1	Verwendete Leistungsmaße.....	150
7.4.2	Stichprobe	151
7.4.3	Testergebnisse: Lernzeit und Anzahl an Lösungsversuchen im Training	151
7.4.4	Testergebnisse: Leistungen im Wissenstest und Fahrverhalten	152
7.5	Diskussion.....	157
8	Allgemeine Diskussion	163
8.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	164
8.2	Theoretische und Praktische Implikationen.....	169
8.3	Ausblick und weiterführende Forschungsfragen	170
	Literaturverzeichnis.....	178
	Anhang A: Materialien Studie 1	203
	Anhang B: Materialien Studie 2.....	207
	Anhang C: Materialien Studie 3.....	211

Abkürzungsverzeichnis

ANCOVA	Analysis of Covariance
ANOVA	Analysis of Variance
AV	Abhängige Variable
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BF17	Begleitetes Fahren ab 17
CBT	Computerbasiertes Training
CLT	Cognitive Load Theory
EG	Experimentalgruppe
KG	Kontrollgruppe
RT	Reaction Time
SA	Situation Awareness
UV	Unabhängige Variable
VR	Virtual Reality
WHN-Aufgaben	What happens next-Aufgaben

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Unfallrisiko weibl. (N = 6095) und männl. (N = 5205) Pkw-Fahranfänger in den ersten 4 Jahren ihrer Fahrkarriere. Unfälle mit Eintragung im Verkehrszentralregister (VZR; vgl. Hansjosten & Schade, 1997; nach Leutner et al., 2009).....	2
Abbildung 2: Einfluss von Alter und Erfahrung auf die Unfallgefährdung (nach Leutner et al., 2009) ..	3
Abbildung 3: Prozessmodell des Risikoverhaltens (nach Grayson et al., 2003)	8
Abbildung 4: Modell des Erwerbs von Fahr- und Verkehrsexpertise (nach Rasmussen, 1984; vgl. Leutner et al., 2009)	43
Abbildung 5: Hierarchisches Modell des Fahrverhaltens von Keskinen (1996; nach Hatakka et al., 2002)	44
Abbildung 6: GDE-Matrix (nach Hatakka et al., 2002)	46
Abbildung 7: Arbeitsmodell der Fahrkompetenz (nach Grattenthaler et al., 2009)	47
Abbildung 8: Fahrkompetenzerwerb als spiralförmiger Lernprozess (nach Grattenthaler et al., 2009)	49
Abbildung 9: Strukturmodell der inhaltlichen Anforderungsebenen und psychischen Komponenten der Fahrkompetenz (Sturzbecher & Weiße, 2011; nach Bredow & Sturzbecher, 2016).....	50
Abbildung 10: Modell der Informationsverarbeitung beim Fahren (nach Leutner & Brünken, 2002; vgl. auch Leutner et al., 2009)	61
Abbildung 11: Grafische Darstellung des 4C/ID-Modells (nach van Merriënboer & Kirschner, 2018)	87
Abbildung 12: Standbild aus Verkehrsszenario A6	110
Abbildung 13: Gruppenmittelwerte für die Anzahl an Treffern	131
Abbildung 14: Verlauf der Mittelwerte der z-standardisierten Reaktionszeiten	132
Abbildung 15: Algorithmus für Aufgabenselektion	146
Abbildung 16: Fahrsimulatoraufbau	148
Abbildung 17: Anzahl korrekt gelöster Items im Wissenstest im zeitlichen Verlauf	154

Abbildung 18: Veränderungen in den mittleren Fahrtgeschwindigkeiten beim Annähern an die Gefahrensituationen (Testzeitpunkt 1)	156
Abbildung 19: mittlere Geschwindigkeiten aller drei Gruppen in Verkehrsszenario A15	156
Abbildung 20: Veränderungen in den mittleren Fahrtgeschwindigkeiten beim Annähern an die Gefahrensituationen (Testzeitpunkt 2)	157
Abbildung 21: Screenshot zu Standbild Item A6	208
Abbildung 22: Screenshot Lerntext (EG) Item A6	209
Abbildung 23: Screenshot Lerntext (KG) Item A6	209
Abbildung 24: Standbild aus dem Lernvideo von Item A6, inkl. Prozeduraler Informationen	210

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung der Testszenarien	109
Tabelle 2: Itemkennwerte der Hazard Perception-Testaufgaben	114
Tabelle 3: Skizze Aufgabenaufbau Item A6.....	127
Tabelle 4: Deskriptive Daten ausgewählter demografischer Angaben sowie der Leistungen im Vortest und Testvideo	130
Tabelle 5: Beschreibung der Fahrsimulatorszenarien.....	148
Tabelle 6: Deskriptive Daten Wissenstest.....	153

1 Einleitung

1.1 Einleitung und Problemstellung

Autofahren ist für viele Personen eine alltägliche und für routinierte Fahrer scheinbar mühelos auszuführende, aber dennoch hochkomplexe Tätigkeit. Zeitgleich müssen vom Fahrer verschiedene Teilaufgaben, wie lenken, bremsen oder das Wechseln der Gänge ausgeführt werden, um das Fahrzeug bei angemessener Geschwindigkeit und mit ausreichendem Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern in der Fahrspur und auf Kurs zu halten. Was dabei als angemessen gelten kann, hängt unter anderem von den Absichten des Fahrers (z. B. sicher ans Ziel zu gelangen), von der aktuellen Verkehrssituation (z. B. Berufsverkehr) sowie von den Straßen- (z. B. gut ausgebaute Straße) und Wetterverhältnissen, aber auch von den persönlichen Fahrfertigkeiten und vom Zustand des Fahrers (z. B. ausgeruht oder müde) ab. Verkehrszeichen müssen erkannt und das eigene Verhalten nach diesen ausgerichtet werden. Diese Faktoren fließen in handlungssteuernde Entscheidungen ein. Hinzu kommt, dass der Fahrer die unmittelbare Verkehrsumwelt permanent beobachten muss, um mögliche Gefahren frühzeitig erkennen und angemessen darauf reagieren zu können. All diese Teilaufgaben müssen vom Fahrer mehr oder weniger zeitgleich koordiniert ausgeführt und bewältigt werden.

Aus Unfallstatistiken geht hervor, dass die Fahraufgabe nicht von allen Fahrergruppen gleich gut bewältigt wird. Verglichen mit erfahrenen Fahrern haben Fahranfänger ein vielfach höheres Risiko, im Straßenverkehr zu verunfallen. Dabei sind junge Fahrer im Alter zwischen 18 und 24 Jahren nach wie vor die im Straßenverkehr am stärksten gefährdete Altersgruppe (Statistisches Bundesamt, 2017). Knapp 66.000 Personen dieser Altersgruppe verunglückten 2016 im deutschen Straßenverkehr, 435 von ihnen sogar tödlich. Gemessen an der Gesamtbevölkerung (mit insgesamt 487 Verunfallten pro 100.000 Einwohner) verunglückten mit 1041 Personen pro 100.000 Einwohner durchschnittlich mehr als doppelt so viele junge Fahrer. Auch das Risiko, bei einem Unfall ums Leben zu kommen, war verglichen mit 39 Verkehrsunfalltoten je 100.000 in der Gesamtbevölkerung für die jungen Erwachsenen fast doppelt so hoch. Verglichen mit allen anderen Altersgruppen verunglückten die 18- bis 24-Jährigen dabei häufiger mit dem Pkw; knapp 34.000 als Fahrer und nahezu 12.000 als Mitfahrende. Das hohe Unfallrisiko junger Fahrer veranlasst Forscher weltweit, nach geeigneten Sicherheitsmaßnahmen zu suchen, um diesem Problem entgegenzuwirken.

Untersuchungen mit Fahranfängern unterschiedlichen Einstiegsalters haben ergeben, dass sowohl alters- (Jugendlichkeitsrisiko) als auch erfahrungsbezogene Faktoren (Anfängerrisiko) einen Einfluss auf die Unfallraten junger Fahrer haben (z. B. Leutner, Brünken, & Willmes-Lenz, 2009; McCartt,

Mayhew, Braitman, Ferguson, & Simpson, 2009; Williams, 2006). Dabei ist zumindest in der anfänglichen Phase des eigenständigen Fahrens das Anfängerrisiko der einflussreichere Faktor (McCartt et al., 2009). Zu Einflussfaktoren, die vornehmlich der adoleszenten Lebensphase zugeordnet werden können und das Jugendlichkeitsrisiko bedingen, zählen unter anderem eine erhöhte Risikobereitschaft, das Überschreiten von Regeln und Normen, Impulsivität und Sensationslust. Das Anfängerrisiko hingegen bezieht sich auf fahrspezifische Fertigkeiten, die das Resultat meist jahrelanger Übung sind. Hierzu zählen unter anderem unzureichende Fertigkeiten in Bezug auf die Fahrzeugsteuerung oder mangelnde visuelle Informationssuchstrategien.

Ferner zeigen Studien, dass das Risiko, in einen Verkehrsunfall verwickelt zu werden, in den ersten sechs Monaten nach Führerscheinerteilung für alle Altersgruppen am größten ist; wengleich Fahranfänger mit jüngerem Einstiegsalter stärker gefährdet sind als diejenigen, die in höherem Alter mit dem Fahren beginnen. Mit Erhalt der Fahrerlaubnis und dem Beginn des eigenständigen Fahrens lässt sich ein rasches Absinken der Unfallraten beobachten. Maycock (1991) konnte eine Halbierung der Unfallrate nach 6 Monaten eigenständigen Fahrens nachweisen. Dabei sind nach einer us-amerikanischen Studie, die ersten 1000 Meilen (entspricht etwa 1600 km), die Fahranfänger eigenständig mit dem Pkw zurücklegen, die kritischsten (McCartt, Shabanova, & Leaf, 2003). Schade (2001; vgl. Abb. 1) errechnete aus den Unfalldaten einer deutschen Stichprobe, dass sich das Unfallrisiko nach ca. neun Monaten eigenständigen Fahrens bereits halbiert hatte. Im weiteren Verlauf näherte sich die Unfallrate einer Asymptote bis sie nach ca. zweijähriger Fahrerfahrung ein geringes und stabiles Niveau aufwies.

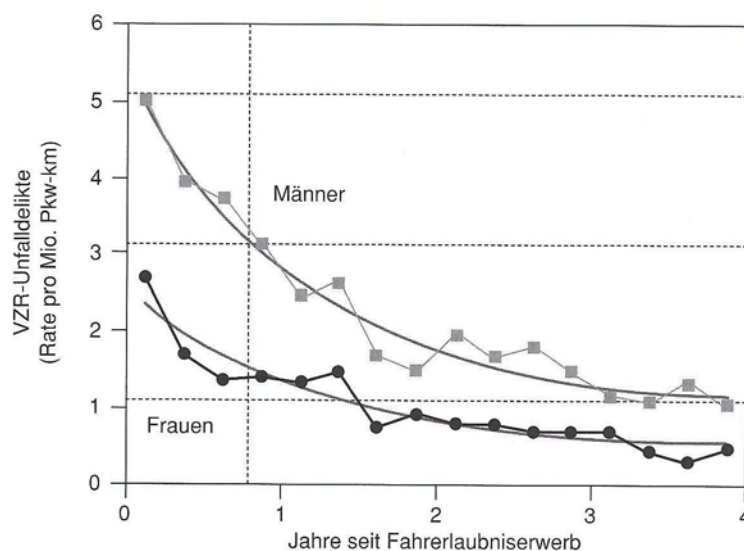


Abbildung 1: Unfallrisiko weibl. (N = 6095) und männl. (N = 5205) Pkw-Fahranfänger in den ersten 4 Jahren ihrer Fahrkarriere. Unfälle mit Eintragung im Verkehrszentralregister (VZR; vgl. Hansjosten & Schade, 1997; nach Leutner et al., 2009)

Das heißt, in dieser Zeit werden fahrbezogene Fertigkeiten erlernt, die den Fahranfänger davor schützen, ob gewollt oder ungewollt, Risiken einzugehen, die zu Unfällen führen können (Day, Thompson, Poulter, Stride, & Rowe, 2018).

Folglich können die in Abbildung 2 aufgezeigten Kurvenverläufe für das Jugendlichkeitsrisiko als Entwicklungskurve, für das Anfängerrisiko als Lernkurven interpretiert werden (Leutner et al., 2009). Die für das Anfängerrisiko typischen Lernkurven wurden inzwischen vielfach repliziert (z. B. Curry, Pfeiffer, Durbin, & Elliott, 2015; Schade, 2001; Williams, 2003). Zudem konnte vielfach empirisch nachgewiesen werden, dass junge männliche Fahranfänger stärker unfallgefährdet sind als junge weibliche (z. B. Curry et al., 2015; Schade, 2001; Twisk & Stacey, 2007; vgl. hierzu auch Abb. 1). Als Erklärung hierfür werden geschlechtsspezifische Unterschiede im Risikoverhalten von Männern und Frauen angeführt. Männer neigen eher dazu, sich riskant zu verhalten (Deery, 1999). So berichtet Vlakveld (2004) beispielsweise, dass männliche Fahranfänger sehr viel häufiger bewusst gegen Verkehrsregeln verstoßen und durch Fehlverhalten (z. B. Wahl höherer Geschwindigkeiten und geringerer Abstände beim Überholen) auffallen. Weibliche Fahrer hingegen machten mehr Fehler, die auf Unachtsamkeit und Unerfahrenheit zurückgingen (z. B. im falschen Gang fahren). Diese führten jedoch nicht zu einem erhöhten Unfallrisiko. Zudem schätzten Frauen das Risiko beim Fahren höher und die eigenen Fahrfertigkeiten geringer ein als die männlichen Testteilnehmer; und das obwohl sich in der Gefahrenwahrnehmungsleistung beider Gruppen keine Unterschiede zeigten (Farrand & McKenna, 2001).

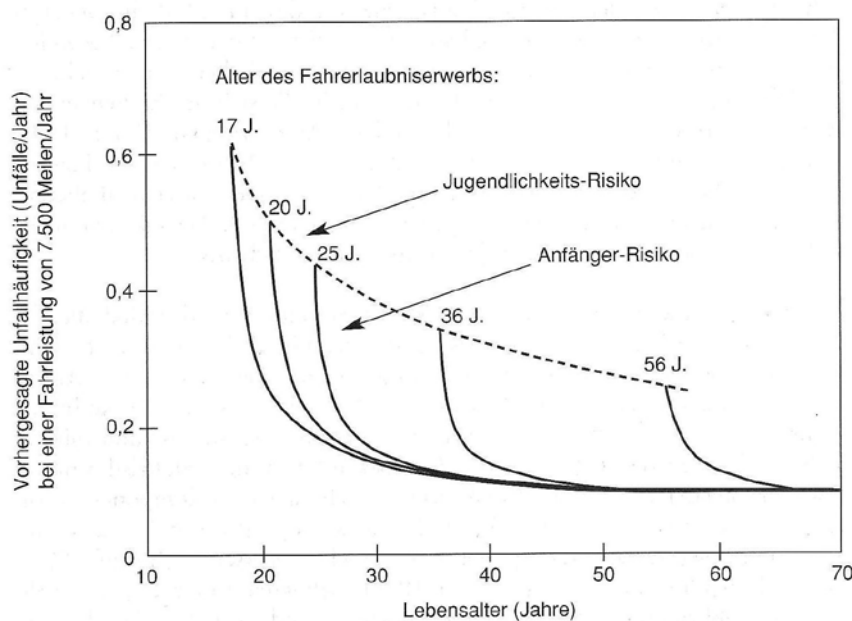


Abbildung 2: Einfluss von Alter und Erfahrung auf die Unfallgefährdung (nach Leutner et al., 2009)

Als Ursachen für die hohe Unfallneigung von Fahranfängern werden oft noch bestehende Defizite bei der Einschätzung von Signalen in der Fahr- und Verkehrsumgebung (Renge, 2000), ineffiziente Informationssuchstrategien (Crundall & Underwood, 1998; Underwood, Crundall, & Chapman, 2002) sowie eine situationsunangepasste Geschwindigkeits- und Abstandsregulierung genannt (Groeger, 2000). Zudem unterschätzen Fahranfänger einerseits Gefahren, die zu Unfällen führen können und überschätzen andererseits die eigenen Fertigkeiten, in gefährlichen Situationen angemessen reagieren zu können (Deery, 1999). Die Vermittlung dieser sicherheitsrelevanten Kompetenzen ist zwar explizit Teil der formalen Fahrausbildung in Deutschland, wie Unfallstatistiken jedoch zeigen, werden diese erst durch längere Fahrpraxis außerhalb des Ausbildungskontextes nachhaltig gefestigt (Willmes-Lenz, 2002). Abgeschlossen ist der Fertigkeitserwerb mit dem Erhalt des Führerscheins noch nicht (Grattenthaler, Krüger, & Schoch, 2009).

Den hohen Unfallraten von Fahranfängern entgegenzuwirken, ist Ziel von Sicherheitsbemühungen, die weltweit beobachtbar sind. Hierbei werden vorrangig zwei einander ergänzende Ansätze verfolgt: Einerseits Ansätze, die zum Ziel haben, Defizite durch geeignete Prüf- und Bewertungsverfahren verlässlich erfassen zu können, um Fahranfängern mit hoher Unfallneigung zusätzliche Übungsmöglichkeiten zur Verfügung stellen zu können. Und andererseits Ansätze, die darauf abzielen, den Kompetenzerwerb durch eine verbesserte Ausbildung zu unterstützen, um so allen Fahranfängern und insbesondere denen mit einer hohen Unfallneigung besser gerecht zu werden.

Fragen, die sich in diesem Zusammenhang ergeben sind, welche Kompetenzen sollen vermittelt werden und mit welchen Methoden soll dies geschehen. Außerdem stellt sich die Frage, welche Test- und Prüfverfahren eingesetzt werden können, um z. B. aussagekräftige Angaben zum Erreichen eines bestimmten Kompetenzniveaus treffen zu können.

1.2 Gefahrenwahrnehmung als sicherheitsrelevante Teilkompetenz beim Fahren

Eine fahrbezogene Teilkompetenz, die mit einem erhöhten Unfallrisiko einhergeht und bei Fahranfängern geringer ausgeprägt ist als bei erfahrenen Fahrern, ist die Gefahrenwahrnehmung (engl. *Hazard Perception*; Horswill & McKenna, 2004). Trainingsmaßnahmen können deshalb bei dieser Teilkompetenz ansetzen (Helman, Grayson, & Parkes, 2010). Das Erkennen von Gefahren oder den Umgang mit ebendiesen standardisiert im Realverkehr zu üben, ist zum einen nicht möglich und wäre zum anderen aus ethischen Gründen nicht vertretbar. Darüber hinaus wäre es keine effiziente Trainingsstrategie. Gefahrensituationen ereignen sich relativ selten, weshalb eine enorme Anzahl an Fahrstunden nötig wäre, um im Rahmen der Ausbildung messbare Trainingserfolge zu erzielen (Wetton, Hill, & Horswill, 2011).

Wie zahlreiche Beispiele aus anderen Ländern zeigen (z. B. Australien: SmartDrive; USA: RAPT, Road Aware™, SuperRAPT, EDTS, V-RAPT; Neuseeland: eDrive; Niederlanden: SimRAPT), können sich aber computerbasierte Lernanwendungen eignen, um fahrbezogene Fähigkeiten und Fertigkeiten, wie Gefahrenwahrnehmung, effektiv zu vermitteln. Computerbasierte Lernanwendungen bieten mehrere Vorteile. Durch die Einbindung innovativer Präsentationsformate, wie Videos und Animationen beispielsweise, erlauben sie eine vergleichsweise realitätsnahe und dabei aber auch risikofreie Auseinandersetzung mit alltagsnahen fahrbezogenen Problemsachverhalten. Außerdem lassen sich Lernwege in computerbasierten Anwendungen didaktisch sinnvoll steuern und durch die Möglichkeit der zeit- und ortsunabhängigen Nutzung kann Lernen durch diese Art von Anwendungen flexibilisiert werden. Darüber hinaus erlauben computerbasierte Lernanwendungen die Integration mehrerer Lernformen (z. B. individuelles und kooperatives Lernen; vgl. Reinmann & Vohle, 2009) und es ist zu erwarten, dass sich computerbasierte Lernmedien zumindest anfänglich positiv auf die Motivation und damit auf den Lernerfolg auswirken können (Merrill, 2002; Willmes-Lenz, 2010).

Dass computergestützte Lernanwendungen das Potential haben, den Erwerb von Fahr- und Verkehrskompetenzen zu unterstützen, konnte in Evaluationsstudien bereits mehrfach aufgezeigt werden (vgl. Abschn. 2.3). Zudem zeigen Studien aus dem Bereich des spielbasierten Lernens, dass sich *Serious Games* eignen können, fahrbezogenes Wissen zu vermitteln und die Fahrausbildung sinnvoll zu ergänzen (Li & Tay, 2014). Zu Inhalten sowie zur didaktischen Gestaltung von Lernanwendungen zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung fehlen jedoch bislang empirisch gesicherte Konzepte, die als Grundlage für den Einsatz und die Entwicklung computergestützter Lernprogramme dienen können. Ziel der vorliegenden Dissertation, die im Rahmen des BAST-geförderten Projektes „e-Learning Unterrichtskonzepte für die Fahranfängervorbereitung“ (FE82.0564) entstanden ist, war es daher, beispielhaft ein computerbasiertes Training (CBT) für die Fahranfängervorbereitung zu entwickeln und dessen Lernwirksamkeit empirisch zu überprüfen. Die Erstellung des CBTs erfolgte unter Berücksichtigung allgemeiner Richtlinien zur Gestaltung und zum Aufbau computergestützten Instruktionsmaterials sowie unter Einbezug bisheriger Erkenntnisse aus der computerbasierten Fahranfängervorbereitung. Als Teilziele der Dissertation wurden einzelne Komponenten des Trainingsprogramms hinsichtlich ihrer Lernwirksamkeit empirisch überprüft, um davon ausgehend Hinweise zur qualitätsgesicherten Gestaltung künftiger computerbasierter Trainingsinterventionen für die Fahranfängervorbereitung ableiten zu können.

2 Theoretischer Hintergrund: Lerngegenstand

Ist es das Ziel, eine Trainingsintervention zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung zu entwickeln, stellt sich zuerst einmal die Frage, was eigentlich unter Gefahrenwahrnehmung verstanden wird. Dies zu klären sowie eine theoretische Einordnung des Konzepts vorzunehmen, ebenso wie gegenwärtige Erfassungsmethoden und Interventionen zum Trainieren dieser Fertigkeit vorzustellen, wird Gegenstand des ersten Teils dieser Arbeit sein. Im Anschluss daran werden theoretische Modelle zum Fahrkompetenz- und Expertiseerwerb dargestellt, um davon ausgehend Hinweise für instruktionspsychologische Anforderungen in Bezug auf die zu entwickelnde Lernumgebung ableiten zu können.

2.1 Gegenstandsbereich Gefahrenwahrnehmung

Beim Blick in die einschlägige Literatur wird schnell deutlich, dass es weder ein theoretisches Rahmenmodell noch eine allgemeine oder mehrheitlich verwendete Definition für das Konzept *Gefahrenwahrnehmung* gibt. Vielmehr sind zum Teil recht unterschiedliche Definitionen und Konzeptualisierungen vorgeschlagen worden (Jackson, Chapman, & Crundall, 2009). Einige wenige Beispiele sollen dies zunächst einmal verdeutlichen.

Wetton et al. (2010) beschreiben Gefahrenwahrnehmung als komplexe Fertigkeit, bei der drei aufeinanderfolgende Teilprozesse unterschieden werden können: In einem ersten Teilprozess muss der Fahrer zunächst das Vorliegen eines potentiell gefährlichen Ereignisses erkennen (*Hazard Detection*). Danach erfolgt eine Einschätzung, wie wahrscheinlich es ist, dass sich die eigene Verlaufsbahn und die anderer Verkehrsteilnehmer kreuzen und daraus möglicherweise ein Unfall resultiert. Abschließend wird das Ereignis klassifiziert und entschieden, ob es ausreichend gefährlich ist und somit eine Reaktion erforderlich macht. Wetton et al. (2010) nennen diesen Teilprozess entsprechend *Hazard Classification*. Neben Wahrnehmungsprozessen thematisieren Wetton et al. (2010) damit auch, dass Bewertungsprozesse bei der Gefahrenwahrnehmung eine Rolle spielen.

Wallace, Haworth, and Regan (2005) beziehen sich in ihrer Definition von Gefahrenwahrnehmung als *“the process whereby a road user notices the presence of a hazard.”* zunächst auf das Erkennen einer Gefahr, führen aber weiterhin an, dass *“Other steps between the existence of a hazard and the outcome include modifying factors (which modify the risk associated with the hazard), decision making and responding.”* (xii). Wallace et al. (2005) sehen Gefahrenwahrnehmung damit als einen Prozess, bei dem neben der Identifikation einer Gefahr auch Entscheidungsprozesse eine Rolle spielen. Zudem gehen Wallace et al. (2005) in ihrer Definition einen Schritt weiter als Brown und Groeger (1988), die – ebenso wie Wetton et al. (2010) – konstatieren, dass Hazard Perception nicht nur die Identifikation von Gefahren beinhaltet, sondern auch *„some quantification of the potential for danger“* (S. 589).

Anders als die zuvor genannten Konzeptualisierungen schließt die Definition von Wallace und Kollegen nämlich eine Reaktion auf Gefahren ein. Der Definition von Brown und Groeger (1988) fügen Ventsislavova et al. (2016) hinzu, dass Fahrer auch in der Lage sein müssen, die Verfolgung weniger gefährlicher Hinweisreize zugunsten gefährlicherer zurückzustellen, um so zwischen verschiedenen potentiellen Gefahren in komplexen Situationen priorisieren zu können.

Crundall et al. (2012) gehen in ihrer Definition von Gefahrenwahrnehmung von einer Dreiteilung aus. Sie definieren Hazard Perception als „*the process of detecting, evaluating and responding to dangerous events on the road that have a high likelihood of leading to a collision.*“ (S. 600). Sie thematisieren also nicht nur Wahrnehmungs- und Entscheidungsprozesse, sondern auch die Handlungsausführung als Teil des Konstrukts *Gefahrenwahrnehmung*.

Aus der Vielzahl an vorgeschlagenen Definitionen geht hervor, dass Gefahrenwahrnehmung mehr beinhaltet als das bloße Erkennen von Gefahrensituationen. Gefahrenwahrnehmung wird als komplexe Fähigkeit verstanden, die sich aus mehreren qualitativ unterschiedlichen Teilkompetenzen zusammensetzt (vgl. Crundall et al., 2012; Wetton et al., 2010). Die angenommenen Teilkompetenzen sind jedoch bislang nicht in ein eigenes umfassendes Rahmenmodell integriert worden (Crundall, 2016), was die Entwicklung von Trainings erschwert. Aufgrund des Fehlens eines solchen Rahmenmodells wird zu Forschungszwecken häufig auf empirisch validierte Modelle übergeordneter oder benachbarter Konzepte zurückgegriffen. Einerseits bietet sich die Möglichkeit, den gesamten Risikoverhaltensprozess anzuschauen und hierin das Konzept der Gefahrenwahrnehmung theoretisch zu verorten. Andererseits wird in der Gefahrenwahrnehmungsforschung häufig auf das verwandte Konzept des Situationsbewusstseins zurückgegriffen.

Im Prozessmodell von Grayson, Maycock, Groeger, Hammond und Field (2003) werden 4 Teilprozesse des Risikoverhaltens unterschieden (vgl. Abb. 3): *Hazard Detection*, *Threat Appraisal*, *Action Selection* und *Implementation*. Hazard Detection bezieht sich auf das Erkennen eines potentiellen Gefahrenreizes. Mit Threat Appraisal ist das anschließende Einschätzen des Gefahrenpotentials gemeint, das dem wahrgenommenen Gefahrenreiz zugeschrieben wird. Der Prozess des Auswählens einer Handlung aus verschiedenen, dem Fahrer zur Verfügung stehenden Alternativen (z. B. ausweichen, beschleunigen, verzögern) wird als Action Selektion bezeichnet. Unter Implementation wird schließlich das Ausführen der gewählten Handlung verstanden. Für die empirische Prüfung des Modells wurde eine umfangreiche Testbatterie entwickelt. In einer faktorenanalytischen Untersuchung konnte die Unabhängigkeit der 4 Prozesskomponenten bestätigt werden. Für die Validität des Modells spricht zudem, dass es sich zur Vorhersage von Fahrverhalten im Realverkehr eignet.

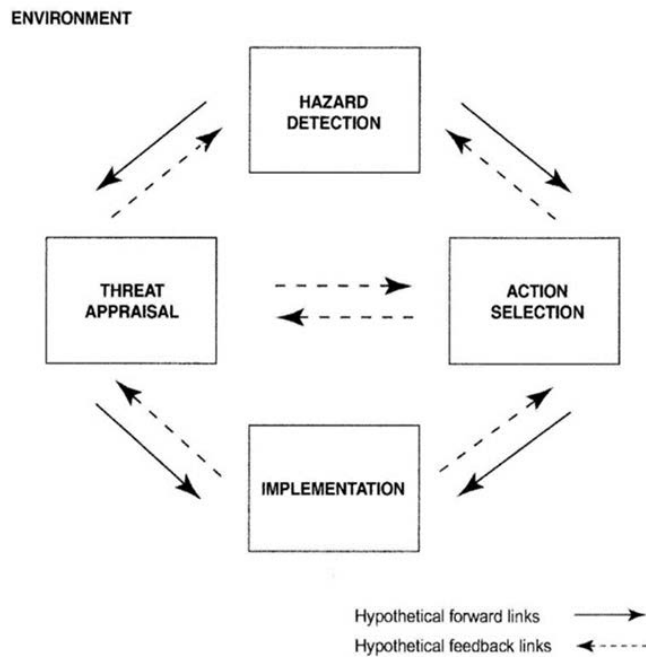


Abbildung 3: Prozessmodell des Risikoverhaltens (nach Grayson et al., 2003)

Gängigen Definitionen und klassischen Testverfahren zufolge, sind vor allem die Identifikation und Bewertung eines Gefahrenreizes Teilaspekte der Gefahrenwahrnehmung. Diese Teilfertigkeiten entsprechen den ersten zwei Komponenten im Prozessmodell von Grayson et al. (2003). Die ersten zwei Teilprozesse aus dem Modell von Grayson et al. (2003) finden sich auch in einem anderen Konzept wieder, das häufig mit Gefahrenwahrnehmung in Verbindung gebracht wird, dem des Situationsbewusstseins (engl. *Situation Awareness*; SA; Endsley, 1995). Horswill und McKenna (2004) beispielsweise sind der Auffassung, dass Gefahrenwahrnehmung als „*situation awareness for dangerous situations in the traffic environment*“ betrachtet werden könne (S. 155). Auch Underwood, Crundall und Chapman (2011) beziehen sich bei Gefahrenwahrnehmung auf „*a driver’s situation awareness for a dangerous configuration of roadway and road users*“ und gehen davon aus, dass Fahrer, die das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer angemessen vorhersagen können, ein Situationsbewusstsein zeigen, das vergleichbar ist mit dem dritten Teilprozesses des SA.

Das theoretische Modell, das dem SA zugrunde liegt, beschreibt, wie in Abhängigkeit eigener Ziele und Erwartungen sowie aufgabenbezogener Faktoren ein mentales Modell der Umgebung generiert und fortlaufend aktualisiert wird. Im Gegensatz zum Prozessmodell des Risikoverhaltens bezieht sich dieses Modell demnach nicht explizit auf potentielle Gefahrenreize, sondern auf Umgebungsfaktoren generell. SA wird definiert als „*the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and the projection of their status in the near future*“ (Endsley, 1995, S. 36). Das Konzept des SA umfasst demnach drei unterschiedliche Teilprozesse:

Zunächst werden Elemente in der Umgebung durch die Person wahrgenommen (Erkennen). Die wahrgenommenen Informationen werden anschließend zusammengeführt und hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Bedeutung für die eigenen Ziele bewertet (Verstehen). Abschließend wird eine Vorhersage getroffen, wo sich die einzelnen Elemente in unmittelbarer Zukunft befinden werden (Antizipieren). Befindet sich die Person in einer sich dynamisch ändernden Umgebung muss auch das Situationsmodell fortlaufend an die neuen Gegebenheiten angepasst werden, was permanente nach außen gerichtete Aufmerksamkeit erfordert. Crundall (2016) zufolge lässt sich Gefahrenwahrnehmung im Straßenverkehr als Situationsbewusstsein und damit als dreiteiliger Prozess auffassen, der mit dem Wahrnehmen eines potentiellen Gefahrenreizes beginnt, sich fortsetzt mit der Bewertung des Gefahrenpotentials, und schließlich mit der gedanklichen Vorwegnahme der Entwicklung der Gefahrensituation endet.

Bis auf einige wenige Ausnahmen zeigt sich in Untersuchungen, dass erfahrene Fahrer in Gefahrenwahrnehmungstests (engl. *Hazard Perception*-Tests) in der Regel besser abschneiden als unerfahrene Fahrer. Gefahrenwahrnehmung ist demnach eine expertiseabhängige Fähigkeit. Dabei stellt sich die Frage, auf welche Teilprozesse der Gefahrenwahrnehmung die besseren Leistungen von Experten zurückzuführen sind. Klassische Gefahrenwahrnehmungstests erfordern einen unspezifischen Tastendruck vom Teilnehmer sobald dieser einen Hinweis auf eine potentielle Gefahr im video-basierten Testmaterial erkennt. Mit dieser Art von Tests werden die Teilprozesse *Erkennen* und *Bewerten* einer Gefahrensituation erfasst. Allerdings handelt es sich hierbei um eine konfundierte Messung, da beide Teilprozesse mit diesem Reaktionsformat nicht isoliert voneinander betrachtet werden können (vgl. Huestegge, Skottke, Anders, Muesseler, & Debus, 2010; Malone & Brünken, 2014). Bevor der Teilnehmer die Taste drückt, muss er den Gefahrenreiz bereits erkannt und als handlungsrelevant, das heißt, als ausreichend gefährlich, eingeschätzt haben. Mit dem Ziel, beide Teilprozesse getrennt zu erfassen, wurden in ersten Studien ergänzend zum klassischen Hazard Perception-Test Blickbewegungsmessungen durchgeführt. Hierdurch kann die Zeit, die vom Auftauchen des Gefahrenreizes bis zur Erstfixation verstreicht (Gefahrenerkennung), von der Zeitspanne, die für die Bewertung des Gefahrenpotentials benötigt wird (von der Erstfixation bis zur Reaktion des Teilnehmers), getrennt betrachtet werden. Mit diesem experimentellen Vorgehen konnten Malone und Brünken (2014) für bewegtes Bildmaterial zeigen, dass erfahrene Fahrer Gefahren frühzeitiger entdecken und weniger Zeit für die Bewertung benötigen. Huestegge et al. (2010) verwendeten Fotomaterial und berichteten ebenfalls entsprechende erfahrungsabhängige Unterschiede für die Bewertung des Gefahrenpotentials.

Während sich klassische Hazard Perception-Tests eignen, die Teilprozesse *Entdeckung* und *Bewertung* zu messen, kann die dritte vorgeschlagene Komponente *Antizipation* nur getrennt davon, anhand eines

weiteren Aufgabenformates erfasst werden. Hierfür haben sich sogenannte *What happens next* (WHN)-Aufgaben als brauchbar erwiesen (vgl. Crundall, 2016; Jackson et al., 2009), die sich unmittelbar an den Methoden zur Messung des SA orientieren. In WHN-Aufgaben wird eine präsentierte Videosequenz unmittelbar vor der Gefahrensituation angehalten und maskiert. Der Testnehmer ist gefordert zu beschreiben, wie sich die Verkehrsszene voraussichtlich weiterentwickeln wird. Es hat sich gezeigt, dass erfahrene Fahrer Situationsverläufe fehlerfreier vorhersagen können als unerfahrene Fahrer (z. B. Jackson et al., 2009).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Gefahrenwahrnehmung als ein Konzept mit mehreren Facetten oder Teilprozessen aufgefasst wird. Einige dieser Teilprozesse konnten bereits empirisch nachgewiesen werden. Insbesondere die Komponenten des Entdeckens und Bewertens sind mit etablierten Verfahren valide messbar. Als eine weitere Komponente findet das Antizipieren von Situationsverläufen zunehmend stärkere Beachtung in der Gefahrenwahrnehmungsforschung. Die einzelnen Teilprozesse, auf denen Gefahrenwahrnehmung basiert, besser zu kennen und zu verstehen ist entscheidend, weil dieses Wissen dabei hilft, Ausbildungsmaßnahmen und Testverfahren weiterzuentwickeln und zu verbessern (Ventsislavova et al., 2016). Mit welchem Testverfahren Gefahrenwahrnehmung erfasst und gemessen wird, ist Gegenstand des nächsten Abschnitts.

2.2 Erfassung von Gefahrenwahrnehmung

Gefahrenwahrnehmung wird mit Hazard Perception-Tests erfasst. Hazard Perception-Tests sind computerbasierte Testverfahren, die die Fähigkeit einer Person messen, Gefahren in der Verkehrsumgebung zu erkennen und adäquat einzuschätzen. Die Entwicklung solcher Testverfahren schließt auch deren Validierung ein. Das heißt, dass ausgehend von theoretischen Überlegungen und empirischen Untersuchungen der Nachweis erbracht wird, dass ein Test auch tatsächlich misst, was er zu messen vorgibt. Von besonderem Interesse ist dabei die praktische Anwendbarkeit eines Testverfahrens; sprich, ob sich ein Test zur Vorhersage von Verhalten eignet. Kann vom Verhalten eines Probanden in der Testsituation erfolgreich auf ein Verhalten außerhalb der Testsituation geschlossen werden, weist das Testverfahren Kriteriumsvalidität auf. Dementsprechend ergibt sich die kriteriumsbezogene Validität von Hazard Perception-Tests aus dem Ausmaß an Übereinstimmung zwischen der Leistung im Test und dem Vermögen des Testteilnehmers, ein Fahrzeug unter realen Verkehrsbedingungen sicher führen zu können als dem Kriterium. Erbringen Testteilnehmer mit geringer Unfallneigung bessere Leistungen im Test als diejenigen mit hoher Unfallneigung, spricht das für die kriteriumsbezogene Güte eines Hazard Perception-Tests.

In einer Reihe an Korrelationsstudien konnte gezeigt werden, dass Personen, die von weniger Unfällen in ihrer Vergangenheit berichteten, in Hazard Perception-Tests bessere Leistungen aufwiesen als

Personen, die in ihrer Vergangenheit häufig an Unfällen beteiligt waren (Darby, Murray, & Raeside, 2009; Hull & Christie, 1993; McKenna & Horswill, 1999; Pelz & Krupat, 1974; Quimby, Maycock, Carter, Dixon, & Wall, 1986; Quimby & Watts, 1981; Rosenbloom, Perlman, & Pereg, 2011).

Zudem konnte für Hazard Perception-Tests in einigen Studien auch eine gute prognostische Validität nachgewiesen werden (vgl. Horswill, Hill, & Wetton, 2015). Horswill et al. (2015) befragten Fahranfänger ein Jahr nachdem sie den in Australien offiziell in der Fahrerlaubnisprüfung eingesetzten *Queensland Transport Hazard Perception Test* (QHPT; Wetton et al., 2011) absolviert hatten erneut zu ihrer Unfallgeschichte. Dabei zeigte sich, dass geringere Testwerte mit einer erhöhten Unfallneigung einhergingen.

Da Unfälle relativ seltene Ereignisse sind, sind für solche Validierungsstudien in der Regel große Stichproben notwendig. Hohe Teilnehmerzahlen sind aber nur dann wahrscheinlich, wenn ein Test bereits fester Bestandteil eines Ausbildungssystems ist. In frühen Stadien der Testentwicklung wird deshalb häufig auf die Methode des Extremgruppenvergleichs zurückgegriffen, um die Güte von Testmaterial zu bestimmen oder um verschiedene Versionen von Testmaterial hinsichtlich der Kriteriumsvalidität zu vergleichen. Das Unfallrisiko wird dabei nicht mehr direkt über die Anzahl der Unfälle operationalisiert, sondern indirekt über die Fahrerfahrung, die die Testteilnehmer bereits gesammelt haben. Das heißt, über die Fahrerlaubnisbesitzdauer oder über die Anzahl bisher im Verkehr zurückgelegter Kilometer. Da Fahranfänger in der Regel eine höhere Unfallneigung aufweisen als erfahrene Fahrer, wird davon ausgegangen, dass ein valider Gefahrenwahrnehmungstest zwischen unerfahrenen und erfahrenen Fahrern auf der Basis der Testleistungen differenzieren kann.

Die überwiegende Mehrheit der Studien zeigt, dass erfahrene Fahrer in Hazard Perception-Tests deutlich bessere Leistungen erzielen als unerfahrene Fahrer. Nicht nur, dass erfahrene Fahrer mehr Gefahrenhinweise identifizieren (Malone & Brünken, 2016; McKenna & Crick, 1994; Pollatsek, Narayanaan, Pradhan, & Fisher, 2006; Quimby & Watts, 1981; Wetton et al., 2011) als unerfahrene Fahrer, sie reagieren auch frühzeitiger auf im Test dargebotene Gefahrenreize (McKenna & Crick, 1994; Quimby & Watts, 1981; Scialfa et al., 2012; Scialfa et al., 2011; Smith, Horswill, Chambers, & Wetton, 2009b; Wallis & Horswill, 2007; Wetton et al., 2010).

Die genannten Forschungsergebnisse lassen den Schluss zu, dass Hazard Perception-Tests dem Gütekriterium der Validität genügen, denn es konnten Zusammenhänge zwischen den Testleistungen mit der bisherigen und künftigen Unfallneigung, aber auch mit der Fahrerfahrung empirisch bestätigt werden.

In einigen Studien konnten jedoch keine oder nur in einzelnen Testaufgaben erfahrungsbezogene Leistungsunterschiede zwischen den Testteilnehmern nachgewiesen werden (Chapman &

Underwood, 1998; Crundall, Underwood, & Chapman, 2002; Sagberg & Bjørnskau, 2006; Sümer, Berfu, & Birdal, 2007). Hierfür sind verschiedene Gründe angeführt worden (Crundall et al., 2012). Insbesondere inhaltliche Testmerkmale (Horswill, Hill, et al., 2015), wie die Art der dargebotenen Gefahrenhinweise, scheinen einen deutlichen Einfluss auf die Validität von Hazard Perception-Tests zu haben. So erkennen unerfahrene Fahrer vor allem verdeckte bzw. implizite Gefahren weniger zuverlässig als erfahrene Fahrer (Borowsky & Oron-Gilad, 2013; Borowsky, Shinar, & Oron-Gilad, 2010; Pollatsek et al., 2006). Wetton et al. (2011) schlugen in diesem Zusammenhang Gestaltungsprinzipien vor, die als Grundlage für die Erstellung valider Hazard Perception-Tests dienen können.

Es wird aber auch davon ausgegangen, dass die kriteriumsbezogene Validität von der ökologischen Validität eines Testverfahrens abhängt (Malone & Brünken, 2016; Malone, Hilz, & Brünken, 2016). Gemeint ist damit, dass insbesondere solche Testverfahren das Kriterium gut vorhersagen, bei denen die Testbedingungen mit den realen Aufgabenanforderungen in hohem Maße übereinstimmen. So lässt sich z. B. beobachten, dass Fahrsimulatoren zunehmend Eingang in die Gefahrenwahrnehmungsforschung finden (z. B. Alberti, Shahar, & Crundall, 2014; Borowsky et al., 2016; Crundall, Andrews, van Loon, & Chapman, 2010; Shahar, Poulter, Clarke, & Crundall, 2010; Underwood et al., 2011).

Zusammenfassend lässt sich folgendes Fazit an dieser Stelle ziehen: Gefahrenwahrnehmung wird als ein komplexes Fähigkeitskonstrukt konzeptualisiert, das sich aus mehreren Komponenten zusammensetzt. Die verschiedenen Teilkomponenten sind bislang noch nicht in ein eigenes Rahmenmodell integriert worden. Die Fähigkeit, Gefahren in der Verkehrsumgebung erkennen und angemessen einschätzen zu können, kann mit computerbasierten Hazard Perception-Tests valide gemessen werden. Erfahrene Fahrer weisen in diesen Tests in der Regel die besseren Testleistungen auf. Dabei identifizieren sie nicht nur mehr Gefahrenhinweise, sie reagieren auch deutlich schneller auf auftauchende Gefahren im Test als unerfahrene Fahrer. Hieraus lässt sich ableiten, dass Gefahrenwahrnehmung eine Fähigkeit ist, die durch Erfahrung erworben wird. Das heißt, Gefahrenwahrnehmung ist erlernbar und damit prinzipiell auch durch externe Interventionen beeinfluss- und trainierbar; was die Frage aufwirft, ob Trainings zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung oder vergleichbaren Kompetenzen existieren, die als Orientierungshilfe für die Strukturierung von Lehr-Lernprozessen dienen können.

2.3 Training von Gefahrenwahrnehmung

Gefahrenwahrnehmung ist eine Teilkompetenz des Fahrenkönnens, die mit dem Unfallrisiko assoziiert ist (Horswill & McKenna, 2004) und deshalb auch als ein Teilbereich in der regulären Fahrschul-ausbildung vermittelt wird (vgl. FahrschAusbO, 2012). Da sich in Untersuchungen mit Experten-

Novizen-Vergleichen vielfach gezeigt hat, dass Fahranfänger Gefahren weniger zuverlässig erkennen als erfahrene Fahrer, kann angenommen werden, dass diese Fähigkeit erst durch das Sammeln fahrpraktischer Erfahrungen nachhaltig gefestigt wird. Insbesondere die ersten Monate, in denen sie eigenständig als Fahrer am Straßenverkehr teilnehmen, sind für Fahranfänger enorm risikoreich.

Im Verkehrskontext als hoch komplexem System existieren unzählige Kombinationsmöglichkeiten von situativen Merkmalen, die eine Gefahr konstituieren können. Innerhalb der praktischen Fahrausbildung können daher unmöglich sämtliche potentiell gefährliche Situationen erfahren werden. Das heißt, der Fahrschüler erlebt im Rahmen der Fahrausbildung – wenn überhaupt – dann nur wenige potentiell gefährliche Fahr- und Verkehrssituationen. Erfahrungsbildung kann daher nur im Ansatz stattfinden.

Aus diesem Grund sind zahlreiche Trainingsinterventionen entwickelt worden, um die Fahrausbildung sinnvoll zu ergänzen und den Lern- bzw. Fertigkeitserwerbsprozess effizienter zu gestalten. Typisch ist der Einsatz von Fahrsimulationen. Simulationen werden dabei nicht nur zu Trainings-, sondern auch zu Evaluationszwecken verwendet (Pollatsek, Vlakveld, Kappé, Pradhan, & Fisher, 2011). Unter den Begriff Fahrsimulation fallen eine Reihe an Methoden und Systemen (Goode, Salmon, & Lenné, 2013), mit denen versucht wird, die reale Fahr- und Verkehrsumgebung nachzubilden (Meuleners & Fraser, 2015) und so zu gewährleisten, dass Lerner in Trainings- und Testumgebungen mit authentischen Aufgaben konfrontiert werden können.

Es existiert eine nahezu unüberschaubare Anzahl an Trainingsinterventionen und -systemen, die für die Fahranfängervorbereitung entwickelt worden sind. Weiß, Bannert, Petzoldt und Krems (2009) geben einen Überblick über national und international eingesetzte Lehr-Lernmedien und bewerteten diese vor dem Hintergrund einer auf pädagogisch-psychologischen Erkenntnissen basierenden Systematisierungsgrundlage, mit dem Ziel, Entwicklungspotentiale computerbasierter Lehr-Lernmedien herauszuarbeiten. Während im internationalen Vergleich die Tendenz zu beobachten ist, fahraufgabenrelevante Kompetenzen in der theoretischen Fahrausbildung stärker zu berücksichtigen und den Fokus vermehrt auf anwendungsbezogenes Lernen zu legen, finden sich auf nationaler Ebene überwiegend *Drill-and-Practice*-Lernanwendungen, die auf die Vermittlung des für das Bestehen des Theorietests nötige Basiswissen abzielen. Ein Grund für diese Diskrepanz sehen Weiß et al. (2009) in der Einführung des Hazard Perception-Tests in einigen Ländern, durch die Hersteller von Lehr-Lernmedien angehalten sind, Anwendungen zur Schulung von Gefahrenwahrnehmung zu entwickeln; und damit solche Anwendungen, die den Erwerb fahrpraktisch relevanter Kompetenzen unterstützen. In Deutschland wird die Einführung eines Hazard Perception-Tests derzeit noch diskutiert (Genschow & Sturzbecher, 2014). Mittelfristig sollen aber auch hierzulande Prüflinge gefordert sein, unter Beweis zu

stellen, dass sie Gefahren zuverlässig identifizieren und kritische Situationen angemessen einschätzen können (Weiß et al., 2009).

Auch McDonald et al. (2015) systematisierten in ihrem Überblicksartikel Lernapplikationen zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung und stützten sich dabei – neben anderen Kriterien – auf Studien, die im Design vor allem Fahranfänger unter 21 Jahren berücksichtigten. Eine Systematisierung der verschiedenen Studien zum *Risk Awareness and Perception* (RAPT)-Training sowie zu Weiterentwicklungen dieser Lernanwendung findet sich z. B. bei Fisher und Dorn (2016) sowie bei Unverricht, Samuel und Yamani (2018). Aus den genannten Überblicksarbeiten geht hervor, dass sich die verschiedenen Trainingsangebote zur Schulung von Gefahrenwahrnehmung hinsichtlich mehrerer Merkmale zum Teil sehr deutlich voneinander unterscheiden (McDonald et al., 2015).

Nachfolgend werden Trainingsprogramme beschrieben, die auf Forschungsarbeiten basieren und für die vorliegende Arbeit relevant waren, weil sie computerbasierte Aufgaben ins Zentrum der Lernumgebung stellen. Der Fokus bei der Betrachtung und Beschreibung dieser Programme liegt auf der Frage, welche Instruktionsprinzipien bzw. -designs als Grundlage für die Entwicklung dieser Lernumgebungen Verwendung fanden. Hieraus sollten Anhaltspunkte für die Entwicklung einer Lernumgebung abgeleitet werden.

2.3.1 *DriveSmart*

In Australien beschäftigten sich Regan und Kollegen auf Antrag der TAC (Transport Accident Commission) mit der Entwicklung und Evaluation einer Trainingsumgebung für die Fahranfängervorbereitung. Ziel sollte es unter anderem sein, effektive Trainingsmethoden für vier sicherheitsrelevante Fertigkeiten zu bestimmen; gemeint sind die Teilkompetenzen Risikowahrnehmung, Aufmerksamkeitssteuerung, *Time-sharing* (Aufteilung von Aufmerksamkeitsressourcen zwischen konkurrierenden Teilaufgaben) und Kalibrierung (Anpassung der Aufgabenschwierigkeit entsprechend der eigenen Kompetenzen). Entstanden ist DriveSmart, eine CD-Rom mit unterschiedlichen Lernmodulen, die entwickelt wurden, um den Prozess des Erwerbs dieser vier Teilkompetenzen effizienter zu gestalten (Lenné, Regan, Triggs, & Haworth, 2004).

Neben einem Einführungsteil und einem Beurteilungstool enthält DriveSmart die Module Key Skills Training – Scanning, Key Skills Training- Keep Ahead and Play Safe, Concentration, On the Road – Urban Driving, On the Road – Country Driving. DriveSmart ist für die individuelle oder für die Bearbeitung in Kleingruppen von bis zu vier Personen gedacht.

Im Modul *Key Skills Training – Scanning* beispielsweise werden Videoclips präsentiert. In einem Teil der Übungen besteht die Aufgabe des Lerners darin, Gefahren – sogenannte *Key Risks*, das heißt, die

Gefahr mit der höchsten Priorität im Szenario – per Mausklick auf entsprechende Bildbereiche zu identifizieren. Rückmeldung über die Richtigkeit der Eingaben erhält der Lerner über farbige Hervorhebungen.

Das Modul *Key Skills Training – Keeping Ahead and Playing Safe* beinhaltet 6 Übungen, die sich auf zwei Aufgabenbereiche aufteilen. Im ersten Teil, *True Tales*, erläutert der Fahrer im Video das eigene Fahrverhalten und die Aufgabe des Lerners ist es, dessen Einschätzungen zu beurteilen. Im zweiten Teil *Who's Where* hat der Lerner die Möglichkeit, Verkehrsszenarien selbst zu kommentieren oder sich die Einschätzungen eines Experten anzuhören und so Vergleiche mit den eigenen Ansichten anzustellen.

Im Concentration-Modul, mit dem die Aufmerksamkeitsaufteilung geübt werden soll, ist der Lerner gefordert, zwei Aufgaben zeitgleich zu bearbeiten. Neben mehreren Übungsdurchgängen ist der Lerner in der Phase, in der er unter Beweis stellen muss, wie gut er beide Aufgaben koordiniert ausführen kann, einerseits angehalten in der Simulation einen angemessenen Sicherheitsabstand zum Vorfahrenden zu halten, andererseits müssen Entscheidungen über Ergebnisse von Kopfrechenaufgaben getroffen werden.

Die Module Urban Driving und Country Driving sind gleich aufgebaut. Wie der Titel bereits verrät, besteht der Unterschied in der Verkehrsumgebung. In einem Modul werden Szenarien aus Stadtgebieten, im anderen aus dem ländlichen Raum aufgezeigt. Jedes dieser Module gliedert sich in vier Aufgabenbereiche mit unterschiedlichen Aufgabenstellungen.

Verkehrsszenarien werden z. B. an einer kritischen Stelle im Video angehalten und der Lerner ist gefordert in Mehrfachwahlaufgaben anzugeben, was der Fahrer als nächstes tun sollte. Nach Eingabe der Antwort, läuft das Video bis zum Ende durch und der Lerner erhält Feedback zur Lösung.

Eine andere Aufgabenstellung sieht vor, dass das Video an der kritischen Stelle angehalten wird und der Lerner daraufhin gefordert ist, andere Verkehrsteilnehmer in dieser Situation zu erinnern und in einer Draufsicht per *Drag-and-Drop*-Funktion deren Position anzugeben. Danach wird das Video erneut abgespielt und die Draufsicht mit den korrekten Platzierungen dargeboten.

In einem weiteren Aufgabentyp muss per Mausklick reagiert werden, sobald eine Situation im Video als unsicher eingeschätzt wird. Reaktionszeiten werden aufgezeichnet und der Lerner erhält Feedback zur Richtigkeit seiner Entscheidung.

Ein weiteres Aufgabenformat erfordert die Identifikation von Risiken in gestoppten Szenarien durch Mausklick auf entsprechende Bildbereiche. Korrekt identifizierte Gefahrenbereiche werden anschließend durch das System farblich hervorgehoben, sodass der Lerner sehen kann, ob er mit seiner

Einschätzung richtig lag. Schließlich enthalten die Module auch die Möglichkeit, Verkehrsszenarien zu kommentieren.

DriveSmart stützt sich auf Übungen, die Techniken zum erfolgreichen Training von Air Force-Piloten entlehnt sind (Lenné et al., 2004). Es basiert auf dem Ansatz des *Incremental Transfer Learning* (ITL) als Instruktionsmethode (Regan, Triggs, & Godley, 2000a). ITL wurde ursprünglich als Richtlinie für die Gestaltung von Simulationen für die Ausbildung australischer Verteidigungsstreitkräfte entwickelt (Wallace, 1992).

Es wird davon ausgegangen, dass sich der Fertigkeitserwerb in verschiedene Phasen gliedert und sich der Lerner über verschiedene definierbare Stufen vom *knowledgeable learner* über den *prepared*, den *trained* und den *skilled learner* zum Experten entwickelt. Gemäß des ITL-Ansatzes wird der Fertigkeitserwerb durch das Ausführen von Aufgaben in zunehmend komplexeren Lernumgebungen unterstützt. Das heißt, es wird angenommen, dass der Lerner bereits Gelerntes auf zunehmend realistischer werdende Lernumgebungen übertragen kann. Durch dieses Vorgehen soll sowohl naher als auch ferner Transfer gefördert werden (Wallace et al., 2005).

Zweck des Einsatzes von Simulationen ist es, den Transfer des Gelernten auf neue Situationen zu erleichtern. Wie geeignet ein Darstellungsformat ist, hängt dabei vom jeweiligen Fertigniveau des Lerners ab. Wallace et al. (2005) führen an, dass „*There is generally less need for physical resemblance (physical fidelity) or functional similarity (functional fidelity) in the early stages of learning than in later stages. However, when the expert stage is reached, the wealth of experience means that the need for physical fidelity is reduced.*“ (S. vii), begründen diese Aussage in ihrem Bericht aber nicht weiter. Auch bleibt weitgehend offen, wann im Fertigkeitserwerbsprozess zum jeweils komplexeren Darstellungsformat überzugehen ist.

Regan, Triggs, and Godley (2000b) überprüften die Effektivität von DriveSmart anhand eines experimentellen 2-Gruppen-Designs und unter Verwendung eines Fahrtrainers. An der Evaluationsstudie nahmen 103 Fahranfänger im Alter zwischen 16;11 bis 17;10 Jahren teil, die entweder einer Experimental- (EG; erhielt DriveSmart-Training) oder der Kontrollgruppe (KG; Training mit Flugsimulation) zugewiesen wurden. Angaben zur Gruppenzuteilung wurden nicht gemacht. Die Teilnehmer hatten zwischen 40 bis 110 Stunden Fahrerfahrung vorzuweisen. Das Training erstreckte sich für beide Gruppen über vier Termine und fand am PC statt. Unmittelbar nach dem letzten Trainingstermin sowie erneut vier Wochen später fanden Lernerfolgskontrollen statt. Erfasst wurden Fertigkeiten zur Risikowahrnehmung und Aufmerksamkeitssteuerung.

Während der *Attention Control Drives* (Aufmerksamkeitssteuerung) änderte sich im Fahrtrainer mehrmals die zulässige Höchstgeschwindigkeit in der Verkehrsumgebung. Zusätzlich zur Anpassung

der Fahrtgeschwindigkeit waren die Testteilnehmer gefordert, Rechenaufgaben zu lösen. Unmittelbar nach dem Training schnitten die Teilnehmer, die DriveSmart absolviert hatten, besser darin ab, sich an die vorgegebene Geschwindigkeit zu halten, als die Teilnehmer der KG; und das bei vergleichbarer Leistung in der Nebenaufgabe. Auch vier Wochen später zeigte sich ein ähnliches Ergebnis. Der EG gelang es schneller, die eigene Geschwindigkeit anzupassen. In Bezug auf mindestens eine abhängige Variable (AV; z. B. Fahrtgeschwindigkeit) identifizierten die Trainees der EG unmittelbar nach dem Training sowohl in der Hälfte der Aufgaben, die nahen Transfer als auch in der Hälfte der Aufgaben, die fernen Transfer in den *Risk Perception Drives* erforderten, deutlich mehr Gefahren als die Teilnehmer der KG (auf einem 10 %-Niveau). Für die restlichen 4 Aufgaben zeigte sich wenn, dann nur eine Tendenz in die erwartete Richtung. In der Follow-up-Erhebung schnitten die Trainees der EG in drei Szenarien, die nahen und 4 Szenarien, die fernen Transfer erforderten, besser ab als die Teilnehmer der KG. DriveSmart eignete sich demnach gleichermaßen zur Förderung von nahem wie fernen Transfer. Dieser Trainingseffekt ließ sich auch nach vier Wochen noch beobachten. Leider werden die AV nicht berichtet, sodass nicht nachvollziehbar ist, wie groß der praktische Nutzen ist. Die Teilnehmer der KG fuhren deutlich schneller durch die Verkehrsszenarien im Fahrsimulator. Anzeichen dafür, dass das Training zu einer Überschätzung der eigenen Fertigkeiten führt, waren nicht feststellbar. Dementsprechend gehen die Autoren von einer sicherheitszutraglichen Lernwirkung des DriveSmart-Trainingsprogramms aus.

Um etwaige Mängel am DriveSmart-Trainingsprogramm ausmachen und Modifikationen vornehmen zu können, wurde dieses vor der Veröffentlichung einer weiteren Evaluation unterzogen. Hierzu wurden Befragungs- (Fragebögen, Interviews), Beobachtungs- (durch Versuchsleiter) und Leistungsdaten, die während der Bearbeitung von DriveSmart durch Lerner entstanden sind (z. B. Aufgabenbearbeitungszeit), aufgezeichnet und ausgewertet, um so Rückschlüsse auf die Geeignetheit als Lernanwendung – sprich auf die Validität, Reliabilität und Effizienz – sowie die Benutzerfreundlichkeit und Praxistauglichkeit ziehen zu können.

Die Mehrheit der Teilnehmer gab an, dass sie vom DriveSmart-Training profitieren und das Gelernte auch im Realverkehr anwenden konnten. So wurden den Teilnehmern der EG nachdem sie DriveSmart absolviert hatten, 21 grafische Darstellungen zu verschiedenen Verkehrsszenarien dargeboten. Daraufhin wurden sie gebeten anzugeben, ob sie, seitdem sie mit DriveSmart trainierten, bereits derartige brenzlige Situationen selbst im Verkehr erlebt hatten. Etwa 60 % der Trainees gaben an, mindestens eine dieser 21 bildlich dargestellten Situationen schon einmal erlebt zu haben. Und von diesen wiederum gaben rund zwei Drittel an, dass das DriveSmart Training hilfreich dabei gewesen sei, Gefahren zu identifizieren, mögliche Risiken zu antizipieren, Möglichkeiten auszumachen, um Gefahren zu vermeiden und gleichzeitig aber auch andere sicherheitsrelevante Aspekte der Verkehrs-

umgebung im Blick zu haben. Zudem gaben 84 % der Trainees an, dass ihnen die Bewältigung des Concentration-Moduls beim Erlernen von Fertigkeiten, die im Realverkehr benötigt werden, geholfen habe. Allerdings empfanden fast 40 % der Trainees dieses Modul als langweilig. Während 96 % der Testteilnehmer angaben, dass sie dieses Modul am PC zuhause bearbeiten würden, merkte der Großteil an, dass das nur auf einzelne Aufgaben zutreffen würde. Mit 65 % gab der Großteil der Probanden an, Freude bei der Bearbeitung des DrivesSmart-Trainingsprogramms gehabt zu haben. Fast alle Teilnehmer würden es Freunden weiter empfehlen. Dennoch bestätigten nur 55 % der Teilnehmer, dass sie die gesamte Trainingsanwendung zuhause bearbeiten würden.

2.3.2 *DriverZED*

Vor 20 Jahren wurde in den USA das Driver-ZED™ (Zero Errors Driving) im Auftrag der *AAA Foundation for Traffic Safety* entwickelt (Willis, 1998), das in Form einer CD-ROM erschien. Lernziele dieser Anwendung beziehen sich unter anderem darauf, Fahranfänger darin zu schulen, Gefahren im Straßenverkehr zu erkennen und diese angemessen und sicher zu bewältigen (Blank & McCord, 1998). Derzeit kann die Lernanwendung als Driver-ZED 3.0 erworben werden.

Driver-ZED enthält unterdessen 100 Verkehrsszenarien (vgl. Website *AAA Driver Training*) aus dem Realverkehr, die aus der Perspektive des Fahrers dargeboten werden. Teil der Lernanwendung sind städtische Verkehrsszenarien ebenso wie Szenarien aus ländlichen Verkehrsumgebungen. Lerner sind gefordert, das Verkehrsgeschehen vor ihnen sowie den Verkehr im Seiten- und Rückspiegel zu verfolgen. Im Driver-ZED präsentierte Verkehrsszenarien sind solche, in denen Fahranfänger nachweislich häufig verunfallen.

Während oder am Ende eines Verkehrsszenarios sind die Lerner je nach Präsentationsmodus (*Scan, Spot, Act* und *Drive*) angehalten, entweder Fragen zur Verkehrsszene zu beantworten, Gefahren zu markieren oder per unspezifischen Mausklicks anzuzeigen, wann im Video Handeln notwendig ist, um Gefahren letztlich vermeiden zu können. Im Scan-Modul wird anhand von Fragen überprüft, wie aufmerksam der Lerner die Verkehrssituation verfolgte. Erfragt wird z. B., ob ein anderer Verkehrsteilnehmer im Rückspiegel wahrgenommen wurde. Im Spot-Modus müssen im unmittelbar vor der Gefahrensituation angehaltenen Szenario im letzten Einzelbild kritische Aspekte per Mausklick auf entsprechende Bildareale identifiziert werden. Das kann beispielweise ein mit dem Ball spielendes Kind am Straßenrand sein. In Items aus dem Act-Modus muss vom Lerner angegeben werden, durch welche Aktivitäten gesehene Situationen sicher bewältigt werden können. Hat z. B. die Ampel im Verkehrsszenario eben auf Gelb umgeschaltet, muss entschieden werden, ob beschleunigt oder besser angehalten werden sollte. Im Drive-Modus sind Lerner gefordert, durch einen unspezifischen

Tastendruck (Maustaste) anzugeben, zu welchem Zeitpunkt eine Handlung erfolgen sollte, um eine potentielle Gefahr rechtzeitig abzuwenden (z. B. wenn ein Fahrzeug aus einer Einfahrt zurücksetzt).

Die Lernwirksamkeit des Driver-ZED wurde von Fisher et al. (2002) überprüft. Hierzu wurden die Fahrleistungen von drei Teilnehmergruppen im Fahrsimulator verglichen. Neben 15 Fahranfängern, die Driver-ZED zusätzlich zum regulären Fahrschulunterricht nutzen konnten und 15 Fahranfängern, die ausschließlich regulären Unterricht erhielten, wurden auch erfahrenere Fahrer in die Evaluationsstudie einbezogen. Die Fahranfänger waren alle zwischen 16 und 17 Jahren alt. Bei den erfahrenen Teilnehmern handelte es sich um Studierende, die als Busfahrer ca. 10 bis 20 Stunden pro Woche für die *University of Massachusetts at Amherst* tätig waren. Die erfahrenen Fahrer waren zum Testzeitpunkt zwischen 5 und 10 Jahren älter als die Fahranfänger. Angaben zur Führerscheinbesitzdauer werden zu dieser Personengruppe nicht gemacht.

Im Mittel erfolgte die Evaluation im Fahrsimulator eine Woche nach dem Training. Über alle 12 für die Fahrsimulation umgesetzten Verkehrsszenarien hinweg zeigten sich für keine AV deutliche Trainingseffekte. Als AV wurden z. B. Fahrtgeschwindigkeit, Fahrzeugposition und Bremsdruck erfasst. Trainingseffekte in die erwartete Richtung konnten nur für 6 der 12 Fahrszenarien aufgezeigt werden. Darüber hinaus verhielten sich die trainierten Studienteilnehmer beim Fahren ähnlich vorsichtig, wie die erfahrenen Fahrer.

Ein Beispiel aus dem Drive-Modus tauchte so ähnlich auch in der Fahrsimulation auf – das *Truck left turn*-Szenario. In diesem Verkehrsszenario nähert sich der Fahrer auf einer zweispurigen Fahrbahn einer Kreuzung. Die Gegenfahrbahn ist ebenfalls zweispurig. Während sich der Fahrer dem Kreuzungsbereich nähert, biegt ein Lkw auf der Linksabbiegerspur neben ihm nach links ab und verdeckt dabei möglicherweise ein entgegenkommendes Fahrzeug, das ebenfalls beabsichtigt, links abzubiegen. Letzteres würde den Weg des Fahrers kreuzen und würde deshalb eine potentielle Gefahr darstellen. Die erfahrenen Fahrer bremsen in diesem Moment häufiger als die Probanden, die das Driver-ZED nicht absolviert hatten, was als Hinweis darauf gewertet wird, dass sie sich der Gefahr eines vom Lkw verdeckten Fahrzeugs bewusst waren. Ähnlich wie die erfahrenen Fahrer, bremsen auch die Teilnehmer, die das Driver-ZED zuvor durchlaufen hatten, öfter. Auch für die anderen 5 Szenarien im Fahrsimulator zeigten sich ähnliche Ergebnisse. Folglich attestieren die Autoren dem Driver-ZED einen sicherheitszuträglichen Effekt, denn trainierte Teilnehmer verhielten sich in potentiell gefährlichen Situationen vorsichtiger. In welchem Ausmaß dieser Unterschied zwischen untrainierten und trainierten bzw. erfahrenen Teilnehmern auf bessere Gefahrenwahrnehmungsfähigkeiten zurückgeht, konnte nicht bestimmt werden. Es könnte sogar sein, dass sich die drei Teilnehmergruppen nicht darin unterschieden, wie gut potentielle Gefahren identifiziert werden können, sondern vielleicht nur darin,

wie gut die trainierten Fahranfänger und die erfahrenen Fahrer auf diese Informationen reagieren konnten.

2.3.3 RAPT

Das *Risk Awareness and Perception Training* (RAPT; vgl. Fisher, Narayanaa, Pradhan, & Pollatsek, 2004) wurde von der us-amerikanischen Forschergruppe um Donald Fisher an der *University of Massachusetts* entwickelt. Ausgangspunkt für die Entwicklung des RAPT war die Erkenntnis, dass es jungen Fahrern an einem Bewusstsein für bestimmte Risiken im Verkehr mangelt, die in der Ausbildung nur unzureichend angesprochen werden (Fisher et al., 2004). Ziel des RAPT war es daher, anhand verschiedener Verkehrssituationen zu vermitteln, wo sich potentielle Gefahren im Straßenverkehr ereignen können.

Das RAPT kann von der Website der Universität heruntergeladen werden. Es richtet sich sowohl an Fahrerschüler, die noch ganz am Anfang ihrer Fahrausbildung stehen als auch an Fahranfänger, die bereits eigenständig am Straßenverkehr als Autofahrer teilnehmen. Das RAPT liegt nicht nur in verschiedenen computerbasierten Versionen vor, sondern ist unterdessen auch die Grundlage von Produkten, wie *Road Aware™* oder *Super RAPT* beispielsweise, die mit modernen Endgeräten, wie Tablets oder *Virtual Reality* (VR)-Brille genutzt werden können.

Drei computerbasierte Versionen des RAPT sind entwickelt worden, wobei die nachfolgende Version immer eine Weiterentwicklung der vorangegangenen darstellt. Geändert hat sich mit jeder neuen Version die physische Genauigkeit des Instruktionsmaterials, wobei nicht nur der Abstraktionsgrad, sondern auch die Dynamik der Darstellungen modifiziert wurden. In der ersten Version des RAPT wurden im Training verschiedene potentiell gefährliche Verkehrssituationen aus der Vogelperspektive und in Form schematischer Zeichnungen präsentiert. Aufgabe des Lernalters ist es, mittels Drag-and-Drop-Funktion Bereiche in der Draufsicht, in denen sich potentielle Gefahren befinden können, gelb und jene Areale, in denen man die Gefahrensituation erwarten würde, rot zu markieren. Während im RAPT-1 ausschließlich schematische Abbildungen von Verkehrsszenarien aus der Vogelperspektive als Instruktionsmaterial eingesetzt wurden, enthielt das RAPT-2 bereits für einzelne Verkehrsszenarien im Realverkehr aufgenommene Fotos aus der Fahrerperspektive, um Gefahrensituationen besser veranschaulichen zu können. Im Gegensatz zur zweiten Version sind im RAPT-3 wiederum Foto-strecken eingesetzt worden; das heißt, 5 bis 12 Standbilder pro Verkehrsszenario, die sich im Dreisekunden-Rhythmus ändern und den Fortgang der Verkehrsszene aus Sicht des Fahrers aufzeigen. Lerner sind in diesen Aufgaben gefordert, per Mausclick auf die entsprechenden Bildbereiche zu markieren, wo sich potentielle Gefahren auf den Fotos befinden können. Als Rückmeldungen zur

Leistung erhalten die Lerner Aussagen wie „Du hast die Aufgabe erfolgreich bewältigt“ oder „Du hast wichtige Bereiche übersehen“.

Zu Evaluationszwecken wurde das RAPT-1 von 24 Probanden absolviert, deren Pre- und Posttestwerte verglichen wurden. Im Test unmittelbar am Ende des Trainings (dieselben Items wie zuvor im Training) gelang es den Trainees deutlich besser, potentiell gefährliche Bereiche zu markieren. Für das korrekte Platzieren roter Kreise geben Fisher et al. (2004) eine Leistungsverbesserung von 40 %, für das Positionieren gelber Symbole eine Verbesserung von fast 70 % an (vgl. auch Pollatsek et al., 2006). Die Probanden kannten demnach durch das Training kritische Bereiche und wussten, wohin sie ihren Blick richten müssen. Ähnliche Testergebnisse zeigten sich auch für das RAPT-2 (vgl. Pradhan, Fisher, & Pollatsek, 2005) und RAPT-3 (vgl. Pradhan, Fisher, Pollatsek, Knodler, & Langone, 2006). Die viel entscheidendere Frage in diesem Zusammenhang war aber, ob die Trainees auch in der Lage sind, das Gelernte in einer ökologisch valideren Testumgebung anzuwenden. An der Evaluationsstudie, in der die Effektivität des RAPT-1 im Fahrsimulator überprüft wurde (vgl. Fisher et al., 2004), nahmen die 24 Probanden teil, die zuvor das RAPT-1 absolviert hatten, sowie 24 Fahranfänger, die nicht am Training teilgenommen hatten. Alle Teilnehmer waren zwischen 16 und 17 Jahren alt und verfügten maximal über 6 Monate Fahrerfahrung. Erfasst wurden die Blickbewegungen der Probanden. Im Vergleich zu untrainierten Testteilnehmern fixierten Probanden, die das RAPT absolviert hatten, sehr viel häufiger sicherheitsrelevante Bereiche in der Verkehrsumgebung. Das traf insbesondere für die Szenarien zu, die denen im Training ähnlich waren; sprich solchen, die nahen Transfer erforderten. Aber auch in Aufgaben, die fernen Transfer erforderten, weil sie so nicht im Training vorkamen, schnitten die Trainees deutlich besser ab als die Probanden, die zuvor kein Training erhalten hatten (Pollatsek et al., 2006).

Da die Lernwirksamkeit des RAPT unmittelbar nach dem Training im Fahrsimulator überprüft wurde, blieb unklar, ob Trainingseffekte auch noch nach Tagen oder Wochen nachweisbar sein würden. Unter der Verwendung des RAPT-2 konnten Pradhan, Fisher und Pollatsek (2005) die Ergebnisse von Fisher et al. (2004) sowie Pollatsek et al. (2006) replizieren; mit dem Unterschied, dass sie aufzeigen konnten, dass Lerneffekte anhand von Blickbewegungsdaten auch noch drei bis 5 Tage nach der Teilnahme am Training im Fahrsimulator nachweisbar sind. Die 12 Teilnehmer der Experimentalgruppe waren im Mittel 16,7, die 12 Probanden der Kontrollgruppe 16,4 Jahre alt. Alle Probanden waren noch Fahrschüler.

Um zu prüfen, ob sich das RAPT-3 auch positiv auf das Blickverhalten im Realverkehr auswirkt, rekrutierten Pradhan, Fisher, Pollatsek, Knodler und Langone (2006) 24 junge Fahrer im Alter zwischen 18 und 21 Jahren – vorwiegend Studierende der University of Massachusetts – und wiesen diese per Zufallsentscheidung entweder der EG oder KG zu. Alle Probanden waren im Besitz eines Führerscheins

und waren ausreichend mit der Fahraufgabe vertraut, zählten aber immer noch zur Hochrisikogruppe. Während die 12 Teilnehmer der EG das RAPT-3 absolvierten, erhielten die Probanden der KG kein Training. Die Ergebnisse zum Blickverhalten im Realverkehr sind denen beim Fahren im Fahrsimulator ähnlich. Trainierte Teilnehmer fixierten kritische Bereiche in der Verkehrsumgebung deutlich häufiger als die Probanden, die kein Training erhalten hatten.

Die Lernwirksamkeit des RAPT wurde sowohl im Fahrsimulator (z. B. Fisher et al., 2004; Pollatsek et al., 2006; Pradhan et al., 2005) als auch im Realverkehr (vgl. Pradhan et al., 2006; Pradhan, Pollatsek, Knodler, & Fisher, 2009; Taylor et al., 2011) überprüft und bestätigt. Trainingseffekte zeigten sich dabei sowohl unmittelbar im Anschluss ans Training (z. B. Pollatsek et al., 2006), als auch bis zu 5 Tagen danach (z. B. Pradhan et al., 2005) bzw. bis zu 12 Monaten nach der Teilnahme am Training noch (Taylor et al., 2011). Thomas, Rilea, Blomberg, Peck und Korbelak (2016) berichten zudem von der Beobachtung eines signifikanten Rückgangs der Unfallzahlen männlicher Fahranfänger im Alter von 16 bis 18 Jahren, die das RAPT absolviert hatten. In die Studie gingen die Daten von 5168 Fahranfängern aus dem Bundestaat Kalifornien ein, die entweder das RAPT absolviert oder ein Placebo-Training erhalten hatten. Mit 43 % zeigte sich die deutlichste Reduktion der Unfallzahlen in der Kohorte der 17-jährigen Fahrer. Für die Teilstichprobe der jungen weiblichen Fahranfänger ließ sich hingegen keine statistisch signifikante Reduktion der Unfallzahlen feststellen.

Obwohl vielfach aufgezeigt werden konnte, dass das RAPT eine positive Wirkung auf die Gefahrenwahrnehmung von Fahranfängern hat, identifizierten nach dem Training in einigen Szenarien mit 60 % vergleichsweise wenige Novizen kritische Bereiche in der simulierten Verkehrsumgebung. Die Überlegung, dass Novizen in diesen Szenarien möglicherweise noch stärker von einer realistischeren Darstellung profitieren könnten, resultierte in einer erneuten Weiterentwicklung des RAPT – dem SimRAPT (vgl. Fisher, 2008; Experiment 4). Ziel von Experiment 4 war es zu prüfen, ob durch die Kombination von computer- (RAPT-1) und simulationsbasiertem (SimRAPT) Training größere Trainingseffekte im Fahrsimulator erzielt werden können als durch die alleinige Bereitstellung von ökologisch weniger valider Instruktion, wie dem RAPT.

An der Evaluationsstudie nahmen insgesamt 24 Probanden im Alter von 16 bis 17 Jahren teil, die maximal 6 Monate im Besitz eines Führerscheins waren. Den 12 Teilnehmern der EG wurde das RAPT-1 in Kombination mit SimRAPT zur Bearbeitung dargeboten. Die Szenarien, die zuvor im computerbasierten RAPT aufgezeigt wurden, wurden auch im SimRAPT über eine VR-Brille präsentiert. Die KG erhielt ein Pseudo-Training, bei dem zunächst Informationen über Verkehrsregeln und Verkehrszeichen gelesen werden mussten, um danach Fragen zu beantworten. Anschließend mussten zweimal die 8 Verkehrsszenarien aus dem SimRAPT durchfahren werden; mit dem Unterschied, dass – anders als für die Teilnehmer der EG – kein Feedback durch den Testleiter bereitgestellt wurde. Je nach

Bedingung dauerte das Training entweder zwei oder zweieinhalb Stunden. Die Probanden der EG zeigten ein deutlich angemesseneres Blickverhalten im Testdurchgang im Fahrsimulator als die Teilnehmer, die kein Training (bzw. das Pseudo-Training) erhielten. Der Trainingseffekt war dabei in den 8 Verkehrsszenarien, die nahen Transfer erforderten, größer als für die 8 Szenarien, die fernen Transfer erforderten. Darüber hinaus führt die Kombination von RAPT und SimRAPT zu einem höheren Lerneffekt als die alleinige Bearbeitung des RAPT (vgl. Pollatsek et al., 2006); sowohl in Bezug auf nahen als auch auf fernen Transfer (Fisher, 2008). Das heißt, die Trainees profitierten beim Lernen offenbar stärker vom ökologisch valideren Aufgabenformat.

Eine erneute Weiterentwicklung erfuhr das RAPT im Rahmen eines Projektes, das von Thomas et al. (2017) durchgeführt wurde. Ziel war einerseits eine Aktualisierung des RAPT vorzunehmen, um eine Lernanwendung mit realistischeren Eigenschaften zu kreieren. Andererseits war es das Ziel zu prüfen, welche Wirkung diese Lernwendung auf das Verhalten von Fahranfängern und erfahrenen Fahrern in einer computerbasierten Testumgebung sowie auf das Fahrverhalten im Realverkehr hat. Die Verkehrsszenarien und die Reihenfolge, in der diese im RAPT präsentiert wurden, blieben gleich. Das bislang im RAPT eingesetzte Bildmaterial wurde durch zwei- und dreidimensionale Animationen und hochauflösendes Bildmaterial aus dem Realverkehr ersetzt. In den Videos aus dem Realverkehr gibt es zudem die Möglichkeit, den Blick nach links und nach rechts zu richten, sodass sich ein Sichtfeld von 180° ergibt. Das Training gliedert sich nach wie vor noch in die drei Module: Vortest, Training und Nachtest; mit einigen Neuerungen, wie beispielsweise einem Demovideo, in dem das Markieren von Gefahrenbereichen veranschaulicht wird. Auch wurden die Instruktionen vereinfacht, um das Lesen und Verstehen zu erleichtern. Die Anzahl an Wiederholungsversuchen im Training ist begrenzt auf zwei. Wird die potentielle Gefahr auch beim zweiten Versuch nicht korrekt identifiziert, wird diese durch ein rotes Symbol hervorgehoben. Begleitend wird textbasiert erläutert, woraus sich die Gefahr ergibt.

In die Evaluationsstudie wurden insgesamt 205 Probanden einbezogen. Die Gruppe der teilnehmenden Novizen bestand aus 103 16- bis 18-Jährigen Probanden, die mindestens 10 Stunden Fahrpraxis vorzuweisen und bis zum Testzeitpunkt höchstens 6 Monate Erfahrung im Straßenverkehr gesammelt hatten. Die restlichen Probanden waren zwischen 21 und 30 Jahren alt und galten als erfahrene Fahrer, da sie bereits mindestens ein Jahr aktiv als Fahrer am Straßenverkehr teilgenommen und über 5000 Meilen zurück gelegt hatten. Im Mittel waren die erfahrenen Fahrer 24 Jahre alt. Jeweils ein Teil der Probanden wurde der EG zufällig zugewiesen, der andere Teil der KG. Als Fahranfänger wurden Fahrschüler bzw. ehemalige Fahrschüler einer Fahrschule vor Ort rekrutiert, die sich freiwillig für die Teilnahme meldeten. Erfahrene Fahrer waren überwiegend Personen aus dem universitären Umfeld.

Die Teilnehmer der EG erhielten das RAPT. Den Probanden der KG wurde stattdessen ein zehnminütiges Video zur Fahrzeuginstandhaltung präsentiert.

Im computerbasierten Test wurde die Anzahl korrekt identifizierter Gefahrenbereiche in neun Verkehrsszenarien erfasst. Bei der Fahrt im Realverkehr wurden drei verschiedene Methoden angewandt, um Gefahrenwahrnehmung zu erfassen. Eine Gruppe von Teilnehmern hatte die Aufgabe, die eigenen Gedanken beim Fahren laut zu äußern und zu kommentieren, was zu sehen ist. Bei einer zweiten Teilnehmergruppe wurden die Blickbewegungen aufgezeichnet und die Fixationen auf potentiell gefährliche Bereiche in der Verkehrsumwelt analysiert. Die Teilnehmer der dritten Gruppe erhielten die Instruktion, alles zu kommentieren und zeitgleich wurden aber auch deren Blickbewegungen registriert.

Die Auswertungen der Blickbewegungen zeigten, dass die trainierten Teilnehmer deutlich mehr potentielle Gefahren im Realverkehr identifizierten als die Teilnehmer der KG. Sowohl die Fahranfänger als auch die erfahrenen Fahrer profitierten vom RAPT gleichermaßen. Die Fahranfänger fixierten dabei fast genauso häufig kritische Bereiche in der Verkehrsumgebung wie die erfahrenen Fahrer. Um Aussagen zur Stabilität der Lerneffekte treffen zu können, waren die Teilnehmer einen Monat nach dem Training erneut gefordert, den computerbasierten Test zu absolvieren. In der Follow-up-Erhebung identifizierten die Trainees weniger potentielle Gefahrenbereiche per Mausklick, die Testwerte waren aber dennoch vergleichsweise hoch und lagen auch immer noch über den Werten, die im Vortest erreicht wurden und auch über den Werten, die die Teilnehmer der KG in der Follow-up-Erhebung erzielten. Der Einbezug von Protokollen zum Lauten Denken hatte keinen zusätzlichen Nutzen.

Das RAPT sowie sämtliche Weiterentwicklungen des RAPT, wie beispielsweise das *Engaged Driver Training System* (EDTS; vgl. Zafian et al., 2016) oder V-RAPT (Agrawal, Knodler, Fisher, & Samuel, 2017, 2018), basieren auf dem Ansatz des fehlerbezogenen Lernens (Unverricht et al., 2018); eine Methode, die von Ivancic und Hesketh (2000) fürs Fahrenlernen vorgeschlagen wurde. Fisher und Kollegen nennen ihre Trainingsstrategie *3M Error Feedback*-Ansatz. Die drei M stehen für *Mistakes*, *Mediation* und *Mastery*. Ziel des Trainings ist es, Teilnehmer solchen Fahr- und Verkehrssituationen auszusetzen, in denen sie mit hoher Wahrscheinlichkeit Fehler machen werden (*Mistakes*), um ihnen daraufhin angemessene Lösungsstrategien zu vermitteln (*Mediation*) und die Möglichkeit zu geben, diese Strategien solange zu üben, bis diese beherrscht werden (*Mastery*).

Unverricht et al. (2018) berücksichtigten in ihrer Meta-Analyse die Ergebnisse von 19 Studien, in denen Blickbewegungen erfasst wurden, um Veränderungen in der Gefahrenwahrnehmung der Teilnehmer als Folge des Trainings nachzuweisen. Die Ergebnisse dieser Analyse zeigen, dass der 3M Error

Feedback-Ansatz eine geeignete Strategie ist, Gefahrenwahrnehmung von Fahranfängern zu fördern. Unabhängig vom Medium (computerbasiert vs. nicht computerbasiert), das zur Vermittlung der Lerninhalte eingesetzt wurde, berichten Unverricht und Kollegen von einem großen Effekt. Das heißt, dass sich qualitative Veränderungen der Benutzeroberfläche kaum auf die Lernleistungen auswirkten. Die höchsten Effektstärken wurden mit Trainingsanwendungen erzielt, die Bildmaterial von Verkehrsszenarien aus der Fahrer- und Vogelperspektive zum Lernen bereitstellten und nicht nur eine dieser beiden Darstellungsformen beinhalteten. Zudem zeigen die Ergebnisse dieser meta-analytischen Untersuchung, dass die Fahranfänger im Alter von 18 bis 21 stärker von den Lernanwendungen profitieren als die jüngeren, die 16- bis 18-Jährigen.

2.3.4 *eDrive*

Die Arbeitsgruppe um Robert Isler entwickelte an der *University of Waikato CD Drives*, ein multimediales Trainingsangebot, das in Form einer CD-ROM an Interessierte vertrieben wurde (Isler & Cockerton, 2003). *CD Drives* ist die Vorgängerversion von *eDrive*, das 15- bis 19-jährige neuseeländische Fahranfänger kostenfrei über das Internet zur Vorbereitung auf die Teilnahme am Straßenverkehr nutzen können.

Bei der Entwicklung von *eDrive* stützten sich Isler und Kollegen (vgl. Isler & Isler, 2011) eigenen Angaben nach auf bereits vorhandene lernwirksame Programme aus den USA und Australien; gemeint sind das *Driver-ZED* (vgl. Blank & McCord, 1998) und *DriveSmart* (vgl. Regan et al., 2000b). Ziel von *eDrive* ist es, Fahranfänger darin zu schulen, potentielle Gefahren zu erkennen sowie angemessen auf diese zu reagieren. Zudem soll trainiert werden, Geschwindigkeiten angemessen einschätzen zu können und eigene Gedanken zum Verkehrsgeschehen zu äußern. Lautes Denken ist eine Teilaufgabe in der neuseeländischen Fahrprüfung (vgl. Young, Crundall, & Chapman, 2017).

Über 100 videobasierte Verkehrsszenarien werden von *eDrive* zum Üben bereitgestellt, die sich auf die 5 Lernmodule *Visual Search*, *Hazard Anticipation*, *Risk Management*, *Road Commentary* und *Speed Choice* aufteilen (Isler & Isler, 2011). Zur Bearbeitung der gesamten Lernanwendung werden ca. drei Stunden Zeit benötigt (Isler & Starkey, 2012) und die Trainingsmodule sind nach Komplexitätsgrad der Aufgabe geordnet.

Im Modul *Visual Search* hat der Lerner in 25 videobasierten Verkehrsszenarien die Aufgabe, die Verkehrsumgebung vor ihm und mittels Seiten- und Rückspiegel auch um ihn herum aufmerksam zu beobachten, um Gefahren identifizieren zu können, die unmittelbar nach der Betrachtung des Verkehrsszenarios in Mehrfachwahlaufgaben angegeben werden müssen. In Aufgaben aus dem Modul *Hazard Anticipation* müssen entweder im letzten Einzelbild einer gestoppten Videosequenz oder im laufenden Video Gefahren per Mausclick identifiziert werden. Das Modul *Risk Management* umfasst

25 Aufgaben. Per unspezifischen Mausklicks muss angezeigt werden, wann eine Situation ausreichend gefährlich und eine Reaktion seitens des Fahrers erforderlich ist. In Mehrfachwahlaufgaben müssen daraufhin geeignete Reaktionen ausgewählt werden. Aufgabe im Modul *Road Commentary* ist es, das Verkehrsgeschehen zu kommentieren. Nachdem der Lerner einen Expertenkommentar erhalten hat, darf er in drei weiteren Aufgaben selbst Angaben machen. In Aufgaben aus dem *Speed Choice*-Modul müssen vom Lerner die Straßenverhältnisse eingeschätzt und eine angemessene Geschwindigkeit angegeben werden.

Isler und Starkey (2012) analysierten in ihrer Evaluationsstudie die Hazard Perception-Testwerte von 634 Nutzern und konnten anhand eines Pre-Posttest-Designs zeigen, dass die Teilnehmer nach dem Training deutlich mehr Gefahren im Straßenverkehr erkannten und sehr viel schneller auf potentielle Gefahren reagierten. Sie berichten von Leistungsverbesserungen von 10 % in Bezug auf die Identifikation von Gefahren und von 11 % in Bezug auf die Schnelligkeit, mit der nach dem Training auf Gefahren reagiert wurde. Entsprechend der Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass diese Art des Trainings eine positive Wirkung auf die Fähigkeiten zur Gefahrenwahrnehmung einiger Lerner haben kann. Nichtsdestotrotz weist die Studie methodische Mängel auf, die eine Verallgemeinerung der Ergebnisse erschweren. Das Design wurde ohne Kontrollbedingung geplant und es gingen nur Daten von Teilnehmern ein, die sich selbst für die Teilnahme anmeldeten. Darüber hinaus bewältigte jeder Lerner das Training individuell zuhause vorm eigenen PC; das heißt, im eigenen Tempo, zu individuell gewählten Zeiten etc. Außerdem wurden demografische Daten aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht mit erhoben, weshalb keine Informationen über Kontrollvariablen der Teilnehmenden, wie das Geschlecht, das Alter usw. bekannt sind.

Isler und Isler (2011) geben an, dass eDrive die Antwort auf die Forderung nach einem umfassenderen Ansatz in der Fahrausbildung ist, der strikt psychologischen Lernprinzipien folgen müsse. Auf welche Prinzipien sich die Entwicklung von eDrive im Einzelnen stützt, wird jedoch weitgehend außen vor gelassen und nicht näher spezifiziert. Neben der Einbindung realer videobasierter Verkehrsszenarien ist die unmittelbare Rückmeldung über die eigene Leistung nach jeder einzelnen Aufgabe, ein Gestaltungsmerkmal, das in diesem Zusammenhang genannt wird. Auch geben die Entwickler an, dass großer Wert auf eine ansprechende und spielerische Gestaltung des Trainingsprogramms gelegt wurde, um Fahranfänger für die Teilnahme zu motivieren.

Außerdem merken Isler und Isler (2011) an, dass eDrive zwar in erster Linie für Führerscheinkanwärter gedacht ist, sie aber auch andere Fahrergruppen, wie ältere Fahrer, Touristen oder Fahrer, die unsicher hinsichtlich ihrer Fähigkeiten zur Gefahrenwahrnehmung oder in Bezug auf den Umgang mit Risiken sind, mit diesem Trainingsprogramm ansprechen möchten. Unklar bleibt in diesem Zusammenhang,

ob sie davon ausgehen, dass dasselbe Programm für alle diese Fahrergruppen geeignet ist. Angaben, ob und wenn ja, wie eDrive für diese Fahrergruppen modifiziert werden müsste, machen sie nicht.

2.3.5 *Weitere Trainingsanwendungen*

Das Training, das Chapman, Underwood und Roberts (2002) entwickelten, sah 5 verschiedene computerbasierte Aufgabenteile vor: *Initial Commentary*, *Visual Search Task*, *Anticipation and Hazard Processing Task*, *Skill Development* und *Unsupported Commentary*. Als Instruktionsmaterial dienten Videoszenarien. Ziel der Intervention sind neben einer Erweiterung des Vor- bzw. Hintergrundwissens, die Verbesserung der visuellen Informationssuche sowie eine Verbesserung antizipatorischer Fähigkeiten. Das Training nimmt weniger als eine Stunde Zeit in Anspruch.

Im ersten Teil (*Initial Commentary*) hatten Fahranfänger einerseits die Aufgabe, das Erkennen von Gefahren in 4 präsentierten Videos per Tastendruck anzugeben. Andererseits sollten sie fortlaufend kommentieren, was sie sehen. In der *Visual Search Task* wurden erneut Videos dargeboten. Kritische Bereiche waren farbig hervorgehoben und die Videos wurden mit halber Geschwindigkeit präsentiert, sodass den Teilnehmern ausreichend Zeit zur Verfügung stand, um zu beschreiben, worauf sie im Verkehrsszenario achten und was eine potentielle Gefahr darstellt. Anschließend wurden dieselben Videos erneut dargeboten, diesmal aber mit Expertenkommentar. Im nächsten Teil der Aufgabe (*Anticipation and Hazard Processing Task*) wurden Verkehrsszenarien an kritischen Stellen angehalten und der Trainee aufgefordert zu beschreiben, was als nächstes passieren wird oder anzugeben, was sich gerade ereignete. Nachdem der Lerner Angaben gemacht hat, wird das Szenario wiederholt und ein Experte gibt die korrekte Lösung. Im vierten Teil des Trainings (*Skill Development*) wurden die 10 Videoszenarien der vorangegangenen Aufgaben erneut mit Hervorhebungen der kritischen Bereiche präsentiert und der Lerner gebeten, das Verkehrsgeschehen zu kommentieren und das Gelernte anzuwenden. In der abschließenden Übung (*Unsupported Commentary*) wurden 4 neue Videoszenarien dargeboten und Aufgabe des Trainees war es, die Identifikation von kritischen Situationen durch einen Tastendruck anzugeben und zeitgleich aber auch zu kommentieren, was zu sehen ist.

Die Evaluationsstudie erstreckte sich über drei Testtermine: nach Bestehen der Theorieprüfung und vor dem Training, unmittelbar nach dem Training sowie drei bis sechs Monate nach Absolvieren des Trainingsprogramms wurden die Leistungen von anfänglich insgesamt 143 Teilnehmern erfasst. Die Probanden wurden per Zufallsentscheidung entweder der EG oder der KG zugewiesen. Analysiert wurden neben der Wahl von Sicherheitsabständen sowie der Geschwindigkeit auch die Blickbewegungen der Probanden beim Fahren im Realverkehr und bei der Bewältigung von computerbasierten Hazard Perception-Tests.

Ungeachtet dessen, ob die Teilnehmer das Training absolviert hatten oder nicht, konnte über die Zeit vom ersten bis zum letzten Testzeitpunkt ein Anstieg in der Wahl der Geschwindigkeiten und eine Verringerung der Sicherheitsabstände zu Vorfahrern beobachtet werden. Zudem zeigten die Trainees im Vergleich zu den Probanden der KG im Realverkehr und im Hazard Perception-Test unmittelbar nach dem Training ein weiträumigeres visuelles Informationssuchverhalten auf horizontaler Ebene. In der Follow-up-Erhebung ließ sich dieser Effekt im Realverkehr nicht mehr nachweisen, dafür aber bei der Bewältigung des computerbasierten Hazard Perception-Tests.

McKenna, Horswill und Alexander (2006) entwickelten ein 20-minütiges Gefahrenwahrnehmungstraining. Das Training bestand aus einem Video, das verschiedene Verkehrsszenarien aus der Perspektive des Fahrers aufzeigte sowie aus Begleitkommentaren eines Ausbilders. Die Kommentare des Experten bezogen sich auf potentiell gefährliche Ereignisse und darauf, wie diese identifiziert werden können. Anders als die Teilnehmer der KG wurden die Trainees in der Instruktion darauf hingewiesen, dass sie im Anschluss an das Training, in einer Reihe von Tests ihr Wissen unter Beweis stellen müssen. Den Teilnehmern der KG wurde dasselbe Video dargeboten, nur ohne Expertenkommentare.

Insgesamt nahmen 91 Fahranfänger im Alter zwischen 18 und 20 Jahren (im Mittel 19 Jahre alt) mit maximal 3 Jahren Fahrerfahrung (zum Testzeitpunkt im Mittel anderthalb Jahre im Besitz eines Führerscheins) an der Untersuchung teil. Die Leistungen der Probanden wurden in 4 videobasierten Tests miteinander verglichen. Mit drei dieser Tests wurden Maße zum dichten Auffahren, zur Wahl von Sicherheitsabständen und zur Geschwindigkeitswahl erhoben. Beim vierten Test handelte es sich um die klassische Hazard Perception-Testaufgabe. Probanden, die zuvor das Training erhalten hatten, reagierten nicht nur schneller auf Gefahren im Test, Selbstberichte zeigten auch, dass die Bereitschaft, Risiken in Bezug auf die Wahl von Geschwindigkeiten und Sicherheitsabständen einzugehen, durch das Training sank. Dabei konnten McKenna und Kollegen (2006) aufzeigen, dass nur dann geringere Geschwindigkeiten von den Trainees gewählt wurden, wenn sie sich mit einer Gefahrensituation konfrontiert sahen. Das heißt, es handelte sich um eine spezifische Reaktion und nicht um eine generelle Sensibilisierung für Gefahren im Test. Beobachten ließ sich zudem, dass die trainierten Fahranfänger ihre eigenen Fahrfertigkeiten keinesfalls höher einschätzten als die Teilnehmer der KG.

Petzoldt, Weiß, Franke, Krems und Bannert (2013) entwickelten eine computerbasierte Trainingsanwendung zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung. Im Fokus stand die Prozeduralisierung von Wissen, das die Trainees bereits im Rahmen der Theorieausbildung erhalten hatten. Die Lernanwendung gliederte sich in drei Teile: in einen Vortest, die Instruktion und das Training. Der Vortest diente einerseits zur Aktivierung des Vorwissens, andererseits diente die Leistung in diesem Test als Kontrollvariable. In der Instruktion wurden die Teilnehmer über Ziele des Trainings und über Inhalte

informiert. Im Training wurden den Probanden kurze Videos in Form von Animationen zu potentiell gefährlichen Verkehrsszenarien präsentiert. Keines der Videos wurde zweimal gezeigt, aber es gab inhaltlich Überschneidungen von situativen Elementen, sodass bestimmte Aspekte wiederholt erfahrbar waren.

Das Training bestand aus zwei ca. 40-minütigen Aufgabenteilen mit je 13 Verkehrsszenarien. Jedes Verkehrsszenario im ersten Aufgabenteil beinhaltete zwei bis drei kritische Situationen, zu denen Mehrfachwahlaufgaben beantwortet oder potentielle Gefahrenbereiche im Standbild markiert werden mussten. Das Feedback wurde an die Lösung des Probanden angepasst. Je nachdem, ob die Antwort richtig oder falsch war, wurde die Videosequenz fortgesetzt oder wiederholt gezeigt. Im zweiten Aufgabenteil wurden die Videosequenzen angehalten und der Trainee gefragt, ob es an dieser Stelle notwendig sei zu reagieren. Antwortete der Trainee mit ja, folgte eine Mehrfachwahlaufgabe, in der angegeben werden musste, welche Aktivität notwendig sei – gefolgt von der Frage, warum diese Aktivität notwendig ist. Am Ende jedes Aufgabenteils erhielt der Trainee allgemeines Feedback zur eigenen Leistung und bekam Hinweise, welche Themen im Verlauf der weiteren Ausbildung fokussiert werden sollten.

Daten von 36 Teilnehmern waren auswertbar. Die Probanden verteilten sich etwa zu gleichen Teilen auf drei Gruppen: neben einer KG, die keinerlei Training erhielt, gab es eine Gruppe, die das oben beschriebene Training absolvierte und eine, die das Äquivalent zur oben beschriebenen Version als Papier-Bleistift-Version erhielt – mit dem Unterschied, dass anstelle des bewegten unbewegtes Bildmaterial zum Lernen präsentiert wurde. Die teilnehmenden Fahrschüler mit einem Durchschnittsalter von 17 Jahren mussten mindestens 10 Theoriestunden vorweisen können und durften nicht mehr als 5 fahrpraktische Stunden absolviert haben.

Zum Nachweis von Trainingseffekten wurden zwei Tage nach dem Training Blickbewegungsmessungen beim Fahren im Fahrsimulator durchgeführt. Im Vergleich zu den anderen beiden Teilnehmergruppen, zeigten die Probanden, die mittels CBT lernten, sowohl in Aufgaben, die nahen als auch solchen, die fernen Transfer erforderten, im Fahrsimulator ein angemesseneres Blickverhalten. Hieraus leiten die Autoren ab, dass das CBT die effektivere Lernanwendung von beiden ist und schlussfolgern, dass die Vermittlung sicherheitsrelevanter Fahrfertigkeiten in der Fahrausbildung sinnvoll durch CBT ergänzt werden kann. Trotz verhältnismäßig geringer Stichprobengröße zeigten die Ergebnisse, dass das CBT zum Lernen fahrspezifischer Fertigkeiten besser geeignet ist, als die Papier-Bleistift-Version.

Um zu überprüfen, wie sich dieses CBT auf Fähigkeiten zur Kalibrierung auswirkt, rekrutierten Weiß, Petzoldt, Bannert und Krems (2013) für ihre Evaluationsstudie Fahranfänger, die über weniger als 5 Stunden fahrpraktische Erfahrung verfügten. Ein Teil der Probanden absolvierte das CBT. Die Pro-

banden der KG erhielten die Papier-Bleistift-Version der Lernanwendung. Zwei Tage nach Durchlaufen des Trainings waren die Teilnehmer gefordert, das Gelernte im Fahrsimulator anzuwenden, wobei ihr Blickverhalten gemessen wurde. Zudem wurde das Zutrauen der Teilnehmer in die eigenen Fähigkeiten, verschiedene Gefahrensituationen im Verkehr erkennen zu können, erfasst. Im Vergleich zu den Probanden der KG identifizierten die Teilnehmer, die das CBT erhielten, Gefahren nicht nur schneller, die Blickbewegungen deuten auch darauf hin, dass situationsspezifische Informationen schneller und besser verstanden werden konnten. Außerdem neigten Probanden, die das CBT erhalten hatten, eher dazu, ihre Fähigkeiten in Bezug auf die Identifikation von Gefahrensituationen zu unterschätzen. Die Probanden der KG hingegen, neigten eher zur Überschätzung der eigenen Fahrfähigkeiten. Die Ergebnisse zeigen, dass sich im Vergleich zur konventionellen Fahrausbildung, computerbasierte Instruktion offenbar besser eignet, sicherheits-relevantes Fahrverhalten zu fördern.

2.3.6 Zusammenfassung und Fazit

Die genannten Trainingsprogramme sind nicht nur unterschiedlich aufgebaut, sie basieren auch auf dem Einsatz unterschiedlicher Instruktionmethoden, von denen in der Regel mehrere innerhalb einer Lernanwendung umgesetzt worden sind. Die genannten Lernanwendungen haben sich alle als mehr oder weniger effektiv erwiesen. Auf welche Komponenten die Lernwirksamkeit im Einzelnen zurückzuführen ist, ist jedoch nur schwer nachvollziehbar, da die einzelnen Programmkomponenten in der Regel vor dem Einsatz nicht isoliert betrachtet und hinsichtlich ihrer Effektivität verglichen worden sind. Daher erscheint es zunächst erst einmal zielführend, Unterschiede zwischen den verschiedenen Studien herauszuarbeiten und in der einschlägigen Literatur nach Hinweisen zu suchen, ob einzelne Gestaltungsmerkmale miteinander verglichen wurden. Davon ausgehend kann herausgefiltert werden, ob bestimmte Teilkomponenten oder Methoden effektiver sind als andere. Dieser Schritt ist von Bedeutung, weil entschieden werden muss, welchen Methoden für eine neu zu gestaltende Lernumgebungen Vorzug gegeben werden sollte.

Wie bereits erwähnt, geht aus den Beschreibungen der genannten Trainingsprogramme hervor, dass sich diese hinsichtlich mehrerer Merkmale zum Teil sehr deutlich voneinander unterscheiden. Neben den gewählten Instruktionmethoden zählen hierzu z. B. die Anzahl im Training angesprochener Teilkompetenzen, die gewählte Lernumgebung (z. B. Desktop-PC oder Fahrsimulator) oder der Umfang bzw. die Trainingsdauer.

In der einschlägigen Literatur finden sich nicht nur Trainingsanwendungen, die ausschließlich auf die Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung und damit assoziierte Teilkompetenzen – wie Blickstrategien beispielsweise – abzielen (z. B. Fisher et al., 2004), sondern auch umfassendere Programme, die Gefahrenwahrnehmung als einen Teilaspekt der gesamten Trainingsintervention berücksichtigen (z. B.

Isler, Starkey, & Sheppard, 2011; Regan et al., 2000a) und zudem z. B. auch Kompetenzen zur Aufmerksamkeitssteuerung oder Kalibrierung vermitteln.

Im Rahmen der genannten Trainingsanwendungen sind eine Reihe computerbasierter Instruktionmethoden umgesetzt worden, die nachweislich zu verbesserten Leistungen in Hazard Perception-Tests führen (Horswill, 2016b). Einige Methoden erwiesen sich jedoch als weniger lernwirksam und damit für Trainingsinterventionen als unvorteilhafter als andere. In Bezug auf den Lernerfolg ungünstigere Trainingsinterventionen sind oft solche, die ausschließlich eine konventionelle Beschulung in Form einer theoretischen Unterweisung vorsehen oder den Lerner nicht aktiv einbinden (Horswill, 2016a). Horswill (2016b) unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen passiven und aktiven Lern- oder Instruktionmethoden.

Der klassische Fahrschulunterricht, in dem z. B. kritische Situationen anhand von Beispielen aus dem Lehrbuch oder mit Videobeispielen veranschaulicht, Entstehungsbedingungen aufgezeigt, sowie Maßnahmen zum präventiven Handeln durchgesprochen werden, ist eine Möglichkeit, fahrsicherheitsrelevantes Wissen zu vermitteln. Angenommen wird, dass das, was im Frontalunterricht im theoretischen Teil der Fahrausbildung durchgesprochen und anhand von Bildmaterial zusätzlich erläutert wird, vom Lerner später im Realverkehr umgesetzt werden kann. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass diese Art der Instruktion als alleinige Methode angewandt, nicht die effektivste ist (z. B. McKenna & Crick, 1997; Meir, Borowsky, & Oron-Gilad, 2014).

McKenna und Crick (1997) berichten von einem dreistündigen Training, bei dem den Lernern u. a. Strategien zum Erkennen von potentiell gefährlichen Verkehrssituationen durch einen Fahrlehrer vermittelt wurden. Neben den Ausführungen des Fahrlehrers wurden Inhalte auch durch Beispieldemos veranschaulicht. Diese Form der Instruktion führte bei den Fahrschülern nicht zu verbesserten Gefahrenwahrnehmungsleistungen. Auch Meir et al. (2014) berichten davon, dass diese Art der Instruktion lernunwirksam ist. In ihrer Studie schnitten die Trainingsteilnehmer im Nachtest am schlechtesten ab, die im Training mit Lerntexten und Videobeispielen konfrontiert waren. Die Lerner jedoch, die durch die Aufgabenstellung aufgefordert waren, Hazard Perception-Testaufgaben zu bearbeiten, bei der die Identifikation von Gefahren angezeigt werden musste, wiesen im Nachtest weitaus bessere Lernleistungen auf.

Eine andere Möglichkeit, den Blick für potentielle Gefahren im Straßenverkehr zu schärfen, stellen Markieraufgaben dar. Bei dieser Art von Lernaufgaben werden potentiell gefährliche Bereiche oder Objekte in der Verkehrsumgebung entweder durch das Trainingsprogramm hervorgehoben (z. B. Chapman et al., 2002; Fisher et al., 2004) oder müssen vom Lerner selbst markiert werden

(z. B. Pollatsek et al., 2006) und werden erst bei Nichtbeachtung als Teil des Feedbacks vom System dargeboten (Pollatsek et al., 2006; Zafian, Samuel, Borowsky, & Fisher, 2014).

Hervorhebungen dieser Art werden im Bereich des Multimedialernens unter dem Begriff Signalisierungsprinzip (Mayer, 2008) gefasst, von Betrancourt (2005) auch als Aufmerksamkeitslenkungsprinzip (*Attention Guiding Principle*) bezeichnet, oder von van Gog (2014) unter der Bezeichnung *Cueing* beschrieben. Dem Signalisierungsprinzip zufolge kann Lernmaterial besser verstanden werden, wenn die Aufmerksamkeit des Lerners durch entsprechende Hinweise auf relevante Inhalte gelenkt wird. Solche Hinweise können bildbasiert gestaltet sein, z. B. in Form von Kreisen oder Warnzeichen etwa (vgl. z. B. Chapman et al., 2002; Zafian et al., 2014). Wetton, Hill und Horswill (2013) setzten in *What happens next*-Aufgaben auch eine Art *Spotlight* ein, um wichtige Bildbereiche hervorzuheben. Irrelevante Bildbereiche wurden abgedunkelt dargestellt und relevante erschienen in einem Lichtkegel. Aber auch verbale Kommentare sind denkbar, die z. B. mit bildbasierten Hinweiszeichen kombiniert werden können (z. B. Pollatsek et al., 2006). Personen, die über ausreichend Vorerfahrung in einem Wissensbereich verfügen, gelingt es in der Regel die Aufmerksamkeit auf aufgabenrelevante Informationen zu richten. Novizen hingegen neigen dazu, auf saliente Merkmale zu achten, weil ihnen das Wissen für eine schemabasierte Verarbeitung noch weitgehend fehlt. Saliente Merkmale sind aber nicht notwendigerweise auch die lern- bzw. sicherheitsrelevanten. Durch Hervorhebungen kann mangelndes Wissen kompensiert und die Aufmerksamkeit des Lerners auf relevante Inhalte gelenkt werden.

Im RAPT-1 (vgl. Pollatsek et al., 2006) z. B. müssen im ersten Aufgabenteil vom Lerner Markierungen vorgenommen werden. Aufgabe ist es, über Drag-and-Drop-Funktion verschieden farbige Symbole in Verkehrsszenarien zu platzieren, die als Zeichnungen aus der Vogelperspektive präsentiert werden. Im zweiten Teil der Aufgabe wird dieselbe Zeichnung erneut präsentiert. Gefahrenbereiche sind diesmal im Bild markiert und der Lerner erhält verbal Rückmeldung zur eigenen Leistung. Im dritten Teil der Aufgabe wird aufgezeigt, wie die farbigen Symbole richtigerweise zu platzieren sind. Probanden, die diese Art von Training erhalten hatten, markierten im Nachtest deutlich mehr Gefahrenbereiche richtig als die untrainierten Testteilnehmer. Außerdem zeigten sie im Fahrsimulator ein angemesseneres Blickverhalten.

Im RAPT-3 (vgl. Pradhan et al., 2009) wurden in der Trainingsphase zunächst Verkehrsszenarien als Zeichnungen aus der Vogelperspektive präsentiert. Gefahrenbereiche waren markiert und textbasiert wurde erläutert, weshalb die entsprechende Situation potentiell gefährlich ist. Im Nachtest waren die Lerner gefordert, in im Realverkehr aus der Fahrerperspektive aufgenommenen Fotostrecken entsprechende Gefahrenbereiche per Mausklick zu markieren. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Lerner in ihren Leistungen durch das Training verbessern konnten. Identifizierten die Lerner im Vortest

32 % der Gefahrenbereiche korrekt, waren es im Nachtest 81 %. Zudem wiesen die trainierten Teilnehmer im Vergleich zu den untrainierten ein sicherheitszuträglicheres Blickverhalten im Realverkehr auf und fixierten Gefahrenbereiche deutlich häufiger. Trainingseffekte zeigten sich dabei sowohl in Bezug auf nahen als auch fernen Transfer.

Chapman et al. (2002) unterstützten in ihrer Lernanwendung weiträumiges Informationsuchverhalten u. a. dadurch, dass implizite und explizite Gefahren in Videoszenarien, die zunächst mit halber Geschwindigkeit präsentiert wurden, verschieden farbig eingekreist waren. Im Gegensatz zum Training von Chapman et al. (2002) bestand in der von Zafian et al. (2014) entwickelten computerbasierten Lernumgebung ein Teil des Trainings darin, Gefahrenobjekte oder -bereiche per Mausclick in Echtzeit in animierten Verkehrsszenarien zu identifizieren. Nach jeder Aufgabe erhielten die Teilnehmer visuelles und auditives Feedback zur eigenen Leistung. Kritische Bereiche oder sicherheitsrelevante Elemente, die vom Trainee zunächst nicht erkannt worden waren, wurden durch farbige Symbole hervorgehoben und über Kopfhörer erfuhren die Testteilnehmer, weshalb sie ihre Aufmerksamkeit auf die entsprechenden Bildbereiche richten sollten. Auch diese Trainingsintervention erwies sich als effektiv, wobei sich ein größerer Trainingseffekt für komplexe Gefahrensituationen zeigte, die mehr als nur eine Blickfixation erforderten.

Sowohl das RAPT als auch das Training von Chapman et al. (2002) enthalten theoretische Hintergrundinformationen zu Gefahren. Während diese im RAPT textbasiert als Teil statischen Bildmaterials dargeboten wurden (vgl. z. B. Pradhan et al., 2009), erhielten die Trainees bei Chapman et al. (2002) Informationen zu Verkehrsrissen in Form von Expertenkommentaren, die ergänzend zu Videoszenarien präsentiert wurden. Die Bereitstellung von Expertenkommentaren ist eine weitere Möglichkeit, die Aufmerksamkeit des Lerners auf sicherheitsrelevante Informationen in der Verkehrsumgebung zu lenken. Expertenkommentare entsprechen einer in der psychologischen Forschung etablierten Methode zur Offenlegung und Analyse von Denk- und Problemlöseprozessen, der Methode des Lauten Denkens (vgl. Ericsson & Simon, 1980). Im Bereich der verkehrssicherheitsrelevanten Trainingsforschung wird in diesem Zusammenhang vom Kommentierten Fahren gesprochen (McKenna et al., 2006). Kommentiertes Fahren ist z. B. bei der Polizei oder im Rettungswesen eine in der Ausbildung von Experten etablierte Methode, wird aber auch offiziell als Teil der Prüfung bei Fahranfängern in Neuseeland genutzt (Wetton et al., 2013; Young et al., 2017).

Beim Kommentierten Fahren werden Ereignisse in der Verkehrsumwelt entweder durch einen Experten geschildert (z. B. McKenna et al., 2006; Wallis & Horswill, 2007) oder durch den Trainingsteilnehmer selbst kommentiert (Isler, Starkey, & Williamson, 2009). In der Regel beinhaltet diese Art von Training jedoch beides (Crundall et al., 2010). Das heißt, dass der Trainee zunächst den Ausführungen eines Experten folgt und so erfährt, worauf beim (Kommentierten) Fahren zu achten ist

und danach selbst übt, in Echtzeit die unmittelbare Fahr- und Verkehrsumgebung zu beschreiben und davon ausgehend angemessenes Fahrverhalten abzuleiten und laut zu äußern (vgl. Crundall et al., 2010). Die Idee dahinter ist, unerfahrenen Fahrern Teile des Expertenwissens zugänglich zu machen und offen zu legen, worauf erfahrene Fahrer beim Fahren achten und weshalb. Fahranfänger können so am Modell lernen (Horswill, 2016b).

Beim Kommentierten Fahren werden entweder bei der Rezeption von Videoszenarien (z. B. Isler et al., 2009; Wetton et al., 2013), beim Fahren im Fahrsimulator (Wang, Zhang, & Salvendy, 2010) oder aber beim Fahren im Realverkehr (Isler et al., 2011) fortlaufend Kommentare generiert, die Auskunft darüber geben, welche sicherheitsrelevanten Ereignisse identifiziert worden sind, wie sich diese weiterentwickeln werden und wie auf die wahrgenommenen Ereignisse reagiert werden wird, um riskante Situationen zu vermeiden.

Untersuchungen zeigen, dass Fahranfänger, die mit der Methode des Kommentierten Fahrens trainierten, angemessener auf Gefahren reagierten, die in videobasierten Hazard Perception-Testaufgaben oder im Fahrsimulator dargeboten wurden. Sie identifizierten nach dem Training mehr Gefahren (Isler et al., 2009), wiesen kürzere Latenzzeiten in videobasierten Hazard Perception-Testaufgaben auf (McKenna et al., 2006; Wetton et al., 2013), verursachten im Fahrsimulator weniger Unfälle, fuhren vorsichtiger und reduzierten ihre Fahrgeschwindigkeit in Erwartung von Gefahrenereignissen frühzeitiger (Crundall et al., 2010).

McKenna et al. (2006) konnten nicht nur aufzeigen, dass sich videobasiertes Trainingsmaterial mit integrierten Expertenkommentaren dazu eignet, Gefahrenwahrnehmung zu verbessern. Selbstberichte zeigten auch, dass die Bereitschaft, Risiken in Bezug auf die Wahl von Geschwindigkeiten und Abständen einzugehen und Verkehrsverstöße in Kauf zu nehmen durch das Training sank.

Für die Methode des Kommentierten Fahrens konnten jedoch nicht nur sicherheitszuträgliche Effekte nachgewiesen werden. Studien zeigen auch, dass hierdurch die Reaktion auf Gefahren in Hazard Perception-Tests verlangsamt sein kann (Young, Chapman, & Crundall, 2014; Young et al., 2017) – vermutlich aufgrund der erhöhten kognitiven Anforderungen, die durch die Doppeltätigkeit entsteht. Das muss bei einer Umsetzung dieser Methode in Trainingsinterventionen berücksichtigt werden, insbesondere dann, wenn es sich um Trainings im Realverkehr handelt.

Eine weitere Möglichkeit Gefahrenwahrnehmung zu trainieren, besteht im Einsatz von WHN-Aufgaben (vgl. Experiment II bei McKenna & Crick, 1997; Wetton et al., 2013). Bei dieser Art von Lernaufgaben werden Trainingsteilnehmern Videoclips präsentiert, die unmittelbar vor dem Auftauchen der Gefahrensituation enden. Aufgabe ist es zu beschreiben, wie sich die jeweilige Situation voraussichtlich weiterentwickeln wird. Erfahrene Fahrer schneiden in solchen Aufgaben in der Regel besser ab, weil

sie aufgrund ihres Erfahrungswissens Hinweisreize wahrnehmen können, die Novizen schlichtweg übersehen. Wenn das Video endet, haben erfahrene Fahrer daher oft schon treffende Vorstellungen über den Fortgang des Szenarios entwickelt. Nach möglichen Ausgängen zur Situation befragt, können sie daher meist mehrere mögliche Ideen benennen, während Novizen eher im Dunkeln tappen und meist nur wenige Ideen zum Ausgang des Verkehrsszenarios haben.

Sowohl McKenna und Crick (1997) als auch Wetton et al. (2013) konnten zeigen, dass sich WHN-Aufgaben eignen, Fahranfängern gefahrenspezifisches Wissen zu vermitteln. Probanden, die diese Aufgaben zum Lernen nutzten, schnitten im Hazard Perception-Test besser ab und reagierten schneller auf Gefahren als Teilnehmer der KG.

Ein Unterschied zwischen effektiven und weniger lernwirksamen Instruktionmethoden liegt offenbar in der Bereitstellung von Feedback (vgl. hierzu auch Abschn. 2.5.3). Weniger effektive Instruktionmethoden fordern den Lerner nicht, etwas aktiv zu tun, z. B. Gefahrenbereiche zu markieren. Ohne Aktivität kann aber auch kein Feedback zu einer Leistung bereitgestellt werden. So zeigen z. B. Untersuchungen, in denen bloßes Rezipieren von Videos mit verschiedenen Gefahrensituationen verlangt worden war, keine verbesserten Leistungen in nachfolgenden Hazard Perception-Tests (z. B. Wallis & Horswill, 2007; Wetton et al., 2013).

Unabhängig von der Instruktionmethode unterscheiden sich die verschiedenen Lernangebote für die Fahranfängervorbereitung aber auch in der Trainingsdauer zum Teil erheblich. Während einige nur für eine Lernzeit von wenigen Minuten (z. B. Chapman et al., 2002; Horswill, Taylor, Newnam, Wetton, & Hill, 2013; McKenna et al., 2006; Pradhan et al., 2009; Taylor et al., 2011; Vlakveld et al., 2011; Wang et al., 2010; Wetton et al., 2013) oder Stunden (z. B. Fisher, 2008; Isler & Starkey, 2012; McKenna & Crick, 1997; Meir et al., 2014; Petzoldt et al., 2013) konzipiert worden sind, dauert die Bewältigung anderer mehrere Tage (z. B. Isler et al., 2011), Wochen oder gar Monate (z. B. Regan et al., 2000a).

Generell hat sich gezeigt, dass sich schon mit Trainingsinterventionen für deren Bewältigung nur wenige Minuten ausreichen, verhältnismäßig große Lerneffekte erzielen lassen. So konnte z. B. in der Studie von Thomas et al. (2016) ein signifikanter Rückgang in den Unfallzahlen bei jungen männlichen Fahranfängern (16- bis 18-Jährige) beobachtet werden, die zuvor das RAPT absolviert hatten, für das durchschnittlich 17 Minuten Bearbeitungszeit benötigt wurden (vgl. Abschn. 2.3.3).

Trainingsanwendungen für die Schulung von Fahranfängern wurden für die Nutzung verschiedenster Endgeräte entwickelt. Sie reichen von Anwendungen für Desktop- (z. B. Isler et al., 2011; Pradhan et al., 2009; Regan et al., 2000b; Samuel, Zafian, Borowsky, Romoser, & Fisher, 2013) und Tablet-PC (z. B. Engaged Driver Training System (EDTS); Krishnan, Samuel, Romoser, & Fisher, 2015; Zafian et al., 2016) über solche für Fahrsimulatoren (z. B. Vlakveld et al., 2011; Wang et al., 2010) und VR-Brille (Agrawal et

al., 2017) bis hin zu internetbasierten Lernanwendungen, wie eDrive (Isler & Isler, 2011); wobei auch für Letztere ein PC erforderlich ist.

Die Entwicklung von Lernumgebungen schließt auch deren Evaluation ein. Auch die einzelnen Evaluationsstudien unterschieden sich hinsichtlich verschiedener Merkmale, auf die nachfolgend eingegangen werden soll. Unterschiede finden sich in Bezug auf den Zeitpunkt von Lernerfolgskontrollen und hinsichtlich der Häufigkeit, mit der diese durchgeführt wurden, aber auch in Bezug auf die Testumgebung, in der Lernwirksamkeitsnachweise erbracht wurden, oder Variablen, die zur Quantifizierung von Lernerfolgen erhoben wurden.

In Trainings zur Fahranfängervorbereitung wurden Lernerfolgskontrollen entweder direkt im Anschluss an die Trainingsphase (z. B. Chapman et al., 2002; McKenna et al., 2006), einige Tage danach (z. B. Fisher et al., 2002; Meir et al., 2014) oder mehrere Wochen (z. B. Regan et al., 2000a; Thomas et al., 2017) bzw. Monate nach Absolvieren des Trainings (z. B. Chapman et al., 2002; Wang et al., 2010; Zafian, Agrawal, & Samuel, 2017) durchgeführt; oft unmittelbar nach dem Training sowie erneut zu einem späteren Zeitpunkt (z. B. Regan et al., 2000a; Wetton et al., 2013), um Aussagen zur Stabilität von Trainingseffekten machen zu können. Schließlich hängt die Effektivität von Trainingsinterventionen auch vom Einfluss moderierender Variablen ab. Moderiert wird die Lernleistung z. B. vom zeitlichen Abstand zwischen dem Training und der Evaluation (Hesketh & Ivancic, 2002). Methoden, die die Leistung anfangs deutlich steigern, können sich auf lange Sicht negativ auf das Behalten und den Transfer auswirken. Andererseits können sich Methoden, mit denen der Fertigkeitserwerb anfangs mehr Zeit beansprucht, letztlich auf lange Sicht günstig auf das Behalten und den Transfer auswirken (Schmidt & Bjork, 1992). Finden Evaluationen ausschließlich unmittelbar nach dem Training statt, besteht die Gefahr, dass weniger lernwirksame Trainingsansätze Eingang in die gängige Praxis finden und effektivere verworfen werden. Es ist daher nicht nur von Bedeutung, die Lernwirksamkeit unmittelbar nach dem Training zu prüfen, sondern erneut zu einem oder mehreren späteren Zeitpunkten, um so Aussagen machen zu können, ob eine Trainingsintervention zum nachhaltigen Lernen geeignet ist und Trainingseffekte über die Zeit hinweg beobachtbar sind.

In Evaluationsstudien werden in der Regel die Gefahrenwahrnehmungsleistungen von Fahranfängern vor und nach Absolvieren eines Trainings gegenübergestellt (z. B. Isler et al., 2011). Häufig wird ihre Leistungsentwicklung, mit der einer Kontrollgruppe ohne entsprechendes Training (z. B. Isler et al., 2011; Meir et al., 2014; Petzoldt et al., 2013; Wang et al., 2010) bzw. mit Placebo-Training (z. B. Thomas et al., 2016) oder mit der Leistung einer Gruppe von erfahrenen Fahrern verglichen (z. B. Isler et al., 2009; Meir et al., 2014). In einigen Studien wurden aber auch verschiedene Trainingsvarianten einander vergleichend gegenübergestellt, um mögliche Unterschiede in der Effektivität zwischen

einzelnen Methoden bestimmen zu können (z. B. Isler et al., 2011; Meir et al., 2014; Petzoldt et al., 2013; Wang et al., 2010; Weiß et al., 2013; Wetton et al., 2013; Young et al., 2017).

In den oben angeführten Trainingsinterventionen sind in der Regel mehrere Trainingsmethoden eingesetzt worden, um sicherheitsrelevante Fahrfertigkeiten zu vermitteln. Beispielsweise evaluierten Chapman et al. (2002) eine Trainingsintervention, die sowohl WHN-Aufgaben als auch Kommentiertes Fahren als Teilübungsaufgaben enthielt. Unklar bleibt daher, auf welche einzelnen Methoden Trainingseffekte zurückgehen und ob einige dieser Methoden effektiver sind als andere. In einigen Studien wurden daher Vergleiche angestellt, um die relative Effektivität einzelner Methoden oder Gestaltungsparameter zu ermitteln.

Beispielsweise verglichen Petzoldt et al. (2013) die Lernwirksamkeit einer computerbasierten Trainingsanwendung mit der einer hinsichtlich der Inhalte äquivalenten Lernumgebung, die den Lernern als Papier-Bleistift-Version dargeboten wurde. Im Unterschied zur Papier-Bleistift-Version wurde im CBT bewegtes Bildmaterial in Form animierter Verkehrsszenarien eingesetzt und adaptiv auf die Leistungen der Lerner zugeschnittenes Feedback bereitgestellt. Die Probanden, die mittels CBT lernten, zeigten im Vergleich zu Teilnehmern, die die Papier-Bleistift-Version erhielten, ein angemesseneres Blickverhalten im Fahrsimulator, woraus die Autoren ableiten, dass die computergestützte Lernanwendung die effektivere zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung bei Fahrschülern ist. Außerdem zeigen die Ergebnisse von Blickbewegungsmessungen, dass situationspezifische Informationen nach Absolvieren des CBTs schneller und besser verstanden werden konnten und im Gegensatz zur Vergleichsgruppe neigten die Fahrschüler, die das computergestützte Training durchliefen, weniger zur Überschätzung der eigenen Fähigkeiten (vgl. Weiß et al., 2013). Trotz geringer Stichprobengrößen deuten die Ergebnisse beider Studien darauf hin, dass sich für die Fahranfängervorbereitung CBTs besser eignen, sicherheitsrelevante Fahrfertigkeiten und Einstellungen zu vermitteln als vergleichbare Lernumgebungen in Papier-Bleistift-Version.

Meir et al. (2014) verglichen drei verschiedene Varianten des *ACT and Anticipate Hazard Perception Trainings* (AAHPT; *instructional, active, hybrid*), um Aussagen darüber treffen zu können, ob die Vermittlung deklarativen Wissens ausreichend für die Förderung von Gefahrenwahrnehmung ist oder bessere Trainingsergebnisse durch die Vermittlung prozeduralen, erfahrungsbasierten Wissens erzielt werden können. Inhaltlich unterschieden sich die Lernanwendungen nicht, nur konzeptuell. Variiert wurde der Reaktionsmodus: das heißt, es wurde mit oder ohne aktiv-praktischer Reaktionskomponente gelernt. Die Trainees der Bedingung *AAHPT instructional* absolvierten ein Lernprogramm, das Texte zum Lesen und Videobeispiele zur Veranschaulichung der Inhalte vorhielt. In der *AAHPT active*-Bedingung erhielten die Teilnehmer Aufgaben, wie sie im klassischen Hazard Perception-Test eingesetzt werden. In diesen videobasierten Aufgaben waren sie gefordert, aktiv nach Gefahren

Ausschau zu halten und das Erkennen von potentiellen Gefahrensituationen per Tastendruck anzuzeigen. Die Teilnehmer, die der AAHPT hybrid-Bedingung zugewiesen worden waren, erhielten eine Kombination aus beidem: dem Lernprogramm mit Lesetexten und Videobeispielen sowie klassische Hazard Perception-Testaufgaben. Eine Woche nach der Teilnahme am eineinhalbstündigen Training absolvierten die israelischen Fahranfänger im Alter zwischen 17 und 18 Jahren einen Hazard Perception-Test. Neben den Reaktionszeiten wurden auch Blickbewegungen ausgewertet. Die größten Trainingserfolge zeigten sich bei Instruktion, die auch eine praktische Komponente aufwies; nämlich die aktive Suche nach Informationen und das Drücken einer Taste beim Erkennen von Gefahren. Dabei erwies sich die Kombination beider Instruktionmethoden im Vergleich zum Training ausschließlich mit Hazard Perception-Testaufgaben bei der Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung nicht als deutlich effektiver. Die Aufgabe, auftauchende Gefahren per Tastendruck in Videos zu identifizieren, führt offenbar dazu, dass potentiell gefährliche Situationen elaboriert verarbeitet und Lerner zum Nachdenken angeregt werden (Horswill, 2016b). Trotz geringer Stichprobengröße kann auf der Basis dieser Ergebnisse daher angenommen werden, dass sich klassische Hazard Perception-Testaufgaben besser eignen, sicherheitsrelevantes Wissen in der Fahranfängervorbereitung zu vermitteln als herkömmliche Instruktionmethoden. Auch dieser Befund spricht für den Einsatz von CBTs.

Wetton et al. (2013) stellten sich die Frage, wie effektiv die Methode des Kommentierten Fahrens im Vergleich zu WHN-Aufgaben ist. An ihrer Untersuchung nahmen Fahranfänger teil, die zum Testzeitpunkt im Mittel 18 Jahre alt und durchschnittlich seit zwei Jahren im Besitz eines Führerscheins waren. Sie verglichen unter anderem Probanden, die mit Expertenkommentaren oder WHN-Aufgaben lernten. Im Vergleich zur Kontrollgruppe zeigte sich für WHN-Aufgaben ein signifikanter Trainingseffekt. Aber für den Vergleich zwischen beiden Aufgabenarten konnten sowohl unmittelbar nach dem Training als auch durchschnittlich eine Woche später größere Trainingseffekte für die Teilnehmer beobachtet werden, die videobasierte Verkehrsszenarien mit Expertenkommentaren erhalten hatten. Probanden, die mit Expertenkommentaren lernten, wiesen im Hazard Perception-Test deutlich kürzere Latenzzeiten auf. Kämen beide Methoden für die Umsetzung in einer Lernumgebung für Fahranfänger in Betracht, müsste auf der Grundlage dieser Ergebnisse eine Entscheidung zugunsten videobasierter Aufgaben mit Expertenkommentaren getroffen werden.

In ihrer Untersuchung kombinierten Wetton et al. (2013) zudem Expertenkommentare mit selbstgenerierten Kommentaren und verglichen diese Trainingsvariante mit Aufgaben, die ausschließlich Expertenkommentare beinhalteten. Im Ergebnis zeigte sich, dass vom Lerner selbstgenerierte Kommentare keinen zusätzlichen Vorteil beim Lernen erbrachten und nicht – wie ursprünglich angenommen – zu verbesserten Reaktionszeiten im Hazard Perception-Test führten. Da Parallel-

testungen durchgeführt wurden, waren die Probanden angehalten, die Kommentare für sich im Stillen zu formulieren. Unklar ist daher, ob die Probanden der Instruktion tatsächlich Folge leisteten.

Lernwirksamkeitsnachweise wurden in den verschiedenen Evaluationsstudien anhand von Hazard Perception-Tests mit statischem Bildmaterial (z. B. Pradhan et al., 2009) oder anhand videobasierter Hazard Perception-Tests (z. B. Chapman et al., 2002; Isler et al., 2011; McKenna & Crick, 1997; McKenna et al., 2006; Meir et al., 2014; Young et al., 2017), mittels Fahrsimulator (z. B. Agrawal et al., 2017; Crundall et al., 2010; Fisher et al., 2002; Fisher et al., 2004; Fisher, Pollatsek, & Pradhan, 2006; Petzoldt et al., 2013; Regan et al., 2000a) oder im Realverkehr (z. B. Chapman et al., 2002; Isler et al., 2011; Pradhan et al., 2009; Taylor et al., 2011; Zafian et al., 2016) als Testumgebung erbracht.

Die Effektivität von Lernanwendungen wird häufiger mittels Fahrsimulatoren überprüft, seltener im Realverkehr. Unverricht et al. (2018) merken in dem Zusammenhang an, dass es für die Effektstärken von eher untergeordneter Bedeutung ist, ob die Wirksamkeit von Trainingsanwendungen im Fahrsimulator oder im Realverkehr nachgewiesen wird (vgl. hierzu auch Fisher, 2008). Allerdings basiert deren Aussage ausschließlich auf Evaluationsdaten zum RAPT sowie Weiterentwicklungen dieses Trainingsprogramms.

Zur Quantifizierung von Lernleistungen sind unterschiedliche Variablen erhoben wurden. Häufig werden Reaktionszeiten (z. B. Wetton et al., 2013) sowie die Anzahl korrekt identifizierter Gefahren gemessen (z. B. Isler et al., 2009). Sehr oft werden aber auch Blickbewegungen von Trainingsteilnehmern zu Evaluationszwecken erfasst (z. B. Fisher, 2008). Gemessen werden in der Regel die Anzahl an Fixationen, die Fixationsdauer, vertikale oder horizontale Verteilungen von Fixationen (z. B. Chapman et al., 2002; Fisher et al., 2004; Meir et al., 2014, Pradhan et al., 2006; Thomas et al., 2017; Young et al., 2017) sowie Blicksequenzen oder -abfolgen (Petzoldt et al., 2013), um Aufschluss darüber zu erhalten, ob Lernanwendungen zu Veränderungen in der Gefahrenwahrnehmung und damit auch im visuellen Informationssuchverhalten führen. Seltener werden dagegen Fahrverhaltensmaße, wie Geschwindigkeitswahl, Bremsverhalten, Fahrzeugpositionierung (z. B. Fisher et al., 2002; Isler et al., 2011) oder – wie im Fall von VR-Brillen – Kopfbewegungen (Agrawal et al., 2017) erfasst.

Die Befunde zusammenfassend kann Folgendes festgehalten werden: Wie Überblicksarbeiten sowie die oben aus dem In- und Ausland aufgeführten Beispiele zeigen, sind eine Reihe an computerbasierten Lernanwendungen für die Fahranfängervorbereitung entwickelt worden (vgl. z. B. Weiß et al., 2009). Gemessen an der Vielzahl existierender CBTs, wurden jedoch verhältnismäßig wenige davon bislang im Anwendungskontext im Fahrsimulator oder Realverkehr evaluiert (McKenna, 2012; Unverricht et

al., 2018). Zudem gibt es – abgesehen von der Studie von Thomas et al. (2016) – bislang keine Hinweise auf eine unfallpräventive Wirkung solcher Trainingsinterventionen.

Gefahrenwahrnehmung als eine komplexe Fertigkeit spielt in den meisten Trainingsanwendungen eine wichtige Rolle, wird aber zum Teil mit sehr unterschiedlichen Methoden vermittelt (z. B. Kommentiertes Fahren, Markieraufgaben, klassische Hazard Perception-Testaufgaben, WHN-Aufgaben). Bislang wurden verhältnismäßig wenige Vergleiche zwischen verschiedenen Instruktionmethoden angestellt. Deshalb überrascht es auch nicht, dass empirisch gesicherte Konzepte, die als Grundlage für die didaktische Gestaltung von Lernanwendungen zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung dienen können, bislang weitgehend fehlen. McKenna (2012) kritisiert in diesem Zusammenhang, dass die Gestaltung dieser Trainingsinterventionen oft weder auf empirischer Evidenz noch formalen Wissens basiert.

Generell hat sich gezeigt, dass mit unterschiedlichen Instruktionmethoden und recht kurzen Interventionen Lernerfolge erzielt werden können. Oft ist jedoch aufgrund der Studiendesigns nicht eindeutig klar, auf welchen Teilaspekten der Lernumgebungen die Trainingseffekte beruhen, sodass bislang wenige Hinweise auf didaktische Prinzipien zur Gestaltung von Trainingsinterventionen vorliegen. Ein Aufgabentyp, der sich nicht nur als geeignetes formales Bewertungs- und Beurteilungsverfahren bewährt hat, sondern auch effektiv für die Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung eingesetzt werden konnte, ist die klassische Hazard Perception-Testaufgabe (z. B. Borowsky, Meir, Oron-Gilad, Shinar, & Parmet, 2010; Meir et al., 2014; vgl. hierzu auch Abschn. 2.2).

2.4 Fahrkompetenzerwerb

Prinzipien zur didaktischen Gestaltung der genannten Lernanwendungen werden von den jeweiligen Forschern oder Forschergruppen nicht bzw. nur bedingt näher spezifiziert. Hinweise auf verwendete Instruktiondesignmodelle bleiben gänzlich außen vor. Hieraus lässt sich schließen, dass Instruktiondesign bei der Gestaltung von Trainings zur Gefahrenwahrnehmung bislang – wenn überhaupt – dann eine eher untergeordnete Rolle spielt. Beim Einsatz von Lernmedien ohne entsprechende lehr-lern-theoretische Konzepte, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen über Lernprozesse und Prozesse der Informationsverarbeitung basieren, besteht jedoch die Gefahr, dass Potenziale nicht in vollem Umfang genutzt werden und Instruktion weniger wirkungsvoll ist, wirkungslos bleibt, oder gar lernhinderlich wirkt (Kollar & Fischer, 2011).

So geht aus der Metaanalyse von Unverricht et al. (2018) z. B. hervor, dass die älteren, nämlich die Gruppe der 18- bis 21-jährigen Fahranfänger, stärker vom RAPT profitieren als die jüngeren, die Kohorte der 16- bis 18-jährigen Fahrer. Das Risiko, in einen Verkehrsunfall verwickelt zu werden, ist

mit dem Eintreten in die Phase des eigenständigen Fahrens, sprich unmittelbar nach dem Erwerb des Führerscheins am höchsten. Es kann daher unterstellt werden, dass Trainings in der Fahranfängervorbereitung den Fokus insbesondere auf absolute Fahranfänger legen. In den USA, in denen das RAPT entwickelt wurde, würde das der Gruppe der 16- bis 18-jährigen Fahrer entsprechen.

Zudem zeigte sich in der Studie von Thomas et al. (2016) ein Rückgang in den Unfallraten nur für junge männliche Testteilnehmer, nicht jedoch für weibliche. Hierdurch wird die Frage nach geschlechtsspezifischen Unterschieden im Lernverhalten und nach einer adaptiven Gestaltung von Lernumgebungen aufgeworfen. Beide Beispiele könnten als Indiz einer in Teilen unzureichenden Gestaltung der Lernumgebung – zumindest für die zwei genannten Adressatengruppen – gewertet werden.

„Without knowing how people learn about hazards, it is difficult to know how drivers can be trained...“ (Groeger & Chapman, 1996; S. 351). In diesem Sinne besteht der nächste Schritt darin, Modelle zu finden, die theoretisch begründen können, wie einerseits Fahrkompetenz ganz allgemein erworben wird und andererseits wie und wann Fahrer im Laufe des Fahrkompetenzerwerbsprozesses lernen, Gefahren im Straßenverkehr zuverlässig zu identifizieren.

Kompetenzen werden als komplexe, kontextspezifische Fähigkeitskonstrukte betrachtet, die durch Lernprozesse erworben werden (Koeppen, Hartig, Klieme, & Leutner, 2008). Obwohl der Begriff Kompetenz sehr gebräuchlich ist, gibt es für dieses Konzept bislang keine mehrheitlich akzeptierte Definition (Stoof, Martens, van Merriënboer, & Bastiaens, 2002), was unter anderem auf verschiedene und schwer miteinander vereinbare Kompetenzkonzepte aus unterschiedlichen Disziplinen zurückzuführen sein kann (Reinmann & Vohle, 2009).

Zur theoretischen Beschreibung von Fahr- und Verkehrskompetenz verweist Sturzbecher (2010) auf das Kompetenzkonzept von Weinert. In Anlehnung an die in der Bildungsforschung häufig angeführte Kompetenzdefinition von Weinert (2001) können Kompetenzen verstanden werden als die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, die im Zusammenwirken von motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten erfolgreich und verantwortungsvoll genutzt werden können, um Aufgaben und Probleme in variablen Situationen zu lösen (S. 27 f.). Kompetenzen sind gemäß dieser Definition erlernbar und werden als Dispositionen betrachtet, die denjenigen, der über diese verfügt, in die Lage versetzen, situationspezifische Anforderungen erfolgreich bewerkstelligen zu können. Kompetenzentwicklung schließt der Definition nach aber nicht nur den Erwerb von Wissen und Fertigkeiten, sondern auch die Bereitschaft und Fähigkeit ein, das Erlernte angemessen und verantwortungsbewusst anzuwenden.

Den Kompetenzbegriff von Weinert auf das Führen von Kraftfahrzeugen übertragen, äußert sich Fahrkompetenz demnach in der erfolgreichen Bewältigung von Verkehrssituationen und verkehrs-

spezifischen Anforderungen (Sturzbecher, 2010). Neben verkehrsspezifischem Wissen und verkehrssicherheitskonformen Einstellungen, sowie Fertigkeiten zur Fahrzeugbedienung und -steuerung, aber auch zur Wahrnehmung, Vermeidung und Abwehr von Gefahren, sind hierfür auch realistische Einschätzungen zur eigenen Fahrkompetenz notwendig (Bredow & Sturzbecher, 2016).

Bleibt die Frage, wie diese Kompetenzen im Rahmen der Fahrausbildung üblicherweise erworben werden. Da Kompetenzerwerbsmodelle den Ausgangspunkt für ein systematisches Vorgehen bei der Strukturierung von Lehr-Lernprozessen bilden können (Neumann, Kauertz, Lau, Notarp, & Fischer, 2007), werden zunächst ausgewählte Fahrkompetenz- und Fahrkompetenzerwerbsmodelle näher betrachtet, die für die Entwicklung einer Lernumgebung zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung von Bedeutung sein können. Einen Überblick über die Gesamtheit an theoretischen Modellen hierzu zu geben, würde aufgrund der Vielzahl an Modellen an dieser Stelle zu weit führen. Für einen Überblick sei daher auf die Arbeiten von Michon (1985) sowie Ranney (1994) verwiesen.

2.4.1 3-Ebenen-Modell des Kompetenzerwerbs von Rasmussen

Eines der Drei-Ebenen-Modelle, die häufig im Zusammenhang mit Fahrverhalten in der Literatur genannt werden, ist das von Rasmussen. Rasmussens (1983) Interesse galt dem besseren Verständnis von Fehlern, die bei der Bedienung komplexer Systeme, wie z. B. Kernkraftanlagen gemacht werden. Für seine Untersuchungszwecke entwickelte er ein Modell, in dem drei verschiedene Arten von Verhalten unterschieden werden, die durch qualitativ unterschiedliche kognitive Mechanismen kontrolliert werden: nämlich fertigungs-, regel- und wissensbasiertes Verhalten. Leutner und Brünken (2002) sowie Leutner et al. (2009) griffen das Modell von Rasmussen auf, um Planungs- und Regulationsprozesse zielgerichteter Fahrhandlungen zu beschreiben (vgl. Abb. 4).

Gemäß des Modells wird die Planung und Umsetzung von Fahrhandlungen in Abhängigkeit vom fahrspezifischen Vorwissen und dem individuellen Fertigniveau auf drei unterschiedlichen Ebenen reguliert. Beim Fahrverhalten, das fertigungs-basiert erfolgt, werden die Merkmale einer Fahr- und Verkehrssituation bereits integriert, das heißt mehr oder weniger als ein Zeichen vom Fahrer wahrgenommen und die Verhaltensantwort auf eingehende Informationen erfolgt automatisch.

Erfolgt Fahrverhalten regelbasiert, erkennt der Fahrer die situativen Merkmale zwar als ein Zeichen und weiß im Prinzip, was zu tun ist, muss aber noch Regeln und Verfahrensvorschriften aus dem Gedächtnis abrufen, um situationsangemessene Fahrhandlungen umsetzen zu können.

Stehen dem Fahrer für bestimmte Verkehrssituationen noch keine Handlungsroutinen zur Verfügung, erfolgt dessen Fahrverhalten wissensbasiert. Hier versucht der Fahrer die Merkmale einer Fahr-

situation auf einer symbolischen Ebene zu verstehen und überlegt, was in Abhängigkeit seiner Handlungsziele prinzipiell zu tun wäre.

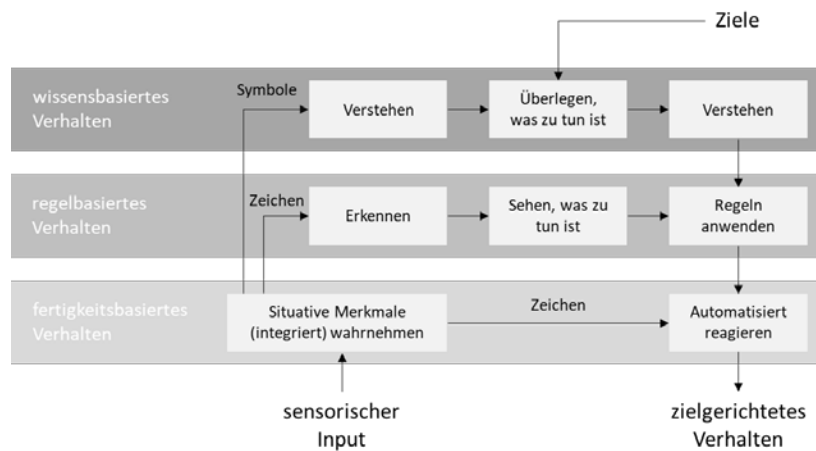


Abbildung 4: Modell des Erwerbs von Fahr- und Verkehrsexpertise (nach Rasmussen, 1984; vgl. Leutner et al., 2009)

Das Modell zeigt auf, dass mit zunehmender Erfahrung einige Verhaltensweisen vielfach geübt worden sind und kaum mehr kognitive Kontrolle benötigen, weshalb sie unmittelbar und sehr schnell vom Fahrer umgesetzt werden können, was sich unter anderem in kurzen Reaktionszeiten widerspiegelt. Andere Verhaltensweisen hingegen wurden weniger häufig wiederholt angewendet bzw. geübt und benötigen mehr kognitive Kontrolle und in der Ausführung deshalb auch deutlich mehr Zeit.

Erfahrene Fahrer verfügen über mehr Handlungsrouitinen und sind deshalb weniger stark durch die Fahraufgabe beansprucht als Novizen, denen es noch an Übung und Erfahrung mangelt. Fehleranfällig sind vor allem Handlungen, die regelbasiert ausgeführt werden. Insbesondere bei Fahranfängern werden im Vergleich zu Fahrerfahrenen verhältnismäßig viele Fahrhandlungen regelbasiert ausgeführt, wodurch deren Neigung zu vermehrten Fahrfehlern erklärt werden kann.

2.4.2 Hierarchisches Modell des Fahrverhaltens und GDE-Matrix

Zu den für die Fahrausbildung bedeutsamen Modellen zählen das Hierarchische Modell des Fahrverhaltens von Keskinen (1996) und die darauf aufbauende GDE (*Goals for Driver Education*)-Matrix (Hatakka, Keskinen, Gregersen, Glad, & Hernetkoski, 2002), die ausgehend von empirischen Studien zu Unfallursachen von Fahranfängern, Ziele für die Fahrausbildung näher spezifiziert. Keskinen konzipiert in seinem Modell Fahrverhalten in Form von 4 hierarchisch angeordneten Ebenen (vgl. Abb. 5). Die sichere Bewältigung der Fahraufgabe erfordert dem Modell nach neben Fertigkeiten zur Fahrzeugsteuerung auch komplexere Fertigkeiten, wie beispielsweise Fähigkeiten zur Selbstregulation.



Abbildung 5: Hierarchisches Modell des Fahrverhaltens von Keskinen (1996; nach Hatakka et al., 2002)

Auf den ersten beiden Ebenen umfasst angemessenes Fahrverhalten sowohl grundlegende Fertigkeiten der Fahrzeugbedienung und -steuerung (Ebene 1) als auch das Beherrschen von unterschiedlichen Verkehrssituationen (Ebene 2).

Auf die untere Ebene entfallen sämtliche Aufgaben, die im Zusammenhang mit dem Steuern von Geschwindigkeit, Richtung und der Positionierung des Fahrzeugs notwendig sind. Hierzu zählt z. B., dass der Fahranfänger lernt, das eigene Fahrzeug in der Fahrspur zu halten. Fertigkeiten der unteren Ebene werden im fahrpraktischen Unterricht vermittelt. Deren Beherrschung ist in aller Regel die Voraussetzung für die Zulassung zur praktischen Fahrprüfung.

Die zweite Ebene im Modell bezieht sich auf die Anpassung des Fahrverhaltens an die Anforderungen der aktuellen Fahrsituation und meint das Vermögen, das eigene Fahrverhalten in Abhängigkeit des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer (z. B. Vorfahrer) sowie der Verkehrsumgebung (z. B. Verkehrsdichte, Witterungsverhältnisse, Fahrbahnzustand) regulieren zu können. Hierfür ist es unter anderem wichtig, mit den Verkehrsregeln vertraut zu sein und das eigene Verhalten nach diesen Regeln und Vorschriften auszurichten. Neben Wissen und Kenntnissen über Verkehrsregeln spielen aber auch Gefahrenwahrnehmung, Situationsbewusstsein und ein entsprechendes Informations-suchverhalten ebenso eine Rolle, wie die Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit. Der Fokus liegt in der Fahrausbildung auf dem Einstudieren von Regelwissen; meist unter Zuhilfenahme von Selbstlernangeboten, die als Drill-and-Practice-Anwendungen zur Verfügung stehen.

Während sich die beiden unteren Ebenen im Modell vorrangig auf Wissen und Fertigkeiten beim Fahren beziehen, werden in den zwei oberen Ebenen Einstellungen, Werte und volitionale Aspekte betont. Die zwei unteren Ebenen sprechen damit Aspekte an, die im Zusammenhang mit dem Anfängerrisiko stehen. Ebene drei und vier hingegen beziehen sich vorrangig auf Faktoren des Fahrverhaltens, die das Jugendlichkeitsrisiko bedingen.

Ebene 3 spricht die Zielsetzung sowie den Kontext des Fahrens und damit z. B. Entscheidungen in Bezug auf den Fahrgrund bzw. das Fahrziel (z. B. Fahrt zur Arbeit oder in der Freizeit zum Spaß ziellos umherfahren), Begleitpersonen (z. B. ohne oder in Begleitung der Peer), oder den Zeitpunkt der Fahrt (Tages- oder Nachtzeit) an. In Abhängigkeit von Persönlichkeitsmerkmalen und der individuellen Lebensumstände variieren diese Entscheidungen und mit ihnen das damit verbundene Sicherheitsrisiko. Beispielsweise beeinflussen Anzahl und Alter der Mitfahrenden das Fahrverhalten junger Fahrer (Williams & Tefft, 2014). Das Modell verweist darauf, dass in der Fahrausbildung deshalb u. a. Strategien im Umgang mit sozialem Druck beim Fahren vermittelt werden sollten.

Die höchst gelegene und damit übergeordnete Ebene im Modell thematisiert Lebensziele sowie allgemeine Lebensfertigkeiten, die die Lebenshaltung einer Person ganz allgemein aber auch die Haltung in Bezug auf das Fahren beeinflussen. Sie bezieht sich auf persönliche Motive und Ziele und spricht damit Persönlichkeitsmerkmale wie Selbstbeherrschung, aber auch Einstellungen des Fahrers, das Alter, den Lebensstil, Gruppenzugehörigkeit oder den Stellenwert, den Autos als Teil des Selbstbildes haben, an. So zeigen Studien z. B., dass riskantes Fahrverhalten junger Fahrer mit einer Vorliebe für bestimmte Freizeitaktivitäten assoziiert ist (Møller & Gregersen, 2008). Hierunter fallen Tätigkeiten, die wenig Vorausplanung erfordern und damit eher dem Bedürfnis nach Impulsivität nachkommen (geringe Struktur/ hohe Impulsivität), wie das Spielen von Computerspielen oder das Feiern mit Freunden.

Das hierarchische Modell des Fahrverhaltens gibt einerseits Hinweise, wie die einzelnen Aspekte der Fahraufgabe beeinflusst werden können und verweist andererseits darauf, welche Aspekte in der Fahrausbildung Berücksichtigung finden müssen. Alle vier Ebenen sind für sicheres Fahren essentiell. Folglich sollten alle vier Kompetenzbereiche durch die Fahrausbildung abgedeckt werden (Hatakka, Keskinen, Gregersen, & Glad, 1999). Die vier Kompetenzbereiche finden sich daher in der GDE-Matrix (siehe Abb. 6) wieder, die in Europa als theoretisches Rahmenmodell für die Festlegung von Ausbildungszielen dient.

Wie im vorangegangenen Abschnitt bereits erwähnt, werden in der traditionellen Fahrausbildung in der Regel vorrangig Inhalte aus den unteren Kompetenzebenen (links unten in der GDE-Matrix) abgearbeitet (Grattenthaler et al., 2009; Siegrist, 1999). Die oberen zwei Modellebenen werden in gegenwärtigen Ausbildungsprogrammen oft vernachlässigt (Leutner et al., 2009). Experten-Novizen-Vergleiche zeigen, dass nach Führerscheinerhalt u. a. noch Defizite in Bezug auf Fertigkeiten zur Gefahrenwahrnehmung bei Fahranfängern bestehen (vgl. Abschn. 2.2). Fertigkeiten zur Gefahrenwahrnehmung sind in der GDE-Matrix auf Ebene 2 verortet. Hieraus lässt sich schließen, dass Teilausbildungsziele im Zusammenhang mit der Bewältigung von Verkehrssituationen nur unzureichend mit den aktuellen Ausbildungsmethoden erreicht werden. Ziel muss es sein, den Einbezug aller

Kompetenzbereiche und aller drei Inhaltsdimensionen zu erreichen, um so sicherstellen zu können, dass vor allem auch metakognitive Fertigkeiten in der Fahrausbildung erworben werden, die zur vorausschauenden, auf Sicherheit bedachten und verantwortlichen Teilnahme am Straßenverkehr befähigen und die Grundlage für eine fortdauernde Kompetenzentwicklung auch über die Phase der Fahrausbildung hinaus sind (Hatakka et al., 1999).

hierarchische Ebenen des Fahrverhaltens	wesentliche Ausbildungsinhalte		
	Wissen und Fertigkeiten	risikoerhöhende Faktoren	Selbsteinschätzung
Allgemeine Lebensziele und Lebensfertigkeiten	Wissen/ Kontrolle darüber, wie Lebensziele und persönl. Tendenzen Fahrverhalten beeinflussen - Lebensstil & -umstände, Gruppennormen, Motive, Selbstkontrolle etc.	riskante Neigungen - Risikoakzeptanz - Selbstaufwertung durchs Fahren - Sensationslust und sozialem Druck nachgeben - Alkohol- & Drogenkonsum etc.	Selbsteinschätzung der/ Bewusstsein über - eigenen Fähigkeiten zur Impulskontrolle - riskanter Verhaltenstendenzen - sicherheitsgefährdender Motive, etc.
Absichten und sozialer Kontext (fahrbezogen)	Wissen/ Fertigkeiten bzgl. - Auswirkungen von Fahrtzielen - Einschätzung der erforderlichen Fahrzeit - sozialen Drucks - Einschätzung der Notwendigkeit einer Fahrt etc.	Risiken, die verbunden sind mit - kognitiven Leistungseinschränkungen, z. B. durch eigene Stimmung, Alkohol - Fahrtzweck und -umgebung - sozialer Kontext und Mitfahrende etc.	Selbsteinschätzung der/ Bewusstsein über - eigenen Planungsfertigkeiten - typische Fahrziele - typische riskante Fahrmotive etc.
Beherrschen von Verkehrssituationen	Wissen/ Fertigkeiten bzgl. - Verkehrsregeln - Beobachtung und Auswahl von Signalen - der Antizipation der Entwicklung von Situationen - Geschwindigkeitsanpassung und Wahl von Sicherheitsabständen etc.	Risiken, die verursacht werden durch - falsche Erwartungen und riskanten Fahrstil - unangemessene Geschwindigkeitsregulierung - Regelmissachtung - erschwerte Fahrbedingungen (z. B. Dunkelheit) - unzureichend automatisierte Fahrfertigkeiten, etc.	Selbsteinschätzung der/ Bewusstsein über - Stärken/ Schwächen bzgl. der eigenen Fahrfertigkeiten - persönlicher Fahrstil - Stärken/ Schwächen im Umgang mit Gefahrensituationen - realistische Selbsteinschätzung etc.
Fahrzeugbedienung	Wissen/ Fertigkeiten bzgl. - Kontrolle von Richtung und Position des Fahrzeugs - Reifenhaftung und Reibungswiderstand - Fahrzeugeigenschaften - physikalischer Phänomene etc.	Risiken, die verbunden sind mit - unzureichender Automatisierung oder unzureichenden Fertigkeiten - unangemessener Geschwindigkeitsanpassung - schwierigen Fahrbedingungen (z. B. geringe Reibung) etc.	Bewusstsein über - eigene Stärken und Schwächen bzgl. Fahrzeugbedienung - Stärken/ Schwächen im Umgang mit Gefahrensituationen - realistische Selbsteinschätzung etc.

Abbildung 6: GDE-Matrix (nach Hatakka et al., 2002)

Die hierarchische Darstellung beider Modelle ist nicht zufällig gewählt. Der GDE-Matrix folgend, sollten in der Fahrausbildung zunächst Fertigkeiten der unteren Ebenen ausreichend gut beherrscht werden, bevor höhere Ebenen stärker in den Fokus der Ausbildung rücken. Neuere Instruktionsdesignmodelle zum Erwerb komplexer Fertigkeiten legen jedoch ein anderes Vorgehen nahe und betonen eine

integrierte Vermittlung aller Kompetenzbereiche bereits von Beginn an im Kompetenzerwerbsprozess. An geeigneter Stelle wird hierauf erneut eingegangen.

2.4.3 Arbeitsmodell der Fahrkompetenz

Grattenthaler et al. (2009) schlugen ein Arbeitsmodell vor, in dem sie die unterschiedlichen Inhaltsbereiche und lernpsychologischen Mechanismen der Fahrkompetenz zusammenstellen und mit den verschiedenen Fertigkeitsebenen verbinden (vgl. Abb. 7).

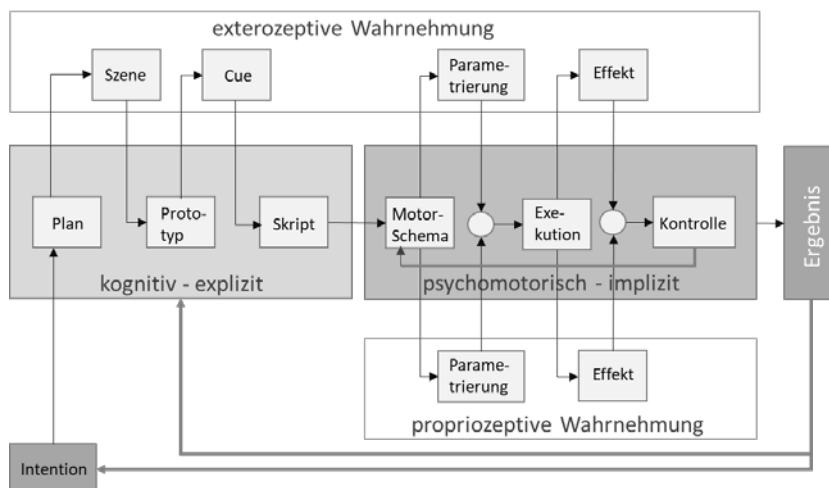


Abbildung 7: Arbeitsmodell der Fahrkompetenz (nach Grattenthaler et al., 2009)

Fahrkompetenz wird als Handlungswissen aufgefasst, das sich in die drei Inhaltsbereiche Kognition der Handlungsplanung, Psychomotorik der Handlungsausführung sowie das Fahren gliedert. Diese drei Bereiche sind eng verknüpft mit dem Erwerb von expliziten, impliziten und Prozesswissen.

Der Bereich der Kognition der Handlungsplanung ist mit explizitem Wissen verbunden. Hierbei handelt es sich um berichtbares deklaratives Wissen zur Fahrsituation, wie Regelwissen, Situationsbewusstsein und Gefahrenwahrnehmung. Deklaratives Wissen ist kommunizierbar und kann deshalb über verbale Instruktionen durch verschiedene Medien, sei es der Fahrlehrer oder das CBT, vermittelt werden.

Beim Fahrenlernen geht es zunächst um das Verstehen von Fahr- und Verkehrssituationen und das Erlernen von Fahrstrategien, die eine sichere Umsetzung eigener Absichten im Straßenverkehr erlauben. Mit zunehmender Übung und Erfahrung werden wiederkehrende Abläufe in Prozeduren überführt und automatisiert. Es entstehen effiziente mentale Modelle, die den Fahrer dazu befähigen, Situationen blitzschnell zu erfassen und Handlungsmöglichkeiten abzuleiten.

Ausgangspunkt der Fahrhandlung ist im Modell eine Intention, die in der Erzeugung eines Handlungsplans resultiert. Aus der Wahrnehmung der externen Gegebenheiten werden Prototypen abgeleitet,

durch die die verschiedenen Wahrnehmungselemente nach ihrer Relevanz kategorisiert werden können und das aktuelle Verkehrsgeschehen einer bestimmten Klasse von Fahrsituationen zugeordnet werden kann. Durch die Zuordnung zur Klasse sind für die Bewältigung der Verkehrssituation entscheidende situative Merkmale (Hinweisreize) festgelegt, deren Vorhandensein und Ausprägung zunächst überprüft werden muss. Aus den hieraus gewonnenen Informationen ergibt sich schließlich das Skript für die Handlungsausführung. Prototypen und Skripte sind in der Regel berichtbar und können deshalb auch über direkte Instruktion vermittelt werden.

Der Festlegung auf ein Skript folgt die Auswahl eines motorischen Schemas zur Handlungsausführung. Da Fahrsituationen einzigartig sind, muss in Abhängigkeit der Ausgangslage in der Außenwelt und der Propriozeption eine Parametrierung des motorischen Musters vorgenommen werden, bevor die Ausführung des Schemas erfolgt. Permanent werden dabei die Effekte überprüft, die die Ausführung des Schemas nach sich ziehen. Werden Differenzen festgestellt, finden Anpassungen statt, die zu einer weiteren Ausdifferenzierung eines Schemas beitragen.

Psychomotorisches Wissen kann nicht verbal vermittelt werden, sondern muss durch das eigene Handeln erfahren werden. Der Fahranfänger muss erfahren, wie ein Fahrzeug durch die eigene Motorik gesteuert werden kann. Erlernt wird zunächst, dass eigene motorische Aktivitäten bestimmte Fahreffekte hervorrufen. Die so erlernte Motorik-Fahreffekt-Beziehung kehrt sich nach viel Übung und unzähligen Wiederholungen um, sodass bei einer Effektivornahme das entsprechende motorische Muster unmittelbar abgerufen und umgesetzt werden kann. Auf diese Weise werden auch im Bereich der Psychomotorik Handlungsabläufe durch Prozeduralisierung zunehmend automatisiert. Anders als beim kognitiven Lernen sind Motorik-Effekt-Relationen nicht durch Sprache vermittelt und können daher auch nicht ohne Weiteres durch direkte Instruktion weitergegeben werden.

Fahren meint die Integration von Kognition und Psychomotorik, das heißt, der Einbezug von explizitem und implizitem Wissen. Die Verknüpfung beider Bereiche ist im Modell als sequenzieller Prozess dargestellt. Tatsächlich handelt es sich eher um mehr oder weniger parallel ablaufende Prozesse, die durch Rückkopplungen gekennzeichnet sind. Diese Rückkopplungen machen Anpassungen in Bezug auf die Handlungsplanung möglich.

Da Prozesse der Handlungsplanung und -ausführung parallel ablaufen, ist das Führen eines Fahrzeugs als Mehrfachstätigkeit zu bezeichnen. Drei Aspekte des Prozesswissens sind in diesem Zusammenhang zu nennen: Integration und Koordination von kognitiven und psychomotorischen Prozessen, Ressourcensteuerung und Selbstevaluation. Die ersten beiden Aspekte beziehen sich auf die parallele Verarbeitung von Informationen und die sich daraus ergebende Beanspruchung des Fahrers, dessen Verarbeitungskapazität begrenzt ist. Mit dem dritten Aspekt wird angesprochen, dass eigenes

Fehlverhalten nur dann durch entsprechende Lernprozesse korrigiert werden kann, wenn die Fähigkeit gegeben ist, das Ergebnis eigenen Handelns zu bewerten und kritisch zu hinterfragen.

Grattenthaler et al. (2009) gehen davon aus, dass der Erwerb von Fahrkompetenz nicht stetig verläuft. Vielmehr nehmen sie an, dass sich die Performanz im Lernverlauf durch die Integration einer Teilkompetenz mit weiteren Kompetenzen bisweilen deutlich verschlechtern kann. Anstelle der Annahme eines hierarchischen Lernerwerbs mit monotonem Verlauf schlagen sie daher für den Kompetenzerwerb ein spiralförmiges Modell (vgl. Abb. 8) vor, bei dem das Erreichen höherer Fertigkeitsebenen in der Regel auch mit dem Erwerb neuen Wissens auf tiefer gelegenen Modell-ebenen verbunden ist.

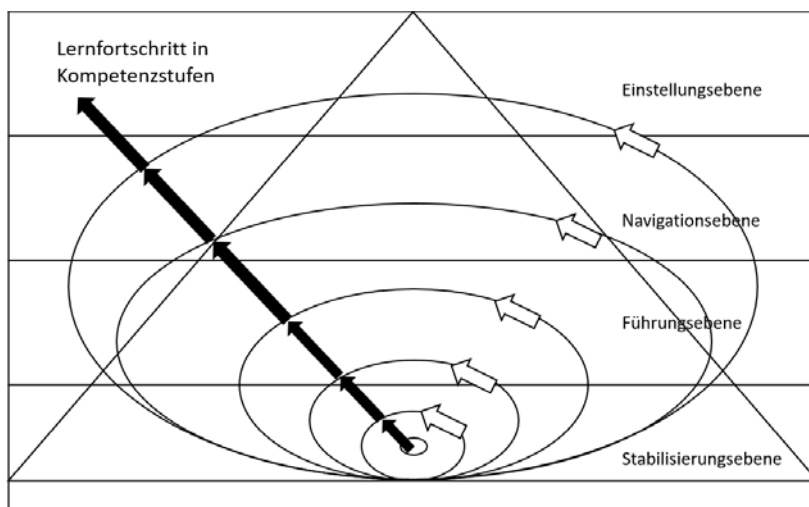


Abbildung 8: Fahrkompetenzerwerb als spiralförmiger Lernprozess (nach Grattenthaler et al., 2009)

2.4.4 Fahrkompetenzstrukturmodell

In ihrem Strukturmodell greifen Sturzbecher und Weiße (2011) Teile aus den Modellen von Donges (1982, 2009) und Grattenthaler et al. (2009) wieder auf und ergänzen diese hinsichtlich der Anforderungen an das Fahrverhalten um eine übergeordnete Wertebene und in Bezug auf die Kompetenzbereiche um eine Motivationskomponente (vgl. Abb. 9).

Auf der rechten Seite der grafischen Darstellung des Modells sind die verschiedenen Anforderungsebenen aufgezeigt, denen links im Bild das entsprechende Bewältigungsverhalten zugeordnet ist. In Bezug auf die Stabilisierungsebene beispielsweise hat der Fahrer die Aufgabe, das Fahrzeug angemessen zu steuern und durch kontrollierte Eingriffe das Beherrschen des Fahrzeugs sicherzustellen. Ein dritter Bereich bezieht sich auf die Kompetenzkomponenten zur angemessenen Erfüllung der Fahraufgabe. Während explizites Wissen und Motivation insbesondere für die Bewältigung höherer

Anforderungs- und Verhaltensebenen von Bedeutung sind, hat implizites Wissen einen höheren Stellenwert zur Bewältigung von Anforderungen auf den unteren Ebenen im Modell. Das Prozesswissen verbindet explizites und implizites Wissen.

Anforderungsebene des Verhaltens	Kompetenzkomponenten	Bewältigungsverhalten
Werteebene	Prozesswissen Motivation	z.B. Sozial- und Umweltverhalten, Risikomanagement, Selbstevaluation
Navigationsebene	Explizites Wissen	Ziel- und Routenplanung
Führungsebene		Durchführung von Fahrmanövern
Stabilisierungsebene	Implizites Wissen	Kontrolle der Fahrzeugbedienung

Abbildung 9: Strukturmodell der inhaltlichen Anforderungsebenen und psychischen Komponenten der Fahrkompetenz (Sturzbecher & Weiße, 2011; nach Bredow & Sturzbecher, 2016)

Die grafische Darstellung der im Modell aufgeführten Wissensarten deutet zwar auf eine Reihenfolge beim Kompetenzerwerb hin, ist aber keinesfalls im Sinne hierarchisch geordneter Aneignungsstufen zu verstehen. Zur Beschreibung von Lerninhalten sind vielmehr spiralförmige Lernprozessmodelle heranzuziehen, wie sie unter anderem von Grattenthaler et al. (2009) für den Fahrkompetenzerwerb vorgeschlagen worden sind. Demnach kann effektives und effizientes Lernen dann stattfinden, wenn Lerninhalte wiederholt im Lernprozess aufgegriffen und geübt werden, da durch erneutes Herstellen von Bezügen zu bereits Bekanntem Lerninhalte besser in ihrer gesamten Komplexität verstanden werden können (Bredow & Sturzbecher, 2016).

2.4.5 Zusammenfassung und Fazit

Die genannten Modelle spezifizieren in aller Regel Fahrkompetenzbereiche oder -komponenten und ordnen diesen Bewältigungsverhalten zu, aus denen sich Hinweise für die inhaltliche Gestaltung von Trainings ableiten lassen. Zwar beschreiben Grattenthaler et al. (2009) welche Arten von Wissen mit dem Erwerb von Fahrkompetenz verbunden sind, in welche Inhaltsbereiche dieses Wissen fällt und wie sich Wissen beim Fahrenlernen qualitativ verändert, machen aber kaum Angaben zur Gestaltung von Lernmöglichkeiten. Auch aus den anderen oben angeführten Modellen lassen sich keine konkreten Hinweise für die Gestaltung von computerbasierten Lernumgebungen ableiten.

Es überrascht, dass obwohl von hoher gesellschaftlicher Relevanz – weil Unfälle immer mit hohen persönlichen und finanziellen Schäden einhergehen – im Bereich der Verkehrspsychologie keine Modelle existieren, die darüber Auskunft geben, wie Fahrenlernen gelehrt werden sollte (Keskinen & Hernetkoski, 2011). Sämtliche Maßnahmen, die in der Fahrausbildung umgesetzt werden, basieren bislang nicht auf lehr-lerntheoretisch fundiertem Wissen über das Fahrenlernen, denn Längsschnittstudien, die den Fahrkompetenzerwerb in Einzelheiten abbilden, fehlen bislang (Grattenthaler et al., 2009). Auch Reinmann und Vohle (2009) kommen in ihrem Bericht zu dem Schluss, dass es *„Eine genuin medienpädagogische- bzw. mediendidaktische Forschung [...] vor allem für die praktische Fahrausbildung [...] europaweit aktuell nicht.“* (S. 2) gibt. Die Fahrausbildung ist damit derzeit noch nicht theoretisch begründet (Keskinen & Hernetkoski, 2011), sondern vielmehr etwas historisch Gewachsenes (Leutner et al., 2009).

Unklar bleibt daher weitgehend, welche Teilfertigkeiten der Fahrkompetenz, sich in welcher Reihenfolge und zu welchem Zeitpunkt während des Prozesses des Fahrenlernens herausbilden und wie sich diese über die Phase der Fahrausbildung hinaus weiterentwickeln. Das trifft auch für die Teilkompetenz der Gefahrenwahrnehmung zu. Ein erstes Konzept zur Durchführung längsschnittlicher Untersuchungen zur Erfassung der zeitlichen Entwicklung von Fahr- und Verkehrskompetenz bei Fahranfängern ist kürzlich von Jürgensohn, Böhm, Gardas und Stephani (2018) vorgestellt wurden. In ihrem Vorhaben werden sie auch die Teilkompetenz der Gefahrenwahrnehmung berücksichtigen und die Entwicklung dieser Fähigkeit im zeitlichen Verlauf erfassen. Da bislang weder in Bezug auf die Fahrkompetenz generell noch hinsichtlich einzelner Teilkompetenzen, wie der Gefahrenwahrnehmung, Aneignungsschritte näher spezifiziert wurden, stützt sich die vorliegende Arbeit auf Hinweise aus der Expertise- und Problemlöseforschung.

2.5 Expertise und Expertiseerwerb

Die Ursprünge der modernen Expertiseforschung reichen mit den einflussreichen Arbeiten von de Groot (1946/1978) sowie Simon und Chase (1973) mit Schachspielern bis in die sechziger Jahre des 20. Jahrhunderts zurück. Schon damals widmeten sich Forscher der Analyse und Beschreibung herausragender Leistungen. Expertenleistungen wurden zunächst stärker in der Allgemeinen Psychologie beachtet, spielen unterdessen aber auch in der Pädagogischen Psychologie und der Empirischen Bildungsforschung eine wichtige Rolle, weil Erkenntnisse zum Kompetenz- und Expertiseerwerb wichtige Impulse zur Gestaltung von Lernumgebungen und zur instruktionalen Unterstützung liefern können (Gobet, 2005; Gruber & Degner, 2016).

Die Begriffe Experte und Expertise finden nicht nur im wissenschaftlichen Diskurs, sondern auch im alltäglichen Sprachgebrauch Verwendung. Alltags- und wissenschaftspsychologisches Verständnis

stimmen dabei weitgehend überein. Im alltagspsychologischen Sinne zeichnet sich Expertise durch Effizienz, bereichsspezifisches Wissen und Können sowie durch Erfahrung aus (Krems, 1997). Nach Krems gilt als Experte, wer über längere Zeit hinweg überdurchschnittlich viele Aufgaben mit vergleichsweise geringem Aufwand fehlerfrei bewältigen kann. Auf diagnostische Aufgaben bezogen, ist damit gemeint, „*wer in vergleichsweise kurzer Zeit bei geringer Fehlerquote zu einer überdurchschnittlich hohen Anzahl korrekter diagnostischer Urteile kommt.*“ (S. 97). In anderen Worten, wer schnell viele richtige oder zufriedenstellende Entscheidungen trifft und – bezogen auf den Wissensbereich Gefahrenwahrnehmung – potentiell gefährliche Ereignisse in der Verkehrsumwelt frühzeitig erkennt und sein Handeln angemessen hiernach ausrichtet.

Im wissenschaftspsychologischen Verständnis beziehen sich Gruber und Ziegler (1996) auf eine Definition des Expertenbegriffs von Posner, nach der als Experte bezeichnet werden kann, wer in einem bestimmten Gebiet dauerhaft, das heißt, nicht zufällig und einmalig, herausragende Leistungen erbringt. Beiden Definitionen folgend werden als Experten Personen bezeichnet, die die Leistungen anderer in einem Wissensbereich regelmäßig übertreffen.

Posners Expertisebegriff ist relativ weit gefasst. Was genau unter herausragender Leistung verstanden werden kann, geht aus dieser Definition nicht eindeutig hervor. Auch in der einschlägigen Literatur fallen Beschreibungen zum Expertisebegriff recht verschieden aus (Farrington-Darby & Wilson, 2006) – wird dieser in seiner Bedeutung und Reichweite ganz unterschiedlich verwendet (Gruber, 1994). Einerseits können damit absolute Spitzenkönner einer Disziplin (z. B. Schach- oder Tennismeister), andererseits aber auch ausgebildete Fachkräfte mit mehrjähriger Berufserfahrung gemeint sein. Definitionen, ab wann einer Person in einem Wissensbereich der Expertenstatus zugestanden wird, finden sich kaum (Gruber & Degner, 2016); und wenn doch, dann wird Expertise eher vage definiert (Hoffman, 1998; Salthouse, 1991). So beruft sich z. B. Hoffman auf Ericsson, Krampe und Tesch-Römer (1993), für die die oberen 10 % der Hochleistenden eines Wissensbereichs als Experten gelten. Plomin, Shakeshaft, McMillan und Trzaskowski (2014) wiederum beziehen sich bei einer alltagsweltlichen Fertigkeit, wie der Lesekompetenz auf die besten 5 % einer repräsentativen Stichprobe als die Experten. Vor allem in schlecht definierten Wissensbereichen, wie dem Autofahren beispielsweise, stellt sich eine Operationalisierung von Expertenleistungen als eher schwierig heraus.

Bei der Entwicklung von Expertise handelt es sich um einen langwierigen und andauernden Prozess, bei dem sich Wissen, Fertigkeiten und Einstellungen in quantitativer sowie qualitativer Hinsicht zum Zweck des verbesserten Problemlösens stetig weiterentwickeln. Die Expertiseforschung nähert sich dem Expertisephänomen von einem relativen Standpunkt aus und betrachtet Personen, die über mehr oder weniger Expertise verfügen, anstatt nur Spitzenkönner in den Fokus zu nehmen.

Eine Zahl, die in Verbindung mit dem Erreichen des Expertenstatus häufig in der Literatur auftaucht, ist die Zahl 10. Ericsson und Crutcher (1990) beispielsweise gehen davon aus, dass eine Übungszeit von mindestens 10 Jahren notwendig ist, um Spitzenniveau in einer Alltagsdomäne zu erreichen. Unter den Begriff Alltagsdomäne fallen Kompetenzen, die vom Großteil der Personen einer Gesellschaft erworben werden. Das Erlernen der Muttersprache, Schreiben lernen oder Lesekompetenz, aber auch das Autofahren sind Beispiele hierfür. Unabhängig vom Wissensbereich entspräche das etwa 10.000 Stunden bewussten, zielgerichteten Übens, die aufgebracht werden müssten, um als Experte gelten zu können (Ericsson et al., 1993).

Inwiefern diese Zeitspanne von 10 Jahren auch auf den Expertiseerwerb beim Führen von Kraftfahrzeugen zutreffend ist, bleibt unklar, da sich hierzu in der Literatur kaum Angaben finden. Für Studien im Bereich der Gefahrenwahrnehmungsforschung lässt sich beobachten, dass Fahrer mit mindestens zehnjähriger Führerscheinbesitzdauer als erfahrene Fahrer rekrutiert werden (z. B. Horswill et al., 2013; Smith, Horswill, Chambers, & Wetton, 2009a). Oft werden aber auch Personengruppen mit weniger Fahrerfahrung als erfahrene Fahrer einbezogen (vgl. z. B. Scialfa et al., 2011).

Jemandem Expertise nur aufgrund seiner langjährigen Erfahrung in einem Wissensbereich zuzuschreiben, ist nicht unproblematisch. Nicht selten ist die Anzahl an Jahren an Berufserfahrung bzw. die Beschäftigungsdauer unkorreliert oder gar negativ assoziiert mit Leistungsmaßen aus dem entsprechenden Wissensbereich. Es empfiehlt sich daher Expertenleistungen auf der Basis erbrachter überdurchschnittlich guter Leistungen zu definieren. Dieser Überlegung folgend geht Benner (1996) – ähnlich wie Posner und Krems auch – davon aus, dass *„One who performs excellently in most situations might be considered an expert.“* (S. 672).

Die Definition von Krems (1997) auf den Verkehrskontext übertragen, kann – wie eingangs bereits erwähnt – als Experte gelten, wer beim Fahren schnell viele gute Entscheidungen trifft. Das heißt, wer weitgehend fehler- und damit unfallfrei fährt. Den Daten von Schade (2001; vgl. Abschn. 1.1) folgend, wäre das nach etwa zweijähriger Fahrpraxis statistisch gesehen der Fall. Anhand von Unfalldaten deutscher Verkehrsteilnehmer konnte Schade aufzeigen, dass die Unfallrate nach etwa zweijähriger Fahrpraxis ein sehr geringes, stabiles Niveau erreicht hat. Das heißt, nach etwa zwei Jahren als Verkehrsteilnehmer machen Fahrer statistisch gesehen deutlich weniger oder zumindest deutlich weniger schwerwiegende Fehler als noch zu Beginn ihrer Fahrkarriere und treffen folglich viele richtige Entscheidungen beim Fahren. Mit den Daten von Schade kann daher angenommen werden, dass ein Fahrer mit regelmäßiger, zweijähriger Fahrpraxis als Experte bezeichnet werden kann.

Innerhalb dieser ersten zwei Jahre des eigenständigen Fahrens werden demnach Fahrkompetenzen erworben, die für eine vergleichsweise sichere und fehlerfreie Fahrweise relevant sind. Eine solche

Teilkompetenz des Fahrenkönnens für die ein protektiver und damit negativer Zusammenhang mit der Unfallneigung bereits nachgewiesen werden konnte, ist die Gefahrenwahrnehmung (vgl. hierzu Abschn. 2.2).

Hierzu passen auch die Überlegungen von Scialfa, Pereverseff und Borkenhagen (2014), die für ihre Studie junge Fahrer rekrutierten, die ihren Führerschein bereits mindestens zwei Jahre lang besaßen. Als Begründung für das Auswahlkriterium führten sie an „*because this is an age and driving experience group in which hazard perception is likely to remain stable of the time interval of testing.*“ (S. 42). Gemeint war dabei ein Testzeitintervall von etwa einem Monat.

Das heißt, Scialfa et al. (2014) gehen einerseits davon aus, dass der Kompetenzerwerb in Bezug auf die Entwicklung von Gefahrenwahrnehmung keinesfalls nach etwa zweijähriger Führerscheinbesitzdauer abgeschlossen ist. Diese Annahme deckt sich mit Untersuchungen, die zeigen, dass Fahrer im Alter zwischen 45 und 54 Jahren am schnellsten auf Gefahren in videobasierten Hazard Perception-Testaufgaben reagieren (Quimby & Watts, 1981); in einem Alter also, in dem sie bereits über etwa 30 Jahre Fahrerfahrung verfügen. Außerdem konnten Horswill, Taylor, Newnam, Wetton und Hill (2013) aufzeigen, dass auch sehr erfahrene Fahrer mit über zehnjähriger Führerscheinbesitzdauer noch Defizite in der Gefahrenwahrnehmung aufweisen können. Im Vergleich zu Polizisten erzielten diese in Hazard Perception-Testaufgaben nämlich schlechtere Leistungen, konnten diese aber durch die Teilnahme an einer zwanzigminütigen Trainingseinheit mit Hazard Perception-Aufgaben deutlich verbessern. Andererseits geht aus der Begründung von Scialfa et al. (2014) aber auch hervor, dass sie nach etwa zweijähriger Fahrpraxis von einem vernachlässigbaren Übungsgewinn innerhalb weniger Wochen durch eigenständiges Fahren im Realverkehr ausgehen.

Der erreichte Expertisegrad – so zeigen Untersuchungen – ist eine Funktion der investierten Übung. Das trifft sowohl für relativ einfache Lerngegenstände als auch für den Erwerb komplexer Kompetenzen zu. Der Zusammenhang zwischen Übungsumfang und Fertigniveau kann dabei in der Regel durch eine Potenzfunktion als negativ beschleunigte Lernkurve beschrieben werden (Newell & Rosenbloom, 1981). Das Potenzgesetz des Lernens sagt aus, dass der Übungsgewinn anfangs beträchtlich ist, im Laufe des Kompetenzerwerbs aber zunehmend geringer ausfällt, bis schließlich eine Asymptote erreicht ist. Die von Schade (2001) ermittelte Funktion ist ein Beispiel für eine solch negativ beschleunigte Lernkurve.

Worin die Ursachen für Leistungsverbesserungen infolge des Auseinandersetzens mit domänen-spezifischen Inhalten liegen, wird Gegenstand der nächsten Abschnitte sein. Zunächst erst einmal soll aber darauf eingegangen werden, wodurch sich Expertise auszeichnet.

2.5.1 Merkmale von Expertise

Ericsson (2006b) zufolge bezieht sich Expertise „... to the characteristics, skills, and knowledge that distinguish experts from novices and less experienced people.“ (S. 3). In Überblicksarbeiten, wie denen von Chi, Glaser und Farr (1988) oder Feltovich, Prietula und Ericsson (2006) wurden verschiedene Kernmerkmale zusammengetragen, die für Expertenleistungen charakteristisch sind. Diese Merkmale sind in experimentellen Studien herausgearbeitet worden und haben sich über verschiedene Wissensbereiche hinweg als robust und generalisierbar erwiesen (Feltovich et al., 2006).

Als empirisch gesichert gilt, dass sich die Überlegenheit von Experten nur in dem Wissensbereich zeigt, in dem Expertise vorliegt (Gruber & Mandl, 1996). Expertise ist domänenspezifisch. Mit anderen Worten: Experten brillieren nur im eigenen Wissensbereich. Spezielle Sachkenntnisse, über die sie in diesem Bereich verfügen, können sie in der Regel nicht ohne Weiteres auf andere Gegenstandsbereiche übertragen. Eine Untersuchung mit Medizinerinnen soll dies verdeutlichen. Patel, Groen und Arocha (1990) forderten Fachärztinnen aus unterschiedlichen medizinischen Bereichen (Kardiologie, Chirurgie und Psychiatrie) auf, Informationen aus einem Fallbeispiel eines Patienten mit akuter bakterieller Endokarditis zu erinnern, die krankhaft veränderten Körperfunktionen zu erklären, und schließlich eine Diagnose zu stellen. Akute bakterielle Endokarditis ist ein Krankheitsbild mit dem Kardiologinnen in der Regel vertraut sind, Chirurginnen und Psychiaterinnen hingegen weniger. Nur einer von 6 Chirurginnen, keiner der Psychiaterinnen, aber über die Hälfte der Kardiologinnen lagen mit ihrer Diagnose richtig. In Abhängigkeit ihrer Spezialisierung weisen Ärztinnen demnach für unterschiedliche Fachbereiche ganz unterschiedliche Kompetenzgrade auf. Ein weiteres Beispiel lässt sich auch aus dem Bereich des Autofahrens an dieser Stelle anführen. Entgegen der Annahme, dass hochgeübte Fahrer stets unfallfreier fahren würden, zeigte sich z. B. in einer Studie von Williams und O’Neill (1974) mit lizenzierten Rennfahrern, dass Letztere mehr Unfälle aufwiesen als die Probanden der Vergleichsgruppe, die – operationalisiert über die Anzahl im Vorjahr gefahrener Kilometer – genauso viel Fahrerfahrung aufwiesen. Die Tatsache, sich sicher auf der Rennstrecke gegenüber anderen Fahrern zu behaupten, ist also nicht gleichbedeutend damit, sich sicher im Realverkehr bewegen zu können. Das Verkehrssystem stellt demnach andere Anforderungen an den Fahrer als die Rennstrecke.

Experten zeichnen sich über enormes Wissen in dem Gegenstandsbereich aus, in dem sie als Experte gelten. Der Erwerb dieses Wissens setzt viele Jahre an Übung und Erfahrung voraus. Durch Praxis verändert sich aber nicht nur der Umfang an Wissen, sondern auch die Informationsverarbeitung. So hat sich gezeigt, dass Experten weit mehr aktuelle Informationen aus ihrem Wissensbereich aufnehmen, verarbeiten und zugänglich halten können als Novizen. Chase und Ericsson (1981) beispielsweise trainierten in einer ihrer Untersuchungen mit einem Probanden das Behalten von Zahlenfolgen. Nach einem Jahr Trainingszeit war dieser in der Lage, über 80 Zahlenfolgen zugänglich

zu halten und wiederzugeben, die er kurz zuvor gehört hatte. Auch nach einer Woche noch konnte er bis zu 90 % der von ihm immer als Dreier-Zahlenkombination semantisch kodierten Zahlen erinnern und aufsagen.

Außerdem nehmen Experten in ihrem Wissensbereich nicht nur mehr relevante Informationen und umfangreichere bedeutungstragende Informationsmuster wahr, sie sind darüber hinaus auch in der Lage, Informationen aus der Außenwelt rasch auf ihnen bekannte Muster abzugleichen. Experten sehen Dinge und erkennen Zusammenhänge, die Novizen schlicht übersehen. In einer Studie von Chase und Simon (1973b) hatten die Teilnehmer die Aufgabe, sich binnen weniger Sekunden Schachfigurenkonstellationen einzuprägen, um diese anschließend frei aus dem Gedächtnis zu reproduzieren. Wurden die Figuren auf zufällig gewählten Positionen auf dem Schachbrett platziert und damit fürs Schachspiel irrelevante Figurenkonstellationen dargeboten, konnten keine Unterschiede in der Gedächtnis- und Reproduktionsleistung zwischen Experten und Novizen nachgewiesen werden. Sollten allerdings authentische Figurenkonstellationen, so wie sie in einem realen Schachspiel vorkommen können, erinnert werden, schnitten die Experten in der Reproduktionsaufgabe deutlich besser ab als die unerfahrenen Schachspieler. Ein Hinweis darauf, dass für Experten und Novizen die gleichen Arbeitsgedächtniskapazitätseinschränkungen gelten und Schachexperten nur dann leistungsfähiger sind, wenn sie ihnen vertraute Muster erkennen. Muster oder Figurenkonstellationen, die Novizen aufgrund mangelnder Spielerfahrung noch nicht wahrnehmen und so Figurenpositionen einzeln verarbeiten müssen.

Unterschiede zwischen Experten und Novizen in Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozessen sind nicht nur das Ergebnis umfangreicheren, sondern auch unterschiedlich repräsentierten Wissens. Expertenwissen ist auf eine Weise organisiert, die dieses rasch abruf- und anwendbar macht. Es ist hierarchisch organisiert und weist höhere Abstraktionsgrade auf als bei Novizen, weil Sachverhalte tiefgehend verstanden und verarbeitet werden.

Hinweise hierauf lassen sich z. B. aus Sortieraufgaben ableiten. Bei dieser Art von Aufgaben werden Experten und Novizen gebeten, Problemsachverhalte aus einem Gegenstandsbereich zu sortieren. Chi, Feltovich und Glaser (1981) baten ihre Teilnehmer Physikaufgaben nach Ähnlichkeitsgesichtspunkten zu sortieren und eine Begründung für Kategorienzugehörigkeiten anzugeben. Während sich die Novizen bei der Kategorienbildung auf Objekte der vorgelegten Problemstellungen stützten, gruppieren die Experten die Problemsachverhalte nach physikalischen Gesetzmäßigkeiten, die zur Lösung dieser herangezogen werden. Novizen orientierten sich demnach an der Oberflächen-, Experten an der Tiefenstruktur der zu kategorisierenden Probleme.

Ähnliche Unterschiede zwischen Experten und Novizen konnten auch für weniger gut strukturierte Wissensbereiche aufgezeigt werden. Ein Beispiel ist das Wahrnehmen von Gefahrensituationen beim Autofahren (vgl. Benda & Hoyos, 1983; Borowsky, Meir, Oron-Gilad, Shinar, & Parmet, 2010). Borowsky et al. (2010) ließen Fahrer mit unterschiedlicher Fahrerfahrung verschiedene Verkehrssituationen nach Ähnlichkeit kategorisieren. Während Novizen die Filmbeispiele vorrangig auf der Basis expliziter Gefahrenreize (Klassifikationskriterium 1) sortierten, zogen die erfahrenen Fahrer verstärkt Umgebungsfaktoren in ihre Entscheidung mit ein (Klassifikationskriterium 2). Die Intermediates hingegen zogen häufiger als die Novizen Klassifikationskriterium 2 heran, stützten sich aber im Vergleich zu den Fahrerfahrenen auch noch oft auf das erste Klassifikationskriterium. Dieses Vorgehen der Novizen beim Klassifizieren von Gefahrenszenarien wird auf mangelndes ganzheitliches Verstehen potentiell gefährlicher Verkehrssituationen zurückgeführt (Borowsky, Oron-Gilad, & Parmet, 2009). Während sich Novizen stärker an salienten Merkmalen der Aufgabe orientieren, basieren die Kategoriezuweisungen der Experten auf strukturellen Merkmalen der Verkehrssituationen.

Expertenwissen ist aber nicht nur strukturiertes und gut organisiertes Wissen, sondern auch stärker vernetztes Wissen. In Studien mit Medizinstudenten und erfahrenen Medizinern zeigte sich, dass Experten von zahlreich vorliegenden fallbezogenen Wissensstrukturen, sog. *Illness Skripts* profitieren, während die Diagnosen von Novizen auf semantisch weniger reichhaltigen Informationsnetzen, die untereinander nur wenige Verbindungen aufweisen, basieren (Boshuizen & Schmidt, 2008). Entsprechend ungenau und wenig differenziert sind die Diagnosen von Novizen (Bordage, 1994).

Als Folge unterschiedlich repräsentierten Wissens, lassen sich auch beim Problemlösen unterschiedliche Vorgehensweisen zwischen Experten und Novizen beobachten. Forschungsbefunde zeigen, dass Experten im Vergleich zu Novizen relativ viel Zeit darauf verwenden, ein Problem zunächst qualitativ zu analysieren (Bédard & Chi, 1992), bevor sie es lösen. Bei Novizen lässt sich eine andere Herangehensweise beobachten. Während Experten zunächst versuchen, das Problem zu verstehen, tendieren Novizen dazu, das Problem unmittelbar zu lösen und z. B. eine Versuch-und-Irrtum-Strategie anzuwenden. Nicht selten müssen daher mehrere Lösungswege ausprobiert werden.

Zudem lässt sich beobachten, dass Experten bei der Lösung domänenspezifischer Problemstellungen meist vorwärts-, Novizen hingegen rückwärtsgewandt vorgehen. Dieser Unterschied konnte z. B. im Bereich der medizinischen Diagnostik nachgewiesen werden (Patel & Arocha, 2001; Patel & Groen, 1991). Bereits während der Symptomschilderung durch den Patienten bzw. durch die Beobachtung desselben, erstellt der behandelnde Arzt ein mentales Modell zum Sachverhalt und gelangt so für Erkrankungen, in denen er Routine hat, zur Diagnose. Medizinstudenten hingegen stellen zunächst eine oder mehrere Hypothesen für sämtliche infrage kommende Erkrankungen auf, testen diese,

indem sie durch Erfragen von möglichen Symptomen beim Patienten zunehmend Erkrankungen ausschließen und gelangen so zur Diagnose. Die Anwendung rückwärtsgerichteter Lösungsstrategien bei Novizen konnte auch für Wissensbereiche mit gut definierten Problemen aufgezeigt werden, z. B. für das Lösen von Physikproblemen (vgl. Larkin, McDermott, Simon, & Simon, 1980).

Brand-Gruwel, Wopereis und Vermetten (2005) berichteten zudem über bessere Selbstregulationsstrategien aufseiten der Experten. Im Vergleich zu den Novizen wandten Experten häufiger Strategien zur Überwachung und Steuerung des eigenen Verhaltens und der eigenen Leistung an, und orientierten sich häufiger an der noch verbleibenden Zeit zur Ausführung der Aufgabe. Dieses Ergebnis bestätigt, dass Experten über geeignetere metakognitive Kontrollstrategien verfügen (Gruber & Mandl, 1996).

Im Wesentlichen unterscheiden sich Experten von Novizen darin, dass sie über umfangreiches, gut organisiertes domänenspezifisches Wissen verfügen, welches sie zur Anwendung angemessener Problemlösestrategien befähigt (Patel & Groen, 1991). Wie Expertenwissen repräsentiert ist und wie sich Wissen im Laufe der Expertiseentwicklung verändert, wird Gegenstand des nächsten Abschnitts sein, in dem verschiedene Theorien und Modelle hierzu dargestellt werden.

2.5.2 *Theorien zur Expertiseentwicklung*

In Bezug auf die Organisation und Repräsentation von Wissen gelten gegenwärtig zwei Theorien als wichtige Ansätze zur Erklärung dafür, wie Experten mit den Einschränkungen des kognitiven Informationsverarbeitungssystems umgehen: Die *Long-Term Working-Memory* (LTWM)-Theorie (Ericsson & Kintsch, 1995) sowie die *Template*-Theorie (Gobet & Simon, 1996).

Beide Theorien basieren auf dem Konzept des *Chunkings*, ein Konzept, das durch Miller (1956) bekannt und von Chase und Simon (1973a) in ihrer Chunking-Theorie aufgegriffen wurde, um Expertenleistungen zu erklären. Ebenso wie Miller gingen auch Chase und Simon davon aus, dass etwa 7 Informationseinheiten zeitgleich im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden können. Neuere Arbeiten gehen von weit weniger Informationseinheiten aus (z. B. Ayres & Paas, 2009; Cowan, 2001; Gobet & Simon, 2000; Sweller, 2004).

Die Beobachtung, dass Schachexperten in Testaufgaben deutlich mehr Informationen erinnern und reproduzieren konnten als weniger erfahrene Schachspieler, obwohl die Schachfigurenkonstellationen nur für wenige Sekunden lang präsentiert worden waren und für beide Teilnehmergruppen die gleichen Arbeitsgedächtniskapazitätsbegrenzungen gelten, führten Chase und Simon auf *Chunks* zurück. Expertenleistungen sind diesem Ansatz nach mit umfangreichem Wissen verbunden, das in Form von Chunks organisiert ist. Gobet et al. (2001) verstehen unter einem Chunk „*a collection of elements having strong associations with one another, but weak associations with elements within*

other chunks“ (S. 236). Chunks sind demnach bedeutungstragende Informationseinheiten, die sich aus Einzelinformationen zusammensetzen (Gobet & Lane, 2012).

Während sich unerfahrene Schachspieler Figurenkonstellationen einzeln einprägen und im Arbeitsgedächtnis behalten müssen, sind Schachexperten in der Lage, diese Informationen in Form von Chunks aktiv im Arbeitsgedächtnis zu halten. Müssen Figurenkonstellationen später reproduziert werden, reicht Experten das Label der jeweiligen Chunks, um die gesamte Information abzurufen. Da die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses auf wenige Informationselemente, die zeitgleich verarbeitet werden können, beschränkt ist, schneiden Experten in Reproduktionsaufgaben deshalb besser ab.

Die Annahme des Speicherns von Labels ergänzten Chase und Simon (1973a) durch die Vorstellung, dass jedes durch ein Label indizierte Informationsmuster (z. B. Schachposition) wiedererkannt werden kann. In ihrem *Pattern Recognition*-Ansatz betrachten sie Expertise deshalb auch als das Ergebnis des Abspeicherns einer enormen Anzahl an Informationsmustern, durch die erklärt werden kann, weshalb Schachexperten unmittelbar den korrekten Spielzug erkennen, während dies wenig erfahrenen Spielern nur selten gelingt (vgl. Gruber, 1994). Schachspezifische Chunks sind bei entsprechender Expertise mit bestimmten Spielzügen assoziiert. Wird ein Chunk wiedererkannt, kann diese Assoziation im Langzeitgedächtnis aktiviert und der entsprechende Spielzug unmittelbar umgesetzt werden.

Nur durch Chunking allein konnte aber nicht erklärt werden, weshalb es Experten in Gedächtnisexperimenten, in denen der Rehearsal-Mechanismus durch interferierende Aufgaben zwischen Lern- und Testphase unterbunden wurde (z. B. Frey & Adelman, 1976; Gobet & Simon, 1996), immer noch so gut gelingt, sich zahlreiche Informationen in kurzer Zeit einzuprägen und später wieder korrekt zu erinnern. Hierauf gaben Chase und Ericsson (1981, 1982) mit ihrer *Skilled Memory*-Theorie eine Antwort. Protokolldaten aus Interviews mit Gedächtniskünstlern gaben Hinweise darauf, dass Probanden neue Informationen bedeutungshaltig enkodierten. Neu zu erlernende Informationen wurden durch bedeutungstragende Assoziationen mit bereits bestehenden Wissensstrukturen im Langzeitgedächtnis verknüpft, wodurch elaborierte Repräsentationen entstanden. Außerdem erleichterten Abrufstrukturen den Zugriff auf Gedächtnisinhalte. Bei der Enkodierung von Informationen wurden Hinweisreize (Cues) assoziiert, mit deren Hilfe gelernte Inhalte zu einem späteren Zeitpunkt ohne aufwendige Suchprozesse effektiv abgerufen werden konnten. So entstanden hierarchisch organisierte Abrufstrukturen, die ein rasches Enkodieren und Abrufen von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis erlaubten. Der Proband SF beispielsweise griff als Langstreckenläufer auf Laufzeiten als ihm vertrautes Zahlenformat zurück, um sich Zufallszahlen einzuprägen. Erschienen ihm Laufzeiten als ungeeignet, nutzte er eine andere Strategie und versuchte sich Zahlenabfolgen in Form von Jahres- oder Altersangaben zu merken. Zudem konnten Chase und Ericsson (1982) beobachten, dass Enkodier- und Abrufprozesse bei entsprechender Übung zunehmend schneller erfolgten. Der

Skilled Memory-Theorie folgend kann also das episodische Langzeitgedächtnis als effektiver und effizienter Mechanismus beim Erlernen von Zahlenabfolgen fungieren, sofern neue Informationen über bedeutungstragende Assoziationen enkodiert werden und entsprechende Hinweisreize präsent sind.

Die Skilled Memory-Theorie entstand vor dem Hintergrund der Beobachtung von Gedächtniskünstlern, die in der Lage sind, sich enorme Informationsmengen (z. B. 100 Zufallszahlen) einzuprägen und später fehlerfrei abzurufen. Aufgaben, die typischerweise im Alltag bewältigt werden müssen, wie etwa das Verstehen von Texten beim Zeitunglesen, stellen andere Anforderungen an die Informationsverarbeitung als das bewusste Memorieren zufälliger Zahlenabfolgen, weil zu deren erfolgreicher Ausführung häufig mehrere Verarbeitungsschritte notwendig sind und Zwischenergebnisse kurzzeitig behalten werden müssen.

Ericsson und Kintsch (1995) gehen davon aus, dass die Skilled Memory-Theorie in ihren Grundzügen auch auf solche alltagsnahen Tätigkeiten übertragen werden kann und schlugen hierfür mit der LTWM-Theorie eine Verallgemeinerung des Skilled Memory-Ansatzes vor. Im LTWM-Ansatz *“cognitive processes are viewed as a sequence of stable states representing end products of processing”* und *“acquired memory skills allow these end products to be stored in long-term memory and kept directly accessible by means of retrieval cues in short-term memory”* (Ericsson & Kintsch, 1995, S. 211). Über bedeutungshaltige Assoziationen und Abrufstrukturen werden Informationen enkodiert und mit dem Vorwissen im Langzeitgedächtnis (Informationsmuster und Schemata) verknüpft.

Die LTWM-Theorie und die Template-Theorie basieren auf der Annahme, dass Experten bei der Informationsverarbeitung rasch und verlässlich auf Teile des Langzeitgedächtnisses zugreifen können. Der Unterschied zwischen beiden Theorien liegt darin, dass die LTWM-Theorie erworbene Fähigkeiten für schnelles Enkodieren von Informationen im Langzeitgedächtnis verantwortlich sieht und die Template-Theorie *Templates* – das heißt, Wissensstrukturen, die Schemata ähneln (Ericsson & Kintsch, 2000).

Templates bestehen aus einem Teil (*Core*), in dem Informationen dauerhaft gespeichert werden und darüber hinaus enthalten sie *Slots*, in denen sich ändernde Informationen enthalten sein können. Das heißt, Slots bieten Platz für Informationen, die in der Außenwelt immer wieder mit kleinen Abweichungen vorkommen können. Die Template-Theorie nimmt nicht an, dass Experten in ihrem Wissensbereich ein allgemeines Enkodierschema wiederholt anwenden, sondern vielmehr, dass in Abhängigkeit von situativen Merkmalen auf verschiedene Arten von Abrufstrukturen zurückgegriffen wird. Anhand von Templates können somit Klassen von Situationen effizient enkodiert werden. Templates sind damit nicht nur umfangreichere Wissensstrukturen als Chunks (Gobet & Jackson,

2002), durch die Slots sind sie auch flexibler einsetzbar und anpassungsfähiger (Eysenck & Keane, 2005).

Expertise wird erst durch die Automatisierung von Teilkompetenzen möglich (Feltovich et al., 2006). Insbesondere bei komplexen Fertigkeiten, die sich aus mehreren qualitativ unterschiedlichen Teilkompetenzen zusammensetzen, müssen basale Fertigkeiten (z. B. Enkodierung von Zeichen) ausreichend gut beherrscht, das heißt, automatisiert ausgeführt werden können, bevor auch die Bewältigung von komplexeren Teilfertigkeiten (z. B. Verstehen, Schlussfolgern, Monitorierung) kompetent erfolgen kann.

Die Aufteilung zwischen Arbeits- und Langzeitgedächtnis ist ein zentrales Merkmal von Informationsverarbeitungstheorien. Auch das Informationsverarbeitungsmodell von Atkinson und Shiffrin (1968, 1969) stützt sich auf eine Unterscheidung zwischen diesen beiden Verarbeitungsstrukturen. Leutner und Brünken (2002) griffen unter anderem auf dieses Modell zurück, um Informationsverarbeitungsprozesse sowie Prozesse zur Handlungsplanung und -ausführung beim Fahren zu veranschaulichen und zu beschreiben (vgl. Abb. 10).

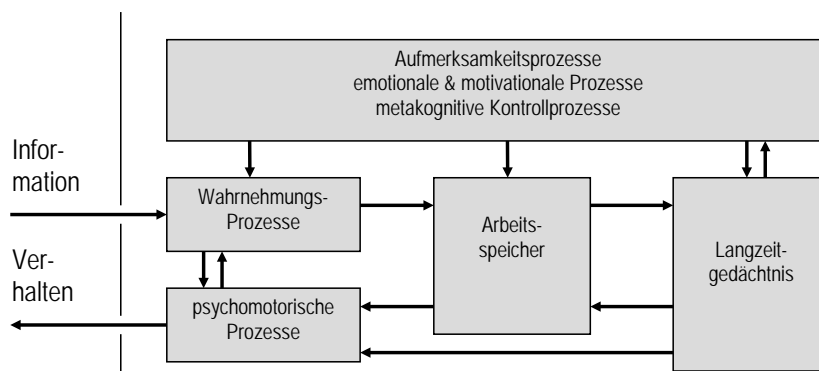


Abbildung 10: Modell der Informationsverarbeitung beim Fahren (nach Leutner & Brünken, 2002; vgl. auch Leutner et al., 2009)

Die direkte Verbindung in der Abbildung zwischen Wahrnehmungsprozessen und psychomotorischen Prozessen, dargestellt durch einen doppelten Pfeil, steht für Verhalten, das unmittelbar – sprich automatisch – als Reaktion auf eingehende Informationen aus der Verkehrsumwelt erfolgt. Voraussetzung für solche automatisierten Reaktionen ist langwierige Übung.

Verhaltensweisen für die noch keine automatisierten Routinen gebildet worden sind, machen den Einbezug des Arbeits- bzw. Langzeitgedächtnisses erforderlich. In diesem Fall müssen zunächst verschiedene Informationsverarbeitungsschritte durchlaufen werden, bevor auf einen Umweltreiz reagiert werden kann. Situationsangepasstes Fahrverhalten, das nicht automatisiert erfolgt, benötigt

daher vergleichsweise viel Zeit und ist zudem stör- und fehleranfälliger. Aufmerksamkeitsprozesse sowie emotionale und motivationale Prozesse, aber auch metakognitive Kontrollprozesse sind auf allen Stufen der Informationsverarbeitung beteiligt.

Automatisierte Fertigkeiten werden im klassischen Modell von Fitts und Posner (1967) als das Ergebnis eines dreistufigen Prozesses, der sich in eine kognitive, eine assoziative und eine autonome Phase gliedert, beschrieben. Anderson (1982, 1993) griff bei der Formulierung des *Adaptive Control of Thought (ACT)*-Ansatzes, der seit mehr als 40 Jahren Gegenstand der Forschung ist, auf Ideen von Fitts und Posner (1967) zurück. Mit dem Ursprung im *Human Associative Memory (HAM)*-Modell (Anderson & Bower, 1973) wird der ACT-Ansatz seither stetig weiterentwickelt und ergänzt, sodass er mittlerweile in seiner aktuellsten Version als ACT-R 7.0 vorliegt (Ritter, Tehranchi, & Oury, 2019). ACT-R wird als *Cognitive Architecture* bezeichnet und ist eine Theorie über die Mechanismen menschlicher Kognition.

Die ACT-R basiert auf der Annahme, dass sich komplexe Fertigkeiten aus relativ einfachen Wissens-einheiten zusammensetzen, die durch verhältnismäßig einfache Prinzipien erworben werden (Anderson & Schunn, 2000). Komplexe Fertigkeiten basieren auf einem Zusammenwirken von deklarativen und prozeduralen Wissensanteilen. Deklaratives Wissen liegt als propositionales Netzwerk in Form von Chunks vor, kann bewusst erinnert und verbalisiert werden und ist zudem flexibel anwendbar. Prozedurales Wissen hingegen ist in Form von Produktionsregeln repräsentiert. Auf prozedurales Wissen, dessen Anwendung automatisiert erfolgt, kann in der Regel nicht bewusst zugegriffen werden. Folglich kann es kaum verbalisiert werden. Die Anwendung von Prozedurenwissen ist eng mit dem Vorliegen bestimmter Situationsmerkmale verknüpft, wodurch es weniger flexibel einsetzbar wird.

Ähnlich der Dreiteilung von Fitts und Posner unterscheidet Anderson (1982) im Fertigkeitserwerbsprozess zwischen deklarativer, Kompilierungs- und prozeduraler Phase. Durch den Prozess der Wissenskompilierung, der im zeitlichen Verlauf der assoziativen Phase von Fitts und Posner entspricht, wird deklaratives Wissen in Prozedurenwissen überführt und schließlich automatisiert.

Das heißt, im Fertigkeitserwerbprozess wird zunächst deklaratives Wissen erworben. In dieser deklarativen Phase kann beim Problemlösen nur auf wenig, schwach vernetztes Wissen zurückgegriffen werden. Handlungen können nur langsam und Schritt für Schritt, wie nach einer Art Drehbuch ausgeführt werden. Die kognitive Beanspruchung ist hoch, weil zur Aufgabenausführung deklaratives Wissen im Arbeitsgedächtnis gehalten werden muss. Häufig lässt sich beobachten, dass sich Lerner bei der Ausführung von Aufgaben einzelne Schritte vorsagen (Anderson, 1982).

Durch wiederholtes Anwenden deklarativen Wissens entstehen in der Kompilierungsphase Assoziationen zwischen Bedingungen und Operatoren, sogenannte Produktionsregeln. Produktions-

regeln haben den Vorteil, dass Handlungen künftig ohne aufwendige Informationsverarbeitung und damit zunehmend schneller ausgeführt werden können. Durch die Verknüpfung einzelner Handlungsschritte zu größeren Wissensseinheiten wird die Leistung verbessert, indem Handlungsabfolgen, die wiederholt angewendet werden, effizienter erfolgen können.

In der prozeduralen Phase schließlich sind die entstandenen Produktionsregeln durch hohe Assoziationsstärke gekennzeichnet. Sie liegen zahlreich vor und sind untereinander stark vernetzt. Fertigkeiten werden zunehmend müheloser und schließlich automatisiert ausgeführt. Die erworbene Fertigkeit wird immer sicherer beherrscht und kann zunehmend schneller und fehlerfreier ausgeführt werden. Das anfänglich handlungssteuernde deklarative Wissen tritt in den Hintergrund.

Andersons Modell basiert auf der Annahme, dass sich die Leistung durch Übung und Erfahrung in einem Wissensbereich kontinuierlich verbessert. Das heißt, dass die Aufgabenausführung zunehmend schneller, präziser und fehlerfreier erfolgt, sowie weniger anfällig für Interferenzen ist. Dass erfahrene Fahrer bessere Fahrleistungen erbringen als Novizen, lässt sich demnach damit erklären, dass sie über prozedurales Wissen verfügen und in der Lage sind, bestimmte Teilhandlungen automatisiert auszuführen.

Produktionen werden erworben, indem diese aktiv und erfolgreich in Problemlösesituationen angewendet werden. *Learning by Doing* ist damit eines der Schlüsselkonzepte im ACT-R-Ansatz (Anderson, 1993). Die Voraussetzung für kompetentes Handeln ist demnach Wissen, das sich in Abhängigkeit von Übung und Erfahrung qualitativ verändert (Anderson, 1982).

Andere Ansätze zur Entwicklung von Expertise gehen zudem von abgrenzbaren Entwicklungsstufen aus (Alexander, 2003; Dreyfus & Dreyfus, 1986; Patel & Groen, 1991). Dreyfus (2004) bezieht sich auf 5 Entwicklungsstufen, die bis zum Erreichen des Expertenstatus vom Novizen durchlaufen werden müssen. Er unterscheidet zwischen dem Novizen, dem fortgeschrittenen Anfänger, dem Kompetenten, dem Gewandten und dem Experten und bezieht das Modell unter anderem auch auf den Bereich des Fahrenkönnens, wobei er Beispiele dafür nennt, was auf jeder dieser Stufen gelernt wird.

In ihrer Arbeit beschreiben Dreyfus und Dreyfus (1980) kognitive Prozesse, die beim zielgerichteten Erwerb komplexer Fertigkeiten eine Rolle spielen. Bei der Analyse und Systematisierung stützten sie sich unter anderem auf Interviews mit Piloten, nicht auf kontrollierte Laborexperimente wie etwa Patel und Groen (1991). Sie analysierten Angaben von Personen, die beschrieben, wie sich die Wahrnehmung des Aufgabenfelds im Zuge des Erwerbs komplexer Fertigkeiten zunehmend verändert. Auch für Dreyfus und Dreyfus spielen authentische Erfahrungen die entscheidende Rolle beim Fertigkeitserwerb. Sie gehen davon aus, dass Lerner in frühen Entwicklungsphasen abstrakte formale Regeln

befolgen und dass erst durch die Erfahrung mit konkreten Fällen höhere Kompetenzgrade erreicht werden und dass dann das *Tun* zunehmend wichtiger wird als jede Form von verbaler Instruktion.

Um den Erwerb von komplexen Fertigkeiten durch geeignete Instruktion zu unterstützen, ist es nach Dreyfus und Dreyfus entscheidend, zunächst zu verstehen, welche Phasen bei der Expertiseentwicklung durchlaufen werden. Sie beschreiben in Form einer Taxonomie, wie sich vier kognitive Funktionen (*Recollection, Recognition, Decision, Awareness*) infolge des Expertiseerwerbs verändern. Die kognitiven Funktionen sind so geordnet, dass die höchste Form der Ausprägung dieser Funktionen jeweils nur dann erreicht werden kann, wenn die darunter liegende Funktion im höchsten Ausprägungsgrad vorliegt. Expertiseerwerb wird als linearer Prozess verstanden. Die vorgeschlagene Taxonomie soll als Hilfe oder Richtlinie für Instruktionsdesigner dienen, die nach Dreyfus und Dreyfus stets die Entwicklungsstufe des Trainees im Blick haben sollten, um nicht Gefahr zu laufen, den Lerner durch zu schwierige oder anspruchsvolle Aufgaben zu überfordern und das Lernen so zu erschweren. Als Ziel von Lernbemühungen wird im Dreyfus-Modell (1980) intuitives Handeln gesehen, das als Kernmerkmal von Expertise betrachtet wird.

Auch Kolodner (1983), die sich mit komplexem Problemlösen in der medizinischen Diagnostik beschäftigte, geht in ihrem Ansatz davon aus, dass erst durch die praktische Anwendung von deklarativen Wissensinhalten Wissen entsteht, das flexibel in authentischen Problemsituationen eingesetzt werden kann. Das Sammeln praktischer Erfahrung ist damit die Voraussetzung für das Entstehen von Expertenwissen, welches im Wesentlichen Handlungswissen ist.

Eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung von Expertise spielt für Kolodner die reflexive Anwendung von Wissen. Erfahrungswissen ist im episodischen Gedächtnis enkodiert. Das semantische Gedächtnis enthält Faktenwissen, das in einer Netzwerkstruktur hierarchisch organisiert ist. Im semantischen Gedächtnis wäre z. B. der Schulbus als Fahrzeug definiert, das für den Schülertransport vorgesehen ist. Der Schulbus wiederum wäre als ein Transportmittel des öffentlichen Nahverkehrs definiert usw. Im episodischen Gedächtnis hingegen sind Objekte nach ihrer Funktionsweise strukturiert. Ein Schulbus dient der Beförderung von Schülern. Erfahrene Fahrer wissen, dass mit Schulbussen Risiken verbunden sein können; dann nämlich, wenn ausgestiegene Kinder unmittelbar vor dem noch haltenden Schulbus plötzlich die Fahrbahn betreten. Dieses Wissen bezeichnet Kolodner als episodische Definitionen. Für Kolodner (1983) ist die Überlegenheit der Experten darin begründet, dass sie wissen, wie das semantische Wissen genutzt werden kann. Das heißt, der eigentliche Unterschied zwischen Experte und Novize besteht für sie vor allem darin, dass Experten aufgrund ihrer Erfahrungen über bessere episodische Definitionen verfügen. Experten verfügen demnach nicht nur über umfangreicheres Faktenwissen, sondern sie können dieses auch effektiver und flexibler anwenden.

Das Entstehen von Erfahrungswissen basiert auf der zunehmenden Integration und Reorganisation von Wissensstrukturen. Durch neue Erfahrungen wird vorhandenes Wissen reorganisiert und zunehmend verfeinert. Entscheidend hierbei ist die reflexive Anwendung des Wissens. Kolodner unterscheidet zwei Arten von Ereignissen, auf denen Lernen basiert: durch das Feststellen von Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Fällen oder durch Fehler, die bei der Anwendung von Wissen gemacht werden. Beim durch Ähnlichkeit hervorgerufenen Lernen wird mit jeder erneut erfolgreich eingesetzten Aktion das Zutrauen in die umgesetzte Vorgehensweise gestärkt. Anders verhält es sich, wenn gelerntes Wissen nicht zum gewünschten Ergebnis führt. Kann der Fehler ausgemacht werden, wird das vorhandene Wissen verfeinert und fehlerverursachende Wissensanteile modifiziert. Das führt dazu, dass dieser Fehler bei einem ähnlichen Fall wahrscheinlich nicht mehr gemacht wird.

Wie die Ausführungen zeigen, basiert Expertise auf umfangreichen Fachkenntnissen, die durch Erfahrung erworben werden. Entscheidend für die Entwicklung von Expertise ist die Integration von theoretischem Wissen und praktischer Erfahrung. Das heißt, sowohl theoretisches als auch Erfahrungswissen sind unverzichtbar für das Entstehen von Schemata und Skripten, die zum Lösen komplexer Probleme nötig sind und sowohl die automatisierte Verarbeitung von Informationen (Pattern Recognition) als auch kontrolliertes Verarbeiten von Informationen (analytisches bzw. schlussfolgerndes Denken) ermöglichen. Wissen verändert sich im Zuge der Expertiseentwicklung demnach nicht nur quantitativ, sondern auch qualitativ.

2.5.3 *Deliberate Practice*

Dass umfangreiche domänenspezifische Erfahrung für das Erreichen von Expertise notwendig ist, ist aus Überblicksarbeiten (z. B. Ericsson & Lehmann, 1996) hinlänglich bekannt. Die 10-Jahresregel, die Simon und Chase (1973) für das Erreichen des Expertenniveaus für den Wissensbereich des Schachspiels formulierten, konnte auch für andere Domänen als zutreffend nachgewiesen werden (einen Überblick geben Ericsson et al., 1993). Sie gilt inzwischen domänenübergreifend als empirisch gesichert (Lames & Werninger, 2011).

Für viele Wissensbereiche lässt sich beobachten, dass bloßes Sammeln von Erfahrungen, das heißt, wenn die gleichen Abläufe und Aktivitäten wiederholt ausgeführt werden, nicht zu qualitativen Leistungsverbesserungen, sondern eher zu Automatisierung und damit geringerer kognitiver Beanspruchung durch die Aufgabe führt (Shiffrin & Schneider, 1977). Jahrelange Erfahrung allein reicht demnach nicht aus, um Expertenstatus in einem Wissensbereich zu erreichen (Ericsson & Towne, 2010). Oft besteht nur ein geringer Zusammenhang zwischen bloßer Erfahrung und dem erreichten Leistungs- oder Fertigniveau (Ericsson & Lehmann, 1996). Ericsson (2006a) nennt eine Vielzahl an Beispielen für Tätigkeiten, in denen sich Personen trotz langjähriger Erfahrung in ihrer Performanz oft

unwesentlich von Novizen unterscheiden bzw. sogar schlechtere Leistungen erzielen. Klinische Psychologen mit langjähriger Berufserfahrung z. B. sind keinesfalls immer erfolgreicher in der Behandlung von Patienten als ihre Berufskollegen, die noch am Anfang ihrer beruflichen Laufbahn stehen (vgl. Tracey, Wampold, Lichtenberg, & Goodyear, 2014). Das heißt, der Übungsumfang kann als notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für die Entwicklung von Expertise in einem Wissensgebiet gesehen werden.

Ericsson et al. (1993) führen in dem Zusammenhang an, dass nicht nur die jahrelange Beschäftigung mit Aufgaben aus einem Gegenstandsbereich und damit der Übungsumfang ausschlaggebend dafür ist, auf welchem Niveau eine Person die hierfür erforderlichen Fertigkeiten auszuführen vermag. Entscheidend für die qualitative Verbesserung der individuellen Leistung ist vor allem auch die Art der Übung, nämlich *Deliberate Practice*. Ericsson und Lehmann (1996) verstehen unter *Deliberate Practice* „*the individualized training activities specially designed by a coach or teacher to improve specific aspects of an individual's performance through repetition and successive refinement*“ (S. 278-279).

Unter *Deliberate Practice* fallen demnach intensive Trainingsaktivitäten, die ganz gezielt und von Lehrern, Trainern oder Mentoren initiiert und gestaltet auf eine Verbesserung bestimmter Aspekte der individuellen Leistung ausgerichtet sind. *Deliberate Practice*-Aktivitäten orientieren sich in Bezug auf ihren Schwierigkeitsgrad am individuellen Entwicklungsstand des Lerners, halten unmittelbares und informatives Feedback für den Lerner bereit, beinhalten die Möglichkeit zur Wiederholung und erlauben damit das Korrigieren von Fehlern und die Verbesserung der Performanz (de Bruin, Smits, Rikers, & Schmidt, 2008). Diese Art des Übens unterscheidet sich damit deutlich von Aktivitäten, wie arbeiten, spielen oder der Wettkampfteilnahme (vgl. Charness, Tuffiash, Krampe, Reingold, & Vasyukova, 2005).

Eine wichtige Voraussetzung für diese Art der Übung ist die Entwicklung metakognitiver Strategien zur Überwachung und Kontrolle der eigenen Leistung (Charness et al., 2005). Die eigene Leistung permanent kritisch zu prüfen, ist mit hoher Anstrengung verbunden und wird deshalb oft als mühsam und wenig freudvoll empfunden (Ericsson & Pool, 2016). Folglich setzt *Deliberate Practice* nicht nur hohes Zeitinvestment, sondern auch hohe Leistungsbereitschaft und Motivation aufseiten des Lerners voraus (Ericsson et al., 1993).

Ericsson et al. (1993) leiteten ihre Schlussfolgerungen u. a. aus Studien mit unterschiedlich ambitionierten Violinisten ab, die ihre Ausbildung am selben Berliner Institut absolvierten. In ihrer Studie bildeten die *besten* und die *guten* Studierenden des Konzertfachs Violine jeweils eine Gruppe. Die dritte Gruppe bestand aus Personen mit dem Studienfach Instrumentalpädagogik. Alle Teilnehmer trafen sich wöchentlich mit Mentoren, um Übungsaufgaben zu besprechen, mit deren Hilfe an

individuellen Schwachstellen zuhause gearbeitet werden konnte. Aus Befragungsdaten wurden die summierten Übungszeiten seit der Beschäftigung mit dem Instrument rekonstruiert. Tagebuchaufzeichnungen der Studierenden gaben Auskunft über gegenwärtige Übungsgewohnheiten. Aus den rekonstruierten Übungszeiten und den Tagebuchaufzeichnungen ging hervor, dass sich die ambitioniertesten Studierenden von den anderen beiden Gruppen hinsichtlich der wöchentlichen Übungszeit, die sie ins alleinige Üben investierten, unterschieden. Dieses Ergebnis stimmte mit der Hypothese von Ericsson et al. (1993) überein, dass zwischen Deliberate Practice und dem Leistungsniveau ein monotoner Zusammenhang besteht (*Monotonic Benefits Assumption*). Die ambitioniertesten Untersuchungsteilnehmer wiesen im Alter von 18 Jahren mit 7410 Übungsstunden deutlich mehr Übungszeit (mehr als 2000 Stunden) auf als die als gut eingestuften Studierenden. Die guten Studierenden wiederum investierten bis zum 18. Lebensjahr knapp 4000 Stunden mehr Übungszeit mit dem Instrument als die Musikpädagogikstudierenden. Letztere galten als die am geringsten ambitionierte Gruppe. Im weiteren Studienverlauf zeigte sich ein ähnliches Muster. Auch im Alter von 20 Jahren noch investierten die sehr guten Studierenden deutlich mehr Zeit ins selbständige Üben als die anderen beiden Teilnehmergruppen, um bestimmte Aspekte der eigenen Leistung gezielt zu verbessern. Ericsson et al. (1993) schlussfolgerten aus den Ergebnissen, dass nicht Begabung, sondern vielmehr die Zeit, die in alleiniges, zielgerichtetes Üben mit dem Instrument investiert wurde, der entscheidende Faktor für das Erreichen hoher Leistungsniveaus ist.

Seit sich Forscher mit Expertenleistungen beschäftigen, wurde Expertise unter zwei verschiedenen Perspektiven diskutiert: im Dispositionsansatz als Konzeption von Begabung und im Übungsansatz als Anpassungsleistung infolge intensiven Trainings. Vertreter des Dispositionsansatzes gehen davon aus, dass nur durch hohe Begabung außergewöhnlich hohe Leistungen erreicht werden können und durch angeborene Fähigkeiten letztlich eine Grenze für ein maximal erreichbares Leistungsniveau festgelegt ist (Ericsson, 2006a; Ericsson, Nandagopal, & Roring, 2005). Befürworter der Auffassung von Expertise als Anpassungsleistung vertraten stets stärker die Ansicht, dass nicht angeborene Voraussetzungen, sondern vielmehr durch Übung und Erfahrung erworbene Fähigkeiten Expertenleistungen bedingen und deshalb prinzipiell jeder bei entsprechend intensivem Training einen Expertenstatus erreichen könne. Expertenleistungen werden unter dieser Perspektive vorrangig als kognitive und physiologische Anpassungsleistungen aufgefasst (Ericsson & Charness, 1994; Salthouse, 1991). Ericsson et al. (1993) sehen in ihrem Deliberate Practice-Ansatz interindividuelle Unterschiede in physischen und kognitiven Fähigkeiten weitgehend als Resultat zielgerichteten Übens an.

Dass sowohl die genetische Ausstattung einer Person als auch die intensive Auseinandersetzung mit Sachverhalten aus und dem Sammeln von Erfahrungen im jeweiligen Wissensbereich wichtige Faktoren bei der Entwicklung von Expertise sind, ist unstrittig (Ericsson, 2017; Ericsson & Smith, 1991;

Plomin et al., 2014). Bisweilen kontrovers diskutiert wird hingegen noch, zu welchen Anteilen Natur und Umwelt die Expertiseentwicklung bedingen (vgl. Macnamara, Hambrick, & Oswald, 2014). Kritiker wie Macnamara et al. (2014) bemängeln, dass Deliberate Practice ein zu hoher Stellenwert bei der Entwicklung von Expertise eingeräumt und gleichzeitig anderen Faktoren zu wenig Beachtung geschenkt werde. Macnamara, Hambrick und Oswald (2018) unterzogen 88 Studien aus unterschiedlichen Wissensbereichen der Expertiseforschung einer metaanalytischen Untersuchung und kamen zu dem Schluss, dass Deliberate Practice zweifelsohne ein wichtiger Prädiktor für individuelle Leistungsunterschiede ist. Jedoch sei dieser Faktor nicht so gewichtig, wie von Ericsson gemeinhin behauptet, da ein Großteil der Varianz nicht durch Deliberate Practice erklärt werden könne. Je nach Wissensbereich konnten durch Deliberate Practice maximal 26 % der Varianz in der Performanz erklärt werden. Künftig wird es deshalb Aufgabe der Forschung sein, nach weiteren Faktoren zu suchen, die neben Deliberate Practice interindividuelle Leistungsunterschiede erklären können.

2.5.4 *Methoden der Expertiseforschung*

Nicht für jeden Wissensbereich stehen – so wie beispielsweise mit dem Elo-Beurteilungssystem im Schach – objektive Kriterien zur Bewertung von Expertenleistungen zur Verfügung und die Anzahl an Beschäftigungsjahren ist kein verlässlicher Prädiktor für den erreichten Expertisegrad (Ericsson, 2006a). Die Untersuchung von Expertenleistungen stellt sich daher oft als schwierig heraus.

Inspiziert von der empirischen Methodik von de Groot (1978) und Chase und Simon (1973) formulierten Ericsson und Smith (1991) den *Expert Performance Approach*, bei dem es sich um ein systematisches, evidenzbasiertes methodisches Vorgehen zum Erfassen und Analysieren von Expertenleistungen handelt (Causer, Barach, & Williams, 2014). Anhand dieses Vorgehens ist es bereits in unterschiedlichen Wissensbereichen (z. B. Schach, Sport, Medizin) gelungen, Mechanismen zu ermitteln, auf denen Expertenleistungen basieren (Ericsson, 2005; Ericsson & Lehmann, 1996).

Dem Expert Performance Approach folgend sollte der Fokus auf der Identifikation reproduzierbarer Leistungen liegen, die die Expertise im interessierenden Wissensbereich im Kern ausmachen, nicht auf subjektiven Kriterien. Das Vorgehen beim Expert Performance Approach gliedert sich in drei Schritte. Im ersten Schritt geht es zunächst um die Operationalisierung von Expertise im zu untersuchenden Wissensbereich und um die Identifikation repräsentativer Aufgaben. Das heißt solcher Aufgaben, mit denen die Expertenleistung standardisiert und reliabel unter Laborbedingungen reproduziert werden kann. Ziel ist es, ein Set an Testaufgaben zu entwickeln, mit denen empirisch zwischen Experten und Novizen differenziert werden kann (Williams, Fawver, & Hodges, 2017).

In der Gefahrenwahrnehmungsforschung hat sich z. B. der Einsatz der klassischen Hazard Perception-Testaufgabe bewährt, um Expertenleistungen verlässlich abzubilden (vgl. Abschn. 2.2). Bei ange-

messener Gestaltung (vgl. hierzu Wetton et al., 2011, die verschiedene Gestaltungsprinzipien vorschlagen) übertreffen erfahrene Fahrer unerfahrene in ihren Leistungen in dieser Art von Aufgaben in der Regel deutlich (McKenna & Crick, 1994).

Anhand repräsentativer Aufgaben können in einem zweiten Schritt jene Prozesse und Mechanismen ermittelt werden, die die Leistungsunterschiede dieser zwei Extremgruppen bedingen. Hierzu wird während der Aufgabenausführung versucht, diese durch geeignete Messmethoden herauszufiltern. Für die Analyse stehen ganz unterschiedliche Methoden zu Verfügung (vgl. Williams et al., 2017). Zu den gängigen Methoden in der Expertiseforschung zählen z. B. Lautes Denken oder Blickbewegungsmessungen.

Auch in der Gefahrenwahrnehmungsforschung wird das Verfahren des Lauten Denkens (z. B. Borowsky, Oron-Gilad, & Parmet, 2010) angewandt oder Blickbewegungsmessungen z. B. in Kombination mit Reaktionszeitaufgaben durchgeführt (z. B. Huestegge et al., 2010; Malone & Brünken, 2014). So kombinierten Huestegge et al. (2010) sowie Malone und Brünken (2014) die Reaktionsaufgabe mit der Erfassung von Blickbewegungen, um erfahrungsabhängige Unterschiede in der Identifikation und Bewertung von Gefahrenreizen zu analysieren (vgl. Abschn. 2.1).

Abschließend geht es im dritten Schritt des Expert Performance Approach darum, Lernaktivitäten und Lernerfahrungen zu identifizieren, die die Voraussetzung für die Herausbildung der ermittelten Mechanismen und damit für die Entwicklung der Expertenleistungen im jeweiligen Wissensbereich sind, denn hieraus lassen sich Rückschlüsse für die Entwicklung von Trainingsinterventionen ziehen. Lernaktivitäten und -erfahrungen zu identifizieren ist notwendig *„to understand how experts became that way so that others can learn to become more skilled and knowledgeable.“* (Chi, 2006; S. 23). Mit anderen Worten: dieses Wissen hilft dabei, Interventionsmaßnahmen zu entwickeln, mit denen der Wissens- und Kompetenzerwerb von Novizen effektiv und effizient unterstützt werden kann.

Dass erfahrene Fahrer unerfahrenen in Bezug auf ihre Gefahrenwahrnehmungsfähigkeiten überlegen sind, hängt u. a. damit zusammen, dass sie über mehr gefahrenspezifisches Wissen verfügen, das in funktionalen mentalen Modellen organisiert ist. Durch diese sind sie in der Lage, Informationen in der Verkehrsumgebung effektiv und effizient zu verarbeiten und Hinweise auf kritische Ereignisse zuverlässig zu erkennen. In der regulären Fahrausbildung besteht Gefahrenlehre in der bloßen Vermittlung von Wissen über typische Gefahren im Straßenverkehr (vgl. Genschow & Sturzbecher, 2014). Vermittelt wird dieses Wissen in der Regel im Frontalunterricht. Studien zeigen aber, dass passives Rezipieren nicht zu verbesserten Gefahrenwahrnehmungsleistungen führt (McKenna & Crick, 1997; Meir, et al., 2014). Effektiver kann gelernt werden, wenn Lerner durch die Aufgabenstellung

gefordert sind, etwas aktiv zu tun; z. B. bei der Bearbeitung von Hazard Perception-Tests die Identifikation von Gefahren per Tastendruck anzuzeigen (vgl. auch Abschn. 2.3.7).

Beim Großteil der Expertisestudien handelt es sich um quasiexperimentelle Experten-Novizen-Vergleiche (Gruber, 2010); das trifft auch auf den Bereich der Gefahrenwahrnehmungsforschung zu (vgl. Moran, Bennett, & Prabhakaran, 2019). Experten und Novizen werden bei diesem kontrastiven Ansatz bei der Ausführung domänenspezifischer Aufgaben einander vergleichend gegenübergestellt. Durch den Vergleich beider Extremgruppen lassen sich Leistungsunterschiede im Querschnitt abbilden. Unter der Annahme, dass Novizen im untersuchten Wissensbereich denselben Entwicklungsverlauf haben werden wie die Experten, kann der kontrastive Vergleich beider Extremgruppen als Entwicklungsmodell dienen (Gruber, 1994). Mit dieser Methode kann zwar nicht genau bestimmt werden, ab wann sich im Verlauf der Expertiseentwicklung qualitative Unterschiede zwischen Novizen und Experten einstellen, es kann aber aufgezeigt werden, dass es erfahrungsabhängige Effekte gibt. Bedeutsame Unterschiede können auf Lern- und Reifungsprozesse, das heißt, auf Entwicklung schließen lassen. Merkmale, die in beiden Gruppen unterschiedlich ausgeprägt sind, können auf diese Weise identifiziert werden und als Ausgangspunkt für weitere Forschungsaktivitäten dienen. Insbesondere zur Beurteilung und Validierung von repräsentativen Aufgaben können Experten-Novizen-Vergleiche hilfreich sein. Aufgaben, in denen Experten durchgängig bessere Leistungen erzielen als Novizen, können als kriteriumsvalide gelten, weil diese die vom Aufgabenentwickler intendierten erfahrungsbezogenen Merkmale verlässlich erfassen.

Die Verwendung von Experten-Novizen-Vergleichen als Entwicklungsmodell ist jedoch nicht ganz unproblematisch (Gruber, 1994). Experten und Novizen unterscheiden sich typischerweise in vielerlei Hinsicht, nicht nur im untersuchten Merkmal. Die Tatsache, dass ein Unterschied gefunden werden konnte, rechtfertigt noch nicht den Schluss, dass der untersuchte Wissensbereich die zentrale Ursache für die Expertenleistung ist. Erhobene Maße könnten sowohl die Folge als auch Ursache für bessere Leistungen sein. Zudem können auch andere Faktoren Unterschiede im untersuchten Merkmal hervorgerufen haben. Außerdem handelt es sich bei Experten-Novizen-Vergleichen an sich um Korrelationsstudien. Auf Kausalzusammenhänge zwischen grundlegenden Eigenschaften von Experten und deren Performanz in experimentellen Aufgaben zu schließen, ist daher strenggenommen unangemessen.

Idealerweise müssten prospektive Längsschnittstudien zur Analyse der Entwicklung von Expertise durchgeführt werden. Allerdings stehen dem oft Probleme der praktischen Durchführbarkeit entgegen. Bei dieser Art von Studien werden Personenmerkmale wiederholt gemessen, um Entwicklungsverläufe nachvollziehen zu können. Es erfolgt also eine *echte* Veränderungsmessung. Da für das Erreichen von Expertise für die meisten Wissensbereiche des alltäglichen Lebens mehrere Jahre

angenommen werden, werden solche Studien relativ selten durchgeführt. Und wenn doch, dann handelte es sich in der Vergangenheit nicht selten um Fallstudien, bei denen eine Person über den Zeitraum der Expertiseentwicklung hinweg begleitet wurde. Ein Beispiel hierfür ist die Studie von Chase und Ericsson (1981) mit dem Probanden SF, der sich durch Übung innerhalb von zwei Jahren zum Experten im Zahlenspannentest entwickelte. Solche Untersuchungen werfen allerdings die Frage nach der Generalisierbarkeit der Befunde über derartige artifizielle Gegenstandsbereiche hinaus auf. Außerdem erreichen nur wenige Personen tatsächlich Expertenstatus und wer zu den wenigen zählen wird, ist zu Beginn der Datenerhebung ungewiss. Dennoch müssten für Längsschnittstudien genau diejenigen Personen für die Untersuchung ausgewählt worden sein, die später auch tatsächlich Expertenstatus erreichen. Ob eine Person zum Experten wird, hängt aber von vielerlei Faktoren ab; nicht zuletzt von der Motivation, sich über einen längeren Zeitraum mit dem untersuchten Gegenstandsbereich beschäftigen zu wollen. Annahmen hierüber im Vorhinein zu treffen, ist schwierig und eine richtige Entscheidung in Bezug auf die Auswahl von Probanden wohl deshalb auch eher Zufall.

Eine andere Möglichkeit, Entwicklungsverläufe zu analysieren, stellen Trainingsstudien dar; als eine Variante von Längsschnittdesigns. Bei Trainingsstudien werden die Leistungen von zwei anfänglich äquivalenten Probandengruppen zu mehreren Messzeitpunkten analysiert, das heißt, vor und meist mehrmals nach Absolvieren einer (Placebo-)Trainingsintervention, um so Aufschluss über die Entwicklung von Informationsverarbeitungsprozessen zu erhalten. Während eine dieser Teilnehmergruppen das *echte* Training erhält, wird der Kontrollgruppe ein Placebotraining oder kein Training zuteil. So lassen sich eventuelle Trainings- oder Lerneffekte ermitteln. Natürliche Entwicklungsverläufe lassen sich so jedoch nur bedingt abbilden, denn schließlich wird in die natürliche Entwicklung durch externe Interventionen eingegriffen (Gruber, 1994). Es handelt sich also eher um eine Kombination von Training und natürlicher Entwicklung. Bei der Entwicklung von Trainingsinterventionen fließen jedoch immer auch Annahmen über natürlicherweise gemachte Erfahrungen beim Expertiseerwerb mit ein, sodass sich hier ein Zirkularitätsproblem ergibt, weil sich letztlich nicht zweifelsfrei klären lässt, ob diese Annahmen auch zutreffend sind oder nicht. Trainingsstudien eignen sich daher gut, um die Effektivität von Interventionsmaßnahmen zu überprüfen. Die Möglichkeiten zur Analyse der Expertiseentwicklung sind jedoch eher begrenzt. Längsschnittstudien, die natürliche Expertiseentwicklungsverläufe erfassen, sind aussagekräftiger und hierfür daher letztlich unabdingbar (Gruber, 1994), werden aber selten durchgeführt.

2.6 Gefahrenwahrnehmung als komplexes Problemlösen

In der Expertiseforschung wird zwischen verschiedenen Arten von Problemen unterschieden, z. B. zwischen gut und schlecht definierten (Jonassen, 1997; Simon, 1973), die jeweils auch unter die Kategorie statisch oder dynamisch fallen können. Bei Problemen, wie sie häufig im Mathematik- oder Physikunterricht thematisiert werden, handelt es sich in der Regel um gut definierte, statische Probleme. Statisch deshalb, weil sie nicht in einer sich dynamisch ändernden Problemlösesituation bewältigt werden müssen. Bei dieser Art von Problemen gibt es eine begrenzte Anzahl an Lösungsmöglichkeiten und die Lösung ist entweder richtig oder falsch. Im Gegensatz dazu, sind bei schlecht definierten Problemen, wie sie oft im Alltag oder in der beruflichen Praxis bewältigt werden müssen, die Ziele häufig nicht klar und es gibt – wenn überhaupt – nicht nur eine richtige Lösung, sondern einige mehr oder weniger zufriedenstellende (vgl. van Merriënboer & Kirschner, 2007).

Während bei gut definierten Problemen in der Regel alle zur Lösung nötigen Informationen in der Aufgabenstellung entweder explizit oder implizit enthalten sind und somit vom Problemlöser erschlossen werden können, erfordert das Lösen komplexer dynamischer Probleme zunächst die Aneignung von Wissen (Greiff, Kretschmar, & Leutner, 2014). Informationen, die bei dieser Art von Problemstellungen benötigt werden, sind nicht vollständig vorhanden und müssen durch hypothesentestendes, gezieltes Eingreifen in die Problemsituation (z. B. gezielt nach Hinweisreizen für potentielle Gefahren suchen) selbst generiert und identifiziert werden. Das Identifizieren von Gefahren im Verkehrskontext oder das Erstellen medizinischer Diagnosen sind Beispiele für diese Art von komplexen, dynamischen Problemen.

Dörner, Kreuzig, Reither und Stäudel (1983) nennen Merkmale, die für Problemlösesituationen in solchen Domänen typisch sind (vgl. auch Dörner & Funke, 2017; Funke, 2012). Komplexe Problemlösesituationen zeichnen sich zum einen durch das Vorliegen einer Vielzahl an Variablen aus (Komplexität), die sich untereinander wechselseitig beeinflussen (Vernetztheit). Zum anderen ist Dynamik typisch für komplexe Problemlösesituationen. Einerseits ist damit die Eigendynamik der Problemlösesituation gemeint (auch wenn der Fahrer nicht reagiert und ins System eingreift, entwickelt sich die Verkehrssituation trotzdem weiter), andererseits die Dynamik, die durch das Eingreifen des Problemlösers ins System entsteht. Komplexe Problemlösesituationen zeichnen sich außerdem durch Intransparenz sowohl in Bezug auf beteiligte Variablen als auch hinsichtlich der Zielstellung aus. Das heißt, dem Problemlöser stehen in der Regel nicht alle zur Aufgabenausführung erforderlichen Informationen zur Verfügung. Darüber hinaus muss beim Lösen komplexer Probleme oft polytelisch gehandelt werden. Das heißt, es werden in der Regel mehrere Zielkriterien einbezogen. Ein Fahrer kann z. B. die Ziele verfolgen, schnell aber dennoch sicher am Ziel anzukommen. Solche zum Teil kontradiktorischen Zielkriterien müssen gegeneinander abgewogen und koordiniert werden.

Diese Art von Problemen stellt damit auch bestimmte Anforderungen an den Problemlöser (Greiff & Funke, 2010). Die unüberschaubare Menge an verfügbaren Informationen muss auf ein handhabbares Maß reduziert werden (Informationsreduktion). Um die vorliegende Situation verstehen zu können, ist die Entwicklung adäquater Situationsmodelle erforderlich (Modellbildung). Ausgehend von der aktuellen Situation und unter Einbezug der getroffenen Maßnahmen müssen Vorhersagen zu Entwicklungsverläufen gemacht werden (Prognose). Fehlende, aber zur Aufgabenlösung notwendige Informationen müssen vom Problemlöser aktiv gesucht und eingeholt werden (Informationssuche und -generierung). Und schließlich müssen Wertentscheidungen getroffen werden, um Zielkonflikte lösen und Ziele priorisieren zu können.

Eine Ausrichtung in der Problemlöseforschung, die sich damit beschäftigt, wie Personen unter natürlichen Bedingungen – das heißt unter solchen, die nicht ohne Weiteres im Labor nachgestellt werden können – Entscheidungen treffen, um Probleme zu lösen, sind *Naturalistic Decision Making* (NDM)-Ansätze (Klein, 1997). Ein Überblick über verschiedene NDM-Ansätze findet sich z. B. bei Lipshitz (1993) oder Salvendy (2012). Ziel dieser Ansätze ist es zu verstehen, wie Experten in komplexen, kognitiv anspruchsvollen, oft risikoreichen, realen Situationen Entscheidungen treffen; so z. B. im militärischen Kampfeinsatz, bei der Luftverkehrsüberwachung oder bei der Versorgung medizinischer Notfälle. Die genannten Beispiele eint, dass Entscheidungen unter Zeitdruck und unter sich permanent ändernden Bedingungen getroffen werden müssen. In solchen Situationen sind die Ziele oft nicht klar und es liegen in der Regel nicht alle Informationen vor, die für das Treffen optimaler Entscheidungen erforderlich wären.

Experten sind in solchen Situationen in der Regel die besseren Entscheider, weil sie Dinge in ihrer Umgebung wahrnehmen können, die Novizen nicht auffallen (Klein, 2015). Sie erkennen Zusammenhänge (Muster), die Novizen aufgrund mangelnden Wissens verborgen bleiben. Diese Fähigkeit hilft Experten nicht nur dabei, qualifiziertere Entscheidungen zu treffen, sondern versetzt sie auch in die Lage, diese schneller fällen zu können als Novizen.

Viele Entscheidungen, die Experten treffen, erfolgen weitgehend unbewusst und intuitiv (Klein, 1998). Ein Modell aus dem Bereich des NDM, das erklären kann, wie Entscheidungen rasch gefällt werden können, ohne dass verschiedene Entscheidungsmöglichkeiten erst aufwendig abgeglichen werden müssen, ist das *Recognition-Primed Decision* (RPD)-Modell von Klein (1993).

Im RPD-Modell werden zwei sich ergänzende Prozesse unterschieden: Situationsbewertung und mentales Simulieren. Während die Situationsbewertung dazu dient, eine plausible Vorgehensweise zu identifizieren, dient mentales Simulieren dazu, dieses Vorgehen vor dessen Umsetzung nach Machbarkeitsgesichtspunkten zu überprüfen. Die Arbeiten von Klein und Kollegen stützten sich unter

anderem auf Beobachtungen und Interviewdaten von Feuerwehrkommandanten und deren Reaktionen bei hochriskanten Einsätzen (Klein, Calderwood, & Clinton-Cirocco, 1986, 2010). Zentral ist die Beobachtung, dass Entscheidungen häufig nicht auf der Basis des Wählens zwischen verschiedenen Handlungsalternativen getroffen werden, sondern vielmehr eine Einschätzung der vorliegenden Situation vorgenommen und auf der Basis dieser Einschätzung eine plausible Option gewählt wird. Dieses Vorgehen wird als *Recognition-Primed Decision Making* bezeichnet und ist deshalb effektiv, weil auf implizites Wissen zurückgegriffen wird (Klein et al., 1986). Der Vorteil ist, dass nicht jeder Hinweisreiz einzeln berücksichtigt und in einem kognitiv aufwendigen Prozess integriert werden muss, um zu einer Situationsbewertung zu gelangen. Jahrelange Erfahrung macht es möglich, dass kritische Hinweisreize, die eine Gefahrensituation konstituieren, quasi direkt als ein Zeichen (bzw. als kohärentes Muster) wahrgenommen und automatisch klassifiziert werden können (z. B. Bahnschienen und eine Haltestelle können auf querende Fußgänger schließen lassen). In der Folge kann eine Reaktion oder Handlung, die sich in ähnlichen Situationen bereits als effektiv erwiesen hat (z. B. nach Personen Ausschau halten und bremsbereit sein bzw. Geschwindigkeit reduzieren) unmittelbar bzw. automatisch und somit ohne kognitiven Aufwand erfolgen. Die eine Option, die zunächst identifiziert wurde, wird durch mentales Simulieren evaluiert und so beurteilt, ob sie in der aktuell vorliegenden Situation erfolgreich funktionieren würde. Wird die angedachte Lösung als angemessen empfunden, wird sie umgesetzt. Stellt sich heraus, dass sie unangemessen ist, wird sie modifiziert. Ist eine Modifikation nicht rasch möglich, wird die nächst plausibelste Lösungsmöglichkeit im Geist auf ihr Funktionieren durchgespielt. Dieser Vorgang wiederholt sich so lange, bis eine zufriedenstellende Lösung für das vorliegende Problem gefunden wurde. Somit müssen nicht alle möglichen Handlungsoptionen berücksichtigt werden, was ein entscheidender Vorteil ist, wenn Entscheidungen schnell und unter unsicheren bzw. sich dynamisch ändernden Bedingungen getroffen werden müssen.

Die Strategie des Recognition-Primed Decision Making konnte für eine Vielzahl an Wissensbereichen repliziert werden (für einen Überblick siehe Klein, 1998). Klein et al. (1998) schlussfolgern, dass diese Art des Entscheidens eine allgemeine und sehr häufig angewandte Strategie ist und ein Abwägen verschiedener Optionen in komplexen Situationen relativ selten vorgenommen wird. Je erfahrener der Entscheider und je höher Zeitdruck und Dynamik der Problemlösesituation, desto eher wird recognition-primed und damit intuitiv entschieden. Analytische Entscheidungen hingegen überwiegen bei Problemen mit abstrakten Daten und wenn Entscheidungen gerechtfertigt werden müssen.

Erfahrene Fahrer prüfen jede Situation im Verkehr schnell und oft weitgehend unbewusst auf das Vorliegen bestimmter Gefahrenhinweisreize ab. In komplexen Problemlösesituationen, wie beim Autofahren, in denen Gefahren erkannt, vermieden und abgewendet werden müssen, um sich unfallfrei durchs Verkehrssystem zu bewegen, findet in der Regel kein Eins-zu-eins-Musterabgleich

statt. Es ist vielmehr so, dass der Entscheider bestimmte Hinweisreize oder Situationsmerkmale, die ihm aus früheren Erfahrungen mit brenzligen Situationen bekannt sind, wiedererkennt. Ross, Lussier und Klein (2005) unterscheiden beim Prozess des Wiedererkennens (engl. *Rekognition*) vier Routinen: *Cue Recognition* (das Wiedererkennen von Situationsmerkmalen), *Generation of Expectancies* (das Bilden von Erwartungen), *Identification of relevant Goals* (das Identifizieren relevanter Ziele), *Recognition of typical Actions* (das Erkennen typischer Aktionen).

Im Straßenverkehr als komplexem System existieren unzählige Kombinationsmöglichkeiten von Hinweisreizen und Situationsmerkmalen. Bestimmte Situationen sind dabei stärker mit bestimmten Hinweisreizen assoziiert, das heißt, deren Auftrittswahrscheinlichkeit ist in manchen Situationen größer (höhere Typizität). Das Erkennen von typischen Hinweisreizen (z. B. am Straßenrand geparkte Pkw) ist unmittelbar mit handlungsleitenden Zielen (z. B. nach Personen Ausschau halten, die zwischen den PKW auftauchen könnten), sowie Handlungen (z. B. Geschwindigkeit reduzieren) oder Handlungssequenzen (z. B. Geschwindigkeit reduzieren und seitlichen Abstand zu Pkw vergrößern) verknüpft, die für eine solche Situation typisch sind. Der Fahrer beobachtet die verschiedenen Situationsmerkmale und Hinweisreize fortlaufend und überprüft, ob seine Erwartungen (z. B. Person betritt Fahrbahn) eintreten. Da keine Verkehrssituation gleich einer anderen ist, müssen vom Fahrer kritische Situationsmerkmale und Hinweisreize immer wieder in neuen Kombinationen erkannt und bewertet werden; müssen unterschiedliche Vorerfahrungen zusammengeführt werden, um neuartige Situationen angemessen deuten zu können.

Den Ausführungen von Ross et al. (2005) folgend, entwickeln erfahrene Fahrer gedanklich ein Szenario, in dem die verschiedenen Hinweisreizkonfigurationen integriert werden und Fahrer sich so plausibel erklären, weshalb die vorliegende Situationen entstanden ist und antizipieren, wie sich die Situation voraussichtlich weiterentwickeln wird. Passt dabei ein Aspekt nicht zur Erwartung, wird das Szenario gegebenenfalls geändert und angepasst. Sobald die kritische Situation hierdurch hinlänglich eingeschätzt ist, wird eine Handlung bestimmt, die in der vorliegenden Situation erfolgversprechend erscheint, um eine potentielle Gefahrensituation abzuwenden. Um sichergehen zu können, dass die gewählte Handlung zum Erfolg führt, wird durch den Prozess des mentalen Simulierens zunächst die Anwendbarkeit dieser überprüft. Kann hierbei festgestellt werden, dass die gewählte Handlungsoption zu einer zufriedenstellenden Lösung in dieser Situation führt, entscheidet sich der Fahrer für dieses Vorgehen und setzt das entsprechende Verhalten in die Tat um.

2.7 Zusammenfassung

Expertenhaftes Verhalten basiert auf umfangreichem, gut organisiertem und flexibel einsetzbarem Wissen. Teil der Wissensbasis ist nicht nur Faktenwissen, sondern auch Wissen über Kausalzusammenhänge zwischen den einzelnen Wissens-elementen. Hinweisreize und Situationsmerkmale sind mit bestimmten Erwartungen, Zielen und spezifischen Handlungen verknüpft. Dieses situationsspezifische Wissen sowie die entsprechenden Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge sind in mentalen Modellen organisiert, die für einen bestimmten Wissensbereich gelten. Der Aufbau domänenspezifischer mentaler Modelle sowie deren zunehmende Ausdifferenzierung ist deshalb Ziel von Trainingsinterventionen (Horswill, 2016a). Rouse und Morris (1985) definieren mentale Modelle als „*mechanisms whereby humans are able to generate descriptions of system purpose and form, explanations of system functioning and observed system states, and predictions of future states*“ (S. 7). Mentale Modelle sind demnach internalisierte Repräsentationen von Sachverhalten der Außenwelt, die zur Interaktion mit der Umwelt genutzt werden.

Für die Entwicklung von Trainingsinterventionen lassen sich aus der Expertise- und Problemlöseforschung wesentliche Erkenntnisse ableiten. Entscheidend bei der Kompetenzentwicklung hinsichtlich der Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung ist einerseits, dass umfangreiches Wissen zu potentiell gefährlichen Verkehrssituationen erworben wird. Es sollten demnach möglichst viele verschiedene Gefahrensituationen erfahren werden. Andererseits ist es aber auch entscheidend, dass diese Informationen so gelernt und im Gedächtnis verankert werden, dass sie im Anwendungsfall möglichst schnell und zuverlässig abgerufen werden können. Hierfür müssen Informationen so gespeichert werden, als wären sie im Anwendungskontext erworben worden. Faktenwissen dekontextualisiert zu vermitteln, führt häufig zum Entstehen von trägem Wissen (Renkl, 1996). Solches Wissen kann zwar meist angewendet werden, wenn explizit danach gefragt wird, wird aber in der Regel nicht spontan beim Lösen alltagsnaher Probleme eingesetzt.

Relevantes Wissen, das Lerner in die Lage versetzt, angemessene Entscheidungen treffen zu können, sollte demnach in der Auseinandersetzung mit authentischen Problemstellungen bzw. im realen Anwendungskontext erworben werden können (Brown et al., 1989). Das heißt in Kontexten, in denen dieses Wissen später auch angewendet werden soll. Solches Wissen im theoretischen Fahrschulunterricht zu vermitteln reicht nicht aus, denn so Ross et al. (2005) „*Knowing about pattern and using pattern are two different types of knowledge. Because the routines of expert decision making are not verbally encoded, one cannot “learn about” decision making to increase expertise. One must practice making decision.*“ (S. 330). Das heißt, dass das frühzeitige Erkennen von Hinweisreizen sowie die damit verbundenen Erwartungen, Ziele und Handlungsmöglichkeiten, aber auch das mentale Durchspielen von Optionen situiert und kontextgebunden trainiert werden sollte.

Die Fähigkeit, potentielle Gefahren frühzeitig zu erkennen und angemessene Entscheidungen im Umgang mit diesen treffen zu können, hängt aber nicht nur von der Vielzahl erlebter Gefahren und vom Kontextbezug beim Lernen ab. Fahrer können schon jahrelang aktiv am Straßenverkehr teilgenommen und vielfältige Erfahrungen gesammelt haben und dennoch durch kurze Trainingsinterventionen deutliche Verbesserungen in ihren Gefahrenwahrnehmungsleistungen erzielen (Horswill et al., 2013). Autofahren ist einer der Wissensbereiche, in denen die Akteure wenig informatives Feedback zur eigenen Leistung erhalten (Horswill, 2016b), weshalb Lernprozesse einerseits relativ langsam vonstattengehen und wodurch andererseits Fehlkonzepte zum eigenen Können begünstigt werden (Horswill, Garth, Hill, & Watson, 2017). Studien zeigen, dass die eigenen Fähigkeiten in Bezug auf die Gefahrenwahrnehmung im Vergleich zum Durchschnittsfahrer überhöht eingeschätzt werden (Horswill et al., 2013) und die subjektiv eingeschätzte mit der im Hazard Perception-Test objektiv erbrachten Leistung nullkorreliert ist (Farrand & McKenna, 2001). Das heißt, Fahrer haben Schwierigkeiten, ihre eigenen Leistungen angemessen einzuschätzen.

Informatives Feedback kann helfen, die im Straßenverkehr gesammelten Erfahrungen zu reflektieren sowie das eigene Verhalten kritisch zu hinterfragen und so die eigene Fahrperformanz zu verbessern. Ohne Anleitung durch Experten wird es in der Regel nicht gelingen, die eigenen Erfahrungen zu reflektieren und jene Informationen zu betrachten und zusammenzuführen, die für ein tiefes Verstehen der vorliegenden Situation relevant sind. Folglich würden bedeutungsvolle Zusammenhänge unerkannt und unverstanden bleiben und das eigene Wissen und Können nicht erweitert und verbessert werden können. Fahrhandlungen würden unter diesen Umständen zwar zunehmend automatisiert bzw. routinisiert, reflexive oder adaptive Expertise aber nicht weiter gefördert werden. Die Unterscheidung zwischen routinierter und adaptiver Expertise – zwei Ausprägungen von Expertise, die sich aufgrund unterschiedlicher Erfahrungsbildung entwickeln – schlugen Hatano und Inagaki (1986) vor. Holyoak (1991) verweist in dem Zusammenhang auf die Unterscheidung zwischen bloßem Erwerb von Fertigkeiten und *echter* Expertise. Routinierte Experten sind außerordentlich gut darin, ähnliche Probleme in ihrem Wissensbereich schnell und fehlerfrei zu lösen, verfügen aber nur über begrenzte Fähigkeiten, neuartige Probleme zu bewältigen. Adaptive Expertise hingegen befähigt Experten nicht nur dazu, prozedurale Fertigkeiten effektiv und effizient auszuführen, sondern auch dazu, neue Strategien im Umgang mit Problemen anzuwenden.

Mit der Festlegung auf die GDE-Matrix (Hatakka et al., 2002) als theoretischem Rahmenmodell hat man sich in Europa auf eine Neuorientierung in der Fahrausbildung verständigt. Ergänzend zum klassischen Ausbildungsziel des motorischen Fahrenkönnens sollen künftig komplexere Ziele, die eine reflektierte und situationsangepasste Fahrweise sicherstellen, stärker in der Fahrausbildung berücksichtigt werden. Die GDE-Matrix verdeutlicht, dass das Fahrverhalten auch von übergeordneten

Faktoren, wie individuellen Werthaltungen, den persönlichen Fahrzielen oder dem Fahrkontext beeinflusst wird. Dementsprechend soll in der Fahrausbildung nicht mehr nur Wissen und Können in Bezug auf regelorientiertes Fahren im Fokus stehen, sondern mit Lernzielen, wie dem Erwerb adäquater Werthaltungen und angemessener Selbsteinschätzung vor allem auch die Entwicklung selbstreflexiver Kompetenzen gefördert werden (Reinmann & Vohle, 2009).

Studien zum Konzept des Deliberate Practice zeigen, dass gezieltes und wiederholtes Üben, angeleitet durch einen Domänenexperten, für die Entwicklung adaptiver Expertise nötig ist (vgl. Abschn. 2.5.3). Sein Wissen erlaubt es dem Experten (beim Fahrenlernen in der Regel der Fahrlehrer oder die Eltern) Einzelheiten oder Zusammenhänge aufzuzeigen, die dem Lerner andernfalls nicht bewusst werden würden. Ohne gezieltes Üben, das den Lerner ständig aufs Neue herausfordert, die eigenen Annahmen zu hinterfragen und zu überprüfen, kann tiefes Verstehen von strukturellen Zusammenhängen im zu trainierenden Wissensbereich unerreicht bleiben. Lerner würden sich auf altgediente Problemlösestrategien stützen, und auf solche wie sie typischerweise bei Novizen beobachtbar sind, das heißt, bevorzugt Oberflächenmerkmale zur Lösung neuartiger Problemen heranziehen (Chi et al., 1981). Anleitung oder Feedback kann dabei keinesfalls nur durch Personen bereitgestellt werden, sondern auch in Form instruktionaler Hilfen als Teil von computerbasierten Lernumgebungen. So hat sich z. B. gezeigt, dass durch Verständnisfragen (*Prompts*), die durch ein Lernsystem gestellt werden, Reflexion gefördert werden kann (Atkinson, Renkl, & Merrill, 2003).

Als Voraussetzung für den Erwerb des Führerscheins ist in Deutschland die Teilnahme am Theorie- und Praxisunterricht in der Fahrschule gesetzlich vorgeschrieben. Beide Ausbildungsteile sind nach §5 der Fahrschüler-Ausbildungsordnung in ihrer Konzeption aufeinander bezogen und inhaltlich miteinander zu verzahnen (FahrschAusbO, 2012; S. 3). Gefahrenlehre bezieht sich in der regulären Fahrausbildung in der Regel auf die bloße Vermittlung von Wissen über typische Gefahren im Straßenverkehr (Genschow & Sturzbecher, 2014). Handlungswissen kann so kaum erworben werden. Diesem Problem kann durch den Einsatz von computerbasierten Lehr-Lerntechnologien entgegengewirkt werden, durch die es möglich ist, schwer artikulierbares Wissen und Können in authentischen Kontexten zu vermitteln. Hierdurch könnte auch die geforderte stärkere Verzahnung zwischen Theorie und Praxisunterricht in der Fahrausbildung erreicht werden (Krüger, 2010). Beispiele für Lernanwendungen gibt es viele. In ihrer Gestaltung unterscheiden sich diese aber zum Teil sehr deutlich voneinander und die empirische Evidenz in Bezug auf eine unfallverringende Wirkung ist rar. Es stellt sich deshalb die Frage, wie computerbasierte Lernumgebungen gestaltet sein sollten, um Lernprozesse optimal zu fördern und zu steuern sowie den Erwerb selbstreflexiver Kompetenzen bestmöglich zu unterstützen. Eine Frage, die in den Bereich der Instruktionspsychologie fällt.

3 Theoretischer Hintergrund: Instruktionsdesign

Als ein Teilbereich der Pädagogischen Psychologie befasst sich die Instruktionspsychologie (Ewert, 1992) damit, wie Lernprozesse optimal gefördert werden können (Driscoll, 2005; Mayer, 2010). Aus der Instruktionsforschung lassen sich daher Prinzipien zur Gestaltung und Bereitstellung von Instruktion ableiten (Clark & Mayer, 2016). Die Auffassungen darüber, wie optimal gelernt werden kann oder wie Lernprozesse bestmöglich unterstützt werden können, haben sich mit der Zeit verändert. Mayer (1992) nennt drei lerntheoretische Ausrichtungen, die die Vorstellungen vom Lehren und Lernen in den letzten 70 Jahren beeinflusst haben. Unter der behavioristischen Perspektive wurde Lernen als Erwerb spezifischer Verhaltensweisen betrachtet, unter kognitiver als Erwerb von Wissensstrukturen und Vertreter des Konstruktivismus fassen Lernen als aktive Konstruktion von Wissen auf. Lehr-Lerntheorien spiegeln sich in der Gestaltung von Instruktion wider (Duffy & Jonassen, 1992). Mit jeder dieser drei Perspektiven änderten sich auch die Instruktionsmethoden und Instruktionsdesignmodelle. Computerbasierte Instruktion spielte in allen drei Paradigmen eine Rolle (Issing, 2004).

3.1 Lehr-Lerntheoretische Ausrichtungen

Unter der behavioristischen Perspektive wurde der Lerner als „Black-Box“ aufgefasst, deren Inneres der wissenschaftlichen Untersuchung als unzugänglich galt (vgl. Gessler, 2009). Mentale Prozesse wurden als nicht notwendig zur Erklärung von Lernprozessen erachtet und blieben daher unberücksichtigt (Schunk, 2012). Es galt die Auffassung, dass sich Lernfortschritte in Verhaltensänderungen widerspiegeln. Folglich bezogen sich Lehr-Lernziele auf beobachtbares Verhalten (Leutner, 2010).

Verhaltensänderungen wurden als Folge des Reagierens auf Umgebungsreize betrachtet. Für Skinner galt die Verstärkung (*Reinforcement*) eines Verhaltens durch die Umwelt als zentrales Element, denn hierdurch kann die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Verhaltens beeinflusst und Lernprozesse so systematisch gesteuert werden. Durch angenehme Konsequenzen kann ein Verhalten positiv, durch das Ausbleiben unangenehmer Konsequenzen negativ verstärkt werden und so dessen Auftretenswahrscheinlichkeit gefördert oder gemindert werden (Skinner, 1965).

Skinner's Überlegungen zum operanten Konditionieren fanden ihre Umsetzung in einer Unterrichtstechnologie – den sogenannten Lehrmaschinen (engl. *Teaching Machines*), die von ihm als Antwort auf gegenwärtige pädagogische Probleme entwickelt wurden (Skinner, 1958) und die die Grundlage für den Programmierten Unterricht bildeten (McDonald, Yanchar, & Osguthorpe, 2005). Programmierter Unterricht als ein klassisches Beispiel aus dem Bereich der Instruktionspsychologie (Ewert, 1992)

bezeichnet eine Art von Lernprogrammen, die häufig zur Aneignung von großen Mengen an Faktenwissen eingesetzt werden (Brünken, Münzer, & Spinath, 2019). Im Vordergrund bei der Entwicklung dieser Art von Instruktion stand die Frage *was* gelernt werden soll. Das spiegelt sich u. a. in der Entwicklung von Lehrziel-Taxonomien zur Instruktionsplanung wider (van Merriënboer & Kirschner, 2001). Auch heute noch werden Lernanwendungen genutzt, die nach dem Vorbild des Programmierten Unterrichts entwickelt worden sind (Schunk, 2012). Computerbasierte Trainingsprogramme, die Fahrschülern zur Vorbereitung auf die Theoretische Führerscheinprüfung zur Verfügung stehen, sind ein Beispiel hierfür.

Mit der Kognitiven Wende in den 1960 Jahren änderte sich der Fokus in der Instruktionspsychologie. Während im Behaviorismus Instruktion auf die Förderung von Verhaltensweisen ausgerichtet war, rückten unter der kognitionspsychologischen Perspektive stärker individuumsinterne Prozesse des Wissenserwerbs und des Problemlösens in den Vordergrund (Schaumburg & Issing, 2004). Lernen wird als Informationsverarbeitungsprozess verstanden, durch den komplexe kognitive Wissensstrukturen, wie Schemata oder mentale Modelle erworben werden. Verhaltensänderungen sind die Folge dieser internen Informationsverarbeitungsprozesse. Lernprozesse werden nicht mehr über die Gestaltung von Reizsituation und Konsequenz gesteuert, sondern nun vornehmlich durch instruktionale oder tutorielle Unterstützung beeinflusst (Leutner, 2010). Damit galt das Forschungsinteresse zunehmend Methoden, die der Unterstützung und Aufrechterhaltung von Informationsverarbeitungsprozessen dienen (Brünken et al., 2019). Das behavioristische Lehrprogrammen zugrundeliegende Instruktionsprinzip des Auswendiglernens wird unter kognitivistischer Perspektive abgelöst von der Idee des verstehenden Lernens (Schaumburg & Issing, 2004).

Die Beobachtung des häufigen Entstehens von trägem Wissen führte schließlich zur Entwicklung konstruktivistischer Ansätze. Träges Wissen meint solches Wissens, das zwar in der Ausbildung gelernt wurde, aber beim Problemlösen in der Praxis nicht angewendet wird (Renkl, 1996), weil es durch fehlenden Anwendungsbezug nicht in bestehendes Vorwissen integriert werden konnte und damit zu wenig vernetzt und zusammenhangslos vorliegt (Gerstenmaier & Mandl, 1995). Vertreter konstruktivistischer Ansätze kritisierten die durch Objektivisten vertretene Annahme, dass Wissen eins zu eins vom Lehrenden auf den Lerner übertragen werden könne und wenden ein, dass der Lerner Wissen auf der Basis seiner gemachten Erfahrungen selbst aktiv konstruiert und dass Wissen durch die Auseinandersetzung mit der Mit- und Umwelt immer wieder neu erzeugt wird (Schaumburg & Issing, 2004). Objektives Wissen gibt es folglich nicht, nur intersubjektiv geteiltes. Dementsprechend wird die reine Wissensvermittlung im Sinne direkter Instruktion als wenig zielführend erachtet (Reinmann, 2011). Vielmehr müssten Aspekte der Interaktion stärker in Lehransätzen berücksichtigt werden (Law & Wong, 1996).

Lernen besteht nach konstruktivistischer Auffassung nicht in der Aufnahme von Informationen, sondern findet durch die Interpretation dieser statt. Da dekontextualisiertes Lernen zu mangelndem Transfer führt (Resnick, 1989), sollte Lernen immer situiert erfolgen. Das heißt, gelernt wird mit authentischen, lebensnahen und ganzheitlichen Problemstellungen, die in variierenden Kontexten und aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtend dargeboten werden (Ertmer & Newby, 1993). Komplexitätsreduktion ist bei der Erstellung von Lernumgebungen nicht das Ziel. Im Vordergrund steht die Authentizität der Lehrsituation, womit eine möglichst hohe Übereinstimmung zwischen der Lernsituation und realen Problemstellungen gemeint ist. Aus dem vorrangigen Lehr-Lernziel konstruktivistischer Instruktionstheorien – nämlich den Lerner weitgehend zum selbständigen Lernen und Problemlösen zu befähigen (Leutner, 2010) – ergeben sich auch veränderte Rollen von Lehrenden und Lernenden; weg von einer Lehrerzentriertheit hin zu vermehrter Lernerzentrierung sowie weg von der Idee des eher passiven Wissensrezipienten hin zum aktiv handelnden Lerner. Der Lehrende unterstützt, berät und regt Lernprozesse an und führt in seiner Funktion den Lerner an Vorgehensweisen heran, wie sie für Experten typisch beim Lösen von domänenspezifischen Problemen sind (Brünken et al., 2019). Vorherrschendes Instruktionsprinzip sind offene Lernumgebungen.

Den Konstruktivismus im Sinne einer einheitlichen Ausrichtung gibt es nicht; vielmehr existieren verschiedene Varianten, die ihren Ursprung in unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen haben (vgl. Pörksen, 2011). Im Instruktionsdesign finden sich konstruktivistische Ideen in Ansätzen wieder, die unter dem Begriff Situiertes oder Problembasiertes Lernen (Lipowsky, 2009) zusammengefasst und unter Bezeichnungen, wie Entdeckendes Lernen, Forschungsorientiertes Lernen, Fallbasiertes Lernen, Projektbasiertes Lernen oder Erfahrungsorientiertes Lernen geführt werden. Einen umfassenden Überblick über die prominentesten Ansätze geben Brünken et al. (2019). All diese Instruktionsdesignansätze wären prinzipiell für das Vorhaben der Gestaltung einer computerbasierten Lernanwendung zur Vermittlung von fahrspezifischen Kompetenzen geeignet, weil sie authentische Lernaufgaben ins Zentrum der Lernumgebung stellen, um den Erwerb von Handlungswissen zu fördern. Bevor die Festlegung auf ein Instruktionsdesignmodell und die Begründung dafür erfolgt, soll zunächst einmal geklärt werden, was unter Instruktionsdesign verstanden wird.

3.2 Instruktionsdesign und Instruktionsdesignmodelle

Unter Instruktion wird mit Reigeluth und Carr-Chellman (2009b) all das verstanden „*that is done purposely to facilitate learning.*“ (S. 6). Sie fassen damit all jene Methoden hierunter zusammen, die dem Zweck dienen, Lernprozesse zu fördern. Damit schließt die Definition traditionelle Formen, wie die direkte Unterweisung ebenso ein, wie konstruktivistische Methoden. Die Gestaltung effektiver multimedialer Instruktion sollte nach Clark und Mayer (2016) evidenzbasiert sein und sich an Befunden

aus der Lehr-Lern- bzw. Instruktionsforschung orientieren, denn diese befasst sich mit der Optimierung von Lernprozessen (Driscoll, 2005; Mayer, 2010) und liefert Antworten auf Fragen zur Entwicklung, Gestaltung und Bereitstellung von Instruktion (Clark & Mayer, 2016).

Der Begriff Instruktionsdesign (engl. *Instructional Design*) wurde von Glaser (1962) eingeführt, der sich hierbei auf theoretisch fundierte Gestaltungsprinzipien bezog (zitiert nach van Merriënboer & Boot, 2009). Als Instruktionsdesign wird eine wissenschaftlich-technologische Teildisziplin der Pädagogischen Psychologie bezeichnet, die sich mit dem Prozess der sorgfältigen und systematischen Planung und Gestaltung von Lernumgebungen auseinandersetzt (Niegemann, Domagk, Hessel, & Hein, 2008a). Das Resultat sind Theorien und Modelle, auf die sich Praktiker bei der Konzeption und Entwicklung von Lernumgebungen stützen können (Seufert & Euler, 2005). Folglich wird unter einer Instruktionsdesigntheorie ein Modell verstanden „*that offers explicit guidance on how to better help people learn and develop.*“ (Reigeluth, 1999; S. 5). Instruktionsdesigntheorien geben einerseits Empfehlungen zu Instruktionmethoden und spezifizieren andererseits Lernsituationen, unter denen der Einsatz dieser Methoden als angemessen oder unangemessen gelten kann. Sie stellen damit Handlungswissen für das Treffen pädagogischer Entscheidungen bereit (Brünken et al., 2019).

Instruktionsdesignmodelle gehen auf Gagné (1965, 1985) zurück, der als einer der ersten Autoren mit seinen *Conditions of Learning* eine bestimmte Abfolge von Lehrschritten nennt, die innere und äußere Lernbedingungen kennzeichnen und notwendig für das Erlernen verschiedener Fähigkeiten sind (vgl. Niegemann, Domagk, Hessel, & Hein, 2008b). Mittlerweile existiert eine unüberschaubare Anzahl an Modellen (vgl. van Merriënboer, Gros, & Niegemann, 2018), die sich unter anderem dahingehend unterscheiden, ob sie als Überblicksmodelle den gesamten Gestaltungsprozess von Lernumgebungen (auch *Instructional System Design* (ISD)-Modelle genannt) in den Blick nehmen oder wie etwa die *Ten Steps of Complex Learning* (van Merriënboer & Kirschner, 2007, 2018) nur Teilbereiche dieses Gestaltungsprozesses fokussieren (van Merriënboer, 1997). Unter dem Begriff *Instructional Design*-Theorien fassen Reigeluth und Carr-Chellman (2009b) sechs Hauptrichtungen an Instruktionsdesign-Modellen zusammen, die sich jeweils auf unterschiedliche Aspekte des Instructional Design-Prozesses beziehen; nämlich auf *Event, Analysis, Planning, Building, Implementation* und *Evaluation*. Um diese Einteilung zu veranschaulichen und zu erläutern, stellen die Autoren einen Vergleich mit dem Bau von Gebäuden an, bei dem unter Einbezug von Architektur- (Event Theory) und Planungstheorien (Analysis Theory) vom Architekten zunächst Entwürfe und Baupläne (Planning Theory) erstellt werden. Letztere werden von Handwerkern und Baufachleuten in entsprechende Gebäude umgesetzt (Building Theory). Der Eigentümer wiederum nutzt die Immobilie (Implementation Theory) und kann auf der Basis gemachter Erfahrungen Aussagen zur Funktionalität des Gebäudes machen (Evaluation Theory). Einen umfassenden Überblick über die verschiedenen Instruktionsdesign-Modelle geben die von Reigeluth

herausgegebenen Buchbände (Reigeluth, 1983, 1987, 1999; Reigeluth, Beatty, & Myers, 2017; Reigeluth & Carr-Chellman, 2009a).

Um von dem zu lehrenden Sachgegenstand zu einer Lerneinheit zu gelangen, sind Entscheidungen darüber notwendig, welche Informationen, wie, wann und in welcher Reihenfolge vermittelt werden sollen. Die Frage nach der Lehrstoffaufbereitung und -sequenzierung wird von verschiedenen Modellen unterschiedlich beantwortet (Brünken, 2019). Als eines der neueren Modelle wird derzeit das 4C/ID-Modell häufig für die Gestaltung von Lernumgebungen zur Vermittlung komplexer dynamischer Lerngegenstände diskutiert und eingesetzt. Die Gründe hierfür werden im nachfolgenden Abschnitt näher erläutert.

3.3 Four-Component Instructional Design (4C/ID)-Modell

Beim 4C/ID-Modell handelt es sich um eines der international am meisten beachteten und wissenschaftlich gut fundierten ID-Modelle (Niegemann & Niegemann, 2018). Es basiert auf pädagogisch-psychologischen Theorien zum Lehren und Lernen und mit der *Cognitive Load Theory* (CLT; Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011) auf einer der aktuellen Informationsverarbeitungstheorien.

Das 4C/ID-Modell ist ein Instruktionsdesignansatz, der für die Vermittlung komplexer Problemlösekompetenzen konzipiert worden ist (van Merriënboer, 1997; van Merriënboer, Jelsma, & Paas, 1992; van Merriënboer & Kirschner, 2007, 2018). Der Fokus dieses Ansatzes liegt mithin auf der Vermittlung von Handlungswissen. Die Vermittlung theoretischen Wissens spielt insofern eine untergeordnete Rolle, als dass Theoriewissen ausschließlich im Kontext der Ausführung der Gesamtaufgabe gelernt wird und eben nicht um seiner selbst willen im Vorhinein, um es zu einem späteren Zeitpunkt zur Anwendung zu bringen (Niegemann et al., 2008b).

Für strukturell ähnliche Wissensbereiche, wie die evidenzbasierte Medizin beispielsweise, in der Problembasiertes bzw. -orientiertes Lernen eine lange Tradition hat (Boshuizen, 2009), wurde das 4C/ID-Modell als geeignete Design-Grundlage für die Konzeption und Gestaltung von Lerneinheiten vorgeschlagen (Janssen-Noordman, van Merriënboer, van der Vleuten, & Scherpbier, 2006; Verheyden, Handgraaf, Demirci, & Grüneberg, 2011) und bereits erfolgreich in Trainingsanwendungen umgesetzt (Pittenger & Olson-Kellogg, 2012; Steinbauer, Debus, Torsello, Steinbauer, & Adili, 2016; Susilo, van Merriënboer, van Dalen, Claramita, & Scherpbier, 2013; Vandewaetere et al., 2015). Zur Entwicklung von Lernumgebungen für die Vermittlung von Fahrkompetenz hingegen wurde dieser Instruktionsdesignansatz bislang noch nicht eingesetzt. Da es aber zwischen beiden Wissensbereichen Parallelen gibt, kann angenommen werden, dass das 4C/ID-Modell auch auf diesen Gegenstandsbereich übertragen werden und sich als geeignet für die Gestaltung effektiver Instruktion erweisen

kann. Kompetenzen sind zwar domänenspezifisch, dennoch lassen sich Gemeinsamkeiten zwischen dem Wissensbereich der medizinischen Diagnostik und der Fahraufgabe mit der sicheren und angemessenen Bewältigung von Verkehrssituationen als Problemlösebereich finden.

Ähnlich wie in der medizinischen Ausbildung kann Wissen, das in der Fahrausbildung vermittelt wird, oft nicht auf den realen Fahrkontext übertragen werden. Gefahrenwahrnehmung ist zwar in der Fahrschüler-Ausbildungsordnung fest verankert und wird deshalb auch im Fahrschulunterricht gelehrt, Unfallstatistiken legen aber nahe, dass das vermittelte Wissen häufig nicht unter realen Bedingungen angewendet werden kann.

Sowohl der Beruf des Arztes als auch die Fahraufgabe erfordern das Lösen komplexer, schlecht definierter Probleme, bei denen die Ziele häufig nicht klar sind und für die es – wenn überhaupt – nicht nur eine richtige Lösung gibt, sondern einige mehr oder weniger zufriedenstellende (van Merriënboer & Kirschner, 2018). Der Arzt ist mit einem Symptom oder einem Symptomkomplex konfrontiert und ist gefordert festzustellen, worin das Problem liegt und durch welche Maßnahmen dieses beseitigt werden kann. Ähnlich ist der Fahrer zur sicheren Bewältigung von Verkehrssituationen gefordert, nach Hinweisen auf Gefahren zu suchen, mögliche kritische Situationen zu erkennen und Gefahren durch angemessenes Verhalten zu vermeiden oder abzuwenden. In beiden Bereichen müssen Hinweise gesammelt und interpretiert, Annahmen über die Entstehung und Fortentwicklung von Situationen gemacht und überprüft werden.

Außerdem zeichnen sich beide Wissensbereiche dadurch aus, dass den Akteuren bei der regulären Ausübung ihrer Fertigkeiten unmittelbares, qualitatives Feedback zur eigenen Leistung oft verwehrt bleibt oder nur unzureichend zur Verfügung steht (Ericsson, 2017; Horswill et al., 2017). Nicht immer resultieren Fahrfehler in Unfällen oder Beinaheunfällen, durch die ein Fahrer unmittelbar Rückmeldung über eigenes Fehlverhalten erhält. Es ist sogar anzunehmen, dass Fahrfehler vom Fahrer oft gar nicht bemerkt werden, weil diese durch die Reaktionen anderer Verkehrsteilnehmer kompensiert werden. Dieser Mangel an unmittelbarem Feedback führt dazu, dass der Kompetenzerwerb vergleichsweise langsam vonstattengeht und viele Jahre an Fahrerfahrung vonnöten sind, um die für expertenhaftes Verhalten nötigen problemorientierten Schemata zu erwerben. Aus Trainingsstudien ist bekannt, dass Interventionen, die keine Rückmeldung zur individuellen Leistung vorsehen, selten zu Leistungsverbesserungen führen. Effektivere Trainingsinterventionen sind in der Regel solche, die informatives Feedback bereitstellen und dem Lerner erlauben, die eigene Leistung unmittelbar mit der durchschnittlichen Leistung anderer Fahrergruppen zu vergleichen (Horswill et al., 2017).

Traditionell war die medizinische Ausbildung vorrangig auf das Bestehen von Examen ausgerichtet (Hillen, Scherpbier, & Wijnen, 2010). Entsprechend lag der Fokus in der universitären Ausbildung von

Medizinern sehr stark auf der Aneignung von Faktenwissen (Barrows & Tamblyn, 1980). Studierende hatten deshalb nicht selten den Eindruck, dass die schulische oder universitäre Ausbildung wenig mit dem eigentlichen Beruf des Arztes zu tun hat (Boshuizen, 2009). Zur Überwindung dieser Diskrepanz zwischen Ausbildung und Berufspraxis wurde Ende der sechziger Jahre Problembasiertes Lernen (PBL) eingeführt; ein kompetenzorientierter Ansatz der weltweit in medizinischen Ausbildungseinrichtungen umgesetzt worden ist und bis heute die medizinische Ausbildung prägt (Dolmans & Schmidt, 2010).

Eine ähnliche Zweiteilung, wie die von der Barrows und Tamblyn (1980) berichten, lässt sich in der Fahrausbildung beobachten. Zwar ist in der Fahrschüler-Ausbildungsordnung festgehalten, dass sich theoretischer und fahrpraktischer Ausbildungsteil aufeinander beziehen sollten, praktisch dürfte das aber gerade mit Blick auf eine kompetenzorientierte Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung kaum gelingen. Werden potentielle Gefahrenszenarien im Theorieunterricht aufgezeigt und diskutiert, ist damit noch nicht sichergestellt, dass solche Situationen auch während der fahrpraktischen Ausbildung erfahren werden können und so der Umgang mit ebendiesen trainiert werden kann.

Beim Problembasierten Lernen arbeiten Lerner zunächst in Kleingruppen gemeinsam an einem Problemsachverhalt; in der medizinischen Ausbildung z. B. ein Fallbeispiel von einem Patienten. Dabei werden sie von einem Tutor begleitet, der nicht die Aufgabe hat, Faktenwissen zu vermitteln, sondern vielmehr Gruppenprozesse überwacht und Diskussionen anstößt. Antworten auf am Ende der Lerneinheit offen gebliebene Fragen und noch nicht verstandene Themen erarbeitet sich der Lerner im Anschluss eigenständig bis man sich schließlich erneut zusammenfindet, die eigenen Ergebnisse berichtet und sich über Gelerntes austauscht und diskutiert (vgl. Dolmans & Schmidt, 2010). Der Gruppenphase folgt demnach eine individuelle Lernphase. Im Mittelpunkt steht die Lernaufgabe, das authentische Fallbeispiel von einem Patienten. Wissen wird nicht um seiner selbst willen vermittelt, sondern in Verbindung mit dem Problemsachverhalt erworben. Das hat den Vorteil, dass das so erworbene Wissen später bei vergleichbaren Fällen leichter abgerufen werden kann.

Im Unterschied zur medizinischen Ausbildung, in der die Entwicklung vom Novizen hin zur Fachkraft über mehrere Jahre institutionell begleitet erfolgt, findet der Kompetenzerwerb beim Fahrenlernen nach wenigen Wochen Fahrschulunterricht mit dem Führerscheinerwerb mehr oder weniger unangeleitet im Anwendungskontext statt. Mit anderen Worten: Fahrkompetenzen werden bislang überwiegend durch komplexes Problemlösen erworben. Zwar kann Expertise als Anpassungsleistung an die Anforderungen in einer Domäne verstanden werden, die aus der Auseinandersetzung mit authentischen Problemstellungen resultiert, das heißt aber nicht, dass natürliche Umgebungen auch automatisch optimale Lernumgebungen darstellen. Vor allem dann nicht, wenn Probleme unter sich dynamisch ändernden Bedingungen rasch und dennoch zuverlässig und sicher bewältigt werden müssen. Fehler können in solchen Wissensbereichen für die Beteiligten dramatische Auswirkungen für

Leib und Leben haben; im Straßenverkehr sowohl für den Fahranfänger als auch für andere Verkehrsteilnehmer.

Komplexe Fertigkeiten zeichnen sich dadurch aus, dass der Aufbau von Expertise sehr viel Zeit beansprucht und sich Experten von Laien in ihren Leistungen sehr deutlich voneinander unterscheiden (van Merriënboer & Dijkstra, 1997). Das 4C/ID-Modell wurde explizit mit dem Ziel der Förderung komplexer kognitiver Fertigkeiten entwickelt. Solche Fertigkeiten setzen sich aus mehreren qualitativ unterschiedlichen Teilkompetenzen zusammen, die zur erfolgreichen Problembewältigung einer integrierten und koordinierten Ausführung bedürfen. Holistische Instruktionsdesignansätze wie das 4C/ID-Modell, fokussieren deshalb das integrierte und koordinierte Einüben von Teilkompetenzen. In diesem Zusammenhang sprechen van Merriënboer, Kirschner und Kester (2003) von komplexem Lernen, das sie definieren als „*the integration of knowledge, skills and attitudes; coordinating qualitatively different constituent skills; and often transferring what is learned to daily life or work settings*“ (S. 5). Ziel komplexen Lernens ist der Erwerb flexibel anwendbaren Wissens (Stark, Gruber, Renkl, & Mandl, 1998). Im Gegensatz zum komplexen Problemlösen erfolgt diese Art des Lernens – zumindest zu Beginn des Fertigkeitserwerbs – angeleitet durch einen Experten oder ein System. Der Vorteil beim angeleiteten Lernen sind Effektivität und Effizienz.

Das Lösen komplexer Problemstellungen erfordert in der Regel sowohl die Anwendung von Routinen als auch den Einsatz situationsspezifischen Wissens. Im Vergleich zu anderen Instruktionsdesignansätzen, die den Einsatz ganzheitlicher Aufgaben betonen (vgl. Merrill, 2012), wird daher in der Analyse- und Designphase des 4C/ID-Modells zwischen routinierbaren und situationsspezifischen Aufgabenaspekten unterschieden. Bei der Konzeption von Lerneinheiten sieht das 4C/ID-Modell die Einbindung von vier Komponenten vor (vgl. Abb. 11; van Merriënboer, Clark, & de Croock, 2002; van Merriënboer & Kirschner, 2018). Hierbei handelt es sich um (1) *Learning Tasks* (Lernaufgaben), (2) *Supportive Information* (Unterstützende Informationen), (3) *Procedural Information* (Prozedurale Informationen), und *Part-task Practice* (Teilübungsaufgaben). Während die Umsetzung der Komponenten eins bis drei obligatorisch ist, ist das Üben von Teilaufgaben nicht für jede Trainingsanwendung zwingend erforderlich.

Im Mittelpunkt der Lernumgebung stehen Übungsaufgaben, die Lerner mit authentischen Beispielen der zu vermittelnden ganzheitlichen Aufgabe (*Whole Tasks*; z. B. potentielle Gefahren identifizieren, angemessen einschätzen und adäquat auf diese reagieren zu können) konfrontieren, um flexibel anwendbares Wissen zu fördern.

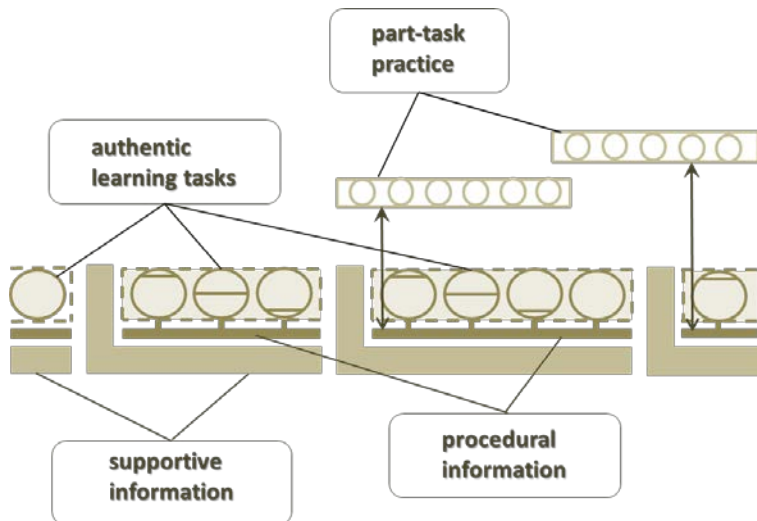


Abbildung 11: Grafische Darstellung des 4C/ID-Modells (nach van Merriënboer & Kirschner, 2018)

Lernaufgaben, dargestellt in Form von Kreisen, sind in Aufgabenklassen organisiert. Verdeutlicht wird dies in Abbildung 11 durch einen strichlinierten Kasten um die einzelnen Lernaufgaben. Ein Teil dieser Kreise ist mit einer Linie versehen, die als eine Art „Füllstandsanzeige“ die Bereitstellung von instruktorischer Unterstützung symbolisiert. Die Instruktorische Unterstützung variiert von Aufgabe zu Aufgabe. Zu Beginn erhält der Lerner ein Höchstmaß an instruktorischer Unterstützung, die mit zunehmender Kompetenzentwicklung aufseiten des Lerners sukzessive reduziert wird.

Instruktorische Unterstützung wird in Form von Unterstützenden und Prozeduralen Informationen bereitgestellt, je nachdem, ob es sich um Zusatzinformationen für die gesamte Aufgabenklasse oder für einzelne Aufgaben handelt. Unterstützende Informationen, dargestellt als L-förmiges Element, das eine Aufgabenklasse umgibt, helfen Lernern dabei, nicht rekurrierende und damit situationsspezifische Aspekte von Lernaufgaben zu bewältigen. Mit anderen Worten: solche Aufgabenaspekte, die komplexes Problemlösen erfordern und mentale Modelle voraussetzen. Im Unterschied zu den Unterstützenden Informationen, die sich immer auf die gesamte Aufgabenklasse beziehen, sind Prozedurale Informationen aufgabenbezogen. Letztere sind deshalb durch eine dunkle Linie unterhalb der jeweiligen Aufgabenklasse dargestellt, die eine unmittelbare Verbindung zur einzelnen Lernaufgabe aufweist. Prozedurale Informationen geben Auskunft darüber, wie Routineaspekte von Lernaufgaben auszuführen sind.

Das Üben von Teilaufgaben als die vierte Komponente im Modell bezieht sich auf das wiederholte Üben von rekurrierenden Aufgabenaspekten, für die ein hohes Maß an Automatisierung notwendig ist, um sich in der Ausführung der Gesamtaufgabe zu verbessern.

Bevor erläutert wird, wie eine Trainingsintervention zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung nach Maßgabe des 4C/ID-Modells gestaltet sein kann, wird zunächst auf die theoretische Basis des Modells näher eingegangen und darauf, welche Gestaltungsvorschriften sich für Instruktion hieraus ableiten lassen.

3.3.1 *Theoretische Basis des 4C/ID-Modells*

Mit der CLT (Sweller et al., 2011) basiert das 4C/ID-Modell auf einer der einflussreichsten und bedeutsamsten Informationsverarbeitungstheorien in der empirischen Bildungsforschung. Im heute vorherrschenden Informationsverarbeitungsmodell, das auf die Arbeiten von Broadbent (1958) und Atkinson und Shiffrin (1968) zurückgeht, werden drei Teilsysteme des Gedächtnisses unterschieden: das sensorische Gedächtnis, das Arbeitsgedächtnis und das Langzeitgedächtnis. Vom sensorischen Register aus der Außenwelt aufgenommene Informationen, die vom Lerner mit Aufmerksamkeit bedacht werden, gelangen zunächst in das Arbeitsgedächtnis. Bevor Informationen im Langzeitgedächtnis organisiert und gespeichert werden können, müssen sie im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden. Zwei Annahmen sind in der CLT zentral. Die erste zentrale Annahme bezieht sich auf zwei entscheidende Einschränkungen, denen das Arbeitsgedächtnis unterliegt. Zum einen unterliegt es einer zeitlichen Begrenzung von wenigen Sekunden, mit der Informationen aufrechterhalten werden können, sofern sie nicht durch kognitive Aktivitäten (*Rehearsal*) aktualisiert werden. Zum anderen ist das Arbeitsgedächtnis in seiner Kapazität auf wenige Informationselemente, die zeitgleich verarbeitet werden können, begrenzt (Cowan, 2012; Miller, 1956). Die zweite zentrale Annahme der CLT bezieht sich darauf, dass das Langzeitgedächtnis nahezu unbegrenzt ist (Sweller, van Merriënboer, & Paas, 1998). Zudem wird Wissen im Langzeitgedächtnis in Form von Schemata vorgehalten und organisiert (Rumelhart, 1981). Unter Berücksichtigung dieser Eigenschaften des menschlichen Informationsverarbeitungssystems gibt die CLT Hinweise für die Gestaltung von Instruktion.

Im Mittelpunkt des 4C/ID-Modells stehen Lernaufgaben mit realen Problemstellungen, die Lernern authentische, reichhaltige und bedeutungsvolle Erfahrungen ermöglichen und den Erwerb und die Integration von Wissen, Fertigkeiten und Einstellungen fördern. Solche Aufgaben sind in der Regel sehr komplex (Nadolski, Kirschner, van Merriënboer, & Hummel, 2001). Insbesondere Lerner mit geringem domänenspezifischem Vorwissen können daher Schwierigkeiten bei der Bewältigung dieser Art von Aufgaben haben, wodurch in der Folge das Lernen erschwert sein oder gar verhindert werden kann (van Merriënboer & Sweller, 2005). Dem Aspekt der kognitiven Be- oder Überlastung (*Cognitive Load* bzw. *Overload*) wird deshalb im 4C/ID-Modell besondere Bedeutung beigemessen.

In der CLT werden drei additive Arten kognitiver Belastung unterschieden, die Auswirkungen auf das Arbeitsgedächtnis haben: *Intrinsic*, *Extrinsic* und *Germane Cognitive Load*. Intrinsische kognitive

Belastung entsteht durch die Elementinteraktivität der Lernaufgabe und ist deshalb unvermeidbar (Paas, Renkl, & Sweller, 2003) bzw. nur bedingt durch Instruktion veränderbar (Pollock, Chandler, & Sweller, 2002). Die Elementinteraktivität ist hoch, wenn die Funktion eines Lernelementes nicht verstanden werden kann, ohne die Funktionsweisen anderer Elemente zu kennen und deshalb viele Lernelemente zeitgleich im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden müssen. Geringe Elementinteraktivität erlaubt eine sukzessive Verarbeitung weniger Lernelemente, wodurch die intrinsische kognitive Belastung geringer ist (Sweller et al., 1998). Die Intrinsische kognitive Belastung ergibt sich zum einen aus der Komplexität der Lernaufgabe, zum anderen aus der Expertise über die der Lerner in einem Wissensbereich verfügt (Seufert, Jänen, & Brünken, 2007). Das heißt, die intrinsische kognitive Belastung wird zum einen external durch das Lernmaterial, zum anderen internal durch das Vorwissen des Lerners mitbestimmt. Im 4C/ID-Modell wird die intrinsische kognitive Belastung durch die Darbietungsreihenfolge der Lernaufgaben von einfachen hin zu zunehmend schwierigeren Aufgaben kontrolliert. Lernaufgaben sind in Aufgabenklassen organisiert. Ähnliche Aufgaben, das heißt solche, für deren Bearbeitung gleichartige Fertigkeiten notwendig sind, werden einer Klasse zugeordnet und diese nach ihrem Schwierigkeitsgrad (sprich: nach steigender Elementinteraktivität) – beginnend mit der einfachsten, endend mit der schwierigsten – in eine Rangfolge gebracht.

Anders als die intrinsische kognitive Belastung hängen die extrinsische und lernrelevante (Germane Cognitive Load) kognitive Belastung davon ab, wie Lernmaterial gestaltet ist. Extrinsische kognitive Belastung ist das Resultat unzulänglich gestalteten Lernmaterials und entsteht durch Prozesse, die nicht unmittelbar zum Lernen, das heißt zum Schemaerwerb und der Automatisierung von Schemata beitragen (van Merriënboer & Sweller, 2005). Diese Art der Belastung entsteht z. B. wenn vom Lerner unnötige Suchprozesse ausgeführt werden müssen, um an die zur Aufgabenausführung nötigen Informationen zu gelangen (Chandler & Sweller, 1991). Insbesondere bei Instruktionmaterial mit hoher Elementinteraktivität und einer daraus resultierenden hohen intrinsischen kognitiven Belastung ist eine Reduktion der extrinsischen kognitiven Belastung angezeigt, weil beide Formen der kognitiven Beanspruchung als additiv angenommen werden (Paas et al., 2003). Im 4C/ID-Modell wird die extrinsische kognitive Belastung durch den Umfang an instruktionaler Unterstützung (engl. *Scaffolding*) kontrolliert. Während der Lerner für die erste Aufgabe einer Aufgabenklasse vollumfängliche instruktionale Unterstützung (z. B. in Form eines ausgearbeiteten Lösungsbeispiels) erhält, werden für nachfolgende Aufgaben Instruktionshilfen kontinuierlich reduziert (z. B. folgen ausgearbeiteten Lösungsbeispielen Vervollständigungsaufgaben bevor schließlich mit Problemlöseaufgaben gelernt wird) und Lernern so zunehmend mehr Eigenaktivität abverlangt.

Die lernrelevante kognitive Belastung bezieht sich auf Prozesse, die direkt zum Lernen beitragen (z. B. sich einen Lösungsweg vorstellen; vgl. Cooper, Tindall-Ford, Chandler, & Sweller, 2001) und damit vor

allem auf solche, die für den Aufbau und die Automatisierung von Schemata notwendig sind. Je höher die lernrelevante kognitive Belastung, desto besser die Verstehens- und Lernleistung. Anders als die intrinsische kann die lernrelevante (ebenso wie die extrinsische) kognitive Belastung durch die Darbietung des Instruktionsmaterials beeinflusst werden (Paas et al., 2003). Ziel ist es daher nicht nur, die extrinsische kognitive Belastung durch geeignete Gestaltungsparameter zu reduzieren, sondern auch, die lernrelevante kognitive Belastung durch eine adäquate Gestaltung des Instruktionsmaterials zu erhöhen.

Unterstützende Informationen dienen dazu, komplexe Denk- und Problemlöseprozesse zu fördern und beziehen sich stets auf eine gesamte Aufgabenklasse. Da diese Informationen in der Regel durch hohe Elementinteraktivität gekennzeichnet sind, sollten sie vor der eigentlichen Aufgabenbearbeitung dargeboten werden, denn das Bearbeiten dieser Informationen zusätzlich zur Aufgabenausführung, würde in vielen Fällen zur kognitiven Überlastung führen und das Lernen somit unnötig erschweren. Werden Unterstützende Informationen vor der eigentlichen Aufgabenbearbeitung präsentiert, kann zunächst im Langzeitgedächtnis ein Schema zum Sachverhalt konstruiert werden, auf das bei der anschließenden Aufgabenbearbeitung zurückgegriffen werden kann.

Im Gegensatz zu den Unterstützenden Informationen weisen Prozedurale Informationen typischerweise eine geringe Elementinteraktivität auf. Vergleichbar mit den Anmerkungen durch eine Lehrperson werden hierunter Lerninformationen, wie Schritt-für-Schritt-Anweisungen und korrigierendes Feedback verstanden (van Merriënboer & Kirschner, 2018), die dem Lerner beim Ausführen von Routineaspekten einer Aufgabe helfen sollen. Für den Erwerb des für Routineaspekte nötigen Regelwissens ist es wichtig, dass aufgabenrelevante Informationen während der Bearbeitung einer Lernaufgabe zur Verfügung stehen, damit diese mit den entsprechenden Regeln verknüpft werden können. Um die Aneignung von Regelwissen zu fördern, werden prozedurale Informationen deshalb während der Aufgabenbearbeitung dargeboten; also genau dann, wenn sie für die Aufgabenausführung auch tatsächlich vom Lerner benötigt werden.

Teilübungsaufgaben zielen darauf ab, dem Lerner die Möglichkeit zu geben, einzelne Teilschritte der Aufgabe, das heißt, rekurrierende Aspekte einer komplexen Fertigkeit wiederholt separat zu üben. Hierdurch soll ein höheres Maß an Automatisierung dieser Teilschritte erreicht werden. Durch das wiederholte Üben einzelner Teilfertigkeiten kann die kognitive Belastung, die bei der Bewältigung der gesamten Aufgabe entsteht, reduziert werden, wodurch kognitive Ressourcen verfügbar bleiben, die wiederum vom Lerner für die Schemakonstruktion (für lernrelevante Aktivitäten) aufgewendet werden können.

Bei der Gestaltung multimedialer Lernumgebungen sollten alle drei Arten kognitiver Belastung berücksichtigt werden. Das heißt, das Arbeitsgedächtnis sollte so ausgelastet sein, dass neben der unvermeidbaren intrinsischen kognitiven Belastung die extrinsische kognitive Beanspruchung so gering wie möglich gehalten wird, damit für lernbezogene Aktivitäten genügend kognitive Ressourcen zur Verfügung stehen. Wie das im Einzelnen geschehen kann, wird im nächsten Abschnitt näher erläutert.

3.3.2 *Gestaltung einer Lernumgebung nach Maßgabe des 4C/ID-Modells*

Die Gestaltung der vier Komponenten bezieht sich jeweils auf einen Arbeitsschritt im Entwicklungsprozess von Lernumgebungen. Um eine nach dem 4C/ID-Modell optimale Gestaltung sicherstellen zu können, schlagen van Merriënbeor und Kirschner (2018) insbesondere für Praktiker sechs weitere optionale Arbeitsschritte vor, auf die sie in ihrem Buch *Ten Steps to Complex Learning* ausführlich eingehen. Nachfolgend werden diese 10 Arbeitsschritte (auch als *Ten Steps* bezeichnet) des Entwicklungsprozesses näher erläutert und dargestellt, wie eine Lernumgebung zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung gestaltet sein kann.

3.3.2.1 *Erste Komponente: Lernaufgaben (Arbeitsschritte 1-3)*

Die Entwicklung von Lernaufgaben erfordert insgesamt drei Teilschritte. Der Identifikation von repräsentativen Aufgaben (Schritt 1) folgt die Festlegung auf Beurteilungsverfahren zur Leistungserfassung (Schritt 2) und schließlich werden die erstellten Aufgaben entsprechend ihres Komplexitäts- und Schwierigkeitsgrades in eine Rangfolge gebracht (Schritt 3).

Bei der Erstellung von Lernaufgaben ist es entscheidend, dass diese inhaltlich hinsichtlich sämtlicher Dimensionen variieren, in denen sie sich auch in der Realität voneinander unterscheiden. Durch hohe Variabilität erhöhen sich die Chancen, dass das Gelernte später in neuartigen Problemsituationen spontan angewendet werden kann, weil der Lerner dabei unterstützt wird, bestimmte Muster zu erkennen, die der Aufgabenausführung zugrunde liegen.

Komplexes Problemlösen erfordert in der Regel sowohl Routineverhalten als auch situationspezifische kognitive Aktivitäten. Dementsprechend wird im 4C/ID-Modell zwischen rekurrierenden und nicht rekurrierenden Aufgabenaspekten unterschieden. Rekurrierende Aufgabenaspekte erfordern solche Verhaltensweisen, die erfahrene Fahrer mehr oder weniger automatisch ausführen (Routineverhalten). Ein Beispiel für solches Verhalten ist der Blick in den Rück- und linken Außen Spiegel, bevor das linke Blinklicht betätigt wird, um aus einer Parksituation am rechten Fahrbahnrand in Fahrtrichtung auf die Fahrbahn aufzufahren und die Fahrt fortzusetzen. Routinierte Fahrer zeigen dieses Blickverhalten automatisch, um sich nach hinten abzusichern. Diese Blickroutinen sind in

verschiedenen Problemsituationen sehr ähnlich (z. B. unabhängig, ob beim Verlassen einer Parklücke in der Innenstadt oder eines Parkplatzes auf einer Autobahnraststätte). Durch Erfahrungsbildung wurden Prozeduren erworben, die bestimmte situative Merkmale unmittelbar mit einem Verhalten verknüpfen. Im Gegensatz dazu sind nicht rekurrierende Aufgabenaspekte solche, die für den Lerner neu sind und daher bewusstes Entscheiden und Problemlösen erfordern. Weil sie situationspezifisches Verhalten erfordern, sind solche Aufgabenaspekte kognitiv beanspruchend. Ein Beispiel ist, wenn ein Fahrer auf dem Weg in den Urlaub durch eine ihm unbekannte Großstadt fährt, in der er sich erst mit den Gegebenheiten vor Ort auseinandersetzen muss.

Hazard Perception-Tests haben sich nicht nur als geeignetes Messinstrument erwiesen, sondern konnten auch für Trainingszwecke erfolgreich eingesetzt werden (z. B. Meir et al., 2014). In der Regel wird in Hazard Perception-Testaufgaben dynamisches Bildmaterial aus der Fahrerperspektive dargeboten und der Lerner ist gefordert, das Erkennen potentieller Gefahren durch einen Tastendruck anzuzeigen. Hazard Perception-Testaufgaben eignen sich, Gefahrenwahrnehmung bzw. -vermeidung anwendungsbezogen zu trainieren und das Fahrverhalten im Realverkehr und im Fahrsimulator positiv zu beeinflussen (Fisher et al., 2006). Entsprechende Trainings können dazu führen, dass sich Novizen weniger riskant verhalten (McKenna et al., 2006). Es ist daher naheliegend, diese Art von Aufgaben für zu entwickelnde Trainingsinterventionen einzusetzen.

Leistungsmessungen spielen beim kompetenzorientierten Lernen eine wichtige Rolle. Sie informieren darüber, ob die Leistungsvorgaben erreicht wurden und helfen Lernern dabei, sich in ihren Leistungen zu verbessern. Mithin kommt diesen eine steuernde Funktion im Lernprozess zu. Unter der Verwendung des 4C/ID-Modells als Instruktionsdesign bilden einzelne Lernziele nicht den Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Lernumgebung. Die Lernziele werden durch die authentischen Problemstellungen vorgegeben. Dennoch werden Leistungsziele für die einzelnen zu erwerbenden Teilkompetenzen definiert.

Das übergeordnete Ziel im 4C/ID-Modell ist immer die erfolgreiche Bewältigung einer Reihe authentischer Probleme, zu deren Lösung die Integration und Koordination von Wissen, Fertigkeiten und Einstellungen nötig ist. Um sicherzustellen, dass alle Teilfertigkeiten durch Bewertungsverfahren abgedeckt sind, werden diese Fertigkeiten sowie deren Relationen (z. B. zeitliche Beziehungen) zueinander in einer Grafik zusammengestellt. Aus dieser Aufstellung lassen sich Lernziele ableiten, die näher spezifizieren, was ein Lerner nach Absolvieren des Trainings können soll. Gut formulierte Leistungsziele beschreiben anhand von Tätigkeitsverben detailliert, welche Fertigkeiten nach dem Training vom Lerner beherrscht werden sollten. Zudem spezifizieren sie die Bedingungen, unter denen die jeweilige Fertigkeit ausgeführt wird, welche Hilfsmittel und Objekte hierfür genutzt werden, und

sie legen schließlich auch Standards für eine angemessene Leistung fest, inklusive der Leistungskriterien, Werte und Einstellungen.

Das allgemeine Lernziel in einem Training zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung könnte wie folgt lauten: Nach erfolgreichen Absolvieren des Trainings ist der Lerner in der Lage, permanent und aktiv nach sicherheitsrelevanten Hinweisreizen in der Verkehrsumgebung zu suchen, indem er seinen Blick nicht starr auf den Bereich unmittelbar vor seinem Fahrzeug richtet, sondern stattdessen ein gezieltes und flexibel auf sicherheitsrelevante Bereiche in der Verkehrsumwelt gerichtetes Blickverhalten zeigt. Im sich dynamisch ändernden Verkehr bzw. bei der Rezeption von videobasierten Verkehrsszenarien (*Bedingungen*) nutzt der Lerner die Fahrzeugaußen- und den Rückspiegel (*Hilfsmittel*), um sich Informationen aus der Verkehrsumwelt einzuholen, weiß unter Einbezug der Aktivitäten anderer Verkehrsteilnehmer (Wertorientierung) Hinweisreize angemessen zu priorisieren (Wertorientierung) und das eigene Verhalten adäquat danach auszurichten.

Für die einzelnen Lernziele müssen Leistungsstandards festgelegt werden, die spezifizieren, was als akzeptable Leistung gilt und was nicht. Leistungsvorgaben beziehen sich auf Kriterien (z. B. Richtigkeit, Schnelligkeit, Fehleranteil), Wertvorstellungen (z. B. *ohne die Verkehrsregeln zu verletzen*) und Einstellungen (z. B. *ohne andere Verkehrsteilnehmer zu gefährden*). Das Erreichen solcher Leistungsvorgaben wird in der Gefahrenwahrnehmungsforschung und -praxis mittels Hazard Perception-Testaufgaben geprüft. Um die Reaktionen von Testteilnehmern beurteilen zu können, werden für potentielle Gefahrenereignisse Reaktionszeitfenster festgelegt, die in der Regel mit dem ersten sichtbaren Hinweisreiz beginnen und zu dem Zeitpunkt enden, an dem die Gefahr bei Nichtreagieren des Fahrers zu einem Unfall führen würde. Erfolgt eine Reaktion innerhalb des Zeitfensters, hat der Teilnehmer eine korrekte Entscheidung getroffen und das Ereignis richtig eingeschätzt. Hazard Perception-Testaufgaben haben sich für Prüfzwecke bewährt (vgl. Abschn. 2.2) und können deshalb auch für zu entwickelnde Lernumgebungen für die Beurteilung von Leistungen eingesetzt werden.

Der dritte Arbeitsschritt bezieht sich auf die Sequenzierung der Lernaufgaben. Problemstellungen, die sich hinsichtlich ihrer Komplexität und in Bezug auf das Wissen, das zur Lösung dieser benötigt wird ähneln, sind gemäß des 4C/ID-Modells in einer Aufgabenklasse organisiert. Begonnen wird das Training mit der einfachsten Aufgabenklasse. Mit jeder neuen Aufgabenklasse werden die zu bewältigenden Probleme komplexer und schwieriger; wird zusätzliches Wissen notwendig, das zur Bewältigung vorangegangener Aufgabenklassen noch nicht erforderlich war. Gelernt wird von Anfang an stets mit ganzheitlichen authentischen Problemstellungen. Dem Lerner wird so von Beginn an die Möglichkeit zum integrierten und koordinierten Erwerb von Fertigkeiten, Wissen und Einstellungen gegeben, wodurch er auch einen Überblick über die Komplexität der Gesamtaufgabe erhält.

Eine Möglichkeit, Aufgabenklassen nach ihrer Komplexität zu ordnen, besteht in der *Simplifying Conditions Method*, bei der die Aufgabenkomplexität anhand verschiedener Vereinfachungsdimensionen variiert wird. Die erste Aufgabenklasse, die im Trainingsprogramm präsentiert wird, beinhaltet die einfachste Form eines Problemsachverhalts, mit dem Domänenexperten in der Realität konfrontiert sind, die letzte Aufgabenklasse die komplexeste. Das heißt, bei Aufgaben der letzten Aufgabenklasse werden dem Lerner alle Fertigkeiten abverlangt, die er unter realen Bedingungen beherrschen muss, um entsprechende Problemstellungen eigenständig und erfolgreich lösen zu können.

Vereinfachungsdimensionen für Problemstellungen aus dem Bereich Gefahrenwahrnehmung können z. B. Die Anzahl an Verkehrsteilnehmern, die Straßenführung bzw. -geometrie, Anzahl an Fahrspuren, der Fahrkontext (Großstadt, Kleinstadt, Landstraße), Tageszeit oder Witterungsverhältnisse sein. Je komplexer die Fahraufgabe, desto komplexer sind in der Regel die Anforderungen in Bezug auf die Gefahrenwahrnehmung. In der ersten Aufgabenklasse könnten Lerner mit Aufgaben konfrontiert werden, in denen die dargestellten Verkehrssituationen z. B. hinsichtlich der Straßenführung (gerade, gut ausgebaute einspurige Fahrbahn), der Verkehrsumgebung (Landstraße), und der Sichtverhältnisse (bei Tag und guten Wetterbedingungen) überschaubar und potentiell gefährliche Verkehrsteilnehmer in begrenzter Anzahl (ein Fußgänger, der möglicherweise die Fahrbahn queren wird) und gut sichtbar vorhanden sind. In der letzten Aufgabenklasse müssten vom Lerner Problemstellungen bearbeitet werden, die in Bezug auf Straßenführung, Verkehrsumgebung (Großstadt mit vielen, großen Kreuzungsbereichen), Sichtverhältnisse (bei Nacht und Niederschlag) und die Anzahl an Verkehrsteilnehmern hochkomplex und unübersichtlich sind.

Eine Komplexitätssteigerung ließe sich beim Einsatz klassischer Hazard Perception-Testaufgaben auch durch die Variation des Präsentationsmodus erreichen. Zur Veranschaulichung potentieller Gefahrenhinweise könnte in einem einführenden Fallbeispiel zunächst statisches Bildmaterial aus der Fahrerperspektive eingesetzt werden. Die nächst schwierigere Aufgabe könnte dann wiederum dynamisches Bildmaterial mit halber Präsentationsgeschwindigkeit darbieten (vgl. Chapman et al., 2002) und abschließend würden Szenarien mit voller Geschwindigkeit präsentiert werden. Nach diesem Vorbild könnte die Komplexität ebenso hinsichtlich der Realitätstreue variiert werden, wobei zunächst animierte Verkehrsszenarien präsentiert und diese später im Training durch Videos aus dem Realverkehr ersetzt werden könnten.

Eine weitere Möglichkeit, die identifizierten Aufgaben in eine Rangfolge zu bringen, bestünde darin, die Schwierigkeit der Aufgaben empirisch zu ermitteln. Hierbei würden erfahrenen Fahrern verschiedenen Gefahrenszenarien dargeboten und die mittleren Lösungswahrscheinlichkeiten verwendet, um die Aufgaben nach ihrer Schwierigkeit zu ordnen.

3.3.2.2 *Zweite Komponente: Unterstützende Informationen (Arbeitsschritte 4-6)*

Unterstützende Informationen stellen die Verbindung dar zwischen dem, was der Lerner an Vorwissen in die Lernsituation mitbringt und dem Wissen, das benötigt wird, um situationsspezifische Aufgabenaspekte lösen zu können. Es sind solche Informationen, die oft als theoretisches Hintergrundwissen bezeichnet werden und häufig in Lehrbüchern zu finden sind. Da sich diese Informationen jeweils auf die gesamte Aufgabenklasse beziehen, sollten sie für den Lerner solange jederzeit zugriffbereit sein, wie dieser an Aufgaben aus dieser Klasse arbeitet.

Unterstützende Informationen nachfolgender Klassen bauen jeweils auf vorangegangenen auf und sind eine Erweiterung dieser. Je komplexer die Aufgaben einer Aufgabenklasse, desto elaborierter und spezifischer sind auch die Unterstützenden Informationen, die der Lerner erhält. Das heißt, mit zunehmender Komplexität werden auch die Unterstützenden Informationen immer differenzierter.

Unterstützende Informationen fördern den Erwerb kognitiver Schemata (z. B. Skripts oder Faustregeln, die beim Treffen von Entscheidungen helfen) und können sich auf zwei Arten von Wissen beziehen: einerseits auf kognitive Problemlösestrategien, die im jeweiligen Wissensbereich von Experten angewendet werden, um Aufgaben systematisch zu lösen, andererseits auf mentale Modelle, die aufzeigen, wie ein Aufgabenbereich organisiert ist und beim Fällen von Urteilen oder beim Entscheiden helfen. Während sich Schritt 5 auf die Identifikation kognitiver Problemlösestrategien bezieht, widmet sich Schritt 6 der Ten Steps den mentalen Modellen eines Wissensbereichs.

Zum Beispiel kann im Lernmaterial thematisiert werden, wie erfahrene Fahrer systematisch beim Passieren scharfer Kurven vorgehen und was sie beachten, wenn sie in den Kurvenbereich hineinfahren. Mentale Modelle hingegen helfen dabei, einen Aufgabenbereich zu verstehen und versetzen den Problemlöser in die Lage, angemessen zu urteilen, sich Sachverhalte zu erklären oder Vorhersagen zu Entwicklungsverläufen zu treffen. Weiß ein Fahrer beispielsweise, dass sich in oder hinter scharfen, nicht einsehbaren Kurvenbereichen langsamere oder liegen gebliebene Fahrzeuge befinden können, wird er vermutlich eher geneigt sein, die Geschwindigkeit zu verringern und nach entsprechenden Hindernissen Ausschau zu halten.

Kognitive Problemlösestrategien und mentale Modelle ergänzen einander. Ist dem Fahrer z. B. nicht klar, was Richtungstafeln sind (konzeptuelles Wissen), weshalb diese in bestimmten Verkehrsbereichen angebracht sind (kausales Wissen) und worauf diese hinweisen (strukturelle Zusammenhänge), ist es wenig zielführend, das Vorgehen (Problemlösestrategie) beim Passieren scharfer, nicht einsehbarer Rechtskurven aus Sicht des Fahrerfahrens zu erklären.

Problemlösestrategien und mentale Modelle enthalten nicht nur allgemeines abstraktes Wissen, sondern sind auch mit Erinnerungen an konkrete Fälle verbunden, die dieses Wissen repräsentieren.

Da sich Experten beim Problemlösen auch auf bestimmte Fallbeispiele stützen, werden gemäß 4C/ID-Modell Problemlösestrategien und mentale Modelle immer in Verbindung mit entsprechenden Modell- oder Fallbeispielen dargeboten. Diese Informationen können auf unterschiedliche Art und Weise präsentiert werden. Das 4C/ID-Modell unterscheidet zwischen vier grundlegenden Vorgehensweisen bei der Präsentation von Unterstützenden Informationen: einer deduktiven und einer induktiven Informationsdarbietung, die jeweils entweder als *Expository Strategy* oder *Inquisitory Strategy* erfolgen kann. Die Wahl einer Präsentationsstrategie richtet sich immer auf eine gesamte Aufgabenklasse und hängt unter anderem vom Vorwissen der Zielgruppe und der insgesamt zur Verfügung stehenden Lernzeit ab. Standard sind laut Ten Steps die induktiv-expositorische (im Lernmaterial werden konkrete Beispiele als auch theoretische Informationen präsentiert) bzw. die deduktiv-inquisitorische Strategie (zunächst werden allgemeine theoretische Informationen dargeboten, danach sind Lerner gefordert, eigene Beispiele zu finden); als Mittelweg zwischen deduktiv-expositorischem Vorgehen, einer Form der direkten Instruktion, und der induktiv-inquisitorischen Strategie, einer Form des Entdeckenden Lernens.

Zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung ist es z. B. denkbar, textbasiert Informationen zu Entstehungsbedingungen kritischer Verkehrssituationen darzubieten und dieses theoretische Wissen durch entsprechendes Bildmaterial zu veranschaulichen. Der Lerner könnte z. B. die Aufgabe haben, sich zunächst einen Text durchzulesen und sich danach ein Videobeispiel anzuschauen, in dem die entsprechenden Sachverhalte aus der Fahrerperspektive aufgezeigt werden.

Unterstützende Informationen erhält der Lerner außerdem auch über Kognitives Feedback, das im Anschluss an die Bewältigung der Lernaufgabe zur kritischen Reflexion des eigenen Problemlöseprozesses sowie der eigenen Lösung anregen soll, sodass kognitive Problemlösestrategien und mentale Modelle zunehmend optimiert werden können (van Merriënboer, Clark, et al., 2002).

3.3.2.3 Dritte Komponente: Prozedurale Informationen (Arbeitsschritte 7-9)

Prozedurale Informationen sind prägnante Hinweise mit Aufforderungscharakter, die verdeutlichen, wie rekurrierende, das heißt zu automatisierende Aufgabenaspekte auszuführen sind. Unter Prozeduralen Informationen werden Hinweise verstanden, die *just-in-time* dargeboten werden und Lernern einerseits kognitive Regeln und Vorgehensweisen zur Bewältigung rekurrierender Aufgabenaspekte aufzeigen und andererseits ebenso Kenntnisse vermitteln, über die der Lerner vorab verfügen sollte, um diese Regeln und Vorgehensweisen erfolgreich anwenden zu können. Während sich Arbeitsschritt 8 auf die Analyse kognitiver Regeln bezieht, widmet sich Arbeitsschritt 9 der Analyse des zur Anwendung dieser Regeln erforderlichen Wissens.

Instruktionsmethoden zur Vermittlung Prozeduraler Informationen unterstützen die Bildung von Prozedurenwissen. Um Effekte geteilter Aufmerksamkeit (engl. *Split Attention*) zu vermeiden, werden Prozedurale Informationen als integraler Bestandteil der Lernaufgabe dargeboten und in unmittelbarer zeitlicher und räumlicher Nähe (vgl. zeitliches und räumliches Kontiguitätsprinzip; van Merriënboer & Kester, 2014) zu rekurrierenden Aufgabenaspekten präsentiert. Dadurch sind diese Informationen beim Üben im Arbeitsgedächtnis aktiv und können leichter in aufgabenspezifische kognitive Regeln und Vorgehensweisen überführt werden, wodurch die Konstruktion angemessener kognitiver Regeln im Langzeitgedächtnis unterstützt wird.

Für die Bereitstellung Prozeduraler Informationen sind verschiedene Möglichkeiten denkbar. Eine Strategie ist, dass diese durch einen externen Agenten (z. B. Lehrperson, intelligenter Tutor) bereitgestellt werden. Der Lerner hätte in diesem Fall keine Kontrolle über die Darbietung. Er würde die Prozeduralen Informationen unaufgefordert erhalten. Eine andere Möglichkeit bestünde darin, Prozedurale Informationen durch den Lerner selbst einfordern zu lassen. Da im Rahmen der Anwendung des 4C/ID-Modells die Förderung selbstgesteuerten Lernens ein wichtiges Lernziel ist, ist für Instruktion, die sich zunächst an Novizen richtet, im Lernprozess ein Strategiewechsel vorgesehen. Mit dem Prinzip des *Scaffolding zweiter Ordnung* beschreiben van Merriënboer und Kester (2014) einen Prozess des graduellen Wechsels von der Systemkontrolle hin zur Lernerkontrolle, bei dem der Lerner zunehmend mehr Verantwortung für den eigenen Lernprozess übernimmt. Um bestimmen zu können, zu welchem Zeitpunkt bestimmte Hilfen vom Lerner zur Ausführung der Aufgabe benötigt werden, muss dessen Verhalten kontinuierlich beobachtet und angemessen eingeschätzt werden. Da *Contingent Tutoring* (meint das Ausrichten von Hilfestellungen an den Bedürfnissen des Lerners) in computerbasierten Systemen nicht leicht umzusetzen ist (vgl. Aleven, Stahl, Schworm, Fischer, & Wallace, 2003), empfehlen van Merriënboer und Kirschner (2018), Prozedurale Informationen vom System stets für die erste Lernaufgabe darzubieten und diese aber für vergleichbare Problemstellungen mit jeder neuen Aufgabe im Umfang zu reduzieren bis sie schließlich nicht mehr vom Lerner zur Aufgabenausführung benötigt werden.

Eine Form Prozeduraler Informationen stellt korrigierendes Feedback dar, das dem Lerner hilft, Fehler bei der Anwendung von Regeln oder Vorgehensweisen zu erkennen und zu korrigieren. Korrigierendes Feedback sollte unmittelbar erfolgen, wenn eine fehlerhafte Handlung festgestellt wurde (Hattie & Timperley, 2007). Einfach nur zurückzumelden, dass das was getan wurde ineffektiv ist, ist unzureichend. Gut gestaltetes korrigierendes Feedback beinhaltet eine Beschreibung der Situation, die aus dem gemachten Fehler resultiert, informiert über die Ursachen, die zum Fehler führten, sodass diese künftig vermieden werden können, gibt aber auch Handlungsanweisungen, wie der gemachte Fehler korrigiert werden kann (van Merriënboer & Kirschner, 2018).

Die erste Aufgabe eines zu entwickelnden Lernmoduls zur sicheren Bewältigung von Kurvenbereichen könnte den Fokus darauf haben, dem Lerner Schritt für Schritt aufzuzeigen, auf welche Objekte und Bereiche in der animierten Fahrumgebung die Aufmerksamkeit beim Passieren einer scharfen, nicht einsehbaren Rechtskurve gerichtet werden sollte. Einzelne Objekte oder Bereiche in der Animation könnten durch Signalisierungen hervorgehoben und betont werden, z. B. in Form von farbigen Symbolen (z. B. Ausrufezeichen als Hinweiszeichen für eine potentielle Gefahr) oder textbasiert in Form von auditiven Kommentaren (z. B. „Achtung! Scharfe Rechtskurve. Langsamer fahrendes Fahrzeug vor Dir. Aufgrund des Gegenverkehrs kannst Du nicht überholen.“).

Korrigierendes Feedback zur Leistung in einer Aufgabe könnte z. B. in der Form bereitgestellt werden, dass die Animation in verschiedene Abschnitte aufgeteilt wird, um zu überprüfen, ob angemessene Blickstrategien (Routinetätigkeit) angewendet werden. Die Animation könnte hierzu an verschiedenen Stellen angehalten und der Lerner gebeten werden, jeweils den Bereich im Standbild per Mausklick zu identifizieren, der zum Einholen sicherheitsrelevanter Informationen augenblicklich relevant wäre. Fehlverhalten kann so erkannt und korrigiert werden. Sobald Blickbereiche korrekt vom Lerner identifiziert und damit angemessene Blickstrategien gezeigt wurden, werden die Prozeduralen Informationen ausgeblendet und weniger elaboriertes Feedback bereitgestellt. Zum Beispiel könnte in einer Aufgabe zunächst sowohl visuelles als auch auditives Feedback gegeben werden, um dieses dann in einer nachfolgenden Aufgabe um den auditiven Begleitkommentar zu reduzieren und nur noch das farbige Symbol als Hinweis darzubieten.

3.3.2.4 Vierte Komponente: Üben von Teilschritten (Arbeitsschritt 10)

Das Üben von Teilaufgaben ist dem 4C/ID-Modell nach nur dann notwendig, wenn es beim Lernen für die Ausführung der gesamten Aufgabe bereits von Vorteil ist, für bestimmte rekurrierende Aufgabenaspekte ein hohes Maß an Automatisierung zu erreichen. Das heißt, Teilübungsaufgaben verfolgen den Zweck der Automatisierung von Schemata. Sie sind nicht obligatorisch und ihr Einsatz wird nur dann empfohlen, wenn die Anzahl an Lernaufgaben zu gering ist, um die Automatisierung bestimmter rekurrierender Teilfertigkeiten erreichen zu können. Wenn anhand einer Lernumgebung z. B. vermittelt werden soll, dass ein parallel in die gleiche Richtung fahrender Radfahrer in Kreuzungsbereichen beim Rechtsabbiegen eine potentielle Gefahr darstellt, sollte der Lerner zunächst Vorfahrts- und Vorrang-Regeln kennen und anwenden können. Für die Fertigkeit, aktiv und gezielt nach querenden Verkehrsteilnehmern mit Vorrang in Kreuzungsbereichen Ausschau zu halten, sollte ein hohes Maß an Automatisierung erreicht werden, weil diese Aufgabe schnell und richtig ausgeführt werden muss, um adäquate Entscheidungen treffen zu können. Hierfür ließen sich ähnliche Mehrfachwahlaufgaben einsetzen, wie sie aktuell in der theoretischen Führerscheinprüfung aus dem amtlichen Fragenkatalog offiziell verwendet werden. Der Trainee hat drei oder vier verschiedene Antwort-

alternativen und erhält unmittelbar nach der Eingabe seiner Antwort ein Feedback über deren Richtigkeit.

4 Einleitung der drei empirischen Studien

Bei der Konzeption einer Lern- oder Trainingsumgebung stellen sich zunächst zwei Fragen: *Was* soll vermittelt werden und *wie* soll dies geschehen? Das heißt, *welche* Lerninhalte sollen mit *welchen* Instruktionmethoden vermittelt werden. Zu diesem Zweck wurden in der vorliegenden Arbeit drei aufeinander aufbauende Studien durchgeführt.

In der ersten Studie ging es um die Klärung der Frage nach den inhaltlichen Themen, die in einer zu entwickelnden Lernumgebung zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung fokussiert werden sollen. Dem Expert Performance Approach folgend wurden hierfür mehrere animierte Verkehrsszenarien entwickelt und zu einem Hazard Perception-Test zusammengestellt, um anhand eines Experten-Novizen-Vergleichs herauszufiltern, in welchen Inhaltsbereichen Fahranfänger gefahrenwahrnehmungsspezifische Defizite aufweisen.

Items, in denen die erfahrenen Fahrer verlässlich deutlich bessere Leistungen erbrachten als die Fahranfänger wurden für die Entwicklung einer Trainingsumgebung weiterverwendet und für Studie 2 nach Maßgabe des 4C/ID-Modells zu Lernaufgaben weiterentwickelt. Das 4C/ID-Modell postuliert, dass der aufgabenbasierte Erwerb komplexer Problemlösekompetenzen sowohl durch Unterstützende als auch durch Prozedurale Zusatzinformationen gefördert werden sollte. Studie 2 diente der Prüfung dieser Annahme.

Damit bestimmte Lernergruppen – nach dem Motto: *one size fits all* – nicht systematisch durch eine für alle Lerner gleich gestaltete Lernumgebung benachteiligt werden, sollte Instruktion an die jeweiligen Bedürfnisse der Lerner angepasst werden können. In Studie 3 wurde deshalb überprüft, ob Fahranfänger stärker von einer Lernumgebung profitieren würden, in der Unterstützende und Prozedurale Informationen im Sinne einer Vervollständigungsstrategie adaptiv auf den jeweiligen Kenntnisstand zugeschnitten sind oder ob es vorteilhafter ist, diese Fahrergruppe durch eine für alle Lernaufgaben vollumfängliche Darbietung beider Zusatzinformationen zu unterstützen. Zudem sollte überprüft werden, ob sich das Absolvieren des CBTs auch in einem angemesseneren Fahrverhalten im Fahrsimulator widerspiegelt.

Die Arbeit abschließend werden die Ergebnisse der drei Studien zusammengefasst und diskutiert sowie künftige Forschungsfragen erörtert.

5 Studie 1: Identifikation von Lerninhalten

Studie 1 widmete sich zunächst der Identifikation von Inhalten, die bei der Gestaltung der zu entwickelnden Trainingsintervention thematisiert werden sollen. Ziel war es, Verkehrsszenarien zu ermitteln, die Defizite von Fahranfängern in der Gefahrenwahrnehmungsleistung valide abbilden.

5.1 Theoretischer Hintergrund

Expertise kann als Anpassungsleistung an die spezifischen Anforderungen in einem Wissensbereich verstanden werden (Salthouse, 1991). Folglich sollten auch Trainingsaufgaben, solchen Aufgaben weitgehend entsprechen, wie sie in realen Kontexten zu bewältigen sind. Gefahrenwahrnehmung im Realverkehr standardisiert zu trainieren, ist einerseits nicht möglich und auch aus ethischen Gründen nicht angezeigt, wäre andererseits aber auch nicht das effektivste Vorgehen. Kritische Situationen oder Gefahrensituationen sind relativ seltene Ereignisse, weshalb eine sehr hohe Anzahl an Übungseinheiten erforderlich wäre, um Gefahrenwahrnehmung umfassend zu trainieren.

Eine andere Möglichkeit, Gefahrenwahrnehmung zu trainieren, besteht im Einsatz von Fahr-simulatoren (z. B. Wang et al., 2010). Fahrsimulatoren erlauben eine realitätsnahe Auseinandersetzung mit verkehrsspezifischen Inhalten in einer geschützten Umgebung und können so die Erfahrungsbildung in der Fahrausbildung sinnvoll ergänzen (vgl. Weiß et al., 2009). Gefahrenwahrnehmung im Fahrsimulator zu trainieren, hat außerdem den Vorteil, dass nicht nur das Erkennen von Gefahrensituationen trainiert werden kann. Wurde eine potentielle Gefahr erkannt und als handlungsrelevant eingeschätzt, ist es wichtig zu wissen, wie in einer solchen Situation angemessen reagiert werden kann. Fahrsimulatoren bieten die Möglichkeit, den angemessenen Umgang mit bzw. die Vermeidung von Gefahrensituationen zu trainieren. Durch die Rückmeldungen, die der Lerner zum eigenen Fahrverhalten vom System erhält, kann der Erwerb von Fahrkompetenz unterstützt werden (Duncan, Williams, & Brown, 1991).

Darüber hinaus konnte auch mehrfach gezeigt werden, dass Gefahrenwahrnehmung mit kostengünstigeren Methoden und unter Verwendung von PC oder tragbaren Endgeräten effektiv trainiert werden kann (z. B. Krishnan et al., 2015; Pradhan et al., 2009; Samuel et al., 2013). Hazard Perception-Tests haben sich dabei nicht nur als geeignetes Messinstrument, sondern auch als effektiv für Trainingszwecke erwiesen (Horswill, Falconer, Pachana, Wetton, & Hill, 2015; Horswill et al., 2013; McKenna et al., 2006; Meir et al., 2014).

Auch wenn sich in der überwiegenden Mehrheit an Studien mit Experten-Novizen-Vergleichen gezeigt hat, dass Hazard Perception-Testaufgaben valide zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrern zu differenzieren vermögen, konnten in einigen Untersuchungen keine oder nur in einzelnen

Testaufgaben erfahrungsbezogene Leistungsunterschiede zwischen den Testteilnehmern nachgewiesen werden (vgl. Abschn. 2.2). Für die Entwicklung einer Trainingsanwendung müssen daher zunächst Szenarien identifiziert werden, in denen Fahranfänger Defizite aufweisen, die in einer Trainingsintervention fokussiert werden können. Ericsson und Smith (1991) schlugen hierfür den Expert Performance Approach (vgl. hierzu auch Abschn. 2.5.4) als methodisches Vorgehen zum Erfassen und Analysieren von Expertenleistungen vor. Ziel des ersten Schritts dieses Ansatzes ist die Identifikation repräsentativer Aufgaben. Ericsson und Lehmann (1996) empfehlen zugunsten der Kontrollierbarkeit so wenig komplexe Aufgaben wie möglich zu verwenden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, keine zu stark vereinfachten und damit neuartigen (im Sinne von nicht-repräsentativen) Aufgaben darzubieten, um eine Unterschätzung der Leistung der Experten nicht zu begünstigen (Farrow & Abernethy, 2003).

Ausgehend von Gefahrenereignissen, wie sie typisch für Unfallsituationen sind, wurden schon vor etwa 50 Jahren Tests zur Messung von Gefahrenwahrnehmung zu Untersuchungszwecken eingesetzt (Currie, 1969). Hazard Perception-Tests gelten als kriteriumsvalide (vgl. Abschn. 2.2) und werden sowohl in der Forschung als auch in der Praxis als Instrument für Trainings- und Beurteilungszwecke eingesetzt. Allerdings unterscheiden sich die verwendeten Hazard Perception-Testaufgaben sowohl in Bezug auf inhaltliche Aspekte der verwendeten Verkehrsszenarien als auch hinsichtlich formaler Testmerkmale zum Teil sehr deutlich voneinander (vgl. Malone et al., 2016). Aus Vergleichsstudien liegen jedoch einige Hinweise für Gestaltungsparameter valider Aufgaben vor. So konnte z. B. in Bezug auf die inhaltliche Gestaltung von Verkehrsszenarien mehrfach aufgezeigt werden, dass unerfahrene Fahrer häufiger implizite Gefahren übersehen (z. B. Borowsky, Shinar, et al., 2010; Malone, Biermann, & Brünken, 2012; Pollatsek et al., 2006). Zu entwickelnde repräsentative Trainings- oder Testaufgaben sollten demnach vor allem Szenarien mit latenten Gefahren beinhalten.

Explizite und implizite Gefahrenreize unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Salienz. Während explizite Gefahren sprichwörtlich ins Auge fallen, setzt das Erkennen impliziter Gefahrenreize verkehrsspezifisches Wissen voraus. Das unvermittelt bei Dunkelheit vorm Fahrzeug wechselnde Wild ist ein expliziter Gefahrenreiz, während der Radfahrer vorm Vorausfahrenden einen impliziten Gefahrenreiz darstellt, der darauf hindeuten kann, dass der Vordermann demnächst bremsen und die Geschwindigkeit verringern wird. Explizite Gefahrenreize testen eher die allgemeine Reaktionsfähigkeit eines Fahrers und weniger die Fähigkeit, Gefahrensituationen einschätzen und deren Ausgang vorhersagen zu können (Underwood, Ngai, & Underwood, 2013). Aufgrund ihrer im Allgemeinen besseren Reflexe sind junge Fahrer – und Fahranfänger sind zumeist junge Fahrer – daher bei der Reaktion auf explizite Gefahrenreize eher im Vorteil. Dieser Vorteil führt aber nicht dazu, dass

sie in sämtlichen brenzligen Situationen auch schneller reagieren. Quimby et al. (1986) konnten zeigen, dass die einfachen Reaktionszeiten nicht mit dem Unfallrisiko assoziiert sind.

Verkehrsszenarien mit latenten Gefahren zeichnen sich dadurch aus, dass Hinweisreize verfügbar sind, die es erfahrenen Fahrern ermöglichen, gedanklich vorwegzunehmen, wie sich Verkehrssituationen weiterentwickeln werden. Garay-Vega und Fisher (2005) sprechen hierbei von *Foreshadowing Elements*. Neben der Konzentration auf latente Gefahren nennen Wetton et al. (2011) noch weitere 4 Merkmale gut gestalteter Hazard Perception-Aufgaben. Ein zweites Gestaltungsprinzip bezieht sich darauf, dass Hazard Perception-Testaufgaben ausschließlich Gefahrenwahrnehmung und nicht benachbarte Konzepte, wie etwa die Risikobereitschaft eines Fahrers, erfassen sollten. Zudem geben Wetton et al. (2011) den Rat, auf gestellte Gefahrensituationen in Hazard Perception-Testaufgaben zu verzichten. Nicht nur weil hierdurch möglicherweise die Kriteriumsvalidität beeinträchtigt wird, sondern auch die Inhaltsvalidität. Gestellte Gefahrenereignisse oder eine unbeabsichtigt überzogene Darstellung dieser kann die Differenzierungsfähigkeit von Hazard Perception-Aufgaben beeinflussen. Die Auswahl und Gestaltung von Items obliegt oft Personen, die selbst als erfahrene Fahrer gelten. Wenn hierbei deren eigene Fahrerfahrung einfließt, ist nicht auszuschließen, dass erfahrene Fahrer in diesen Aufgaben begünstigt werden (Crundall, Chapman, Phelps, & Underwood, 2003). Weiterhin sollte bei Hazard Perception-Testaufgaben aus der Instruktion eindeutig hervorgehen, welche Situationen als Gefahrenereignisse gelten und eine Reaktion seitens des Testnehmers erfordern. Testnehmer kommen mit eigenen Vorstellungen davon, was ein Gefahrereignis ausmacht und ab wann ein solches Ereignis als Gefahr einzustufen ist, in die Testsituation. Diese Vorstellung muss nicht mit der des Aufgabenkonstruktors übereinstimmen. Zusätzliches Rauschen kann die Testwerte beeinflussen und die Reliabilität mindern. Wetton et al. (2011) schlagen deshalb vor, Ambiguität von Begriffen in der Instruktion zu vermeiden, eindeutig erkennbare Gefahrenereignisse zu präsentieren und die Ausweichreaktion des Fahrers deutlich erkennbar darzustellen. Das fünfte Gestaltungsprinzip thematisiert die Fälschungssicherheit von Hazard Perception-Aufgaben. Wetton et al. (2011) argumentieren, dass Testnehmer in Hazard Perception-Aufgaben, die eine unspezifische Reaktion verlangen, leicht ihre Testergebnisse schönen können, in dem sie einfach zufällig und häufig durch Tastendruck während der Bearbeitung der Aufgaben reagieren. Eine Möglichkeit, diesem Problem entgegenzuwirken, besteht darin, Reaktionsformate einzusetzen, die neben zeitlichen auch räumliche Informationen erfassen (vgl. McGowan & Banbury, 2004). Müssen Testnehmer die Gefahrenquellen im Bildmaterial z. B. per Mausclick oder im Fall von *Touch Screens* durch Berührung entsprechender Areale mit dem Finger (vgl. z. B. Horswill, Hill, et al., 2015; Scialfa et al., 2011) lokalisieren, können unangemessene Reaktionen leichter identifiziert werden.

In Hazard Perception-Aufgaben, ob zu Test- oder zu Trainingszwecken eingesetzt, sind zum Teil ganz unterschiedliche Reiz- und Reaktionsformate verwendet worden. Während in einigen unbewegtes Bildmaterial eingesetzt wurde (z. B. Huestegge et al., 2010; Pollatsek et al., 2006; Scialfa et al., 2012), wird der Einsatz dynamischer Verkehrsszenarien generell bevorzugt (Borowsky et al., 2009; Malone & Brünken, 2014; McKenna et al., 2006; Meir et al., 2014; Scialfa et al., 2011; Wetton et al., 2011; Zafian et al., 2014). Einen klaren Vorteil für die Verwendung einer der beiden Präsentationsmodi in Hazard Perception-Tests konnten Scialfa, Borkenhagen, Lyon und Deschènes (2013) nicht aufzeigen. Sie gehen davon aus, dass es sinnvoll sein kann, beide Formen zu kombinieren und verweisen dabei auf die Arbeiten von Fisher et al. (2006), die zu Trainingszwecken auf statisches Material zurückgriffen und die Beurteilung von Trainingserfolgen anhand dynamischer Verkehrsszenarien vornahmen.

Anders als Malone et al. (2012) führten Scialfa et al. (2013) in ihrer Untersuchung keinen Extremgruppenvergleich durch. Malone und Kollegen (2012) hingegen gingen der Frage nach, ob durch dynamische Verkehrsszenarien die Domänenspezifität von Hazard Perception-Testaufgaben erhöht werden kann und somit deutlichere Leistungsunterschiede zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrern gefunden werden können als unter der Verwendung von statischem Testmaterial. Bei Szenarien mit latenten Gefahren beeinflusste der Präsentationsmodus die Latenzzeiten in Abhängigkeit vom Expertisegrad. In Aufgaben mit dynamischem Bildmaterial reagierten die erfahrenen Fahrer frühzeitiger auf implizite Gefahrenhinweise als Novizen. Je domänenspezifischer die Aufgaben, desto eher zeigte sich demnach die Überlegenheit der erfahrenen Fahrer. In einer weiteren Studie prüften Malone und Brünken (2013), ob durch das Ersetzen des statischen mit dynamischem Bildmaterial die Validität des Theorietests erhöht werden kann. Die Ergebnisse zeigten, dass die Novizen von animierten Verkehrsszenarien bei der Lösung der Testaufgaben profitierten. Die Autoren werten dieses Ergebnis als einen Hinweis darauf, dass die Qualität des Theorietests durch den Einsatz von bewegtem Bildmaterial verbessert werden kann. Anhand von Blickbewegungsmessungen konnten Malone und Brünken (2014) zeigen, dass sich die Überlegenheit der erfahrenen Fahrer nur in dynamischen, nicht bei statischen Verkehrsszenarien zeigt. Die Ergebnisse sprechen für den Einsatz dynamischen Testmaterials.

Weiß et al. (2013) konnten zudem zeigen, dass sich computerbasiertes Lernmaterial mit dynamischen Verkehrsszenarien besser dazu eignet, Gefahrenwahrnehmung zu vermitteln, als inhaltlich identisches konventionelles Lernmaterial, das den Testteilnehmern als Papier-Bleistift-Version mit statischem Bildmaterial zur Bearbeitung vorgelegt wurde. Um herauszufinden, unter welchen Bedingungen dynamisches Lernmaterial vorteilhafter ist als statisches, führten Höffler und Leutner (2007) eine Metaanalyse durch. In diese gingen insgesamt 26 Studien ein; und das nur dann, wenn sowohl die statische als auch die dynamische Variante dieselben Lerninformationen aufwiesen. Insgesamt zeigte

sich in den Ergebnissen ein moderater Vorteil für das Lernen mit dynamischem Bildmaterial. Entscheidend war, welche Inhalte vermittelt wurden. Dynamisches Lernmaterial eignete sich insbesondere zur Vermittlung prozeduralen Wissens.

Aus den Ergebnissen der genannten Studien kann gefolgert werden, dass der Präsentationsmodus eine entscheidende Rolle spielt und dass in der Fahranfängervorbereitung bevorzugt bewegtes Bildmaterial zu Lern- und Testzwecken Verwendung finden sollte. Bei dynamischen Hazard Perception-Test- oder Trainingsszenarien handelt es sich in der Regel um solche, die im Realverkehr aufgezeichnet wurden (z. B. Borowsky et al., 2009; Horswill, Hill, et al., 2015; Scialfa et al., 2012; Scialfa et al., 2011; Sümer et al., 2007; Wetton et al., 2011). Immer häufiger werden Testteilnehmer aber auch mit Animationen konfrontiert (z. B. Malone & Brünken, 2016; Petzoldt et al., 2013; Sümer et al., 2007; Vlakveld, 2014; Zafian et al., 2014). Während Animationen im Großen und Ganzen mit Szenarien aus dem Realverkehr vergleichbar sind, bieten sie zum einen den Vorteil einer höheren Bildqualität und zum anderen können sämtliche Aspekte ohne großen Aufwand im Szenario manipuliert werden (Petzoldt et al., 2013). Beide Aspekte sind vor allem für die Erstellung von Lernmaterial vorteilhaft. Lernszenarien können schnell und unkompliziert hinsichtlich der Komplexität variiert werden. Aber auch die Modifikation einzelner Aspekte zur Erzeugung ähnlicher Szenarien ist für die Gestaltung von Lernszenarien von Vorteil. Nicht zuletzt deshalb, weil flexibles Problemlöseverhalten durch hohe Aufgabenvariabilität gefördert wird (Spiro, Coulson, Feltovich, & Anderson, 1988; van Merriënboer, Kester, & Paas, 2006).

Hazard Perception-Testaufgaben unterscheiden sich auch hinsichtlich des Antwortteils. Während einige Antwortformate mit der genauen Lokalisation von Gefahrenhinweisreizen (z. B. Horswill, Hill, et al., 2015; McGowan & Banbury, 2004; Scialfa et al., 2011) oder Gefährlichkeits-, Risiko- oder Schwierigkeitseinschätzungen (Borowsky & Oron-Gilad, 2013; Groeger & Chapman, 1996) eine elaborierte Reaktion erfordern, wird im klassischen Testformat, das von McKenna und Crick (1994) eingeführt wurde, mit dem Tastendruck zwar eine unmittelbare aber dennoch fürs Autofahren eher untypische Verhaltensantwort auf Gefahrenreize vom Testteilnehmer verlangt (Borowsky et al., 2009; Borowsky, Shinar, & Oron-Gilad, 2007; Borowsky, Shinar, et al., 2010; Malone & Brünken, 2014, 2016; Sagberg & Bjørnskau, 2006).

Auch in Trainingsanwendungen sind mit Markieraufgaben, WHN-Aufgaben und Aufgaben zum Kommentierten Fahren beispielsweise ganz unterschiedliche Reaktionsformate eingesetzt worden, um frühzeitiges Erkennen und Reagieren auf potentielle Gefahrenereignisse zu fördern (vgl. Abschn. 2.3). Neben all diesen Aufgabenformaten erwies sich auch die klassische Hazard Perception-Testaufgabe, bei der die Identifikation per Tastendruck angezeigt werden muss, als effektiv zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung (z. B. Meir et al., 2014).

Für die Verwendung von dynamischen Szenarien in Kombination mit dem klassischen Antwortformat spricht zudem, dass diese Aufgabenform mittlerweile in mehreren Ländern in Form eines Hazard Perception-Tests verpflichtender Teil der offiziellen Fahrprüfung ist. In Großbritannien wurde der Hazard Perception-Test bereits 2002 eingeführt und auch in Australien und den Niederlanden müssen Prüflinge in einem solchen Test ausreichende Kenntnisse nachweisen, um als Fahrer am Straßenverkehr teilnehmen zu dürfen (Moran et al., 2019). Auch in Deutschland wird diese Art von Testaufgaben als Ergänzung zur derzeitigen Fahrprüfung diskutiert (Weiß et al., 2009). Es ist daher naheliegend, dieses Aufgabenformat auch zu Trainingszwecken einzusetzen.

Für die erste Studie wurden deshalb Reaktionszeitaufgaben entwickelt, die dem klassischen Hazard Perception-Testaufgabenformat entsprechen. Den Teilnehmern wurden animierte Verkehrsszenarien mit unterschiedlichen potentiellen Gefahrenereignissen dargeboten, auf die durch Tastendruck reagiert werden musste.

5.2 Zielsetzung und Hypothesen

Ziel war es, für den Wissensbereich Gefahrenwahrnehmung repräsentative Verkehrsszenarien zu ermitteln. Das heißt solche, die wiederholt verlässlich zwischen erfahrenen (Experten) und unerfahrenen Fahrern (Novizen) differenzieren. Szenarien, in denen Novizen durchgehend deutlich schlechtere Testwerte erreichen als die Experten, bilden fahrspezifische Defizite der unerfahrenen Fahrer ab, die in Trainingsinterventionen angesprochen werden können (vgl. McKenna & Crick, 1997). Mehrere animierte Gefahrenwahrnehmungsszenarien wurden zu diesem Zweck in Anlehnung an gängige Hazard Perception-Testverfahren mit Sorgfalt und unter Berücksichtigung geltender Gestaltungsprinzipien (vgl. Wetton et al., 2011) entwickelt und erfahrenen und unerfahrenen Fahrern zu Bearbeitung vorgelegt.

Expertise setzt Übung und die meist jahrelange intensive Auseinandersetzung mit bzw. das Sammeln praktischer Erfahrungen in dem Gegenstandsbereich voraus, in dem man als Experte gilt. In der Folge davon verfügen Fahrerfahrene über umfangreiches verkehrsspezifisches und gefahrenbezogenes Wissen und Können, das unerfahrenen noch weitgehend fehlt. Es kann daher angenommen werden, dass Gefahrenszenarien, deren erfolgreiche Bewältigung solches Wissen und Können voraussetzt, von erfahrenen Fahrer angemessen bewältigt werden, während unerfahrene Fahrer bei der Problembewältigung scheitern oder deutlich schlechter abschneiden.

In Übereinstimmung mit Befunden aus der Expertiseforschung wurde daher angenommen, dass unerfahrene Fahrer (\leq zwei Jahre Fahrerfahrung) weitaus schlechtere Testleistungen erzielen werden als erfahrene Fahrer (\geq zwei Jahre Fahrerfahrung). Das heißt, es wird von einem Haupteffekt der

Expertise ausgegangen. Konkret wird erwartet, dass Novizen zum einen *weitaus mehr Fehler* machen und zum anderen, dass Novizen *deutlich langsamer* auf die in den Testaufgaben dargebotenen potentiellen Gefahrenereignisse reagieren als erfahrene Fahrer.

5.3 Methode

5.3.1 Experimentelles Design

Um Unterschiede zwischen unerfahrenen und erfahrenen Fahrern in den neu entwickelten Hazard Perception-Aufgaben aufzudecken, wurden die Testleistungen beider Fahrergruppen (UV) im Querschnitt miteinander verglichen. Als AV wurden die Treffsicherheit und die Reaktionszeiten der Teilnehmer erfasst.

5.3.2 Stichprobe

Die Bestimmung eines optimalen Stichprobenumfangs erfolgte unter Zuhilfenahme von G*Power (vgl. Faul, Erdfelder, Lang, & Buchner, 2007). Aus der Expertiseforschung lässt sich ableiten, dass Experten Novizen in domänenspezifischen Aufgaben in der Regel deutlich in ihren Leistungen übertreffen. Aufgrund zum Teil widersprüchlicher Ergebnisse aus empirischen Studien zur Gefahrenwahrnehmung wurde für die Planung der Stichprobe von einem mittelgroßen Effekt zwischen den Testleistungen beider Teilnehmergruppen ausgegangen. Bei einer α -Fehlerwahrscheinlichkeit von 5 % und einem β -Fehler von .20 ergibt sich so ein optimaler Stichprobenumfang von $N = 102$; und damit von 51 Testpersonen pro Teilnehmergruppe.

Insgesamt konnten 124 Teilnehmer für die Studie gewonnen werden. Um einer durch Ausfall zu geringen Anzahl an Testpersonen vorzubeugen, wurde davon abgesehen, Erhebungstermine abzusagen. Deshalb wurden die Leistungen von mehr als den geplanten 102 Probanden erhoben.

Als Experten kamen Fahrschüler infrage, die bereits über einen Führerschein Klasse B verfügten und zum Testzeitpunkt beabsichtigten, einen weiteren Führerschein – meist den, der sie zum Führen eines Motorrads berechtigt – zu erwerben. Die Anzahl an Novizen, die in Fahrschulen rekrutiert werden konnte, war höher als die an Experten.

Die Stichprobe teilte sich auf in 66 Fahranfänger und 58 erfahrene Fahrer. Mit insgesamt 79 Frauen und 45 Männern war der Großteil (63,7 %) der Teilnehmer weiblich. Die Testpersonen waren zwischen 16 und 53 Jahren ($M = 24.65$; $SD = 7.48$) alt.

Während die Verteilung des Faktors *Geschlecht* in der Teilstichprobe der Novizen mit 30 Frauen und 36 Männern annähernd ausgeglichen war, überwog der Anteil an Frauen (43 Teilnehmer) in der Teilstichprobe der Experten mit 74 % deutlich.

Als eine Teilnahmevoraussetzung sollten Fahranfänger bereits den Großteil des theoretischen Fahrschulunterrichts absolviert und mit der praktischen Ausbildung begonnen haben. Zudem durften sie maximal 24 Monate im Besitz eines Führerscheins sein. Als Experten kamen nur Personen infrage, die bereits seit mindestens zwei Jahren im Besitz eines Führerscheins Klasse B waren. Zum Testzeitpunkt besaßen drei Teilnehmer der Stichprobe der Novizen bereits den Führerschein Klasse B (im Mittel 12 Monate; $SD = 4.1$). Nach eigenen Angaben legten sie bis zum Testzeitpunkt zwischen 150 und 1000 km ($M = 716.67$; $SD = 490.75$) eigenständig mit dem Auto zurück. Die Mehrheit (96 %) der Novizen besuchte zum Erhebungszeitpunkt noch die Fahrschule. Mit 65 % hatte der Großteil der Fahrschüler noch keinerlei fahrpraktische Erfahrung. Im Mittel gaben die Fahrschüler an, bereits an 8 Stunden ($SD = 5.0$) Theorieunterricht teilgenommen zu haben.

Die Experten waren zum Testzeitpunkt zwischen 3 und 28 Jahren ($M = 10.1$; $Md = 8.0$; $SD = 6.11$) im Besitz einer Fahrerlaubnis Klasse B. Nach eigenen Angaben legten die Experten bis zum Erhebungszeitpunkt zwischen 2000 und 750000 km ($M = 112345$; $SD = 147155$) als Fahrer zurück. Zwei unrealistisch hoch erscheinende Werte (Extremwerte; weit über drei Millionen km), die vermutlich auf Tippfehler zurückzuführen sind, wurden durch den Gruppenmittelwert der Teilstichprobe ersetzt.

Als bislang höchsten erreichten Bildungsabschluss gaben 10.5 % der Teilnehmer den Hauptschulabschluss, 25.8 % einen Realschulabschluss und 1.6 % einen Fachschulabschluss an. Mit 28.2 % gab die Mehrheit der Testnehmer das Abitur als höchsten Bildungsabschluss an, 23.4 % einen Hochschulabschluss. Keinen Abschluss bzw. sonstiges wurde von 7.3 %, respektive 3.2 % angegeben.

Zum Testzeitpunkt gaben 34.7 % ein Studium als Hauptbeschäftigung an; 21 % der Testteilnehmer waren Schüler, 12.1 % befanden sich in der Berufsausbildung und 29.9 % gaben an, aktuell einer beruflichen Tätigkeit nachzugehen.

5.3.3 *Testmaterial und technische Ausstattung*

Die Untersuchung beinhaltet mehrere Testteile. Bevor auf den demografischen Fragebogen zur Erfassung personenbezogener Faktoren und auf den eingesetzten Reaktionszeittest zur Erfassung der einfachen Reaktionszeiten eingegangen wird, werden zunächst die entwickelten Testszenarien näher beschrieben.

5.3.3.1 Testszzenarien:

Nach dem Vorbild von in der Gefahrenwahrnehmungsforschung typischerweise eingesetzten Verfahren wurden 15 Reaktionszeitaufgaben entwickelt. Mithilfe des VICOM-Editors¹ wurden animierte Verkehrsszenarien erstellt, die in ihrer Länge zwischen 13 und 69 Sekunden ($M = 36.0$; $SD = 15.47$) variierten und aus der Fahrerperspektive (vgl. Abb. 12) dargeboten wurden.

Zwei Items dienten als Distraktoren. Das heißt, diese Aufgaben enthielten keine Hinweise auf eine potentielle Gefahr. Distraktor-Items galten als korrekt gelöst, wenn keine Reaktion seitens des Testnehmers erfolgte. Diese Items sollten zum einen den Blick dafür schärfen, was als Gefahr gilt und was nicht. Zum anderen sollten Testnehmer durch diese Items davon abhalten werden, relativ wahllos die Leertaste zu drücken, um eine Bremsreaktion anzuzeigen. Hierdurch sollte Verfälschungstendenzen von Testnehmern vorgebeugt werden. Eine weitere Aufgabe diente als Übungsitem, sodass sich die Testteilnehmer mit der Aufgabe, die an sie gestellt wurde, vertraut machen konnten. Die übrigen Verkehrsszenarien enthielten jeweils eine potentielle Gefahrensituation.

In Anlehnung an die Definition von McKenna et al. (2006) wurde eine potentielle Gefahrensituation als eine Verkehrssituation definiert, in der der Fahrer gefordert ist, durch Geschwindigkeitsverringerung oder ein Ausweichmanöver einen Unfall oder Beinaheunfall zu verhindern. Für den genauen Wortlaut sei an dieser Stelle auf die Instruktion im Anhang verwiesen (vgl. Instruktion 5 Anhang A). Beispiele für potentiell gefährliche Ereignisse sind der Vorfahrer, der seine Geschwindigkeit reduziert, um einen Fußgänger die Fahrbahn sicher queren zu lassen oder ein langsames, vordringendes Fahrzeug hinter einer Kurve, das aufgrund von Gegenverkehr nicht überholt werden kann. Tabelle 1 enthält eine Beschreibung der einzelnen Szenarien sowie der jeweils darin enthaltenden Gefahrenquellen. Hinweise auf geeignete Inhalte für die Erstellung der Verkehrsszenarien wurden Unfallanalysen und der einschlägigen Literatur (z. B. McKnight & McKnight, 2003) entnommen. Zudem orientierte sich die Gestaltung, z. B. in Bezug auf die Beschilderung oder Fahrbahnmarkierung, an realen Gegebenheiten sowie an Abbildungen aus Fahrlehrerbüchern. Vor dem Einsatz wurden die Verkehrsszenarien außerdem Experten (z. B. Fahrlehrer mit mehrjähriger Berufserfahrung) zur Prüfung auf Richtigkeit sämtlicher Details und Begebenheiten vorlegt und gegebenenfalls angepasst.

¹ Beim VICOM-Editor handelt es sich um eine Autorensoftware, die von der TÜV/Dekra Arge tp 21 für das Dissertationsprojekt dankenswerterweise für die Erstellung animierter Verkehrsszenarien zur Verfügung gestellt wurde.

Tabelle 1: Beschreibung der Testszenarien

Item	Beschreibung	Gefahrenquelle (Umgebung)
A1	Testfahrer beginnt Überholvorgang, vorausfahrender Traktor setzt Blinker links, weil er in einen Feldweg abzubiegen beabsichtigt; Testfahrer muss Überholvorgang abbrechen	Vorausfahrer (Landstraße)
A2	<i>Übungssitem:</i> Vorausfahrer bremst, um einen die Fahrspur wegen eines Sonderfahrzeugs von rechts nach links wechselnden PKW sicher einscheren zu lassen	Fahrspurwechsel PKW (Stadt)
A3	Fußgänger quert plötzlich die Fahrbahn, um die Bahn noch zu bekommen; Vorausfahrer bremst	Fußgänger, Vorausfahrer (Stadt)
A4	Vorausfahrer bremst, um nicht auf einen in gleicher Fahrtrichtung fahrenden Radfahrer aufzufahren; für Testfahrer ist Radfahrer schwer zu erkennen	Radfahrer, Vorausfahrer (Stadt)
A5	LKW fährt auf der Autobahn von rechter auf mittlere Fahrspur, um langsames Fahrzeug vor ihm zu überholen; Testfahrer kann wegen Verkehrs nicht auf Spur nach links ausweichen und muss deshalb bremsen	Fahrspurwechsel LKW (Autobahn)
A6	Testfahrer wird durch erst sehr spät sichtbaren Traktor am Weiterfahren gehindert; Überholen aufgrund einer scharfen Rechtskurve und Gegenverkehr nicht angezeigt	Straßenführung (Landstraße)
A7	Testfahrer nähert sich Ampel, die bei Abstand von ca. 50 m zur Ampel von Grün auf gelb umschaltet; Vorausfahrer könnte noch durchfahren, bremst aber und kommt vor Lichtzeichenanlage zum Stehen	Umschaltende Ampel (Stadt)
A8	Um einer Baustelle auf Geh- und Radweg auszuweichen, befährt vorausfahrender Radfahrer, ohne Signal zu geben die Fahrspur des Testfahrers; Testfahrer kann zunächst wegen Gegenverkehrs nicht überholen	Radfahrer (Stadtgebiet)
A9	LKW blinkt für Testfahrer durch Vorausfahrer nicht sichtbar, um anzuzeigen, dass er in Tankstelleneinfahrt rechts abbiegen wird; Testfahrer kann nicht überholen	LKW (Stadtgebiet)
A10	beim Ausfahren aus Kreisverkehr halten zwei vorausfahrende PKW, weil Fußgänger Zebrastreifen überqueren; Testfahrer muss ebenfalls Geschwindigkeit reduzieren und anhalten	Fußgänger (Stadtgebiet)
A11	Vorausfahrer bremst, weil er nach links abbiegen möchte und dem Gegenverkehr Vorfahrt gewähren muss	Vorausfahrer (Stadtgebiet)
A12	<i>Distraktor</i>	Testfahrer fährt durch Stadtgebiet
A13	<i>Distraktor</i>	Testfahrer befährt Landstraße
A14	Testfahrer befährt Kreuzungsbereich, für den die Regel rechts vor links gilt; ein Fahrzeug von rechts ist zum Zeitpunkt des Überquerens nicht sichtbar, aber es sollte die Geschwindigkeit reduziert und in den rechten Kreuzungsbereich Einsicht genommen werden	Missachtung rechts vor links (Wohngebiet)
A15	Testfahrer nähert sich einem LKW und muss Geschwindigkeit verringern; Nachfolger setzt zum Überholen an, muss Überholvorgang aber wegen Gegenverkehrs abbrechen und vor Testfahrer einscheren	Fahrfehler anderer (Landstraße)

Die Aufgaben waren so gestaltet, dass es nicht nur durch den Blick nach vorne auf die Straße gerichtet gelang, potentielle Gefahren zu erkennen, sondern hierfür mussten auch Rück- und Seitenspiegel einbezogen werden (vgl. Abb. 12). Zur Bearbeitung der entwickelten Hazard Perception-Testaufgaben waren die Testteilnehmer angehalten, sich so zu verhalten, als seien sie der Fahrer. Ihre Aufgabe war es, das Erkennen von potentiellen Gefahren schnellstmöglich durch einmaliges Drücken der Leertaste anzuzeigen. Für jedes potentielle Gefahrenereignis wurde im Vorhinein ein kritisches Reaktionszeitfenster festgelegt. Dieses Zeitfenster begann mit dem Sichtbarwerden der potentiellen Gefahr und endete zu dem Zeitpunkt, an dem ein Unfall gerade noch hätte vermieden werden können. Abbildung 12 zeigt ein Standbild aus Aufgabe A6. Über ein kurzes Aufleuchten des Bildschirmrandes wurden die Teilnehmer darüber informiert, dass ihre Reaktion vom System registriert wurde. Das war notwendig, um zu verhindern, dass durch mehrmaliges Reagieren die Ergebnisse verfälscht werden. Die Items wurden in randomisierter Reihenfolge dargeboten.



Abbildung 12: Standbild aus Verkehrsszenario A6

Für die Datenerhebungen musste auf Pentium 4 Desktop-PC und Lenovo-Laptops mit zum Teil unterschiedlichen Bildschirmdiagonalen zurückgegriffen werden. Es wurde allerdings darauf geachtet, dass die angezeigte Bildgröße – unabhängig vom Gerät, vor dem die Teilnehmer saßen – stets die gleiche war. Die Testteilnehmer saßen ca. 60 cm vom Bildschirm entfernt.

Neben den entwickelten Hazard Perception-Testszenerarien wurden ein Fragebogen zur Erfassung personenbezogener Daten sowie ein Reaktionszeittest, mit dem die allgemeine Reaktionsfähigkeit der Probanden gemessen werden sollte, eingesetzt.

5.3.3.2 *Computerbasierter Fragebogen:*

Im Fragebogen wurden von den Testteilnehmern Angaben zur eigenen Person verlangt. Neben demografischen Daten, wie dem Geschlecht, dem Alter, oder dem Bildungsabschluss beispielsweise, mussten unter anderem auch Angaben zum Führerscheinbesitz, den bislang als Fahrer zurückgelegten Kilometern, dem aktuellen Stand in der Fahrausbildung, oder PC-Nutzungsgewohnheiten gemacht werden.

5.3.3.3 *Allgemeiner Reaktionszeittest:*

Um etwaige Unterschiede in der allgemeinen Reaktionsfähigkeit zwischen den zwei Teilnehmergruppen ermitteln zu können, wurde ein einfacher Reaktionszeittest vorgegeben. In 10 Durchgängen mussten die Testnehmer auf ein in unregelmäßigen Zeitintervallen auf ein in der Mitte des Bildschirms auftauchendes schwarzes Kreuz schnellstmöglich durch Drücken der Leertaste reagieren. Die Zeit, die vom Erscheinen des Kreuzes bis zum Tastendruck vom Teilnehmer benötigt wurde, wurde vom System aufgezeichnet und über alle Durchgänge hinweg für jeden Testteilnehmer gemittelt. Dieser Wert bildet die mittlere allgemeine Reaktionsfähigkeit eines Teilnehmers ab.

5.3.4 *Vorgehen*

Testpersonen wurden einerseits über Aushänge auf dem Campus der Universität des Saarlandes angeworben, andererseits durch direkte Ansprache von Fahrlehrern aus dem Saarland. Per Zufallsentscheidung wurden verschiedene Fahrschulen aus Saarbrücken sowie dem Umland ausgewählt. Insgesamt wurden 30 Fahrschulen zunächst angeschrieben und danach telefonisch kontaktiert, um die Inhaber von der anstehenden Untersuchung zu unterrichten und ihr Interesse an einer Teilnahme zu erfragen. Von diesen Fahrschulen erklärten sich 12 zu einer Teilnahme bereit.

Die Datenerhebungen fanden sowohl in saarländischen Fahrschulen als auch im Experimentallabor der Empirischen Bildungswissenschaften der Universität des Saarlandes statt. Die gesamte Erhebung erfolgte am PC und wurde in Form von Gruppentestungen von bis zu 10 Personen durchgeführt. Erfahrene und unerfahrene Fahrer wurden gleichermaßen sowohl im Labor als auch in Fahrschulen getestet.

Im Anschluss an eine kurze Begrüßung wurden die Teilnehmer über Zweck und Ablauf der Untersuchung informiert und gebeten, ihre Mobiltelefone auszuschalten, sich nicht mit anderen Teilnehmern während der Testbearbeitung auszutauschen und sich nach der Testbearbeitung nicht störend zu verhalten. So war gewährleistet, dass sich jeder Teilnehmer auf die Erhebung konzentrieren konnte. Im ersten Testteil, dem Fragebogen, mussten die Teilnehmer zunächst Angaben zu ihrer Person und zur individuellen Fahrerfahrung machen. Danach absolvierten sie einen Reaktionszeittest

und erst dann führen sie mit den Hazard Perception-Testaufgaben fort. Die Instruktionen waren Teil des vollständig computerbasierten Testmaterials. Daher waren die Testleiter nur im Falle von Verständnisfragen gefordert. In Abhängigkeit des individuellen Bearbeitungstempos dauerte die Erhebung zwischen 20 und 35 Minuten.

Die überwiegende Mehrheit der Testteilnehmer erhielt eine Aufwandsentschädigung von 5 €. Anstelle einer finanziellen Entlohnung erhielten Psychologiestudierende die Bescheinigung einer halben Versuchspersonenstunde. Eine Leistung, die sie im Rahmen ihres Studiums erbringen müssen.

5.4 Ergebnisse

Für alle nachfolgend in Studie 1 verwendeten statistischen Verfahren wurde – sofern nicht anders im Fließtext berichtet – ein Signifikanzniveau von $\alpha = 5\%$ festgelegt.

5.4.1 *Verwendete Leistungsmaße*

Zur Bearbeitung der entwickelten Hazard Perception-Aufgaben waren die Testteilnehmer gefordert, durch einen Tastendruck anzuzeigen, wann sie in der animierten Verkehrsszene einen Hinweis auf eine potentielle Gefahr erkannten. Für die Anzahl an korrekt identifizierten Gefahrenreizen (Treffer) wurde ein Gesamtsummenwert gebildet. Je höher dieser Wert, desto besser die erbrachte Testleistung.

Erfolgte ein Tastendruck innerhalb des kritischen Reaktionszeitfensters wurde die Zeit gemessen, die vom Sichtbarwerden des Gefahrenreizes bis zur Reaktion des Testteilnehmers verstrich. Die hieraus resultierenden Rohwerte für die Latenzzeiten wurden z-standardisiert. Negative z-Werte sind im Vergleich zum Mittel aller Testnehmer mit einer frühzeitigeren Reaktion auf den Gefahrenreiz assoziiert, positive mit einer langsameren.

5.4.2 *Stichprobe*

Hinsichtlich der Verteilung des Faktors Geschlecht unterschieden sich beide Teilnehmergruppen deutlich voneinander ($\chi^2(1) = 5.13; p = .024; \phi = .024$). Zudem zeigte sich ein statistisch bedeutsamer Unterschied in Bezug auf das Durchschnittsalter ($t(122) = -4.83; p \leq .001; d_{\text{Cohen}} = .87$). Erwartungsgemäß waren die Experten ($M = 27.83; SD = 4.48$) im Mittel älter als die Novizen ($M = 21.85; SD = 7.22$).

In Bezug auf die Kontrollvariable Häufigkeit, mit der PC im Alltag genutzt werden, zeigten sich überraschenderweise ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen Experten und Novizen ($\chi^2(2) = 16.44; p \leq .001; \phi = .36$). Während die überwiegende Mehrheit (90 %) der erfahrenen Fahrer von einer täglichen Nutzung dieses Mediums berichteten, nutzen nur knapp über die Hälfte (58 %) der

unerfahrenen Fahrer täglich einen PC. Etwa ein Drittel (27 %) der Novizen nutzt PC nur ca. einmal pro Woche.

5.4.3 *Allgemeine Reaktionsfähigkeit*

Die einfachen Reaktionszeiten von zwei unerfahrenen Fahrern wurden vom System nicht aufgezeichnet. Diese fehlenden Werte wurden durch den Gruppenmittelwert der Teilstichprobe der Novizen ersetzt. Im Vergleich zu den erfahrenen Fahrern ($M = 313$; $SD = 130$) wiesen die unerfahrenen ($M = 371$; $SD = 368$) im Mittel längere Reaktionszeiten (in Millisekunden) auf. Ein Unterschied in der allgemeinen Reaktionsfähigkeit beider Fahrergruppen, der sich jedoch statistisch als nicht bedeutsam erwies ($t(83) = 1.2$; $p = .23$; $d_{\text{Cohen}} = -.21$). Für die Analysen wurde die z-standardisierte Latenzzeit verwendet.

5.4.4 *Hazard Perception-Aufgaben*

Zwischen der Anzahl an Treffern und der Latenzzeit zeigte sich ein starker signifikanter Zusammenhang ($r = -.50$; $p \leq .001$). Je häufiger Gefahren richtigerweise erkannt wurden, desto kürzer waren auch die Latenzzeiten der Teilnehmer in den Aufgaben.

Ob die Testleistungen in den Aufgaben von der Fahrexpertise der Testnehmer beeinflusst wurden, wurde für die zwei AV (Anzahl Treffer und Latenzzeit) jeweils durch eine Univariate Varianzanalyse bzw. durch einen t -Test bestimmt. Da sich beide Teilstichproben hinsichtlich der PC-Nutzungshäufigkeit deutlich unterschieden und sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der PC-Nutzung und der Anzahl der Treffer ($r = -.27$; $p = .002$) zeigte, wurde dieser Faktor als Kovariate berücksichtigt und eine ANCOVA berechnet. Ein Zusammenhang zwischen dem Geschlecht der Testteilnehmer und den Testleistungen konnte weder für die Anzahl an Treffern ($r = -.02$; $p \geq .05$) noch die Latenzzeiten ($r = -.12$; $p \geq .05$) beobachtet werden.

Fahrexpertise hatte einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl an Treffern in den Testaufgaben ($F_{1,121} = 19.47$; $p \leq .001$; $\eta_p^2 = .14$). Nach Cohen (1988) handelt es sich hierbei um einen großen Effekt. Die Experten reagierten sehr viel häufiger ($M = 10.69$; $SD = 1.43$) auf potentielle Gefahren im Test als die Novizen ($M = 8.98$; $SD = 2.06$). Für die Kovariate zeigte sich kein signifikanter Einfluss auf die Anzahl an Treffern ($F_{1,121} = 2.36$; $p \geq .05$).

In Bezug auf die Latenzzeiten zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied in den Mittelwerten beider Teilnehmergruppen ($t(114) = 4.54$; $p \leq .001$; $d = .81$). Die erfahrenen Fahrer reagierten sehr viel frühzeitiger ($M = -0.15$; $SD = 0.39$) auf auftauchende Gefahren in den Testaufgaben als die

unerfahrenen Fahrer ($M = 0.24$; $SD = 0.57$). Auch hier kann nach Cohen (1988) von einem starken Effekt gesprochen werden.

Itemanalyse und -selektion: Die Auswahl von Items basiert auf der Überlegung, dass nur solche Aufgaben im zu entwickelnden Trainingsangebot berücksichtigt werden, die möglichst hoch mit dem Kriterium Expertise korrelieren. Für die Aufgabenselektion wurden daher zunächst die Trennschärfen der einzelnen Aufgaben in Form von Phi-Koeffizienten sowie punktbiserialen Korrelationen für die Anzahl an Treffern und die Latenzzeiten bestimmt. In Tabelle 2 sind die entsprechenden Itemkennwerte (Trennschärfen, Aufgabenschwierigkeiten) für jede AV separat aufgeführt.

Tabelle 2: Itemkennwerte der Hazard Perception-Testaufgaben

Item	Gefahrenreiz	Anzahl Treffer			ϕ (p)	Reaktionszeit (z-standardisiert)		r_{it} (p)
		gesamt $N = 124$ M (SD)	Novizen $n = 66$ M (SD)	Experten $n = 58$ M (SD)		Novizen $n = 66$ M (SD)	Experten $n = 58$ M (SD)	
A1	Linksabbieger	.39 (.49)	.36 (.49)	.41 (.50)	.05 (.567)	-.10 (.98)	.10 (1.03)	.10 (.507)
A2	Übungssitem							
A3	Fußgänger	.94 (.25)	.88 (.33)	1.0 (.00)	.25 (.006)	.18 (1.04)	-.18 (.935)	-.19* (.047)
A4	Vorausfahrer	.85 (.36)	.76 (.43)	.95 (.22)	.26 (.003)	.36 (1.31)	-.33 (.365)	-.34** (<.001)
A5	Lkw	.97 (.18)	.94 (.24)	1.0 (.00)	.17 (.057)	.25 (1.03)	-.27 (.900)	-.26* (.004)
A6	scharfe Kurve	.95 (.22)	.91 (.29)	1.0 (.00)	.21 (.019)	.45 (.964)	-.46 (.813)	-.46** (<.001)
A7	Vorausfahrer	.90 (.30)	.83 (.38)	.98 (.13)	.25 (.005)	.15 (1.05)	-.15 (.936)	-.15 (.113)
A8	Radfahrer	.88 (.33)	.86 (.35)	.90 (.31)	.05 (.575)	.09 (.981)	-.10 (1.02)	-.10 (.324)
A9	Vorausfahrer	.89 (.32)	.80 (.40)	.98 (.13)	.28 (.002)	.20 (1.10)	-.19 (.867)	-.20* (.038)
A10	Vorausfahrer	.91 (.29)	.86 (.35)	.97 (.18)	.18 (.046)	.09 (1.02)	-.10 (.974)	-.10 (.311)
A11	Fußgänger	.81 (.40)	.71 (.46)	.91 (.28)	.26 (.005)	.19 (1.03)	-.17 (.952)	-.18 (.067)
A12	Distraktor	.17 (.38)	.14 (.35)	.21 (.41)	.09 (.296)			
A13	Distraktor	.48 (.50)	.41 (.50)	.55 (.50)	.14 (.113)			
A14	Rechts vor links	.31 (.47)	.27 (.45)	.36 (.49)	.10 (.285)	-.26 (1.19)	.22 (.761)	.25 (.132)
A15	Überholender	.35 (.48)	.24 (.43)	.47 (.50)	.23 (.009)	-.033 (1.12)	0.20 (0.889)	.26 (.095)

* die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.05 (zweiseitig) signifikant, ** die Korrelation ist auf dem Niveau von 0.01 (zweiseitig) signifikant; durch Fettdruck hervorgehoben, sind signifikante Werte und Verkehrsszenarien, die als Lernszenarien weiterverwendet werden können

Aus der Kennwertetabelle geht hervor, dass die erfahrenen Fahrer in allen Aufgaben mehr Treffer erzielten als die unerfahrenen Fahrer. Mit einer durchschnittlichen Aufgabenschwierigkeit von .70 ($SD = .28$) sind die Items als leicht lösbar zu beurteilen.

Den Gefahrenreiz zu identifizieren, war für die Testteilnehmer in den Verkehrsszenarien A1, A14 und A15 am schwierigsten und am leichtesten für die Aufgaben A3, A5, A6 und A10. Aufgabe A14 beispielsweise wurde von 31 % der Testteilnehmer richtig gelöst, Item A5 hingegen von 97 %.

Signifikante Zusammenhänge mit dem Kriterium zeigten sich für die Anzahl an Treffern in den Aufgaben A3, A4, A6, A7, A9, A10, A11 und A15 sowie tendenziell auch für Item A5. Die Effektstärken dieser Aufgaben liegen im Bereich zwischen .18 und .28, womit es sich nach Cohen (1988) um geringe bis moderate Effekte handelt. In den Aufgaben A1, A8 und A14 ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Probandengruppen beobachten.

Im Gegensatz zu den unerfahrenen Fahrern reagierten in den Verkehrsszenarien A3, A5 und A6 alle erfahrenen Fahrer innerhalb des kritischen Reaktionszeitfensters auf das potentielle Gefahrenereignis. In Item A6 (vgl. Abb. 12) beispielsweise passiert der Testfahrer einen Kurvenbereich auf einer Landstraße. Direkt hinter der scharfen Rechtskurve taucht plötzlich ein langsam fahrendes Fahrzeug auf. Aufgrund von Gegenverkehr ist das Überholen des Vordermanns nicht möglich. Stattdessen muss die Fahrgeschwindigkeit verringert werden, um ein Auffahren auf den Vorfahrenden zu vermeiden. Während alle erfahrenen Fahrer diese Verkehrssituation als potentiell gefährlich bewerteten und rechtzeitig die Leertaste drückten, um anzuzeigen, dass sie in einer solchen Situation die Geschwindigkeit reduzieren würden, sahen fast 10 % der Novizen keinen Handlungsbedarf oder identifizierten den Gefahrenreiz zu spät.

Neben der Anzahl an Treffern lassen sich Tabelle 2 auch die Reaktionszeiten der Testteilnehmer entnehmen. In 9 von 12 Verkehrsszenarien (Distraktoren unberücksichtigt) reagierten die erfahrenen Fahrer erwartungsgemäß frühzeitiger auf das potentielle Gefahrenereignis als die Novizen; aber nur in den Aufgaben A3, A4, A5, A6, A9 sowie tendenziell auch in A11 reagierten sie dabei auch deutlich schneller. Mit Trennschärfekoeffizienten im Bereich von -.19 bis -.46 zeigten sich auch für die Latenzzeiten in diesen Aufgaben geringe bis moderate Zusammenhänge mit dem Kriterium. Widererwartend reagierten die erfahrenen Fahrer in den Items A1, A14 und A15 später auf den Gefahrenreiz als die Novizen. Statistisch bedeutsam waren diese Unterschiede jedoch nicht.

Für Items mit hoher Fremdtrennschärfe kann angenommen werden, dass sie erfahrungsabhängige Unterschiede in der Gefahrenwahrnehmung abbilden und sich deshalb auch für Trainingszwecke eignen. Solche Aufgaben werden ausgewählt und für die Entwicklung einer Lernumgebung weiterverwendet. Die restlichen Items werden verworfen. Insgesamt haben sich so 9 Hazard Perception-Aufgaben als kriteriumsvalide erwiesen (in Tabelle 2 durch Fettdruck hervorgehoben). Nach DeVellis (2017) können Cronbachs α -Werte kleiner als .60 als inakzeptabel bezeichnet werden. Werte zwischen .60 und .70 gelten als gering aber ausreichend, Werte zwischen .70 und .80 als akzeptabel

und Werte von .80 bis .90 können als sehr gut bezeichnet werden. Mit einem Cronbachs α -Wert von .76 (Anzahl Treffer) können die Items in einer Skala zusammengefasst werden, die demnach als akzeptabel reliabel bezeichnet werden kann. Für die Latenzzeiten ergibt sich hiernach eine als gering, aber ausreichend zu bezeichnende interne Konsistenz der Skala von .62.

5.5 Diskussion

Mit dem Ziel der Identifikation repräsentativer Aufgaben, die sich für Trainingszwecke und damit auch für die Einbindung in eine Lernumgebung eignen, wurden in Studie 1 insgesamt 15 Aufgaben im Reaktionszeitaufgabenformat entwickelt und im Experten-Novizen-Vergleich auf ihre Eignung zur Einbindung in eine Lernumgebung überprüft. Im Vordergrund stand daher nicht der Versuch, möglichst homogene Testitems zu entwickeln, wie das bei der Entwicklung von Hazard Perception-Tests, die als Beurteilungs- und Prüfverfahren eingesetzt werden, der Fall wäre. Vielmehr ging es in dieser Untersuchung darum, Inhaltsbereiche zu ermitteln, die in einer Trainingsintervention thematisiert werden sollten. Entscheidender war daher die Klärung der Frage, ob durch die entwickelten Aufgaben das Kriterium reliabel vorhergesagt werden kann.

Übereinstimmend mit allgemeinen Befunden aus der Expertiseforschung wurde angenommen, dass die Experten in den entwickelten Aufgaben deutlich bessere Testleistungen erzielen werden als die Novizen. Konkret wurde davon ausgegangen, dass die Novizen weniger Gefahrenhinweise erkennen und dass sie deutlich mehr Zeit benötigen, um auf auftauchende Gefahren in den Aufgaben zu reagieren. Beide Annahmen konnten durch die Ergebnisse bestätigt werden. In Übereinstimmung mit anderen Forschungsarbeiten, in denen vielfach gezeigt werden konnte, dass Novizen mehr Gefahren übersehen als Experten (z. B. McKenna & Crick, 1994; Scialfa et al., 2011; Wallis & Horswill, 2007), konnte auch in dieser Untersuchung mit animierten Verkehrsszenarien der Nachweis erbracht werden, dass unerfahrene Fahrer im Vergleich zu erfahrenen weniger gut darin sind, potentielle Gefahren zu identifizieren. Zudem stellte sich übereinstimmend mit Befunden anderer Studien (z. B. McKenna & Crick, 1994; Scialfa et al., 2011; Wallis & Horswill, 2007) auch in dieser Untersuchung heraus, dass Fahranfänger in der Regel deutlich mehr Zeit benötigen, um auf potentielle Gefahren zu reagieren.

Auf deskriptiver Ebene teilen die Verkehrsszenarien, die gut zwischen beiden Probandengruppen differenzieren, das Merkmal, dass relativ weit vorausgeschaut werden musste, um die potentielle Gefahr zu identifizieren. In Szenario A4 beispielsweise musste ein Radfahrer vorm vorausfahrenden Pkw identifiziert werden, um antizipieren zu können, dass der Vorausfahrer in Kürze bremsen muss. Die Novizen lösten diese Aufgabe deutlich schlechter als die Experten. Das kann ein Hinweis darauf sein, dass Novizen ihren Blick auf einen Bereich unmittelbar vorm eigenen Fahrzeug richteten; ein Ergebnis, dass sich in Studien mit Experten-Novizen-Vergleichen zeigte (z. B. Mourant & Rockwell,

1972). Mit den Daten der vorliegenden Untersuchung kann diese Annahme nicht abschließend überprüft werden. Durch den Einsatz von Eyetracking-Verfahren wären aber Aussagen über die Verteilung der Blickbewegungen möglich gewesen. Für künftige Studien ist deshalb zu überlegen, ob das Reaktionszeitaufgabenformat durch Blickbewegungsmessungen ergänzt werden sollte.

Eine deutliche Überlegenheit der Experten zeigte sich nicht in allen Verkehrsszenarien. So konnten die erfahrenen Fahrer in den Szenarien A1, A8 und A14 nicht mit signifikant besseren Testleistungen überzeugen. Auch dieses Ergebnis deckt sich mit Befunden anderer Studien, in denen für verschiedene Hazard Perception-Testaufgaben keine expertiseabhängigen Unterschiede gefunden werden konnten (z. B. Sagberg & Bjornskau, 2006).

Bei Testszenario 1 könnte eine geringe Typizität des Ereignisses ein Grund dafür sein, dass die Experten nicht deutlich besser als die Novizen abschnitten. Möglicherweise handelte es sich um ein solch selten auftretendes Beispiel, dass die erfahrenen Fahrer bei der Aufgabenbearbeitung keinen Vorteil hatten, weil sie auf ähnliche Erfahrungen noch nicht zurückgreifen konnten. Andererseits war der Feldweg, der nach links abging aufgrund von Pappeln, die den Weg zu einem landwirtschaftlichen Betrieb säumten, gut aus der Ferne zu sehen. Crundall (2016) fand heraus, dass Gefahren, denen ein umweltbezogener Hinweisreiz vorausgeht, besser zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrern differenzieren können als Gefahren, denen ein verhaltensbezogener Hinweisreiz vorausging. Ein Feldweg ist solch ein umweltbezogener Hinweisreiz, der in Verbindung mit einem Traktor als Vorausfahrendem darauf hindeuten kann, dass der Vordermann eventuell abbiegen wird. Möglicherweise hatten die teilnehmenden Experten bis zum Testzeitpunkt keinerlei Erfahrung mit ähnlichen Situationen sammeln können.

Bei Verkehrsszenario A8 hingegen könnte es daran gelegen haben, dass es sich bei dem Radfahrer, der einer Baustelle auf dem Bürgersteig ausweicht und auf der Fahrbahn weiterfährt, eher um einen expliziten Gefahrenhinweisreiz handelte. Explizite Hinweisreize sind weniger geeignet erfahrungsabhängige Unterschiede aufzudecken (z. B. Borowsky & Oron-Gilad, 2013; Malone et al., 2012; Pollatsek et al., 2006). Möglicherweise rechneten die Experten aber auch mit der Reaktion des Radfahrers und waren folglich weniger überrascht als die Novizen, schätzten aber auch die Entfernung zum Radfahrer als ausreichend ein.

Die potentielle Gefahr in Verkehrsszenario A4 war ein Kreuzungsbereich in einem Wohngebiet, an dem rechts vor links galt. Das Fahrzeug des Testteilnehmers fuhr mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h. Möglicherweise hatten die Experten den Eindruck, dass sie rechtzeitig hätten bremsen können, würde sich ein Fahrzeug von rechts nähern und reagierten deshalb nicht deutlich häufiger

angemessen durch eine Geschwindigkeitsreduktion bei der Annäherung an die Kreuzung als die Novizen.

In 8 Testszenarien erkannten die Experten den Gefahrenreiz sehr viel zuverlässiger als die Novizen; in einem weiteren zumindest tendenziell. Mit Ausnahme von Item A15 reagierten die erfahrenen Fahrer dabei meist auch deutlich schneller auf das potentiell gefährliche Ereignis im Verkehrsszenario. Widererwarten benötigten die Experten in Aufgabe A15 im Durchschnitt sogar mehr Zeit, um auf die Gefahr zu reagieren als die Novizen. Möglicherweise haben die Experten damit gerechnet, dass das überholende Fahrzeug den Überholvorgang abbricht und wieder hinter ihnen einscheren wird. Vielleicht haben sie aber auch den Gegenverkehr in der Ferne nicht gesehen. Das würde allerdings der Annahme widersprechen, dass es erfahrenen Fahrern deutlich besser gelingt, nach potentiellen Gefahrenereignissen in der Ferne Ausschau zu halten bzw. das visuelle Informationsverhalten nicht unmittelbar auf den Bereich vor dem eigenen Fahrzeug zu konzentrieren (Mourant & Rockwell, 1972). Es könnte aber auch sein, dass sie die Lücke vor ihnen als ausreichend groß einschätzten und somit davon ausgingen, dass der Überholende ohne Risiko einscheren kann. Klarheit über die Gründe für das Unvermögen dieser Szenarien zwischen den Probandengruppen zu differenzieren, könnten Befragungen von Experten und Novizen schaffen. So könnte in künftigen Untersuchungen die Methode des Lauten Denkens (Ericsson, 2006c; Ericsson & Simon, 1998) angewandt werden, um Aufschluss über Beweggründe der Probanden während der Aufgabenbearbeitung zu erhalten. Aber auch Blickbewegungsmessungen könnten zusätzliche Anhaltspunkte liefern und z. B. Aufschluss darüber geben, ob ein Gefahrenreiz überhaupt fixiert wurde oder nicht.

Auch wenn sich die Mehrzahl der Aufgaben als trennscharf erwies, so waren sie doch selbst für die Novizen (mit Ausnahme von A15) relativ leicht zu lösen. Zu leichte Aufgaben haben den Nachteil, dass sie sowohl von fähigen als auch von weniger fähigen Testnehmern gleichermaßen gut gelöst werden. Die Folge hiervon ist ein geringeres Differenzierungsvermögen im oberen Leistungsbereich. Trotz der zum Teil sehr geringen Aufgabenschwierigkeit verfügt der Großteil der entwickelten Aufgaben über ein gutes Differenzierungsvermögen. Da Items, deren arithmetisches Mittel im Bereich einer Lösungswahrscheinlichkeit zwischen 20 % und 80 % liegt, ein optimales Differenzierungsvermögen aufweisen (Moosbrugger & Kelava, 2012), sollten künftig auch schwieriger zu lösende Aufgaben identifiziert werden. Ein didaktisches Prinzip, das sich auf die Sequenzierung von Aufgaben in einer Lernumgebung bezieht, besagt, dass Lernaufgaben beginnend mit der leichtesten hin zu zunehmend schwierigeren geordnet werden sollten, um Lerner optimal zu unterstützen (z. B. Merrill, 2002). Für die Entwicklung einer Lernumgebung können die entwickelten Aufgaben daher vor allem als Einstiegsaufgaben in ein Thema dienen.

Eine weitere Einschränkung der Studie stellt die geringe Anzahl an entwickelten Gefahrenszenarien dar. In komplexen Wissensbereichen stellt es sich oft als schwierig heraus, Aufgaben zu finden, die Expertenleistungen in der betreffenden Domäne verlässlich abbilden (Ericsson & Smith, 1991). Es konnten zwar verschiedene Inhaltsbereiche, für die ein Trainingsbedarf besteht, ermittelt werden, aber um Gefahrenwahrnehmung möglichst umfassend trainieren zu können, ist die Entwicklung weiterer Aufgaben notwendig. Mit 9 Gefahrenszenarien lässt sich kaum das gesamte Spektrum an potentiell gefährlichen Verkehrssituationen abdecken und angemessen trainieren. Nachfolgende Studien sollten deshalb nicht nur das Ziel verfolgen, weitere Inhaltsbereiche zu identifizieren, die in Trainings thematisiert werden können, sondern sollten darüber hinaus auch Aufgaben ermitteln, die nicht so leicht zu lösen sind, damit auch in unteren Leistungsbereichen zwischen Personen differenziert werden kann.

Eine mögliche Erklärung für die geringe Aufgabenschwierigkeit könnte in der Festlegung der Länge der kritischen Reaktionszeitfenster liegen. Diese wurden absichtlich großzügig gewählt. Das heißt, sie beginnen ab einem sehr frühen Zeitpunkt und enden relativ spät. Dieses Vorgehen wurde gewählt, weil es sich um neu entwickelte Aufgaben handelte und somit für die Festlegung kritischer Zeitfenster noch keine empirischen Vergleichswerte vorlagen. Das Festlegen korrekter Reaktionen – oder wie im vorliegenden Fall eine belastbare Beurteilung – stellt in der Expertiseforschung ein geläufiges Problem dar (Ericsson & Smith, 1991). Die Definition kritischer Reaktionszeitfenster ist nicht trivial. Werden kritische Zeitfenster so definiert, dass deren Beginn unmittelbar vor dem Gefahrenmoment liegt, besteht die Gefahr, dass besonders fähige Testteilnehmer – also jene, die Gefahrensituationen auf der Basis bestimmter Hinweisreize frühzeitig antizipieren können – benachteiligt werden (Jackson et al., 2009). Enden die Zeitfenster zu spät, besteht die Gefahr, dass weniger fähige Testteilnehmer in ihren Leistungen überschätzt werden. Catchpole, Congdon und Leadbeatter (2001) entgegneten diesem Problem, indem sie die kritischen Zeitfenster entsprechend der Reaktionen der erfahrenen Fahrer anpassten. Hierbei stützten sie sich auf empirische Daten. Für einen erneuten Einsatz der entwickelten Reaktionszeitaufgaben könnten nach diesem Vorbild die kritischen Zeitfenster modifiziert und der Beginn des Zeitfensters auf zwei Standardabweichungen unterhalb, das Ende auf zwei Standardabweichungen oberhalb des Gruppenmittelwerts festgelegt werden.

Die Aufgabenschwierigkeit und damit auch die Differenzierungsfähigkeit könnte außerdem durch den Einsatz realitätsnäheren Bildmaterials modifiziert werden, indem statt der animierten Verkehrsszenarien Bildmaterial verwendet wird, das im Realverkehr aufgezeichnet worden ist. Reales Bildmaterial ist in der Regel detailreicher und komplexer als Animationen. Je höher die Domänenspezifität von Aufgaben, desto eher zeigt sich die Überlegenheit von Experten (Glaser & Chi, 1988).

Genauso gut könnten aber auch die Animationen um weitere Details angereichert und so die Elementinteraktivität und damit auch die Aufgabenschwierigkeit erhöht werden.

Eine weitere Einschränkung bezieht sich auf das – wenngleich nicht signifikante – unausgewogene Verhältnis von männlichen und weiblichen Testteilnehmern in den Teilstichproben. Während in einigen Untersuchungen keine geschlechtsabhängigen Unterschiede in der Gefahrenwahrnehmung beobachtet werden konnten (z. B. Scialfa et al., 2011), konnten solche Effekte in anderen Studien wiederum aufgezeigt werden (z. B. Sagberg & Bjørnskau, 2006). Da junge männliche Fahranfänger stärker unfallgefährdet sind als weibliche (vgl. Curry et al., 2015), sollten in künftigen Studien Männer stärker berücksichtigt und auf ein ausgewogenes Verhältnis beider Geschlechter geachtet werden.

Zudem ist anzumerken, dass es sich in der Untersuchung bei der Teilstichprobe der Novizen mehrheitlich um absolute Fahranfänger handelte, die ihre Fahrausbildung noch nicht abgeschlossen hatten. Auch wenn der Großteil dieser Teilnehmer bereits über theoretische Kenntnisse verfügte, kann der Einwand angeführt werden, dass möglicherweise nicht alle Teilnehmer in ausreichendem Maße mit den geltenden Fahr- und Verkehrsregeln vertraut waren. Dieses Problem kann umgangen werden, indem bei künftigen Rekrutierungen stärker darauf geachtet wird, Fahranfänger unmittelbar nach abgeschlossener Fahrausbildung einzubeziehen, das heißt zu Beginn der Phase des eigenständigen Fahrens.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass insgesamt 9 Hazard Perception-Szenarien identifiziert werden konnten, die verlässlich zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrern zu differenzieren vermögen und allesamt inhaltlich unterschiedliche Gefahrenereignisse abbilden. Erfahrene Fahrer reagierten auf die in diesen Aufgaben dargestellten Gefahrenereignisse angemessener als die unerfahrenen. Sie reagierten dabei nicht nur fehlerfreier, sondern auch schneller. In einem nächsten Schritt können, diese Aufgaben dazu dienen, exemplarisch eine Lernumgebung nach Maßgabe des 4C/ID-Modells zu erstellen und zu überprüfen, ob sich dieses Modell als Instruktionsdesign für Trainings zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung eignet.

6 Studie 2: Prüfung der Validität zweier Modellkomponenten

Studie 2 befasste sich mit der Übertragung des 4C/ID-Modells auf den Wissensbereich Gefahrenwahrnehmung sowie der Überprüfung spezifischer Modellannahmen.

6.1 Theoretischer Hintergrund

Das 4C/ID-Modell postuliert, dass Lernumgebungen zur Vermittlung komplexer Problemlösekompetenzen stets durch 4 Design-Komponenten beschrieben werden können (vgl. van Merriënboer & Kirschner, 2018). Während Lernaufgaben, Unterstützende und Prozedurale Informationen obligatorische Komponenten solcher Lernumgebungen sind, sind Teilübungsaufgaben dem Modell nach nicht für jedes Lernsetting zwingend erforderlich.

Instruktionsdesign-Ansätze, wie das 4C/ID-Modell, sind in der Regel in einem bestimmten Anwendungskontext entwickelt worden. Edmonds, Branch und Mukherjee (1994) sprechen in diesem Zusammenhang davon, dass Theorien und Modelle „*have an ecology, a context within which they are developed and within they are function.*“ (S. 67). Ein Modell oder eine Theorie einfach so auf einen anderen Kontext zu übertragen, ohne dabei die spezifischen Kontextmerkmale zu beachten, verletze ihrer Ansicht nach diese *Ecology* und würde in der Folge zur unzureichenden Lösung von Instruktionsproblemen führen. Entsprechend merken auch Boshuizen et al. (2008) an, „*Models do not automatically or perfectly fit specific domains, topics, skills, or competencies. Transfer from one domain to another will almost always require adaptations.*“ (S. 541).

Das 4C/ID-Modell wurde ursprünglich für den Erwerb komplexer kognitiver Problemlösefertigkeiten in technischen Wissensbereichen, wie beispielsweise der Computer- und CNC-Programmierung oder der Flugverkehrsüberwachung entwickelt (van Merriënboer, 1997). Zwar ist die Anwendung dieses Instruktionsdesignansatzes bereits für Ausbildungspläne in anderen und durchaus auch vergleichbaren Domänen, wie beispielsweise dem Bereich der medizinischen Ausbildung vorgeschlagen und erfolgreich umgesetzt worden (vgl. Abschn. 3.3), hieraus lässt sich aber nicht automatisch auch schließen, dass sich dieser ebenso für den hier untersuchten Wissensbereich uneingeschränkt anwenden lässt.

Da „... *a model developed for a particular context may not be suitable for another*“ (vgl. Edmonds et al., 1994; S. 66) ist es zunächst einmal notwendig, die Anwendbarkeit dieses Modells für die Domäne Gefahrenwahrnehmung empirisch zu überprüfen; denn – so Niegemann et al. (2008b; S. 19) – die Gültigkeit der aus der Grundlagenforschung abgeleiteten deskriptiven Aussagen ersetze nicht die empirische Prüfung der Lernwirksamkeit der der didaktischen Konzeption zugrundeliegenden

Prinzipien. Ohne eine empirische Überprüfung handele es sich lediglich um begründete hypothetische Annahmen.

6.2 Zielsetzung und Hypothesen

Das 4C/ID-Modell postuliert, dass der aufgabenbasierte Erwerb von komplexen Problemlösefähigkeiten durch zwei verschiedene Arten von Zusatzinformationen gefördert werden sollte: durch Unterstützende und Prozedurale Informationen. Unterstützende Informationen fördern den Erwerb von Schemata, Prozedurale Informationen die Automatisierung dieser.

Unterstützende Informationen stellen typischerweise theoretisches Hintergrundwissen bereit, durch das der Aufbau mentaler Modelle sowie die Entwicklung kognitiver Problemlösestrategien gefördert wird. Beim Einsatz von videobasiertem Lernmaterial steuern diese mentalen Modelle, welchen Sachverhalten in den präsentierten Verkehrssituationen Aufmerksamkeit zugeteilt wird. Kognitive Strategien als Teil Unterstützender Informationen erlauben dem Lerner, Aufgaben systematisch auszuführen und Probleme systematisch lösen zu können.

Prozedurale Informationen werden während der Aufgabenbearbeitung dargeboten; so als würde eine Lehrperson dem Lerner über die Schulter schauen und gegebenenfalls Tipps beim Problemlösen geben. Solche Informationen sind in Gefahrenwahrnehmungstrainings z. B. in Form visueller Hinweisreize und auditiver Begleitkommentare eingesetzt worden (z. B. Chapman et al., 2002; Zafian et al., 2014).

Unterstützende Informationen werden vor der eigentlichen Aufgabenbearbeitung dargeboten und sind deutlich umfangreicher als Prozedurale Informationen. In Lernumgebungen zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung geben sie z. B. Auskunft über Entstehungsbedingungen von Gefahrensituationen und vermitteln Informationen, die beim Treffen von Entscheidungen in kritischen Situationen helfen (vgl. Abs. 3.3.2). Hierfür sind u. a. detaillierte Situationsbeschreibungen notwendig. Insofern wäre es vorstellbar dass Unterstützende Informationen allein ausreichend sein können, um das frühzeitige Erkennen von potentiellen Gefahren zu fördern. Das heißt, möglicherweise wären visuelle Hinweisreize sowie entsprechende auditive Begleitkommentare (Prozedurale Informationen), die in der Animation Hinweise auf potentielle Gefahren kenntlich machen, überflüssig, weil redundant. Prozedurale Informationen könnten daher im Sinne eines Redundanzeffektes (vgl. Kalyuga & Sweller, 2014) das Lernen sogar beeinträchtigen.

Auf der anderen Seite ist aus Untersuchungen bekannt, dass bewegtes Bildmaterial aufgrund der hohen Informationsdichte und der Flüchtigkeit der dargestellten Informationen hohe Anforderungen an die ohnehin begrenzten kognitiven Kapazitäten von Lernern stellen. Das trifft insbesondere auf

Novizen zu, die noch nicht über die notwendigen Routinen beim komplexen Problemlösen verfügen. Informationen müssen behalten und in einer durch das Medium vorgegebenen, begrenzten Zeit wahrgenommen, zusammengeführt und verstanden werden, was vor allem bei Lernmaterial mit hoher Elementinteraktivität keine leichte Aufgabe ist. Lernrelevante Informationen können leicht übersehen werden. Werden jedoch die wesentlichen Informationen nicht aus dem Lernmaterial herausgefiltert, schlägt die Konstruktion eines angemessenen mentalen Modells zum Sachverhalt fehl. Ein kohärentes mentales Modell ist aber die Voraussetzung, um Probleme adäquat lösen und Vorhersagen über Entwicklungsverläufe von Verkehrssituationen treffen zu können, denn unser Wissen beeinflusst nicht zuletzt, was wir sehen (Kirschner, 2009).

Vor allem bei der Beschäftigung mit neuen Lerngegenständen basiert die Aufmerksamkeitszuteilung oft auf den Eigenschaften des Lernmaterials. In dem Zusammenhang wird von datengesteuerter Informationsverarbeitung gesprochen, womit gemeint ist, dass visuell saliente Merkmale von Novizen häufig stärker beachtet werden (Lowe, 2003). Mit zunehmendem Erwerb domänenspezifischen Wissens lässt sich beobachten, dass die Aufmerksamkeit häufiger und schneller auf aufgabenrelevante Informationen gerichtet wird. Die datengesteuerte weicht zunehmend einer schemabasierten Informationsverarbeitung. Underwood, Chapman, Brocklehurst, Underwood, und Crundall (2003) stellten in ihrer Studie Unterschiede im visuellen Suchverhalten zwischen Fahranfängern und erfahrenen Fahrern fest. Während die erfahrenen Fahrer aufgabenrelevante Informationen in der Verkehrsumwelt stärker beachteten, neigten die Fahranfänger dazu, sich eher auf saliente Merkmale zu verlassen, weil ihnen das Wissen für eine schemabasierte Verarbeitung noch überwiegend fehlte. Saliente Informationen sind aber eben nicht notwendigerweise auch die aufgabenrelevanten.

Studien zeigen, dass die Lernleistung positiv beeinflusst werden kann, wenn die Aufmerksamkeit des Lernalters auf die Kerninhalte des Instruktionsmaterials gelenkt wird (Mautone & Mayer, 2001; Tabbers, Martens, & van Merriënboer, 2004). Aus dieser Sicht ließe sich ableiten, dass Prozedurale Informationen, wie vom 4C/ID-Modell postuliert, Teil der Lernumgebung sein sollten, weil sie Fahranfänger beim Rezipieren bewegten Instruktionsmaterials darin unterstützen, aufgabenrelevante Informationen zu beachten und dabei helfen, kohärente mentale Modelle zu kritischen Verkehrssituationen zu erstellen.

Redundanzeffekte auszuschließen und die Modellannahme zu prüfen, dass beide Arten an Zusatzinformationen für Lernumgebungen, die komplexes Problemlösen im Bereich Gefahrenwahrnehmung fördern, erforderlich sind, war Ziel der zweiten Studie. Neben Lernaufgaben sowie Unterstützenden und Prozeduralen Informationen beinhaltet das 4C/ID-Modell Teilübungsaufgaben als eine weitere Komponente. Diese vierte Komponente war nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Die Gründe hierfür werden unter Abschnitt 8.1 näher erläutert.

Den Annahmen des 4C/ID-Modells folgend wurde davon ausgegangen, dass beide Informationsarten zum Erwerb von Gefahrenwahrnehmungsfähigkeiten notwendig sind. Die Hypothesen lauten daher wie folgt:

Hypothese 1: Teilnehmer, denen Unterstützende Informationen zum Lernen zur Verfügung stehen, identifizieren mehr Gefahrenhinweise und reagieren auch schneller auf diese als Probanden, die ohne diese Informationen lernen (*Haupteffekt Unterstützende Informationen*).

Hypothese 2: Teilnehmer, die beim Lernen Prozedurale Informationen nutzen konnten, identifizieren mehr Gefahrenhinweise im Test und reagieren auch schneller auf diese als jene Probanden, denen diese Zusatzinformationen nicht dargeboten wurden (*Haupteffekt Prozedurale Informationen*).

Beide Modellkomponenten sind dafür konzipiert unterschiedliche Aufgabenaspekte zu fördern; Unterstützende Informationen fördern situationsspezifische, Prozedurale rekurrierende Aufgabenaspekte.

Hypothese 3: Bei einer dem 4C/ID-Modell nach angemessenen Gestaltung dieser Komponenten kann daher modellkonform angenommen werden, dass beide Faktoren additiv wirken und keine wechselseitige Beeinflussung dieser beobachtet werden kann (*kein Interaktionseffekt zwischen Unterstützenden und Prozeduralen Informationen*).

6.3 Methode

6.3.1 Experimentelles Design

Um zu überprüfen, welche Form der Bereitstellung an Lerninformationen sich als am günstigsten für die Vermittlung von Gefahrenwahrnehmungsfähigkeiten erweist, wurde ein 2x2-faktorielles Zwischen-subjekt-Design mit den Faktoren Unterstützende Informationen (UI; mit vs. ohne) und Prozedurale Informationen (PI; mit vs. ohne) realisiert.

Die zentralen abhängigen Variablen für Lerneffekte waren die Anzahl richtig identifizierter potentieller Gefahren (Treffer) sowie die z-standardisierten Latenzzeiten auf in animierten Verkehrsszenarien dargebotene Gefahrenhinweise.

6.3.2 Stichprobe

Der optimale Stichprobenumfang wurde anhand von G*Power (vgl. Faul et al., 2007) ermittelt. Einerseits basiert das 4C/ID-Modell auf der CLT, einer der in der Bildungsforschung einflussreichsten, bedeutsamsten und am stärksten beforschten Informationsverarbeitungstheorien, und kann damit als

empirisch gut abgesichert gelten. Andererseits sind bislang jedoch keine vergleichbaren Studien bekannt, in denen einzelne Komponenten des 4C/ID-Modells überprüft worden sind. Für die Planung der Stichprobe wurde daher angenommen, mindestens einen mittelgroßen Effekt zu finden. Bei einer α -Fehlerwahrscheinlichkeit von 5 % und einem β -Fehler von .20 ergibt sich ein optimaler Stichprobenumfang von $N = 90$ Testnehmern.

Von ursprünglich 100 getesteten Probanden konnten die Daten von 91 Testteilnehmern für die nachfolgenden Analysen verwendet werden. Für 9 Teilnehmer stellte sich heraus, dass sie die Teilnahmebedingungen aus unterschiedlichen Gründen nicht erfüllten. Während einige von ihnen angaben, bereits über theoretische oder fahrpraktische Erfahrung zu verfügen, erfüllten andere z. B. die sprachlichen Voraussetzungen nicht. Die Teilnehmer wurden einer der vier Untersuchungsbedingungen per Zufallsentscheidung zugewiesen. Es wurde allerdings darauf geachtet, dass Männer und Frauen den Bedingungen zu gleichen Teilen zugewiesen wurden. Das Durchschnittsalter der Teilnehmer lag bei 17 Jahren ($M = 16.9$, $SD = 2.58$). Der Anteil männlicher Testteilnehmer überwog ($n = 55$) den der weiblichen ($n = 36$). Keiner der Teilnehmer war in Besitz einer Fahrerlaubnis oder konnte bereits praktische Fahrerfahrung vorweisen.

Die Mehrheit (82 %) der Untersuchungsteilnehmer waren Schüler. Mit 43 % gab der Großteil der Testteilnehmer an, ein Gymnasium zu besuchen; 4 % der Teilnehmer gingen zum Testzeitpunkt auf eine Haupt- oder Werkrealschule, 30 % besuchten eine Real- und 7 % eine Gemeinschaftsschule. Die restlichen Testteilnehmer studierten zum Testzeitpunkt oder standen in einem Ausbildungsverhältnis. Drei Probanden gaben an, keiner Berufs- oder Ausbildungstätigkeit nachzugehen.

6.3.3 *Testmaterial und technische Ausstattung*

6.3.3.1 *Vortest*

Um das fahrbezogene Vorwissen der Testteilnehmer zu erfassen, mussten diese zunächst einen Vortest bestehend aus fünf Mehrfachwahlaufgaben mit vier Antwortalternativen, inklusive der Antwortmöglichkeit *weiß ich nicht*, die dem Amtlichen Prüffragenkatalog entnommen worden waren, absolvieren. Rückmeldung über die Richtigkeit ihrer Lösungen erhielten die Testnehmer nicht.

6.3.3.2 *Allgemeiner Reaktionszeittest*

Um die einfachen Reaktionszeiten beider Teilnehmergruppen vergleichen zu können, musste ein allgemeiner Reaktionszeittest bearbeitet werden. In 10 Durchgängen musste schnellstmöglich auf ein in unregelmäßigen Zeitintervallen und an unterschiedlichen Positionen auf dem Bildschirm auftauchendes schwarzes Kreuz durch Drücken der Leertaste reagiert werden. Die Zeit, die vom

Erscheinen des Kreuzes bis zum Tastendruck vom Teilnehmer benötigt wurde, wurde über alle Durchgänge hinweg für jeden Testteilnehmer gemittelt.

6.3.3.3 Entwicklung des Instruktionsmaterials

Wie bereits unter Abschnitt 5.3.3 ausführlicher dargestellt, wurden verschiedene animierte Verkehrsszenarien mithilfe der Autorensoftware VICOM-Editor erstellt. Validität und Reliabilität der entwickelten Szenarien wurden in Studie 1 geprüft und nur diese für die vorliegende Studie verwendet, in denen erfahrene Fahrer unerfahrene wiederholt deutlich in ihren Leistungen übertrafen. Bei der Erstellung wurde auf die Einhaltung geltender Gestaltungsprinzipien zum Lernen mit multimedialer Instruktion geachtet. Auf die einzelnen Gestaltungsprinzipien wurde bereits an anderer Stelle ausführlich eingegangen (vgl. Hiltz, Malone, & Brünken, eingereicht), weshalb diese hier nicht näher erläutert werden.

Neun Reaktionszeitaufgaben, die in Studie 1 verlässlich zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrern differenzierten, bildeten den Ausgangspunkt für die Entwicklung von Lernaufgaben als Teil eines computerbasierten Trainingsprogramms zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung. Diese Reaktionszeitaufgaben entsprechen Items, wie sie in klassischen Hazard Perception-Tests eingesetzt werden. Dargeboten wurden kurze animierte Verkehrsszenarien aus der Perspektive des Fahrers. Testteilnehmer haben die Aufgabe, das Erkennen von potentiellen Gefahren schnellstmöglich durch Drücken der Leertaste anzuzeigen. Als Gefahr wurden Ereignisse definiert, die vom Fahrer eine Reaktion erfordern (z. B. Brems- oder Ausweichmanöver), um eine Kollision zu vermeiden. Die neun Lernaufgaben decken unterschiedliche gefahrenbezogene Themenbereiche ab (vgl. Tabelle 1).

Für Studie 2 wurden die animierten Verkehrsszenarien durch Unterstützende und Prozedurale Informationen angereichert und ergänzt. Ein Beispiel ist in Tabelle 3 ausführlicher dargestellt (Abbildung 12 zeigt ein Standbild aus dem in Tabelle 3 skizzierten Item A6). Ergänzendes Bildmaterial zu den Zusatzinformationen findet sich im Anhang (vgl. Anhang B). Als Unterstützende Informationen wurden ein Standbild der Gefahrenszene, textbasierte Erläuterungen zur thematisierten Gefahrensituation sowie die Animation zur Veranschaulichung der Gefahrensituation dargeboten. Hinweisreize in den animierten Verkehrsszenarien, die eine potentielle Gefahr ankündigen, wurden durch zeitgleich dargebotene farbige Symbole im Bildmaterial sowie den entsprechenden auditiven Kommentar hervorgehoben (z. B. gelb aufleuchtendes Ausrufezeichen über dem Gegenverkehr und „Achtung Gegenverkehr. Du kannst nicht überholen“).

Tabelle 3: Skizze Aufgabenaufbau Item A6

Aufgabenklasse 1

Der Lerner ist mit einem Verkehrsszenario konfrontiert, in dem er auf einer Landstraße auf eine sich in einem Waldstück befindliche nicht einsehbare, scharfe Rechtskurve zusteuert, die er passieren wird. Im Kurvenbereich befindet sich mit einem Mopedfahrer ein langsam fahrendes Fahrzeug, das er wegen Gegenverkehrs nicht überholen darf.

Wenig komplexe Verkehrssituation: Landstraße; außer den drei Fahrzeugen keine weiteren Verkehrsteilnehmer

Aufgabenschwierigkeit empirisch in einer Vorstudie ermittelt; 100 % der erfahrenen Fahrer erkannten die Gefahr (langsameres Fahrzeug im Kurvenbereich); 10 % der unerfahrenen Fahrer reagierten zu spät oder gar nicht auf den Gefahrenreiz in der Animation

Unterstützende Informationen: Standbild zur Fahrszene und Nennung des Themas

Unterstützende Informationen: textbasierte Erläuterungen zur Gefahrenszene

Konzeptuelles Wissen

- Erläuterung von Verkehrszeichen (Richtungstafeln) und deren Zweck
- Erläuterungen zu Geschwindigkeitsbegrenzungen und Geschwindigkeitswahl in Kurvenbereichen
- Zusammenhang zwischen Kontextbedingungen (Landstraße) und bestimmten Gefahren (z. B. Waldstück und plötzlich auftauchendem Wild)

Strukturelles Wissen

- Zusammenhang zwischen Straßengeometrie und Sichteinschränkung
- Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und der Zeit, die zum Reagieren auf Gefahren bleibt

Wissen über kausale Zusammenhänge

- Zusammenhang zwischen überhöhter Geschwindigkeit und Unfällen in Kurven
- Zusammenhang zwischen Straßengeometrie, Geschwindigkeit und Fahrfehlern

Unterstützende Informationen: Fallbeispiel

Lerner bekommt ein animiertes Verkehrsszenario aus der Fahrerperspektive dargeboten und ist angehalten, die Fahrszene aufmerksam zu verfolgen

Prozedurale Information: Hervorhebung von gefahrenbezogenen Hinweisreizen durch farbige Symbole (Ausrufezeichen) und entsprechende auditive Begleitkommentare (z. B. „Achtung. Langsames Fahrzeug vor dir. Du kannst nicht überholen.“)

Testaufgabe: konventionelle Problemlöseaufgabe

Dem Lerner wird ein animiertes Verkehrsszenario aus der Perspektive des Fahrers dargeboten. Der Lerner hat die Aufgabe, die Fahrszene aufmerksam zu verfolgen und die Identifikation einer potentiellen Gefahr durch einen einfachen Tastendruck anzuzeigen.

Entsprechend ihrer in der Voruntersuchung empirisch ermittelten Aufgabenschwierigkeit wurden die Items (animierten Verkehrsszenarien) in eine Rangfolge gebracht und mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad präsentiert. Dieses Vorgehen basierte auf der Annahme, dass sich für die neue Stichprobe ähnliche Schwierigkeitsindizes auffinden ließen, wie für die in Studie 1. Anzumerken ist an dieser Stelle aber, dass sich Schwierigkeitsindizes mit den Stichproben, an denen sie erhoben werden, ändern können (Fisseni, 2004).

Alle Lernaufgaben waren gleich aufgebaut. Sie begannen mit einem Standbild aus der animierten Gefahrenszene und der Nennung des Themas. So erhielt der Lerner einen ersten Eindruck zur Gefahrenszene. Anschließend erhielten die Lerner textbasierte Erläuterungen zur in der jeweiligen Lernaufgabe behandelten Gefahrensituation. Neben konzeptuellem Wissen (z. B. über Verkehrs-

zeichen, Geschwindigkeitsbegrenzungen oder dem Zusammenhang bestimmter Kontextbedingungen und potentiellen Gefahren) wurde auch strukturelles Wissen (z. B. Relation zwischen Geschwindigkeit und Latenzzeit zum Reagieren auf Gefahren) sowie Informationen über kausale Zusammenhänge (z. B. dass Unfälle in Kurvenbereichen häufig auf überhöhte Geschwindigkeit zurückzuführen sind) vermittelt. Bei der Erstellung der textbasierten Erläuterungen wurde – neben der Einhaltung geltender Richtlinien zur lernförderlichen Gestaltung von Texten – auch darauf geachtet, dass sich diese in ihrer Länge nicht zwischen den neun Lernaufgaben unterscheiden. Das gilt auch für die Alternativtexte in Bedingungen, die ohne Unterstützende Informationen lernten.

Teilnehmer, die beim Lernen ohne Unterstützende Informationen in Form textbasierter Erläuterungen auskommen mussten, erhielten alternative Lerntexte. Diese bezogen sich zwar nicht auf das Gefahrenszenario der jeweiligen Lernaufgabe, enthielten aber dennoch für Fahrer wichtige Informationen (z. B. Informationen zum Sichern einer Unfallstelle). Für die textbasierten Erläuterungen war vom System eine Mindestlernzeit vorgegeben. Nach 90 Sekunden erschien auf dem Bildschirm eine Weiter-Taste und der Lerner konnte selbst entscheiden, ob er am Lerntext weiterarbeiten oder im Programm fortfahren möchte.

Im nächsten Programmteil wurde die im Lerntext thematisierte potentielle Gefahrensituation in einer Animation veranschaulicht. Für Teilnehmer, denen zum Lernen Prozedurale Informationen zur Verfügung standen, wurden Gefahrenhinweise in der Animation sowohl durch ein farbiges Symbol als auch durch einen auditiven Kommentar hervorgehoben (vgl. Tabelle 3). Testteilnehmer der Lernbedingungen, denen keine Prozeduralen Informationen zum Lernen zur Verfügung gestellt wurden, bekamen weder visuelle noch auditive Hinweise während der Rezeption. Aus Gründen der Vergleichbarkeit konnten die Animationen in jeder Lernbedingung von den Teilnehmern nur ein einziges Mal angeschaut werden.

Im Anschluss an das Lernvideo hatten die Testteilnehmer die Aufgabe, ihr neu erworbenes Wissen in einem Testvideo anzuwenden. Sie wurden instruiert, in der laufenden Animation (Testvideo) auf Gefahrenhinweisreize, die eine Geschwindigkeitsreduktion erfordern, durch Drücken der Leertaste zu reagieren. Für jede potentielle Gefahr wurde im Vorhinein ein kritisches Zeitfenster definiert. Dieses begann ab dem Zeitpunkt, an dem erstmals ein Hinweis auf eine mögliche Gefahr sichtbar wurde und endete in dem Moment, ab dem eine Gefährdung durch eine Geschwindigkeitsreduktion gerade noch hätte verhindert werden können. Das Testvideo unterschied sich vom Lernvideo zum einen dadurch, dass die Gefahrenszene, die zu Übungszwecken gezeigt wurde, in ein zeitlich längeres Verkehrsszenario eingebettet war. Zum anderen wurde zwar im Testvideo nicht die Anzahl an Elementen verändert, die die Gefahrensituation konstituierten, dafür aber die Erscheinung von Objekten oder Verkehrsteilnehmern (z. B. Farbe von Gebäuden oder Fahrzeugen) modifiziert.

Die Erhebungen fanden am PC bzw. Laptop statt. Neben 22-Zoll-Bildschirmen mit einer Auflösung von 1680 x 1050 Pixel, die mit einem Pentium 4 PC verbunden waren, wurden auch Fujitsu-Laptops (Lifebook E756) mit 15,6-Zoll Bildschirmdiagonale und einer Bildauflösung von 1.366 x 768 Pixel eingesetzt, um außerhalb des Experimentallabors testen zu können. Die Bildgröße wurde, unabhängig vom PC, der eingesetzt wurde, konstant gehalten. Die Teilnehmer wurden jeweils in einer Entfernung von ca. 60 cm vor dem Bildschirm platziert. Zudem wurden Sony-Kopfhörer mit der Typenbezeichnung MDR-ZX100 verwendet, um den Testteilnehmern Audiokommentare und Instruktionen zu vermitteln.

6.3.4 Vorgehen

Die Untersuchungen wurden jeweils als Gruppentestung von bis zu 10 Personen überwiegend im Computerlabor der Empirischen Bildungswissenschaften der Universität des Saarlandes sowie an umliegenden bzw. auch an baden-württembergischen Schulen oder in Sportvereinen durchgeführt, die über geeignete Räumlichkeiten verfügten. Die gesamte Erhebung fand am PC statt. Nach einer kurzen Begrüßung wurden die Teilnehmer zufällig einer von vier verschiedenen Lernbedingungen zugeteilt. Zu Beginn wurden die Probanden zunächst über den Zweck der Studie aufgeklärt und sie bearbeiteten einen Fragebogen, in dem demografische Daten (z. B. Alter, Geschlecht, Bildungsniveau, Fahrerfahrung usw.) angegeben werden mussten. Im Anschluss daran wurde in einem Vortest das fahrbezogene Vorwissen der Teilnehmer und in einem Reaktionszeittest deren einfache Reaktionszeiten erfasst. Danach folgte die Lernphase, in der neun verschiedene Aufgaben von den Testteilnehmern bearbeitet werden mussten. Über Kopfhörer wurden die Teilnehmer zu Beginn der Lernphase anhand eines Demovideos über den Aufbau der Lernaufgaben informiert und darüber, wie sie das Instruktionmaterial optimal zum Lernen nutzen können. Die Items des Vortests, des Reaktionszeittests und des Trainingsprogramms wurden jeweils in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Ein Testtermin dauerte etwa eine Stunde. Für ihre Teilnahme erhielten die Probanden 5 Euro.

6.4 Ergebnisse

Für alle statistischen Verfahren wurde ein Alpha-Niveau von .05 festgelegt. Als Effektstärkemaße werden Cohen's d (wobei .20 als kleiner, .50 als mittelgroßer und .80 als großer Effekt gilt) oder *partial eta*² angegeben, wobei Werte von < .06 als schwacher Effekt, Werte zwischen .06 bis .13 als mittelgroßer Effekt und Werte >.13 als großer Effekt gelten (Cohen, 1988).

6.4.1 Verwendete Leistungsmaße

Um das fahrerspezifische Vorwissen der Testteilnehmer zu erfassen, waren diese zunächst gefordert, Mehrfachwahlaufgaben zu lösen. Für jede richtig gelöste Aufgabe erhielt der Testnehmer einen Punkt, für falsch gelöste null Punkte. Eine Gesamtpunktzahl von maximal 5 Punkten konnte erreicht werden.

In den 9 Testvideos am Ende einer jeden Lernaufgabe mussten die Teilnehmer ihr neu erworbenes Wissen anwenden und waren gefordert, die Identifikation von potentiellen Gefahren durch einen unspezifischen Tastendruck anzugeben. Wurde die Leertaste innerhalb des vordefinierten kritischen Reaktionszeitfensters gedrückt, erhielt der Proband für die korrekte Lösung (Treffer) einen Punkt. Andernfalls wurde kein Punkt vom System für die Aufgabe verbucht. Für die Anzahl an identifizierten Gefahrenhinweisen wurde ein Gesamtsummenwert gebildet. Es konnten maximal 9 Treffer erzielt werden. Zudem wurde erfasst, wie schnell der Testteilnehmer den Gefahrenhinweis erkannte und innerhalb des Reaktionszeitfensters die Leertaste drückte (Latenzzeit). Die sich hieraus ergebenden Rohwerte für die Latenzzeit wurden z-standardisiert. Negative Werte verweisen auf im Vergleich zum Mittel aller Probanden schnellere Reaktionen, positive auf langsamere.

6.4.2 Stichprobe

Die 4 Untersuchungsbedingungen unterschieden sich in keiner der im Fragebogen erfassten Variablen signifikant voneinander. Die Faktoren Alter ($F_{3;87} = .41; p \geq .05$) und Geschlecht ($\chi^2(3) = .51; p \geq .05$) waren in allen 4 Gruppen gleichverteilt (vgl. Tabelle 4).

Tabelle 4: Deskriptive Daten ausgewählter demografischer Angaben sowie der Leistungen im Vortest und Testvideo

	Bedingung 1		Bedingung 2		Bedingung 3		Bedingung 4	
	Unterstützende und Prozedurale Informationen		nur Unterstützende Informationen		nur Prozedurale Informationen		weder Unterstützende noch Prozedurale Informationen	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Alter (Jahre)	16.63	2.00	17.29	3.33	17.30	2.42	16.78	2.61
Geschlecht (m/w)	15/9		12/9		13/10		15/8	
<i>Vortest:</i>								
Mehrfachwahlaufgaben	1.13	0.85	1.52	0.98	1.13	0.87	1.39	0.84
<i>Lernerfolgskontrolle:</i>								
Treffer	8.67	0.76	8.28	0.90	8.65	0.49	8.26	0.92
RT (z-standardisiert)	-.22	.11	-.14	.12	.08	.11	.33	.11

maximal erreichbare Punktzahl von 5 im Vortest (Mehrfachwahlaufgaben), 9 in Lernerfolgskontrolle (pro Szenario eine Gefahrensituation)

Auch hinsichtlich der PC-Nutzungshäufigkeit ($\chi^2(12) = 3.98; p \geq .05$), der Erfahrung mit Fahrsimulationsspielen ($\chi^2(9) = 6.74; p \geq .05$) sowie Fahrsimulatoren ($\chi^2(3) = 3.11; p \geq .05$) unterschieden sich

die 4 Gruppen nicht signifikant voneinander. Bei der Berechnung einer ANOVA zeigten sich auch keine Unterschiede im Vorwissen zwischen den Teilnehmergruppen ($F_{3;87} = 1.12; p \geq .05$). Zudem deuteten geringe mittlere Gesamtpunktwerte (vgl. Tabelle 4) auf ein geringes fahrsspezifisches Vorwissen der Testteilnehmer hin. Ebenso konnten hinsichtlich der allgemeinen Reaktionsfähigkeit keine signifikanten Unterschiede ($F_{3;87} = .72; p \geq .05$) zwischen den 4 Gruppen beobachtet werden.

6.4.3 Lernerfolgskontrolle (Testvideo am Ende der Lernaufgabe)

Um zu überprüfen, ob sich die vier Lernbedingungen hinsichtlich der Anzahl richtig identifizierter Gefahrenhinweise in den Testvideos unterscheiden, wurde eine univariate ANOVA für die AV Treffer berechnet. Die Gruppenmittelwerte für die Anzahl an Treffern, aber auch der Reaktionszeiten können Tabelle 4 entnommen werden. Für die Anzahl richtig identifizierter Gefahren zeigte sich ein Haupteffekt für die Prozeduralen Informationen ($F_{1;87} = 5.53; p = .02; \eta_p^2 = .06$), nicht aber für die Unterstützenden Informationen ($F_{1;87} = .01; p \geq .05$). Ein Interaktionseffekt ($F_{1;87} = .001; p \geq .05$) konnte ebenfalls nicht aufgezeigt werden. Stehen den Teilnehmern Prozedurale Informationen zum Lernen zur Verfügung, identifizieren sie mehr Gefahren.

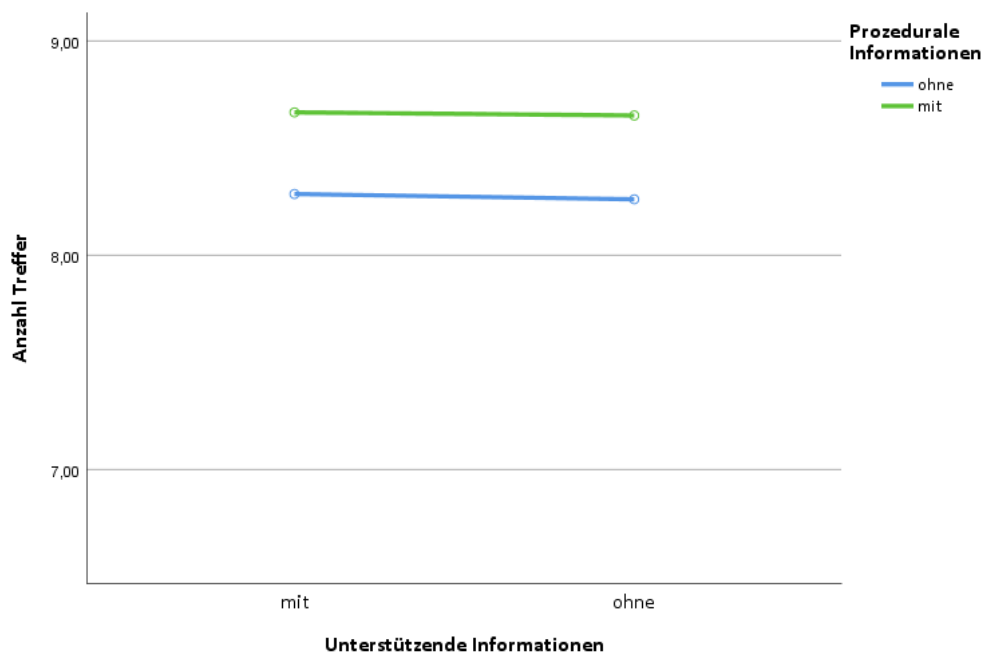


Abbildung 13: Gruppenmittelwerte für die Anzahl an Treffern

Anhand der Berechnung einer ANOVA wurde zudem überprüft, ob sich die Lerner der vier Bedingungen hinsichtlich ihrer Reaktionszeiten auf Gefahren in den Testvideos unterscheiden. Im Ergebnis zeigten sich Unterschiede in den mittleren z-standardisierten Reaktionszeiten ($F_{3;87} = 5.09; p = .003; \eta_p^2 = .15$) zwischen den Gruppen. Da die deskriptiven Daten auf einen Trend hinweisen, wurde zusätzlich

explorativ getestet, ob sich ein solcher bestätigen ließe. Der Trendtest zeigte, dass der Verlauf der Mittelwerte durch einen linearen Trend ($F_{1,87} = 14.67$; $p \leq .001$; $\eta_p^2 = .14$) beschrieben werden kann (vgl. Abb. 13). Je umfangreicher, die zum Lernen zur Verfügung gestellten Zusatzinformationen, desto schneller reagierten die Teilnehmer auf Gefahren im Test.

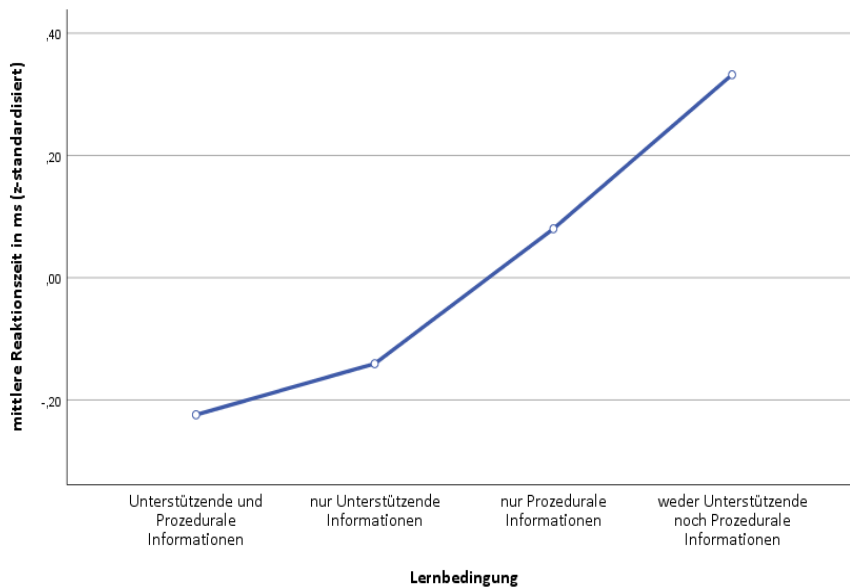


Abbildung 14: Verlauf der Mittelwerte der z-standardisierten Reaktionszeiten

Die Berechnung einer univariaten Varianzanalyse sollte Klarheit schaffen, ob dieser lineare Trend auf beide Arten von Lerninformationen zurückgeht. Für die Reaktionszeiten zeigte sich ein Haupteffekt für die Unterstützenden Informationen ($F_{1,87} = 12.2$; $p = .001$; $\eta_p^2 = .12$), nicht aber für die Prozeduralen Informationen ($F_{1,87} = 2.28$; $p \geq .05$). Ebenso wenig konnte ein Interaktionseffekt ($F_{1,87} = .57$; $p \geq .05$) beobachtet werden. Unterstützende Informationen fördern demnach die Schnelligkeit, mit der auf Gefahren im Test reagiert wird.

6.5 Diskussion

Ziel von Studie 2 war es zu überprüfen, ob im Rahmen der Anwendung des 4C/ID-Modells Unterstützende und Prozedurale Informationen notwendig sind, um Gefahrenwahrnehmung zu vermitteln. Die Hypothese, dass Lerner von Unterstützenden Informationen profitieren und deren Verfügbarkeit zu besseren Lernleistungen führt, konnte in Teilen bestätigt werden. Teilnehmer, denen zum Lernen Unterstützende Informationen zur Verfügung standen, reagierten schneller auf auftauchende Gefahren in den Testvideos. Allerdings identifizierten sie hierbei nicht – wie ursprünglich angenommen – mehr Gefahren als die Teilnehmer, die diese Zusatzinformationen nicht zum Lernen nutzen konnten.

Auch die Annahme, dass Testteilnehmer, denen Prozedurale Informationen zum Lernen bereitgestellt werden, bessere Lernleistungen erbringen als Lerner, die ohne diese Zusatzinformationen auskommen müssen, konnte in Teilen bestätigt werden. Durch die Darbietung von Prozeduralen Informationen identifizierten die Probanden mehr Gefahren im Test. Anders als eingangs in der Hypothese formuliert, reagierten sie jedoch nicht schneller auf diese als Probanden, für die diese Zusatzinformationen nicht Teil des Lernmaterials waren.

Das heißt die Modellannahme, dass sowohl Unterstützende als auch Prozedurale Informationen unverzichtbare Komponenten von Lernumgebungen zum Erwerb komplexer Problemlösekompetenzen sind, wird für den hier untersuchten Wissensbereich durch die Ergebnisse von Studie 2 gestützt, denn diese deuten darauf hin, dass durch beide Arten an Zusatzinformationen unterschiedliche Teilkompetenzen der Gefahrenwahrnehmung gefördert werden; entweder die Identifikation von potentiellen Gefahren oder die Schnelligkeit, mit der auf auftauchende Gefahrenhinweise reagiert werden kann.

Unterstützende Informationen haben im 4C/ID-Modell die Funktion, den Schemaerwerb zu fördern. Sie helfen dem Lerner bei der Bewältigung situationsspezifischer Aufgabenaspekte. Sprich solcher, die komplexes Problemlösen erfordern. Die für Studie 2 entwickelten Unterstützenden Informationen enthielten Hinweise, woraus sich in bestimmten Verkehrssituationen Gefahren entwickeln können. Als Begründung dafür, dass es angebracht ist, rechtzeitig vor dem Einfahren in nicht einsehbare Kurven die Fahrtgeschwindigkeit zu verringern, wurde in Item A6 beispielsweise darauf hingewiesen, dass sich in solchen Bereichen Hindernisse auf der Fahrbahn befinden können, die den Fahrer zu einer drastischen Geschwindigkeitsreduktion oder Ausweichmanövern zwingen können und damit ein erhebliches Risiko für einen Unfall bergen. Derartige Informationen haben die Lerner möglicherweise darauf vorbereitet, Risiken in den Testszenarien rasch zu antizipieren. In der Folge waren sie in der Erwartung einer Gefahr dann auch schneller dazu in der Lage, auf eine solche auftauchende Gefahrensituation im Testvideo zu reagieren. Untersuchungen zur Gefahrenwahrnehmung mit unterschiedlich erfahrenen Fahrern zeigen, dass Fahranfänger mehr Zeit für die Verarbeitung von Gefahrenhinweisen benötigen, was sich in längeren Latenzzeiten widerspiegelt (z. B. Malone & Brünken, 2014). Eine schnellere Verarbeitung von Gefahrenhinweisen, wie sie in Studie 2 durch die Bereitstellung von Unterstützenden Informationen erreicht werden konnte, ist sicherheitszuträglich und deshalb wünschenswert. Instruktion, die darauf zielt, die Schnelligkeit, mit der auf Gefahrenreize reagiert werden kann, zu unterstützen, sollte daher Unterstützende Informationen bereitstellen.

Prozedurale Informationen hingegen haben im 4C/ID-Modell die Aufgabe, dem Lerner Hinweise zu geben, wie Routineaspekte komplexer Aufgaben von Experten ausgeführt werden. Die farbigen Symbole sowie die auditiven Begleitkommentare sollten die Aufmerksamkeit der Lerner auf aufgaben-

relevante Bildbereiche lenken, um Wahrnehmungs- und Verstehensprozesse zu fördern. Die höhere Anzahl identifizierter Gefahren, die aus der Bereitstellung Prozeduraler Informationen resultierte, kann als Hinweis darauf gewertet werden, dass dies gelungen ist. Signalisierungen, wie sie hier in Form Prozeduraler Informationen eingesetzt wurden, haben sich auch in anderen Studien als lernwirksam erwiesen (z. B. Chapman et al., 2002; Zafian et al., 2014). Chapman et al. (2002) unterstützten das weiträumige Absuchen der Verkehrsumgebung hinsichtlich sicherheitsrelevanter Aspekte dadurch, dass in Videosequenzen verschiedene Gefahrenbereiche durch unterschiedlich farbige Symbole (blaue und rote Kreise) gekennzeichnet waren. Auch Zafian et al. (2014) setzten Signalisierungen in ihrem Trainingsprogramm ein. Gelang es den Trainingsteilnehmern nicht, Gefahrenobjekte oder -bereiche in den animierten Verkehrsszenarien zu identifizieren, wurden ihnen diese im Feedback durch farbige Symbole hervorgehoben. Zusätzlich wurde durch einen auditiven Begleitkommentar erklärt, weshalb es wichtig ist, die Aufmerksamkeit auf diese Bildbereiche zu richten. Diese Trainingsintervention erwies sich vor allem für komplexe Gefahrensituationen als effektiv, und damit für solche, die mehr als nur eine Blickfixation erforderten.

Die Ergebnisse können durch *Priming*, das heißt die Erleichterung der Reaktion auf einen Zielreiz durch einen vorausgegangenen Bahnungsreiz (Kiefer, 2002) erklärt werden. Bahnungseffekte äußern sich in der vorliegenden Untersuchung in kürzeren Reaktionszeiten und einer geringeren Fehlerrate. Inwiefern solche Effekte von zeitlicher Dauer sein können, konnte in der vorliegenden Studie nicht geklärt werden, weil Follow-up-Erhebungen nicht Teil des Designs waren. Hierfür wären weitere Untersuchungen notwendig.

In Bezug auf die Anzahl an Treffern ist jedoch auch anzumerken, dass die Gruppenmittelwerte recht ähnlich ausfallen. Außerdem kann die Effektstärke trotz des signifikanten Haupteffektes als eher gering bezeichnet werden. Es erscheint daher angebracht, zu überprüfen, ob sich die Ergebnisse in einer weiteren Untersuchung replizieren lassen.

Diskutierbar ist die Wahl des Instruktionmaterials der Kontrollbedingung. Den Bedingungen, denen keine Unterstützenden Informationen dargeboten wurden, wurden Placebo-Texte präsentiert. Das Argument war dabei, Teilnehmern, die dankenswerterweise die Zeit aufwenden und an der Untersuchung mitwirken, wenn schon keine gefahrenbezogenen Informationen, dann zumindest solche Informationen darzubieten, die für sie als künftige Fahrer wissenswert sind. Denkbar wäre auch gewesen, den Testteilnehmern nur die Lernvideos zu präsentieren. Allerdings sind auch in anderen Untersuchungen Placebo-Informationen eingesetzt worden. Zum Beispiel zeigten Zafian et al. (2014) der Kontrollbedingung ein Video zu wichtigen Wartungsarbeiten an Fahrzeugen. Krishnan et al. (2015) ließen Probanden der Gruppe, die das Placebo-Training erhielt, einen Abschnitt aus einem Manual über Verkehrszeichen und -regeln lesen. Alternative Informationen darzubieten, ist damit durchaus

üblich. Nicht zuletzt auch deshalb, weil so die Zeit bis zum Nachtest für die verschiedenen Bedingungen konstant gehalten werden kann.

Zudem kann eingewendet werden, dass Testteilnehmer, die entsprechend des Versuchsplans weder Unterstützende noch Prozedurale Informationen erhalten sollten, mit den Lernvideos durchaus einen Teil der Unterstützenden Informationen dargeboten bekamen und damit nicht völlig ohne Lerninformationen auskommen mussten. Ähnliches gilt für Probanden, die ausschließlich Prozedurale Informationen erhalten hatten. Mit dem Unterschied, dass für Bedingung 4 die Animation hätte weggelassen werden können, wohingegen das für Bedingung 3 nicht möglich gewesen wäre, da Prozedurale Informationen gemäß des 4C/ID-Modells integraler Bestandteil der Animation sein müssen. Aus anderen Untersuchungen ist jedoch bekannt, dass bloßes Rezipieren von videobasierten Gefahrenszenarien keine nennenswerten Leistungsverbesserungen in Hazard Perception-Testwerten nach sich zieht, weshalb z. B. Horswill, Falconer, et al. (2015) diese Strategie in ihren Untersuchungen für die Kontrollbedingung verfolgten. In ihrer Studie boten sie den Teilnehmern der KG Videos mit über 150 Gefahren dar, ohne dass sich dadurch die Testwerte verbessert hätten. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass die Teilnehmer in der vorliegenden Studie ebenso wenig von der Animation allein profitierten.

7 Studie 3: Adaptive Instruktionale Unterstützung

In der dritten Studie wurde untersucht, ob Novizen Gefahrenwahrnehmung mit einer adaptiven computerbasierten Lernumgebung, in der die instruktionale Unterstützung mit zunehmendem Wissenserwerb sukzessive reduziert wird, effektiver und effizienter vermittelt werden kann als anhand von ausgearbeiteten Lösungsbeispielen, die ein Höchstmaß an instruktionaler Unterstützung bieten. Ausgangspunkt für die Entwicklung eines adaptiven CBTs bildeten die Lernaufgaben, die bereits in Studie 2 zum Einsatz kamen. Zudem sollte überprüft werden, ob sich das Absolvieren des CBTs auch in einem angemesseneren Fahrverhalten im Fahrsimulator widerspiegelt.

7.1 Theoretischer Hintergrund

Eine Frage, die im Zusammenhang mit der Erstellung von Lernumgebungen beantwortet werden muss, ist, wie viel instruktionale Unterstützung bereitgestellt werden sollte, um Lerner optimal beim Kompetenzerwerb zu fördern. Seit mehr als fünfzig Jahren gibt es hierzu eine Debatte zwischen Befürwortern von Angeleitetem und Fürsprechern von Entdeckendem Lernen mit unterschiedlichen Auffassungen über das Ausmaß an instruktionaler Unterstützung in Lernumgebungen (Clark, Kirschner,

& Sweller, 2012). Experimentelle Vergleiche favorisieren insbesondere für die frühen Phasen des Fertigkeitserwerbs Angeleitetes Lernen als den effektiveren Instruktionsansatz (Mayer, 2004).

Ausgearbeitete Lösungsbeispiele können als extreme Form angeleiteter, konventionelle Problemlöseaufgaben als extreme Form unangeleiteter Instruktion aufgefasst werden. Im Gegensatz zu konventionellen Problemlöseaufgaben, die neben der Beschreibung des Ausgangsproblems und einer Fragestellung weder einzelne Lösungsschritte noch das Endergebnis vorgeben, bestehen ausgearbeitete Lösungsbeispiele aus einer Problemstellung, dem Endergebnis sowie den einzelnen Schritten, die zur Lösung der Aufgabe notwendig sind.

Ganz allgemein hat sich gezeigt, dass vor allem zu Beginn des Fertigkeitserwerbs das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen nicht nur effektiver ist als das Lösen von konventionellen Problemlöseaufgaben, sondern in der Regel auch deutlich effizienter. Das heißt, Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen resultiert nicht nur in besseren Lern- und Transferleistungen, sondern diese Leistungen werden dazu noch mit geringerer Lernzeit und einer geringeren kognitiven Belastung erreicht (Schwonke et al., 2009). Dieser Effekt wird als *Worked Example Effect* bezeichnet (einen Überblick geben z. B. Atkinson, Derry, Renkl, & Wortham, 2000; Renkl, 2014a, 2014b; Sweller et al., 2011; Sweller et al., 1998; van Gog & Rummel, 2010).

Der Worked Example Effect ließ sich nicht nur für gut strukturierte (z. B. Leppink, Paas, van Gog, van der Vleuten, & van Merriënboer, 2014; McLaren & Isotani, 2011; Paas, 1992; Schwonke et al., 2009; van Gog, Kester, & Paas, 2011), sondern auch für schlecht strukturierte Wissensbereiche (z. B. Kyn, Kalyuga, & Sweller, 2013; Nievelstein, Van Gog, Van Dijck, & Boshuizen, 2013; Rourke & Sweller, 2009) vielfach aufzeigen. Sweller et al. (2011) resümieren „*Studying worked examples provides one of the best, possibly the best, means of learning how to solve problems in a novel domain*“ (S. 107). Ausgearbeitete Lösungsbeispiele sind dabei nicht per se für alle Lerner vorteilhaft. Aus Studien, die im Rahmen der CLT durchgeführt wurden, ist bekannt, dass Instruktionsmethoden, die für Lerner ohne großes aufgabenspezifisches Vorwissen lernwirksam sind, für erfahrene Lerner lernhinderlich wirken können. Kalyuga, Chandler, Tuovinen und Sweller (2001) konnten in ihrer Studie beobachten, dass mit zunehmender Expertise der Worked Example Effect zunächst nicht mehr auftrat, bis sich dieser schließlich sogar ins Gegenteil verkehrte. Ein Phänomen, das in der Instruktionsforschung deshalb als Expertise-Umkehr-Effekt (engl. *Expertise Reversal Effect*) bezeichnet wird (Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003; Kalyuga, Rikers, & Paas, 2012). Aus dem Expertise-Umkehr-Prinzip lässt sich schlussfolgern, dass Lernumgebungen nicht für alle Lerner einheitlich gestaltet, sondern an den jeweiligen Expertisegrad angepasst sein sollten, damit Lernziele effektiv und effizient erreicht werden können (Kalyuga, 2007, 2014).

Im 4C/ID-Modell wird das Expertise-Umkehr-Prinzip mit den Gestaltungsprinzipien des *Scaffolding* und *Fading* thematisiert (van Merriënboer et al., 2003). Lerner werden zu Beginn durch geeignete instruktionale Hilfen beim Wissens- und Fertigkeitserwerb unterstützt (*Scaffolding*) und mit zunehmendem Kompetenzerwerb wird diese Unterstützung kontinuierlich reduziert und schließlich ausgeblendet (*Fading*). Das heißt, durch diese zwei Prinzipien wird Instruktion, die Lernern bereitgestellt wird, adaptiv auf deren individuelle Bedürfnisse zugeschnitten. Unter einer adaptiven multimedialen Lernumgebung verstehen van Merriënboer und Kester (2014) ein System, das Lernfortschritte registriert und analysiert, um davon ausgehend Lernaufgaben auszuwählen, die in ihrem Komplexitäts- und Schwierigkeitsgrad sowie hinsichtlich der realisierten instruktionalen Unterstützung optimal auf die Bedürfnisse des einzelnen Lerners abgestimmt sind.

Die Frage, die sich in diesem Zusammenhang stellt, ist, welches Maß an instruktionaler Unterstützung bereitgestellt werden sollte, um Lerner optimal beim Kompetenzerwerb zu unterstützen. Die Herausforderung bei der Gestaltung von Lernumgebungen ist, auf der einen Seite ausreichend instruktionale Unterstützung zur Verfügung zu stellen, damit Lerner durch die Instruktion nicht überfordert sind und Lernen ineffektiv ist, dabei aber auf der anderen Seite gleichzeitig nur so viele instruktionale Hilfen bereitzustellen, dass Instruktion herausfordernd und nicht langweilig und demotivierend wirkt. Alevan und Koedinger (2007) sprechen in diesem Zusammenhang vom sogenannten *Assistance Dilemma*, mit dem sich Instruktionsdesigner konfrontiert sehen.

Ein lernwirksamer Ansatz zur Reduktion der instruktionalen Unterstützung und zur Verhinderung des Auftretens des Expertise-Umkehr-Effektes ist die Vervollständigungsstrategie (van Merriënboer & Paas, 1990; van Merriënboer, Schuurman, de Croock, & Paas, 2002); auch als *Fading Guidance Strategy* bezeichnet (z. B. Renkl & Atkinson, 2003; Renkl, Atkinson, & Große, 2004). Die Vervollständigungsstrategie sieht vor, dass im Lernprozess mit dem Lösen ausgearbeiteter Lösungsbeispiele begonnen wird, bevor zunächst zu Vervollständigungsaufgaben und schließlich zu konventionellen Problemlöseaufgaben übergegangen werden kann (van Merriënboer, 2013). Vervollständigungsaufgaben sind eine Kombination aus ausgearbeiteten Lösungsbeispielen und konventionellen Problemlöseaufgaben (Clark, Nguyen, & Sweller, 2011). Anders als ausgearbeitete Lösungsbeispiele enthalten sie die Problemstellung und das Endergebnis, einzelne Lösungsschritte müssen jedoch vom Lerner selbst konstruiert und vervollständigt werden, um die Aufgabe zu lösen. Der Lerner ist somit gefordert, Teilschritte, die zur Lösung des Problems notwendig sind, aktiv zu durchdenken (Sweller et al., 1998). Ausgearbeitete Lösungsbeispiele haben nämlich den entscheidenden Nachteil, dass der Lerner durch dieses Aufgabenformat nicht automatisch angehalten ist, die Aufgabe elaboriert zu bearbeiten (Renkl, Stark, Gruber, & Mandl, 1998; Sweller et al., 1998; van Merriënboer et al., 2003). Durch den Einsatz

von Vervollständigungsarbeiten kann diesem Problem entgegengewirkt werden (van Merriënboer & Krammer, 1990).

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Vervollständigungsarbeiten im Vergleich zum Lernen mit vollständig ausgearbeiteten Lösungsbeispielen eher dazu führte, dass Lerner die eigene Leistung unterschätzen, obwohl objektiv keine Unterschiede in der Performanz beobachtbar sind (Baars, Visser, van Gog, de Bruin, & Paas, 2013). Ein Effekt, der insbesondere in der Fahranfängervorbereitung von Vorteil sein kann. Die Unterschätzung der eigenen Leistung dürfte in dem Zusammenhang eher sicherheitszuträgliche und damit eine wünschenswerte Wirkung haben.

Das 4C/ID-Modell sieht den Einsatz der Vervollständigungsstrategie als gangbaren Weg, Lerner optimal durch geeignete instruktionale Hilfen zu unterstützen und unterschiedliche Lernwege beschreiten zu lassen (van Merriënboer & Kirschner, 2018) und damit als eine geeignete Strategie der Aufgabensequenzierung (vgl. hierzu auch Abschn. 3.3). Studien zeigen nicht nur, dass Lerner Vervollständigungsarbeiten bei entsprechender Wahlmöglichkeit Problemlöseaufgaben vorziehen (van Merriënboer, Schuurman, et al., 2002), sondern auch, dass die Vervollständigungsstrategie im Vergleich zum Lernen mit konventionellen Problemlöseaufgaben die effektivere Instruktionsmethode ist (z. B. Paas, 1992; Renkl, Atkinson, Maier, & Staley, 2002; van Merriënboer, 1990; van Merriënboer & Krammer, 1990; van Merriënboer, Schuurman, et al., 2002).

Eine kontinuierliche Reduktion der instruktionalen Unterstützung hat sich dabei im Vergleich zu einem unmittelbaren Übergehen vom ausgearbeiteten Lösungsbeispiel zur konventionellen Problemlöseaufgabe insbesondere für Novizen als das effektivere Vorgehen erwiesen (Renkl et al., 2002). Novizen profitieren stärker von einer Fading-Strategie, bei der Lösungsschritte allmählich ausgeblendet werden (Reisslein, 2005); wenn beispielsweise bei jeder zweiten Aufgabe ein Lösungsschritt entfällt. Für Experten hingegen kann eine rasche Rücknahme instruktionaler Hilfen, z. B. wenn pro Aufgabe ein Lösungsschritt entfällt, die geeignetere Strategie sein.

Salden, Alevin, Schwonke und Renkl (2010) konnten außerdem zeigen, dass mit adaptiver instruktionaler Unterstützung, die sich an der individuellen Leistung des Lerners orientiert, effektiver gelernt werden kann als mit vergleichbaren Aufgaben, bei denen instruktionale Hilfen für alle Lerner in der gleichen festen Abfolge dargeboten wird. Nicht nur unter Laborbedingungen konnten durch das adaptive Ausblenden instruktionaler Hilfen höhere Testleistungen erzielt werden. Dieser Effekt konnte auch eine Woche nach dem Training noch unter realen Kontextbedingungen repliziert werden.

Nückles, Hübner, Dümer und Renkl (2010) setzten in einer ihrer Studien (Experiment 2) eine *Fading-out*-Prozedur um, bei der Prompts zum Schreiben von Tagebucheinträgen schrittweise ausgeblendet wurden. Sobald die Lerner der EG die gewünschte lernförderliche Strategie in zufriedenstellendem

Maße umsetzen konnten, wurden die entsprechenden Hinweise nicht mehr länger dargeboten. Die Lerner der KG hingegen, erhielten die Prompts über die gesamte zeitliche Dauer des Kurses hinweg, unabhängig davon, ob sie diese Strategien bereits selbständig anwandten oder nicht; mit dem Endergebnis, dass die Testteilnehmer der adaptiven Fading-out-Lernbedingung deutlich bessere Lernergebnisse erzielten als die Probanden der KG. Die berichteten Ergebnisse belegen die Wirksamkeit der adaptiven Anpassung von instruktionaler Unterstützung.

7.2 Zielsetzung und Hypothesen

Wie vom 4C/ID-Modell postuliert, stellte sich in Studie 2 heraus, dass Lerner beim Erwerb von Gefahrenwahrnehmung als komplexer Problemlösekompetenz sowohl von Unterstützenden als auch Prozeduralen Informationen profitieren. Die entwickelten Lernaufgaben sollten deshalb mit beiden Zusatzinformationen in Studie 3 zu einer adaptiven Lernumgebung weiterentwickelt werden.

Gemäß 4C/ID-Modell wird die instruktionale Unterstützung in Lernumgebungen mit fortschreitendem Kompetenzerwerb aufseiten des Lerners sukzessive reduziert; z. B. mittels Vervollständigungsstrategie. In diesem Zusammenhang stellte sich zunächst die Frage, ob die entwickelten Aufgaben als Einstiegsaufgaben unterschiedlicher Aufgabenklassen oder aber als Items einer Aufgabenklasse zu betrachten sind.

Einerseits kann jede dieser 9 Aufgaben einem anderen Themenbereich (z. B. geht es in Aufgabe A7 um Fahrverhalten in ampelgeregelten Kreuzungsbereichen, in Item A3 in Haltestellenbereichen usw.) und damit prinzipiell auch einer anderen Aufgabenklasse zugeordnet werden. Weil die Items als leicht lösbar zu beurteilen sind (vgl. Tabelle 2), könnten diese als Einstiegsaufgaben verschiedener Aufgabenklassen behandelt werden. Da für die erste Aufgabe einer Aufgabenklasse die umfangreichste Form der instruktionalen Unterstützung bereitgestellt werden sollte, kann angenommen werden, dass Lerner dann am meisten profitieren würden, wenn alle Items in Form ausgearbeiteter Lösungsbeispiele dargeboten werden.

Andererseits weisen die verschiedenen Verkehrsszenarien bestimmte strukturelle Gemeinsamkeiten auf und könnten deshalb als zu einer Aufgabenklasse zugehörig angesehen werden. Zum Beispiel muss in mehreren Aufgaben frühzeitig die Absicht des Vorfahrers zur Geschwindigkeitsreduktion erkannt werden, um angemessen reagieren zu können. Das betrifft die Items A3, A4, A6, A7, A9, A10 sowie A11 (vgl. Tabelle 1). In diesen Szenarien müssen zwar jeweils verschiedene Hinweisreize wahrgenommen, zusammengeführt und angemessen interpretiert werden, um frühzeitig darauf schließen zu können, dass der Vorfahrende in Kürze die Geschwindigkeit verringern wird, dennoch geht es in allen Szenarien darum, ein Auffahren auf den Vorfahrer zu verhindern. Außerdem kann aufgrund der in

Studie 1 ermittelten Schwierigkeitsindizes davon ausgegangen werden, dass die Aufgaben mit Ausnahme von Item A15 ähnlich komplex sind. Dem 4C/ID-Modell entsprechend werden ähnlich komplexe Lernaufgaben einer Aufgabenklasse zugeordnet. Abgesehen von der Unterschiedlichkeit der Themenbereiche ist es deshalb denkbar, dass es eine geeignete Strategie ist, die 9 Lernaufgaben als eine Aufgabenklasse zu betrachten und somit die instruktionale Unterstützung innerhalb dieser sukzessive zu reduzieren.

Die Sequenzierung von Aufgaben in adaptiven Lernumgebungen basiert in der Regel auf der Performanz des Lerners in der vorangegangenen Aufgabe (Camp, Paas, Rikers, & van Merriënboer, 2001), operationalisiert z. B. über die Anzahl an Fehlern, die Schnelligkeit oder die Aufgabebearbeitungszeit (Leutner, 1992; van Merriënboer & Kester, 2014). In Studie 2 hat sich nicht nur gezeigt, dass durch Unterstützende und Prozedurale Informationen unterschiedliche Teilkompetenzen gefördert werden können und beide Informationsarten damit Teil einer Lernumgebung für die Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung sein sollten, sondern auch, dass ein linearer Zusammenhang zwischen dem Informationsgehalt der dargebotenen Zusatzinformation und der Schnelligkeit, mit der auf Gefahren reagiert werden kann, besteht. Naheliegend war daher die Umsetzung einer Fading-out-Prozedur, bei der mit zunehmendem Kompetenzerwerb Zusatzinformationen entsprechend ihres Informationsgehalts kontinuierlich ausgeblendet werden. Das höchste Maß an instruktionaler Unterstützung wurde in Studie 2 für die Teilnehmer bereitgestellt, die sowohl mit Unterstützenden als auch Prozeduralen Informationen lernten (vergleichbar mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen), das geringste für die Bedingung, die auf beide Zusatzinformationen beim Lernen verzichten musste (vergleichbar mit konventionellen Problemlöseaufgaben und im vorliegenden Wissensbereich der klassischen Hazard Perception-Testaufgabe entsprechend). Das zweithöchste Ausmaß an instruktionaler Unterstützung erhielten die Testteilnehmer, die ausschließlich Unterstützende Informationen zum Lernen zur Verfügung hatten (Vervollständigungsaufgaben), gefolgt von den Teilnehmern der Bedingung, die nur Prozedurale Informationen präsentiert bekamen (Vervollständigungsaufgaben). Dementsprechend wurden zuerst die Prozeduralen Informationen ausgeblendet, gefolgt von den Unterstützenden Informationen (vgl. auch Abb. 15).

Ziel der vorliegenden Studie ist es zu überprüfen, ob mit adaptiver instruktionaler Unterstützung, das heißt, wenn diese entsprechend der individuellen Leistung angepasst und sukzessive reduziert wird, effektiver und effizienter gelernt werden kann als mit für alle Lernaufgaben vollumfänglich dargebotener instruktionaler Unterstützung. Zudem sollte geklärt werden, ob das Gelernte auf realitätsnähere Kontexte übertragen werden kann und ob etwaige Trainingseffekte auch nach einer Woche noch beobachtet werden können. Die Hypothesen der vorliegenden Studie lauten wie folgt:

Aus Studien in anderen Wissensbereichen ist bekannt, dass in computerbasierten Lernumgebungen mit adaptiver instruktionaler Unterstützung, die sich am Kompetenzniveau des Lerners orientiert, nicht nur effektiver, sondern auch effizienter gelernt werden kann als mit instruktionaler Unterstützung, die für alle Lerner gleich ausfällt (z. B. Schwonke et al., 2007) bzw. die über die gesamte Dauer des Trainings hinweg vollumfänglich dargeboten wird (Nückles et al., 2010).

Hypothese 1: Es wurde daher angenommen, dass Lerner von einer kontinuierlichen Reduktion instruktionaler Hilfen stärker profitieren werden als von vollumfänglicher instruktionaler Unterstützung, die für alle Lernaufgaben gleichermaßen dargeboten wird.

Ganz konkret wurde angenommen, dass Trainingsteilnehmer, die mit adaptiver instruktionaler Unterstützung lernen, nicht nur vergleichbar gute oder bessere Lernleistungen aufweisen werden, sondern auch, dass sie für die vergleichbar guten oder besseren Leistungen deutlich weniger Lernzeit benötigen als Probanden, die im Training für jede Lernaufgabe die vollumfängliche instruktionaler Unterstützung erhalten.

CBTs für die Fahranfängervorbereitung werden mit dem Ziel entwickelt, die Erfahrungsbildung zu unterstützen und so letztlich die Unfallzahlen günstig zu beeinflussen. Der Erwerb von Fahrerfahrung ist mit einem Dilemma verbunden, in der Literatur auch als Young Driver Paradox bezeichnet. Einerseits steigt das Risiko zu verunfallen mit der Häufigkeit, mit der der Fahranfänger aktiv am Verkehr teilnimmt. Andererseits werden nur durch das Fahren selbst die Kompetenzen erworben, die Fahrer zur Vermeidung von Unfällen befähigen (Debus et al., 2008). Im Vergleich zum Üben im Realverkehr bieten Fahrsimulationen den Vorteil, dass der Erwerb von fahrbezogenen Kompetenzen in einer geschützten Umgebung stattfinden kann. Nur muss dann bei der Entwicklung von Trainings sichergestellt werden, dass das im CBT Gelernte auch auf den realen Anwendungskontext übertragen werden kann.

Zentral war bei der vorliegenden Untersuchung daher die Klärung der Frage, ob die Teilnehmer, das im CBT vermittelte Wissen auf handlungsnähere Kontexte in der Fahrsimulation übertragen können. Teil des Designs war eine KG, die als *Baseline*-Messung diente und Aufschluss über etwaige Unterschiede im Fahrverhalten in der Simulation zwischen trainierten und untrainierten Testteilnehmern geben sollte. Studien zeigen, dass schon mit relativ kurzen Trainingsinterventionen beobachtbare Verhaltensänderungen erreicht werden können (Fisher et al., 2002). Trainierte Fahranfänger weisen dabei in Testfahrten im Fahrsimulator ein angemesseneres, weil mehr auf Sicherheit bedachtes und damit weniger riskantes Fahrverhalten auf als Probanden einer Vergleichsgruppe, die kein Training erhalten hatten (z. B. Regan et al., 2000b).

Hypothese 2: Ausgehend von diesen Befunden wurde angenommen, dass die Teilnehmer, die das CBT erhalten hatten, ein angemesseneres Fahrverhalten in der Simulation aufweisen würden als jene Probanden, die nicht am Training teilgenommen hatten.

Konkret wurde erwartet, dass die Trainees potentielle Gefahrenereignisse zuverlässiger identifizieren und bei der Annäherung an diese geringere Fahrgeschwindigkeiten wählen. Zudem wurde angenommen, dass Probanden, die ein Training erhalten hatten, im Vergleich zu den Probanden der KG weniger Verkehrsverstöße (z. B. Geschwindigkeitsüberschreitungen) begehen.

Vergleichbare Untersuchungen zeigen, dass Trainingseffekte auch noch nach mehreren Tagen oder Wochen beobachtbar sein können (Fisher et al., 2002; Regan et al., 2000b).

Hypothese 3: Deshalb wurde auch in der vorliegenden Untersuchung davon ausgegangen, dass Trainingseffekte eine Woche nach der ersten Erhebung repliziert werden können und Probanden, die ein Training erhalten hatten ein angemesseneres Fahrverhalten im Simulator aufweisen werden als Probanden der KG.

7.3 Methode

7.3.1 *Design*

Die Überprüfung der Hypothesen erfolgte anhand eines gemischten Designs mit dem dreifachgestuften Zwischensubjektfaktor *Testbedingung* (kein vs. non-adaptives vs. adaptives Training) und dem dreifachgestuften Innersubjektfaktor *Testzeitpunkt* (vor vs. unmittelbar nach vs. eine Woche nach dem Training).

Als zentrale abhängige Variablen zur Bestimmung der Trainingseffektivität und -effizienz wurden die Gesamtlernzeit und die Anzahl korrekt gelöster Items im Wissenstest sowie die Durchschnittsgeschwindigkeit, die Anzahl richtig benannter Gefahren und die Anzahl an Verkehrsverstößen im Fahrsimulator erfasst.

7.3.2 *Stichprobe*

Die Bestimmung des optimalen Stichprobenumfangs erfolgte a priori unter Zuhilfenahme von G*Power (vgl. Faul et al., 2007). Vergleichbare Studien, in denen die Effektivität computerbasierter Trainings mittels Fahrsimulator überprüft wurde, zeigen überwiegend positive Trainingseffekte (z. B. Fisher et al., 2002; Regan et al., 2000b). Teilnehmer, die ein Training erhalten hatten, zeigen z. B. im Vergleich zu untrainierten im Fahrsimulator ein angemesseneres Fahrverhalten in Bezug auf die Wahl der Fahrgeschwindigkeit. Für die Planung der Stichprobe der vorliegenden Untersuchung wurde

deshalb davon ausgegangen, einen großen Effekt zu finden. Bei drei Teilnehmergruppen, drei Testzeitpunkten, einer α -Fehlerwahrscheinlichkeit von 5 % und einem β -Fehler von .20 ergibt sich so ein optimaler Stichprobenumfang von $N = 57$. Auf jede Bedingung würden demnach 19 Probanden entfallen.

Nicht alle erhobenen Daten waren für die Auswertung brauchbar. Ein Grund für den Ausschluss einiger Datensätze waren z. B. unzureichende Sprachkenntnisse (deutsch nicht als Muttersprache) der Testteilnehmer. Andere Datensätze wiederum mussten aufgrund von technischen Problemen bei der Aufzeichnung der Daten bei den Analysen außen vor gelassen werden. Insgesamt konnten die Datensätze von 43 Personen im Alter von 16 bis 29 Jahren ($M = 23.0$; $Md = 23.0$; $SD = 3.72$), 26 % davon männlichen Geschlechts, für die Analysen verwendet werden. Keiner der Teilnehmer besaß zum Testzeitpunkt einen Führerschein, weder für Pkw noch für eine andere Klasse. Ein Teilnehmer gab an, am BF17 teilgenommen zu haben. Dieser war Teil der KG. Einige Testteilnehmer hatten bereits mit dem Fahrschulunterricht begonnen. Im Mittel hatten diese 10 Teilnehmer 10.5 Stunden ($SD = 5.10$) Theorieunterricht absolviert. Von diesen 10 Teilnehmern hatten 5 nach eigenen Angaben bereits zwischen 4 und 35 Stunden ($M = 17.8$; $SD = 13.68$) fahrpraktischen Unterricht erhalten. Diese 5 Personen waren entweder Teil der adaptiven oder der non-adaptiven Trainingsbedingung.

Keiner der Testteilnehmer mit einer Sehschwäche gab an, ohne das Tragen einer Sehhilfe an der Studie teilzunehmen. Der überwiegende Teil (79 %) der Probanden gab an, täglich einen PC zu nutzen. Auf 9 Testteilnehmer (21 %) traf dies nicht zu. Diese 9 Teilnehmer gaben aber an, den PC mindestens einmal bzw. mehrmals pro Woche zu nutzen.

Mit 74 % berichtet der Großteil der Testteilnehmer, über keinerlei Erfahrung mit Fahrsimulationsspielen zu verfügen. Nach eigenen Angaben nutzten 10 Probanden (23 %) solche Spiele nur manchmal, ein Teilnehmer (2 %) jedoch öfter. Während 95 % der Testteilnehmer noch nie Berührung mit einem Fahrsimulator hatten, haben 5 % (2 Personen) hingegen bereits Erfahrung mit diesem Medium sammeln können.

7.3.3 *Testmaterial und technische Ausstattung*

7.3.3.1 *Vortest*

Um die Vergleichbarkeit der drei Bedingungen in Bezug auf das Vorwissen der Testteilnehmer sicherstellen zu können, wurde zunächst erfasst, über wie viel fahrspezifisches Wissen die Teilnehmer zu Beginn der Erhebung verfügten. Der Vortest bestand aus 11 Mehrfachwahlaufgaben aus dem Amtlichen Prüffragenkatalog mit je vier Antwortalternativen; inklusive der Wahlmöglichkeit *Ich weiß*

es nicht. Ohne die jeweils dargebotene Frage zu beantworten, konnten die Probanden im Programm nicht weitergehen. Eine Rückmeldung zur Richtigkeit der Lösung erhielten die Testteilnehmer nicht.

7.3.3.2 Allgemeiner Reaktionszeittest

Um etwaige Unterschiede zwischen den Gruppen in der einfachen Reaktionsfähigkeit feststellen zu können, musste von den Testteilnehmern ein Reaktionszeittest absolviert werden. Dieser ist identisch mit dem, der unter 6.3.3.2 für Studie 2 beschrieben wurde. Auf eine erneute Beschreibung wird daher an dieser Stelle verzichtet.

7.3.3.3 Trainingsumgebung

Zur Entwicklung der Trainingsumgebung wurde das Instruktionsmaterial aus Studie 2 unverändert verwendet (vgl. auch Abschn. 6.3.3.3). Auch die Reihenfolge, in der die Lernaufgaben in Studie 2 präsentiert wurden, wurde in Studie 3 beibehalten. Die Aufgaben waren nach ihrem Schwierigkeitsgrad geordnet. Mit der leichtesten Aufgabe wurde begonnen, den Abschluss bildete die schwierigste Lernaufgabe. Im Unterschied zu Studie 2 waren in der vorliegenden Untersuchung Unterstützende und Prozedurale Informationen entweder Teil aller Aufgaben (non-adaptive Lernbedingung) oder aber diese wurden in einer Fading-out-Prozedur in Abhängigkeit der Performanz des Lerners Schritt für Schritt reduziert (adaptive Lernbedingung).

Die gesamte Lerneinheit bestand für beide Trainingsbedingungen aus insgesamt 9 Lernaufgaben. Die Aufgaben waren alle gleich aufgebaut. Zu Beginn wurde ein Standbild zur Gefahrenszene aus der Perspektive des Fahrers gezeigt und das Thema dieser Aufgabe genannt, z. B. Haltestellen. Daraufhin folgte ein visuell dargebotener Lerntext, der für jedes Thema gleich strukturiert war. Begonnen wurde mit einer kurzen Beschreibung der Fahrszene sowie einer Draufsicht zu dieser. Mit einem Doppelklick auf die linke Maustaste ließ sich diese Abbildung vergrößern. Die Probanden hatten so die Möglichkeit, sich weitere Informationen zur Fahrszene, z. B. zur eigenen Fahrtroute oder zur Anwesenheit anderer Verkehrsteilnehmer, einzuholen. Es folgte ein Teil mit Erklärungen zu den die Gefahrenszene konstituierenden Elementen sowie Erläuterungen dazu, woraus sich eine Gefahr für die beteiligten Verkehrsteilnehmer entwickeln kann (Unterstützende Informationen). Zudem erfuhr der Lerner, wie sich Fahrer in dieser Situation idealerweise verhalten sollten. Im nächsten Teil der Lerneinheit hatte der Trainee die Möglichkeit, sich ein animiertes Verkehrsszenario anzuschauen, das sich inhaltlich auf die Erläuterungen im Text bezog. Um die Aufmerksamkeit des Lerners auf die wesentlichen, die Gefahrensituation konstituierenden Aspekte zu lenken, wurden diese in der laufenden Animation farblich hervorgehoben und mit dem zugehörigen auditiven Kommentar präsentiert (Prozedurale Informationen). Im unmittelbaren Anschluss an die Lernphase wurde ein Testvideo präsentiert, in dem die Probanden gefordert waren, ihr neu erworbenes Wissen aktiv zu überprüfen. Das Testvideo war

eine Animation, die der in der Lernphase gezeigten ähnelte; mit dem Unterschied, dass das Gefahrenmoment in ein umfassenderes Verkehrsszenario eingebettet war und sich Erscheinungsmerkmale (z. B. Farbe von Gebäuden, Geschlecht der Verkehrsteilnehmer) von Verkehrsteilnehmern oder Objekten änderten.

Um zu verhindern, dass sich die Teilnehmer zu schnell durch das Lernprogramm durcharbeiten und nicht genügend Lernzeit auf die Inhalte verwenden, war für die Lerntexte (Unterstützenden Informationen) eine Mindestlernzeit von 40 Sekunden vom System vorgegeben. Erst nach dieser Zeit erschien eine Weiter-Taste, mit der die Trainees zum nächsten Teil der Aufgabe gelangen konnten. Auch das Lernvideo war systemgesteuert. Der Lerner konnte sich das Video zwar mehrfach anschauen, hatte aber nicht die Möglichkeit, vor- und zurückzuspulen oder die Animation zu stoppen. Abgesehen von diesen zwei Beschränkungen durfte der Lerner frei entscheiden, ob er in der jeweiligen Lerneinheit zurück- oder vorwärtsgehen möchte und wie viel Zeit er einzelnen Lerninformationen widmet. Einmal das Testvideo angefordert, war es jedoch nicht mehr möglich, zur Lernaufgabe zurückzugehen. Entsprechende Hinweise wurden in der Instruktion gegeben.

Die dynamische Anpassung der instruktionalen Unterstützung basierte auf der Performanz des Lerners in der jeweils vorangegangenen Aufgabe und konnte sich sowohl auf eine Reduktion als auch eine Zunahme in der Darbietung von Zusatzinformationen beziehen. Variiert wurde der Informationsgehalt der Lerninformationen (vgl. hierzu Abb. 15).

Die Fading out-Prozedur sah vor, dass mit zunehmendem Wissenserwerb zunächst die Prozeduralen Informationen (farbige Hervorhebungen der kritischen, die Gefahrensituation konstituierenden Aspekte sowie dazugehörige auditiv dargebotene Hinweise) entfielen und dem Lerner nur noch Unterstützende Informationen zur Verfügung gestellt wurden (Schwierigkeitsniveau 2). Bei einer weiteren Reduktion der instruktionalen Unterstützung entfielen die Unterstützenden Informationen (die Gefahrensituation erklärende Lerntexte), sodass neben der animierten Verkehrsszene nur noch Prozedurale Informationen zum Lernen genutzt werden konnten (Schwierigkeitsniveau 3). Beim maximal erreichbaren Schwierigkeitsniveau 4 mussten die Teilnehmer beim Lernen sowohl auf die Prozeduralen als auch die Unterstützenden Informationen verzichten. Das heißt, sie bekamen das Thema der Lerneinheit genannt und konnten sich direkt danach beliebig oft das animierte Verkehrsszenario hierzu anschauen, um danach in einem Testvideo, das eigene Können zu überprüfen.

Wurden zwei Aufgaben vom gleichen Schwierigkeitsgrad (in Bezug auf instruktionale Unterstützung) in Folge richtig gelöst, wurde die instruktionale Unterstützung der nachfolgenden Aufgabe um einen Schritt reduziert und damit der Schwierigkeitsgrad erhöht. Richtig gelöst heißt, dass der Lerner im Testvideo, das immer am Ende einer jeden Lernaufgabe dargeboten wurde, um das Gelernte

anwenden zu können, richtigerweise innerhalb des vordefinierten kritischen Reaktionszeitfensters auf die Gefahr per Tastendruck reagierte.

		Instruktionale Unterstützung (Level)			
		1	2	3	4
		Unterstützende und Prozedurale Informationen	ausschließlich Unterstützende Informationen	ausschließlich Prozedurale Informationen	weder Unterstützende I. noch Prozedurale
Aufgabenschwierigkeit	Item 1	richtig			
	Item 2	richtig			
	Item 3		richtig		
	Item 4		richtig		
	Item 5			richtig	
	Item 6			richtig	
	Item 7		richtig	falsch	falsch
	Item 8				richtig
	Item 9			richtig	falsch

Abbildung 15: Algorithmus für Aufgabenselektion

Der zur Adaptation der instruktionalen Unterstützung eingesetzte Algorithmus sah außerdem vor, dass eine Aufgabe erneut bearbeitet werden musste, wenn diese nicht korrekt gelöst wurde. Das heißt, wenn der Lerner außerhalb des kritischen Reaktionszeitfensters auf eine Gefahr oder gar nicht reagierte. In diesem Fall wurde die Aufgabe dann wieder – ausgehend vom anfänglich dargebotenen Schwierigkeitsniveau – mit dem nächst höheren Ausmaß an instruktionaler Unterstützung präsentiert. Wurde dieselbe Aufgabe auch auf diesem Schwierigkeitsniveau mit höherer Unterstützung nicht korrekt gelöst, wurde beim nächsten Lösungsversuch erneut ein höheres Ausmaß an instruktionaler Unterstützung zur Verfügung gestellt. Jede Aufgabe konnte bis zu dreimal bearbeitet werden. Schlug auch der dritte Lösungsversuch fehl, ging es im Programm automatisch mit der nächsten Aufgabe weiter. Hatte der Trainee einmal ein höheres Schwierigkeitsniveau erreicht, wurden neue Lernaufgaben stets ab diesem Schwierigkeitsniveau präsentiert.

Auch für die non-adaptive Trainingsbedingung galt, dass eine Aufgabe bei inkorrekt Lösung wiederholt werden musste. Erst nach drei Lösungsversuchen wurde auch für diese Teilnehmergruppe

vom System zur nächsten Lernaufgabe übergegangen. Am Ende jeder Aufgabe erhielten die Lerner eine Rückmeldung über die eigene Leistung. Wurde die Aufgabe richtig gelöst, erhielt der Lerner folgendes Feedback: „Gut gemacht! Weiter geht es mit der nächsten Aufgabe.“ War die Lösung falsch, bekam der Testteilnehmer folgende Rückmeldung: „Du hast leider nicht richtig reagiert. Schau Dir die Aufgabe bitte noch einmal an!“.

Vorschriften und Verkehrsregeln, die zur Lösung einer Aufgabe notwendig waren, wurden im Lernmaterial angesprochen, sodass Lerner, die noch an keinem Fahrschulunterricht teilgenommen hatten, nicht benachteiligt waren.

Vortest, Reaktionszeittest, Training und Nachtest wurden von allen Teilnehmenden im Experimentallabor an Pentium 4-PC mit 22-Zoll-Bildschirmen und einer Auflösung 1680 x 1050 Pixel absolviert. Die Teilnehmer wurden jeweils in einer Entfernung von ca. 60 cm vor dem Bildschirm platziert. Instruktionen und Audiokommentare wurden über Kopfhörer (MDR-ZX100 von Sony) dargeboten.

7.3.3.4 Fahrsimulation

Um zu überprüfen, ob die Testteilnehmer das im CBT Gelernte auch unter ökologisch valideren Bedingungen anwenden können, erfolgte eine Fahrt im *OpenDS*-Simulator (vgl. Math, Mahr, Moniri, & Müller, 2012). Zu Übungszwecken und um sich mit der Apparatur vertraut machen zu können, absolvierten die Teilnehmer vor der eigentlichen Testfahrt die *Continuous Tracking and Reaction (ConTRe) Task* (vgl. Demberg, Sayeed, Mahr, & Müller, 2013). Bei dieser ca. dreiminütigen Aufgabe mussten vom Teilnehmer durch Lenkradbewegungen zwei Balken in Übereinstimmung gebracht sowie das Gas- oder Bremspedal beim Aufleuchten von verschiedenen Lichtzeichen betätigt werden.

Im Anschluss daran folgte die etwa 10-minütige Fahrt durch 6 virtuelle Fahrszenarien, bei der die Testteilnehmer gefilmt wurden. Die Testteilnehmer erhielten in der Instruktion die Anweisung, sich so zu verhalten, wie sie es während der Fahrt im Realverkehr wohl auch tun würden.

Der Fahrsimulator bestand aus drei Monitoren mit jeweils einer Bildschirmdiagonale von 22 Zoll und einer Bildauflösung von 5040 x 1050 Pixeln (vgl. Abb. 16). Zusammen ergaben diese drei Monitore ein Sichtfeld von nahezu 180°. Zum Aufbau gehörten ebenso ein Logitech G27-Lenkrad mit Kraftrückkopplung sowie Pedalerie, bestehend aus Gas- und Bremspedal. Fahrgeräusche und Richtungsanweisungen erhielten die Teilnehmer über handelsübliche Kopfhörer. Die Sitzposition konnte verändert und an den Testteilnehmer angepasst werden. Automatikgetriebe entband die Testteilnehmer von der Aufgabe des Schaltens während der Fahrt.



Abbildung 16: Fahrsimulatorenaufbau

Mit welchen Verkehrsszenarien sich die Probanden während der Fahrt im Fahrsimulator konfrontiert sahen, wird in Tabelle 5 beschrieben. Dieser Tabelle lässt sich auch das für die jeweilige Situation festgelegte Zielverhalten entnehmen. In welcher Reihenfolge die Szenarien im Fahrsimulator bewältigt werden mussten, wurde per Zufallsentscheidung vom System bestimmt. Inhaltlich entsprach ein Teil der virtuellen Verkehrsszenarien einigen der videobasierten Aufgaben, die in Studie 1 auf ihr Differenzierungsvermögen geprüft und als valide Items ermittelt wurden. Die Items A3, A4, A6 und A15 stimmen inhaltlich mit den virtuellen Verkehrsszenarien A3, A4, A6 und A15 aus Studie 1 überein. Die virtuellen Verkehrsszenarien B1 und B3 wurden ebenfalls in einer Vorstudie auf ihr Vermögen überprüft, zwischen erfahrenen und unerfahrenen Fahrer zu differenzieren. Auch diese zwei Items erwiesen sich als valide und wurden deshalb verwendet, um virtuelle Verkehrsszenarien für Studie 3 zu gestalten.

Tabelle 5: Beschreibung der Fahrsimulatorszenarien

Item	Beschreibung	Gefahrenquelle	Zielverhalten
A3	Fahrer nähert sich auf zweispuriger Fahrbahn einem Haltestellenbereich, in den Bahn einfährt. Vorfahrer bremst, weil eine Person plötzlich die Fahrbahn überquert, um die Bahn noch zu bekommen.	Fußgänger (Stadt)	Bahn als Sonderfahrzeug/ Haltestelle als kritischen Bereich erkennen und Geschwindigkeit frühzeitig reduzieren
A4	Vorfahrer bremst, um nicht auf einen in gleicher Fahrtrichtung fahrenden Radfahrer aufzufahren; für Testfahrer ist Radfahrer noch nicht sichtbar	Radfahrer (Stadt)	Radfahrer durch Scheiben des vorausfahrenden Fahrzeugs erkennen und frühzeitig Geschwindigkeit reduzieren
A6	Testfahrer wird durch erst sehr spät sichtbaren Traktor am Weiterfahren gehindert; Überholen aufgrund einer scharfen Rechtskurve nicht angezeigt	Straßenführung/ langsame Kfz (Landstraße)	Geschwindigkeit vorm Kurvenbereich frühzeitig reduzieren

A15	Testfahrer folgt 2 Fahrzeugen; hinter ihm nähert sich ein PKW, der zum Überholen ansetzt, den Überholvorgang aber wegen Gegenverkehrs abbrechen muss und vorm Testfahrer einsichert	Gegenverkehr/ Überholende (Landstraße)	auf Gegenverkehr in Ferne prüfen, mögliche Überholende erkennen, frühzeitig Geschwindigkeit reduzieren und Überholende einscheren lassen
B1	Fahrer nähert sich Kreuzungsbereich, in den er nach rechts abzubiegen beabsichtigt; dabei muss er kreuzendem Radfahrer Vorrang gewähren.	Kreuzung/ Radfahrer hat Vorrang (Stadt)	Radfahrer wird rechtzeitig erkannt und Geschwindigkeit frühzeitig reduziert
B3	Aus einer Reihe am Straßenrand parkender Fahrzeuge fährt plötzlich eines aus einer Parklücke	Wohngebiet/ Unachtsamkeit anderer (Stadt)	Fahrbahnrand nach potentiell sicherheitsgefährdenden Verkehrsteilnehmern absuchen und frühzeitig Geschwindigkeit reduzieren

Szenarien A3, A4, A6 und A15 erforderten nahen Transfer, weil diese den Szenarien im Training ähnelten; Szenarien B1 und B3 hingegen erforderten fernen Transfer, weil sich diese von denen im Training unterschieden

7.3.4 *Vorgehen*

Die Erhebungen fanden an jeweils zwei Testterminen im Experimentallabor der empirischen Bildungswissenschaften der Universität des Saarlandes statt. Zu Beginn der Untersuchung erhielten die Teilnehmer nach einer kurzen Begrüßung zunächst einen Überblick über den Ablauf der Untersuchung und wurden über den Zweck der Studie informiert. Danach bearbeiteten sie einen computerbasierten Fragebogen, in dem Angaben zur eigenen Person (z. B. demografische Daten, Sprachkenntnisse, Führerscheinbesitz, Erfahrung in der Nutzung von PC-Spielen usw.) gemacht werden mussten. Im Anschluss daran absolvierten die Teilnehmer einen einfachen Reaktionszeittest und einen Vortest, bestehend aus Mehrfachwahlaufgaben, mit dem ihr fahrspezifisches Vorwissen erfasst wurde. Beide Tests wurden, wie die Trainingsinterventionen auch, am PC absolviert.

Nach Beenden des Vortests begann für die zwei Experimentalgruppen das Training; entweder in adaptiver oder non-adaptiver Form. Das Trainingsprogramm begann mit der Präsentation eines Demovideos, das Hinweise zum Umgang mit den Lern- und Testmaterialien enthielt und beliebig oft angeschaut werden durfte. Nach Beenden des Trainingsprogramms waren die Testteilnehmer erneut gefordert, Mehrfachwahlaufgaben aus dem Amtlichen Fragenkatalog zu lösen. Damit war der erste Teil der Untersuchung beendet und es konnte zum nächsten Teil übergegangen werden, der Simulatorfahrt.

Nachdem die Lerner über ein mögliches Auftreten der Simulatorkrankheit und entsprechende Symptome aufgeklärt worden waren, eine Einverständniserklärung (vgl. Anhang C) unterschrieben sowie den eindringlichen Hinweis erhalten hatten, in einem solchen Falle bei den geringsten Anzeichen das Experiment unverzüglich abzubrechen, folgte für die Teilnehmer der Experimentalgruppen die

Fahrt im Fahrsimulator. Die Probanden der KG fuhren unmittelbar nach dem Vortest mit der Fahrt im Simulator fort.

Die Aufgaben innerhalb der einzelnen Testteile (einfacher Reaktionszeittest, Vortest, Nachtest, Fahrsimulation) wurden in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Abschließend wurde ein zweiter Testtermin mit den Teilnehmern vereinbart. Am zweiten Testtermin wiederholten die Probanden aller drei Bedingungen die Fahrt im Fahrsimulator. Schließlich wurden sie verabschiedet und erhielten 15 Euro für die Teilnahme. Der erste Testtermin beanspruchte etwa eine Stunde Zeit, der zweite ca. eine halbe.

7.4 Ergebnisse

Für alle statistischen Verfahren wurde ein Alpha-Niveau von .05 festgelegt. Als Effektstärkemaße werden Cohen's d (wobei .20 als kleiner, .50 als mittlerer und .80 als großer Effekt gilt) oder das partielle η^2 angegeben, wobei Werte kleiner .06 als schwacher Effekt, Werte zwischen .06 bis .13 als mittlerer Effekt und Werte größer .13 als großer Effekt gelten (vgl. Cohen, 1988).

7.4.1 *Verwendete Leistungsmaße*

Der Wissenstest bestand aus Mehrfachwahlaufgaben aus dem Amtlichen Fragenkatalog. Er wurde eingesetzt, um mögliche Unterschiede im Vorwissen der Testnehmer, aber auch um Trainingseffekte zu identifizieren. Für jede richtig gelöste Mehrfachwahlaufgabe wurde ein Punkt vergeben und die Punkte zu einem Gesamtpunktwert addiert. Insgesamt konnten 11 Punkte erreicht werden.

Die Testaufgabe am Ende einer Lerneinheit galt als richtig gelöst, wenn innerhalb des kritischen Zeitfensters per Tastendruck reagiert wurde. Wurde nicht rechtzeitig reagiert, wurde vom System ein Nichttreffer registriert und die Aufgabe musste wiederholt werden. Die Anzahl an Nichttreffern wurde addiert und der Gesamtwert gebildet. Außerdem wurde die Anzahl an Lösungsversuchen, die zur Bewältigung des Trainings benötigt wurden, registriert.

Die Variable Gesamtlernzeit umfasst die Zeit in Minuten, die vom Teilnehmer zur Bewältigung des Trainings vom Standbild in Aufgabe 1 bis zur erfolgreichen Lösung der Testaufgabe am Ende von Item 9 (vgl. Abb. 15) benötigt wurde. Für jede der zwei Teilstichproben wurde über alle Teilnehmer hinweg ein Mittelwert für die Gesamtlernzeit gebildet.

Während der Fahrt im Fahrsimulator waren die Testteilnehmer angehalten, die Gründe für eine etwaige Geschwindigkeitsreduktion anzugeben bzw. potentielle Gefahren, die sie in den virtuellen Verkehrsszenarien identifizierten, klar und eindeutig verbal zu benennen. Insgesamt konnten 6 potentielle Gefahrenereignisse identifiziert werden. Wurde die Gefahrensituation in der virtuellen

Verkehrsumgebung vom Teilnehmer rechtzeitig erreicht und die Gefahr richtig benannt, wurde ein Punkt vom System verbucht. Nicht erkannte Gefahren wurden als Nichttreffer und damit mit null Punkten bewertet. Hieraus wurde schließlich ein Gesamtpunktwert ermittelt.

Ab 100 Metern vor der Gefahrensituation wurden in Abständen von jeweils 10 Metern die Fahrtgeschwindigkeiten der Teilnehmer erfasst. Das heißt, pro Verkehrsszenario wurde für 10 Distanzpunkte die gefahrene Geschwindigkeit in km/h pro Teilnehmer gemessen. Diese Geschwindigkeiten wiederum wurden über alle Probanden einer Gruppe hinweg gemittelt.

Erfasst wurde auch die Gesamtanzahl an Verkehrsverstößen. Überschritt der Testnehmer z. B. die zulässige Höchstgeschwindigkeit, wurde ein Verstoß registriert. Auch diese Fehlverhaltensweisen wurden zu einem Gesamtwert summiert.

7.4.2 *Stichprobe*

Aufgrund von Ausfällen basieren die Analysen auf einem Stichprobenumfang von insgesamt 43 Personen. Die adaptive Lernbedingung setzte sich aus 17, die non-adaptive aus 12 und die KG aus insgesamt 14 Probanden zusammen. Keiner der Testteilnehmer zeigte Anzeichen der Simulatorkrankheit oder berichtete von entsprechenden Symptomen.

Die drei Untersuchungsbedingungen unterschieden sich in keiner der im Fragebogen erfassten Variablen signifikant voneinander. So waren alle drei Gruppen im Durchschnitt ähnlich alt ($F_{2;40} = .54$; $p \geq .05$) und wiesen ein ähnliches Geschlechterverhältnis ($\chi^2(2) = .11$; $p \geq .05$) auf. Auch in Bezug auf die einfachen Reaktionszeiten ($F_{2;40} = 1.43$; $p \geq .05$), das Vorwissen ($F_{2;40} = 1.93$; $p \geq .05$), die Anzahl an Stunden Theorie- ($F_{2;7} = .31$; $p \geq .05$) oder Praxisunterricht ($F_{1;3} = .11$; $p \geq .05$) unterschieden sich die drei Bedingungen nicht signifikant voneinander. Die PC-Nutzungshäufigkeit ($\chi^2(2) = 2.82$; $p \geq .05$), die Erfahrung mit Fahrsimulationsspielen ($\chi^2(4) = 3.24$; $p \geq .05$) sowie die Erfahrung mit Fahrsimulatoren als Teil der Fahrausbildung ($\chi^2(2) = 5.36$; $p \geq .05$) war zwischen den drei Gruppen ebenfalls vergleichbar.

7.4.3 *Testergebnisse: Lernzeit und Anzahl an Lösungsversuchen im Training*

Um zu prüfen, ob es Unterschiede in der Gesamtlernzeit zwischen beiden Trainingsbedingungen gab, wurde ein t -Test für unabhängige Stichproben gerechnet. Die Gruppe, die mit dem adaptiven Lernprogramm trainierte, benötigte mit durchschnittlich 22.12 Minuten ($SD = 5.82$; $SE = 1.41$) deutlich weniger Lernzeit als die Teilnehmergruppe, die das non-adaptive Training ($M = 27.09$; $SD = 5.0$; $SE = 1.44$) erhielt. Die statistische Signifikanzprüfung zeigt, dass es sich bei diesem Unterschied ($t(27) = -2.4$; $p = .024$; $d = .904$) um einen starken Effekt handelt.

Bei Betrachtung der Gesamtanzahl an Lösungsversuchen im Training und somit der Effizienz in Bezug auf die Anzahl an Aufgaben, die bewältigt werden mussten, fiel auf, dass die Probanden der adaptiven Trainingsbedingung mit 12.94 Versuchen ($SD = 2.44$; $SE = .59$) im Mittel knapp anderthalb Lösungsversuche weniger benötigten als die Teilnehmer der non-adaptiven Bedingung ($M = 14.42$; $SD = 2.50$; $SE = .72$). Dieser Unterschied hielt einer statistischen Signifikanzprüfung jedoch nicht stand ($t(27) = -1.59$; $p \geq .05$).

In beiden Trainingsbedingungen gab es jeweils einen Teilnehmer, der die 9 Aufgaben mit insgesamt 10 Lösungsversuchen bewältigte. Die maximale Anzahl an Lösungsversuchen lag in der adaptiven Trainingsbedingung bei 18 und in der non-adaptiven Bedingung bei 19 Versuchen.

Mit 58,8 % erreichte der Großteil der Teilnehmer (10 Personen) der adaptiven Lernbedingung das höchste Schwierigkeitsniveau. Maximal Schwierigkeitsniveau 3 (Lernen ausschließlich mit PI) wurde von 5 Personen (29.4 % der Teilnehmer) erreicht. Zwei Lernern (11.8 %) gelang es nicht, über Schwierigkeitsniveau 2 (5.6 %; Lernen ausschließlich mit UI) hinauszukommen.

Jede Lernaufgabe endete mit einer videobasierten Testaufgabe, in der die Identifikation potentieller Gefahren durch einen unspezifischen Tastendruck angegeben werden musste. Jeweils den letzten Lösungsversuch betrachtet, reagierten die Teilnehmer der adaptiven Bedingung im Mittel etwas frühzeitiger ($M = -.14$; $SD = .55$; $SE = .13$) auf Gefahren in diesen Testaufgaben am Ende der Lerneinheit als die Teilnehmer der non-adaptiven Trainingsbedingung ($M = .21$; $SD = .52$; $SE = .15$). Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht bedeutsam ($t(27) = -1.74$; $p \geq .05$).

Die Lerner der non-adaptiven Trainingsbedingung ($M = 6.42$; $SD = 3.29$; $SE = .95$) hatten im Mittel einen Nichttreffer mehr als die Lerner der adaptiven Trainingsbedingung ($M = 4.71$; $SD = 3.16$; $SE = .77$). Statistisch bedeutsam war dieser Unterschied jedoch nicht ($t(27) = -1.41$; $p \geq .05$).

Da die Werte in den Teilstichproben nicht normalverteilt waren, wurde zur Prüfung auf einen Mittelwertunterschied für die Anzahl nach dreimaliger Bearbeitung nicht richtig gelöster Items ein Mann-Whitney-U-Test berechnet. In der Anzahl an Nichttreffern in der Testaufgabe unterschieden sich beide Trainingsbedingungen nicht voneinander ($U(11,10) = 52$; $Z = -.235$; $p \geq .05$).

7.4.4 Testergebnisse: Leistungen im Wissenstest und Fahrverhalten

7.4.4.1 Wissenstest

Um zu überprüfen, ob das Training einen Effekt auf die Performanz im Wissenstest hatte und etwaige Lerneffekte auch noch nach etwa einer Woche nachweisbar sind, erfolgte die Berechnung einer zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholung. Hierbei handelte es sich um ein gemischtes Design

mit dem dreistufigen Innersubjektfaktor *Testzeitpunkt* (unmittelbar vor vs. unmittelbar nach vs. ca. eine Woche nach dem Training) und dem zweistufigen Zwischensubjektfaktor *Testbedingung* (adaptives vs. non-adaptives Training). Die deskriptiven Statistiken, inklusive jener der KG, für die der Nachtest entfiel, da für diese Untersuchungsbedingung keine Lernphase vorgesehen war, sind in Tabelle 6 aufgeführt. Abbildung 17 stellt die Mittelwerte der Testergebnisse für beide Trainingsbedingungen im zeitlichen Verlauf grafisch dar. Im Durchschnitt nahmen die Probanden aller drei Testbedingungen 8.56 Tage ($SD = 3.91$) nach der ersten Datenerhebung an der Follow-up-Erhebung teil.

Tabelle 6: Deskriptive Daten Wissenstest

	Pretest		Posttest		Follow-up	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
adaptives Training	6,59	2,53	7,65	1,70	7,76	1,48
non-adaptives Training	5,08	3,70	7,17	2,12	6,92	2,35
kein Training (KG)	4,64	2,53	-	-	5,71	2,58

max. 11 erreichbare Punkte

Die Berechnung der ANOVA zeigte einen signifikanten Haupteffekt des Testzeitpunktes ($F_{2;54} = 12.76$; $p \leq .001$; $\eta_p^2 = .32$; $1-\beta = .995$) auf die Performanz im Wissenstest auf. Ein Haupteffekt der Testbedingung ($F_{1;27} = 1.45$; $p \geq .05$) auf die Performanz im Test konnte ebenso wenig beobachtet werden wie ein Interaktionseffekt zwischen Testzeitpunkt und Testbedingung ($F_{2;54} = 1.09$; $p \geq .05$).

Im Einzelvergleich zeigte sich, dass das adaptive Training einen signifikanten Einfluss auf die Leistung im Wissenstest hatte ($t(16) = -2.67$; $p = .017$; $d = .65$). Im Vergleich zu den Ergebnissen im Vortest schnitten die Testnehmer unmittelbar nach dem adaptiven Training deutlich besser im Wissenstest ab.

Aber auch zwischen der Leistung im Vortest und der Performanz im Wissenstest in der Follow-up-Erhebung konnte ein signifikanter Unterschied für die adaptive Trainingsbedingung beobachtet werden ($t(16) = -3.05$; $p = .008$; $d = .74$). Verglichen mit den Ergebnissen im Vortest erzielten die Testnehmer in der Follow-up-Erhebung deutlich bessere Leistungen im Wissenstest.

Wohingegen sich zwischen Nachtest und Follow-up-Erhebung keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Leistung im Wissenstest für die adaptive Trainingsbedingung zeigten ($t(16) = -.33$; $p \geq .05$). In der Follow-up-Erhebung schnitten die Testnehmer nur unwesentlich besser im Test ab als unmittelbar nach dem Training.

Auch das non-adaptive Training hatte einen signifikanten Einfluss auf die Leistungen im Wissenstest ($t(11) = -3.65$; $p = .004$; $d = -1.06$). Unmittelbar nach dem Training schnitten die Trainees besser im Wissenstest ab als im Vortest.

Während sich auch für die non-adaptive Trainingsbedingung kein signifikanter Unterschied ($t(11) = .477$; $p \geq .05$) zwischen den Leistungen im Nachtest und der Follow-up-Erhebung auffinden ließ, zeigte sich ein deutlicher Unterschied ($t(11) = -2.28$; $p = .044$; $d = -.66$) zwischen den Leistungen im Vortest und in der Follow-up-Erhebung für diese Gruppe.

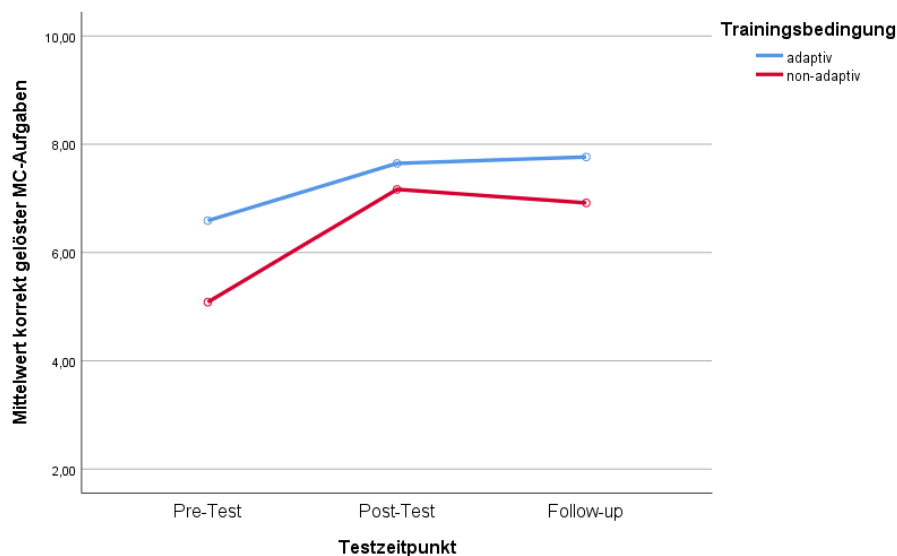


Abbildung 17: Anzahl korrekt gelöster Items im Wissenstest im zeitlichen Verlauf

Auch die Testnehmer der KG erzielten in der Follow-up-Erhebung deutlich bessere Testwerte als im Vortest ($t(13) = -3.51$; $p = .004$; $d = -.94$). Die Testleistungen der drei Probandengruppen in der Follow-up-Erhebung miteinander verglichen, ließ sich bei der Berechnung einer einfaktoriellen ANCOVA mit dem Testwert aus dem Vortest als Kovariate kein signifikanter Unterschied in den Mittelwerten beobachten ($F_{2,39} = 2.06$; $p \geq .05$).

7.4.4.2 Anzahl identifizierter Gefahren in der Fahrsimulation

Für die Anzahl identifizierter potentieller Gefahren (Treffer) während der Fahrt im Fahrsimulator bestätigte die Berechnung einer ANOVA, dass sich die drei Bedingungen zum ersten Testzeitpunkt nicht darin unterschieden ($F_{2,39} = 1.64$; $p \geq .05$), wie viele Gefahren in der virtuellen Verkehrsumgebung erkannt wurden. Auch in der Follow-up-Erhebung ließ sich kein Unterschied ($F_{2,39} = .31$; $p \geq .05$) in Bezug auf die Anzahl an Gefahren, die im Simulator identifiziert wurden, feststellen.

Numerisch ließ sich aber für den ersten Erhebungszeitpunkt zwischen trainierten und untrainierten Testteilnehmern ein Unterschied ($t(40) = -1.80$; $p = .079$; $d = -.60$) beim Identifizieren von Gefahren in

der virtuellen Testumgebung aufzeigen. Die trainierten Untersuchungsteilnehmer ($M = 3.61$; $SD = 1.52$; $SE = .29$) erkannten im Mittel fast eine Gefahrensituation mehr als die untrainierten Probanden ($M = 2.71$; $SD = 1.49$; $SE = .40$).

Für die Follow-up-Erhebung zeigte sich hinsichtlich dieser Variable kein Unterschied ($t(40) = -.61$; $\geq .05$) zwischen trainierten ($M = 3.68$; $SD = 1.59$; $SE = .30$) und untrainierten Testteilnehmern ($M = 3.36$; $SD = 1.65$; $SE = .44$).

7.4.4.3 Durchschnittsgeschwindigkeiten im Fahrsimulator

Änderungen in den Durchschnittsgeschwindigkeiten zwischen den drei Gruppen über 10 Distanzpunkte hinweg wurden mittels ANOVA mit Messwiederholung berechnet. Bei keiner der Berechnungen war die Sphärizitätsvoraussetzung erfüllt, weshalb jeweils eine Korrektur der Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser vorgenommen wurde. Verglichen wurden zum einen die mittleren Geschwindigkeiten der drei Teilnehmergruppen über alle 6 Verkehrsszenarien hinweg, aber auch für jedes dieser 6 Szenarien einzeln; sowohl für die erste als auch für die Follow-up-Erhebung. Nachfolgend werden ausschließlich signifikante Ergebnisse berichtet. Eine Interaktion zwischen der Distanz und der Bedingung konnte lediglich für die mittleren Geschwindigkeiten über alle Szenarien hinweg sowie für das Verkehrsszenario A15 für Testzeitpunkt 1 gefunden werden.

Für die mittleren Geschwindigkeiten über alle 6 virtuellen Fahrszenarien (vgl. Abb. 18) hinweg zeigte sich für Testzeitpunkt 1 ein Haupteffekt des Messwiederholungsfaktors Distanz zum Gefahrenmoment auf die AV Fahrtgeschwindigkeit ($F_{2,21,88.46} = 98.30$; $p \leq .001$; $\eta_p^2 = .71$). Ein Haupteffekt des Faktors Bedingung konnte nicht nachgewiesen werden ($F_{2,40} = 1.20$; $p \geq .05$), dafür aber ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der Distanz und der Untersuchungsbedingung ($F_{4,42,88.46} = 2.72$; $p = .030$; $\eta_p^2 = .12$). Einzelvergleiche in den mittleren Geschwindigkeiten mit Bonferroni-Holm-Korrektur für die 10 Distanzpunkte wiesen jedoch keine signifikanten Unterschiede in den Mittelwerten der Geschwindigkeit zwischen den drei Bedingungen (alle $F > 1$), aber auch nicht zwischen trainierten und untrainierten Teilnehmern (alle $F > 1$) auf.

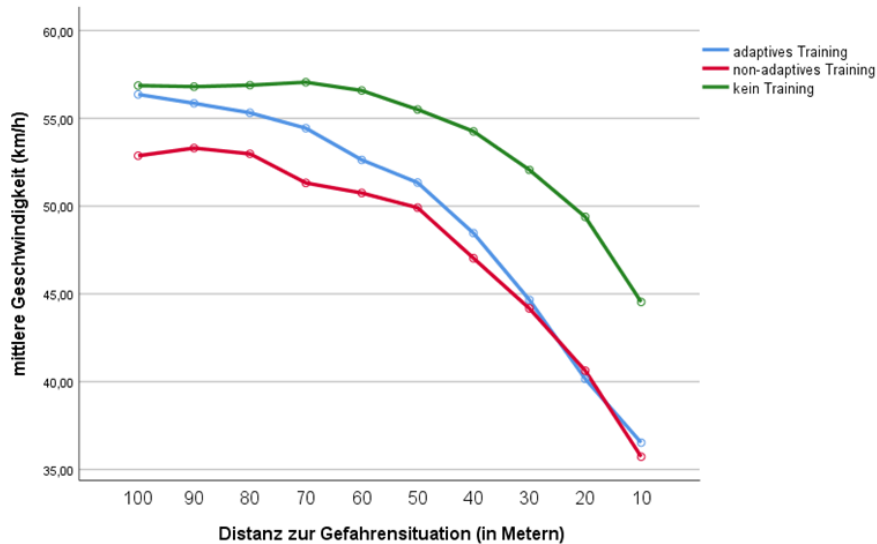


Abbildung 18: Veränderungen in den mittleren Fahrtgeschwindigkeiten beim Annähern an die Gefahrensituationen (Testzeitpunkt 1)

Für die mittleren Geschwindigkeiten im Fahrscenario A15 (vgl. Abb. 19) konnte sowohl ein Haupteffekt des Messwiederholungsfaktors Distanz zum Gefahrenmoment auf die AV Fahrtgeschwindigkeit ($F_{1,80,71.81} = 22.73; p \leq .001.; \eta_p^2 = .36$) als auch ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen der Distanz und der Untersuchungsbedingung ($F_{3,59;71.81} = 2.67; p = .045; \eta_p^2 = .12$) beobachtet werden. Ein Haupteffekt der Bedingung ($F_{2,40} = .33; p \geq .05$) war nicht nachweisbar.

Bei Einzelvergleichen, bei denen eine Anpassung des α -Niveaus nach Bonferroni-Holm vorgenommen wurde, konnten in den mittleren Geschwindigkeiten für die 10 Distanzpunkte keine signifikanten Unterschiede in den Mittelwerten der Geschwindigkeit zwischen den drei Bedingungen (alle $F > 1$), aber auch nicht zwischen trainierten und untrainierten Testteilnehmern festgestellt werden (alle $F > 1$).

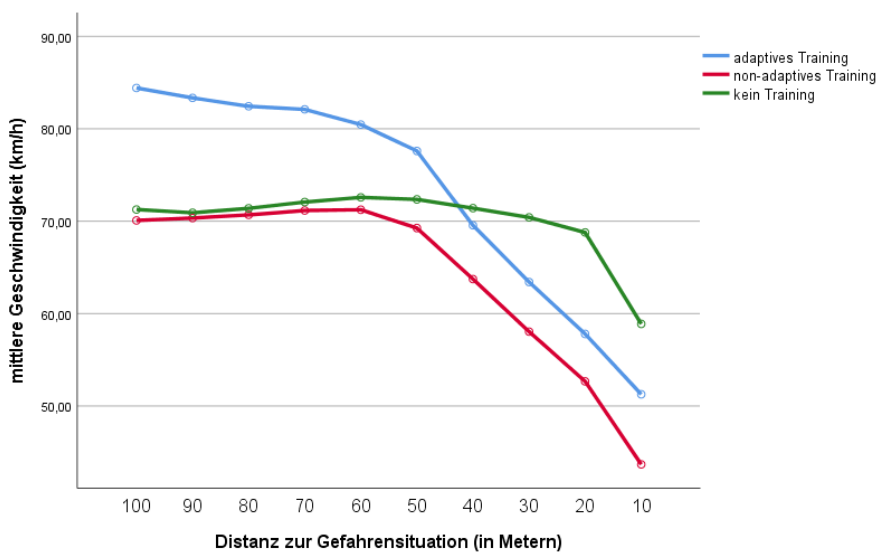


Abbildung 19: mittlere Geschwindigkeiten aller drei Gruppen in Verkehrsszenario A15

Für die mittleren Geschwindigkeiten über alle 6 virtuellen Fahrscenarien (vgl. Abbildung 20) hinweg zeigte sich für Testzeitpunkt 2 ein Haupteffekt des Messwiederholungsfaktors Distanz zum Gefahrenmoment auf die AV Fahrtgeschwindigkeit ($F_{2,35,98,45} = 87.96$; $p \leq .001$; $\eta_p^2 = .68$). Ein Haupteffekt der Untersuchungsbedingung ($F_{2,42} = 1.49$; $p \geq .05$) konnte ebenso wenig beobachtet werden, wie ein Wechselwirkungseffekt zwischen der Distanz und der Untersuchungsbedingung ($F_{4,67,98,45} = .07$; $p \geq .05$).

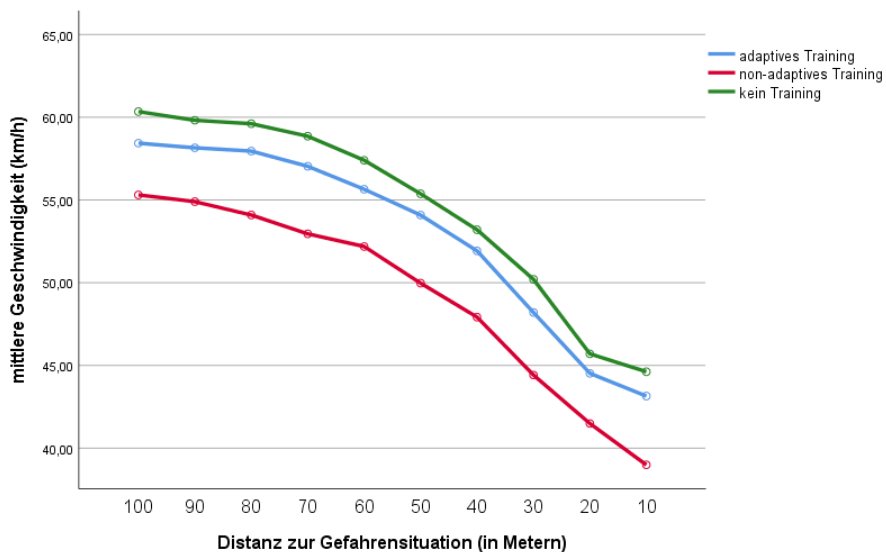


Abbildung 20: Veränderungen in den mittleren Fahrtgeschwindigkeiten beim Annähern an die Gefahrensituationen (Testzeitpunkt 2)

Weder für den ersten Testzeitpunkt noch für die Follow-up-Erhebung zeigten sich Unterschiede in den mittleren Geschwindigkeiten (gemessen in 10-Meter-Intervallen ab einer Distanz von 100 Metern vor der Gefahrensituation) zwischen den Gruppen in den Szenarien, die nahen Transfer (A3, A4, A6, A15) und denen, die fernen Transfer erforderten (B1, B3).

7.4.4.4 Anzahl Verkehrsverstöße

In Bezug auf die Anzahl an Verkehrsverstößen in der virtuellen Verkehrsumgebung unterschieden sich die drei Bedingungen weder zum Testzeitpunkt 1 ($F_{2,41} = .84$; $p \geq .05$) noch zum Testzeitpunkt 2 ($F_{2,41} = .41$; $p \geq .05$) signifikant voneinander.

7.5 Diskussion

Ziel von Studie 3 war es, zum einen zu überprüfen, ob anhand der exemplarisch entwickelten Trainingsinterventionen Gefahrenwahrnehmung effektiv vermittelt werden kann. Zum anderen sollte geklärt werden, ob mittels dynamisch auf die Bedürfnisse der Lerner abgestimmter instruktionaler

Unterstützung, bei der Unterstützende und Prozedurale Informationen mit zunehmendem Kompetenzerwerb in einer Fading-Prozedur sukzessive reduziert und schließlich ausgeblendet werden, effektiver und effizienter gelernt werden kann als mit instruktionaler Unterstützung, die für alle Lernaufgaben in Gänze dargeboten wird. Vor allem sollte aber auch überprüft werden, ob das im Training vermittelte Wissen auch unter ökologisch valideren Bedingungen von den Lernern angewendet werden kann.

Die Ergebnisse zeigen, dass mittels adaptiver instruktionaler Unterstützung effizienter gelernt werden konnte. Bei vergleichbarer Leistung benötigten die Teilnehmer der adaptiven Trainingsbedingung insgesamt fünf Minuten und damit deutlich weniger Lernzeit, um das Training zu absolvieren, als die Teilnehmergruppe, die für jede Aufgabe vollumfängliche instruktionale Unterstützung erhielt. Folglich wurde in der Trainingsbedingung mit adaptiver instruktionaler Unterstützung die Lernzeit produktiver genutzt. Dieses Ergebnis deckt sich mit Befunden anderer Studien, die zeigen, dass mit Lernumgebungen, in denen eine Vervollständigungsstrategie umgesetzt wurde, weniger Zeit zum Lernen benötigt wird (z. B. Schwonke et al., 2009; Schwonke et al., 2007).

Anders als eingangs formuliert, konnte nicht bestätigt werden, dass mit adaptiver instruktionaler Unterstützung effektiver gelernt werden kann als mit non-adaptiver instruktionaler Unterstützung. Die Lernergebnisse beider Trainingsbedingungen waren vergleichbar und unterschieden sich nur unwesentlich. Im Gegensatz zur Untersuchung von Schwonke et al. (2009) lernten die Teilnehmer der Vergleichsbedingung in der vorliegenden Untersuchung nicht mit konventionellen Problemlöseaufgaben, sondern mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen und erhielten damit ein Höchstmaß an instruktionaler Unterstützung. Offenbar wurden durch beide Lernumgebungen ähnliche kognitive Aktivitäten gefördert, die zum Aufbau vergleichbar effektiver Schemata führten.

Nicht unerwähnt bleiben sollte an dieser Stelle, dass die Teilnehmer der adaptiven Trainingsbedingung in den Testitems am Ende einer jeden Lernaufgabe tendenziell frühzeitiger auf auftauchende Gefahren reagierten. Gefahren frühzeitig zu erkennen und adäquat als handlungsrelevant einzuschätzen, ist ein wichtiges Ausbildungsziel in der Fahrausbildung, aber vor allem auch von Hazard Perception-Trainings. Je eher eine potentielle Gefahr erkannt wird, desto mehr Zeit bleibt dem Fahrer, um angemessene Vermeidungs- und Abwehrstrategien umzusetzen. Studien zeigen, dass kompetentere Fahrer Gefahren frühzeitiger erkennen als weniger kompetente Fahrer (z. B. McKenna & Crick, 1994; Scialfa et al., 2012; Wallis & Horswill, 2007; Wetton et al., 2011).

Anzumerken ist in diesem Zusammenhang auch, dass alle Lerner der adaptiven Trainingsbedingung mindestens Schwierigkeitsniveau 2 und mit 60 % der Großteil von ihnen das in der Lernanwendung höchst mögliche Schwierigkeitsniveau 4 erreichten. Aufgaben vom Schwierigkeitsniveau 4 sind

vergleichbar mit konventionellen Problemlöseaufgaben bzw. mit der klassischen Hazard Perception-Testaufgabe. Die Ergebnisse sind ein Hinweis auf große interindividuelle Unterschiede hinsichtlich des Bedarfs an instruktionaler Unterstützung, trotz vergleichbarer Vorkenntnisse. Während einige Testteilnehmer auf umfangreichere instruktionale Hilfen angewiesen waren, um die Aufgaben zu lösen, benötigte der Großteil der Probanden zunehmend weniger umfangreiche Zusatzinformationen zum Lernen. Die Ergebnisse sprechen dafür, dass es vorteilhaft ist, die 9 Lernaufgaben als eine Aufgabenklasse zu betrachten und die instruktionale Unterstützung, die die ausgearbeiteten Lösungsbeispiele bereitstellen, für Fahranfänger sukzessive zu reduzieren, sodass – entsprechend der individuellen Bedürfnisse – das Training gegebenenfalls mit konventionellen Problemlöseaufgaben abgeschlossen werden kann.

Die Ergebnisse zeigen auch auf, dass sich die Lernumgebung eignet, gefahrenspezifisches Wissen zu vermitteln. Nach dem Training, das heißt unmittelbar im Anschluss an die Lernphase lösten die Probanden deutlich mehr Mehrfachwahlaufgaben aus dem Amtlichen Fragenkatalog richtig als vor dem Training.

Aus den Daten im Fahrsimulator (vgl. Abb. 18) geht zudem hervor, dass die Probanden der Kontrollgruppe über alle Verkehrsszenarien hinweg und zu allen 10 Messzeitpunkten im Mittel die höchsten Fahrtgeschwindigkeiten im ersten Testdurchlauf aufwiesen. Allerdings unterschieden sie sich in ihren Durchschnittsgeschwindigkeiten nicht signifikant von den Teilnehmern, die eine der zwei Trainingsinterventionen absolviert hatten. Die Ergebnisse zeigen dennoch, dass die Testteilnehmer ihre Geschwindigkeit bei der Annäherung an Gefahrenereignisse reduzierten. Dieser Befund ist positiv zu werten, da es sich bei den Testnehmern um Personen handelte, von denen die überwiegende Mehrheit noch keine Fahrerfahrung hatte. Außerdem zeigen die Auswertungen, dass die zwei Trainingsgruppen ihre Geschwindigkeit zum ersten Testzeitpunkt frühzeitiger und auch etwas stärker reduzierten als die Probanden der KG.

Auch in Bezug auf Verkehrsverstöße (z. B. das Überschreiten der zulässigen Geschwindigkeit) konnten keine deutlichen Unterschiede zwischen trainierten und untrainierten Testnehmern in der simulierten Verkehrsumgebung gefunden werden. Die Trainees identifizierten jedoch zum ersten Erhebungszeitpunkt im Vergleich zu den Teilnehmern der KG tendenziell mehr potentielle Gefahren in den virtuellen Verkehrsszenarien.

Der Befund, dass die Testteilnehmer, die ein Training erhalten hatten, kein deutlich angemesseneres Fahrverhalten im Fahrsimulator aufweisen, steht im Widerspruch zu Ergebnissen anderer Evaluationsstudien, in denen aufgezeigt werden konnte, dass computerbasierte Trainings einen positiven Effekt auf das Fahrverhalten von Fahranfängern haben. Regan et al. (2000b) konnten z. B. feststellen, dass

Fahranfänger, die das DriveSmart-Training absolviert hatten, sehr viel vorsichtiger durch die virtuellen Verkehrsszenarien im Fahrsimulator fahren; was sich unter anderem in der Wahl geringerer Geschwindigkeiten widerspiegelte. Auch Fisher et al. (2002) kommen zu dem Schluss, dass sich Probanden, die das computerbasierte Training (DriverZED) erhalten hatten, in kritischen Situationen in der simulierten Verkehrsumgebung messbar vorsichtiger verhielten als die untrainierten Testteilnehmer. Neben der Geschwindigkeit als AV zählten auch Fahrzeugposition und Bremsdruck zu den Verhaltensmaßen, die sie für 6 potentiell gefährliche Verkehrssituationen berichten. Fisher et al. (2002) berichten unter anderem, dass im Vergleich zur Gruppe der untrainierten Teilnehmer eine höhere Anzahl trainierter Teilnehmer ihre Fahrtgeschwindigkeit in Erwartung potentieller Gefahren angemessener reduzierten. Dabei fuhren sie in potentiell gefährlichen Bereichen nicht nur langsamer, sondern reduzierten ihre Geschwindigkeit auch frühzeitiger.

Eine Erklärung dafür, dass in der vorliegenden Studie keine deutlichen Unterschiede in den durchschnittlichen Geschwindigkeiten gefunden werden konnten, ist möglicherweise in der großen Varianz im Verhalten der Testteilnehmer zu sehen. Beobachtungen bei der Testdurchführung und die Analyse der Protokolldateien lassen auf Schwierigkeiten der Probanden bei der Aufgabenausführung schließen. Die Teilnehmer aller drei Bedingungen verhielten sich während der Fahrt im Fahrsimulator oft so, dass sich Gefahrensituationen nicht wie von den Entwicklern der Szenarien geplant entwickeln konnten. Oft erreichten die Teilnehmer die Gefahrensituationen nicht rechtzeitig. Die Gründe hierfür waren vielfältig. So fuhren einige Teilnehmer trotz der Instruktion, sich an Geschwindigkeitsvorgaben bzw. -begrenzungen zu halten, deutlich zu langsam durch die virtuelle Verkehrsumgebung. Einmal den Triggerpunkt in der Simulation erreicht, führte die geringe Geschwindigkeit dazu, dass sich die Gefahr bereits ereignet hatte, als sich der Proband an der entsprechenden Stelle in der Verkehrsumgebung befand. Der Fußgänger in Gefahrenszenario A3 (vgl. Tabelle 5) beispielsweise hatte also die Straße bereits überquert und der Vorausfahrer setzte seine Fahrt längst fort als der Testteilnehmer den Haltestellenbereich erreichte. Andere Testteilnehmer fuhren zwar nicht zu langsam, kamen aber von der Fahrbahn ab und trafen deshalb gar nicht oder nicht rechtzeitig auf das Gefahrenereignis. Wieder andere kollidierten auf dem Weg mit dem Gegenverkehr oder bogen ungeachtet der Instruktion falsch ab.

Die hohe Varianz in den Daten ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass den Probanden nicht ausreichend Zeit zur Verfügung stand, um sich mit der Fahrsimulation vertraut zu machen. In der vorliegenden Untersuchung bekamen die Teilnehmer ca. drei Minuten Zeit, um ein Gefühl für die Aufgabe im Fahrsimulator zu bekommen. Hierfür musste die ConTRe-Task von den Teilnehmern bewältigt werden. Bei dieser Aufgabe müssen durch Lenkradbewegung zwei Balken im Fahrbahnbereich in Übereinstimmung gebracht und zudem Gas- und Bremspedal beim Aufleuchten von Licht-

zeichen betätigt werden. Nicht geübt wird dabei z. B. das Befahren von Kurvenbereichen oder das Abbiegen in eine Seitenstraße. Solche Situationen waren aber Teil der Fahrsimulation. Anstatt die ConTRe-Task einzusetzen, wäre es möglicherweise vorteilhafter gewesen, ein dreiminütiges Fahrscenario darzubieten und über Kopfhörer mitzuteilen, welche Route gefahren werden sollte. So hätte sichergestellt werden können, dass sämtliche Anforderungen, die in der Testsituation gestellt wurden, im Vorhinein geübt worden wären. Zudem hätte den Testteilnehmern mehr Zeit zur Verfügung gestellt werden können, um sich mit der Apparatur ausreichend vertraut zu machen. Wang et al. (2010) ließen ihre Probanden zunächst eine Aufwärmübung absolvieren, in der sie sich mit der virtuellen Verkehrsumwelt im Fahrsimulator und den Eigenschaften dieses Mediums vertraut machen sollten. Diese Übungsaufgabe konnte nur durch Bestehen eines Tests abgeschlossen werden, bei dem die Testnehmer unter Beweis stellen mussten, dass sie die nötigen Fähigkeiten im Umgang mit dem Fahrsimulator ausreichend gut beherrschen. Bei diesem Test musste z. B. einem Vorfahrer mit einem bestimmten Sicherheitsabstand gefolgt oder aber auf kurviger Strecke das Fahrzeug möglichst mittig in der Fahrbahn gehalten werden. Nach diesem Vorbild könnte in einer weiterführenden Studie sichergestellt werden, dass die Probanden ausreichend vertraut mit der Fahrsimulation sind.

Eine andere Möglichkeit, diesem Problem zu entgegnen, bestünde in der Festlegung strikterer Auswahlkriterien. So könnte in nachfolgenden Studien darauf geachtet werden, Teilnehmer zu rekrutieren, die schon eine bestimmte Anzahl an praktischen Fahrstunden absolviert haben und damit schon vertraut mit Aufgaben der Fahrzeugführung sind.

Abgesehen davon, dass Transferleistungen im Fahrsimulator nur bedingt beobachtet werden konnten, könnten nachfolgende Studien auch eine Expertengruppe zum Vergleich einbeziehen. In anderen Studien konnte so aufgezeigt werden, inwiefern sich die trainierten Probanden von erfahrenen Fahrern oder Experten unterscheiden (Fisher et al., 2002); das heißt, inwieweit sich die Probanden nach dem Training in ihrem Fahrverhalten dem von erfahrenen Fahrern bzw. Experten annäherten.

Zusätzlich zur Fahrsimulation hätten auch Blickbewegungsmessungen durchgeführt werden können, um zu überprüfen, ob sich mit den entwickelten Trainings messbare Änderungen im Verhalten erzielen lassen. Studien zeigen, dass Testteilnehmer nach dem Training ein verändertes Blickverhalten im Fahrsimulator zeigen (z. B. Fisher et al., 2004; Pollatsek et al., 2006). Probanden, die das computerbasierte RAPT absolviert hatten, fixierten sehr viel häufiger sicherheitsrelevante Bereiche in der simulierten Verkehrsumgebung als die Testteilnehmer, die zuvor kein Training erhalten hatten. In der Studie von Petzoldt et al. (2013) fixierten die Probanden, die das CBT absolviert hatten, den Gefahrenreiz in der Fahrsimulation nicht nur frühzeitiger, sondern beendeten kritische Blicksequenzen auch schneller als die Vergleichsgruppen (Papier-Bleistift-Trainingsbedingung und KG).

Anzumerken ist außerdem, dass die Trainingsteilnehmer pro Themenbereich ein Lernszenario bearbeiteten. Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass Reaktionen auf Stimuli bereits automatisiert erfolgen können (Shiffrin & Schneider, 1977). Automatisierung erfordert vielfaches Üben. Das heißt, es wären deutlich mehr Beispielsituationen notwendig gewesen. Weder eine ausreichende Anzahl an Wiederholungen noch ausreichende Variabilität in den dargebotenen Verkehrssituationen (zu wenige Exemplare) waren durch die entwickelte Trainingsanwendung, bei der es sich um eine erste exemplarische Lernumgebung handelte, sichergestellt – zwei wesentliche Gründe dafür, dass Gelerntes nicht nachhaltig gefestigt (vgl. Samuel et al., 2013) und automatisiert werden kann.

Hypothese 3 bezog sich auf die Annahme, dass Trainingseffekte nach mehreren Tagen noch nachweisbar sind. Für die Leistungen im Wissenstest konnte diese Annahme bestätigt werden. Die Lerneffekte, die für beide Trainingsbedingungen beobachtbar waren, konnten auch nach einer Woche noch nachgewiesen werden. Dabei blieben die Leistungen beider Trainingsgruppen im Wissenstest über diese Zeit hinweg stabil. Die Lernumgebung eignet sich demnach, um gefahrenspezifisches Wissen zu vermitteln. Deutliche Unterschiede in der Performanz im Wissenstest konnten in der Follow-up-Erhebung zwischen trainierten und untrainierten Teilnehmern nicht beobachtet werden. Die Probanden der KG erhielten zwar kein Training, erzielten aber im Wissenstest in der Follow-up-Erhebung vergleichbar gute Testleistungen wie die trainierten Untersuchungsteilnehmer. Hierfür lassen sich verschiedene Gründe anführen: Zum einen könnte inzidentelles Lernen stattgefunden haben. Das heißt, die Fahrt im Fahrsimulator könnte zum Wissenszuwachs beigetragen haben, denn die virtuellen Verkehrsszenarien deckten sich inhaltlich in Teilen mit den Mehrfachwahlaufgaben. Zum anderen ist es denkbar, dass der Wissenstest, der sich aus verschiedenen Fragen aus dem Amtlichen Fragenkatalog zusammensetzte und sich damit nicht exakt auf Inhalte aus dem Training bezog, als Testinstrument zu wenig sensitiv ist, um Unterschiede zwischen trainierten und untrainierten Testteilnehmern, die auf die Lerneinheit zurückgehen, aufzudecken. Eine weitere Erklärung hierfür, die auch gleichzeitig eine Einschränkung dieser Untersuchung darstellt, bezieht sich auf den mehrmaligen Einsatz desselben Wissenstests. Um Erinnerungs- und Übungseffekte ausschließen zu können, wäre es angebracht gewesen, eine parallele Testform zu entwickeln. Der in dieser Studie eingesetzte Wissenstest wurde einerseits verwendet, um die Vorkenntnisse der Lerner zu vergleichen, aber auch, um zu überprüfen, ob durch das Training etwas gelernt wurde und ob sich potentielle Lerneffekte auch noch eine Woche später nachweisen lassen. McKenna und Crick (1994) beispielsweise entwickelten für ihre Studie einen Paralleltest, um die Gefahrenwahrnehmungsleistungen der Testteilnehmer vor und nach dem Training zu erfassen. Auch wenn Gedächtniseffekte hierdurch nicht unwahrscheinlicher werden, ist in diesem Zusammenhang erneut anzumerken, dass

die Testteilnehmer keinerlei Rückmeldung über die Richtigkeit ihrer Angaben im Wissenstest erhielten. Für künftige Studien sollten aber in jedem Fall Paralleltests erarbeitet werden.

Eine weitere Einschränkung der vorliegenden Untersuchung ist in der geringen Anzahl an Probanden zu sehen, die einen *Bias* in den Ergebnissen zur Folge gehabt haben könnte. Es ist damit nämlich nicht auszuschließen, dass es sich möglicherweise um nicht repräsentative Teilstichproben gehandelt haben könnte. Für Replikationsstudien sollten deshalb ausreichend große Stichproben einbezogen werden.

8 Allgemeine Diskussion

Um den hohen Unfallzahlen entgegenzuwirken, ist weltweit eine Vielzahl an computerbasierten Lernanwendungen für die Fahrausbildung entwickelt worden (vgl. z. B. Weiß et al., 2009). Gemessen an der Anzahl existierender Trainingsprogramme sind jedoch bislang verhältnismäßig wenige davon im Anwendungskontext evaluiert worden (McKenna, 2012; Unverricht et al., 2018). Auch gibt es kaum empirische Belege für die unfallpräventive Wirkung von CBTs zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung (Fisher, Lohrenz, Moore, Nadler, & Pollard, 2016). Gefahrenwahrnehmung ist Teil der meisten Lernanwendungen, wird allerdings mit zum Teil sehr unterschiedlichen Methoden vermittelt (vgl. Abschn. 2.3). Da bislang verhältnismäßig wenige Vergleiche zwischen den unterschiedlichen Instruktionmethoden angestellt worden sind, fehlen empirisch gesicherte Konzepte für die didaktische Gestaltung von Lernanwendungen zur effektiven und effizienten kompetenzorientierten Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung weitgehend.

Mit der vorliegenden Arbeit wurde deshalb unter Berücksichtigung allgemeiner Richtlinien zur Gestaltung und zum Aufbau computergestützter Instruktion sowie unter Einbezug bisheriger Erkenntnisse aus der computerbasierten Fahranfängervorbereitung das Ziel verfolgt, exemplarisch ein CBT zu entwickeln und dessen Lernwirksamkeit im Anwendungskontext im Fahrsimulator empirisch zu überprüfen, um davon ausgehend Hinweise für eine qualitätsgesicherte Gestaltung computerbasierter Trainingsinterventionen zur kompetenzorientierten Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung ableiten zu können.

Während Studie 1 dazu diente, sicherheitsrelevante Inhaltsbereiche für die zu entwickelnde Lernanwendung zu identifizieren, verfolgte Studie 2 den Zweck, spezifische Modellannahmen des der Lernanwendung zugrunde gelegten Instruktionsdesigns auf ihre Anwendbarkeit für den Wissensbereich Gefahrenwahrnehmung zu überprüfen. In der dritten Studie wurde zum einen untersucht, ob mit adaptiv auf die Bedürfnisse der Lerner zugeschnittener instruktionaler Unterstützung effektiver und effizienter gelernt werden kann als mit instruktionaler Unterstützung, die für alle Lerner gleich

und vollumfänglich dargeboten wurde. Zum anderen diente Studie 3 der Evaluation der entwickelten Lernumgebung im Anwendungskontext im Fahrsimulator.

Bevor auf den theoretischen und praktischen Nutzen der Ergebnisse dieses Projektes für die Fahrausbildung näher eingegangen und dargelegt wird, weshalb künftig die Entwicklung innovativer Trainingsinterventionen an Bedeutung gewinnen wird, werden zunächst die Ergebnisse der drei Studien zusammenfassend dargestellt.

8.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Dem Expert Performance Approach folgend wurden in Studie 1 unter Berücksichtigung gegenwärtig geltender Gestaltungsrichtlinien für Hazard Perception-Testaufgaben Verkehrsszenarien entwickelt und getestet, die Expertise im Wissensbereich Autofahren verlässlich abbilden sollten. Extremgruppenvergleiche sollten aufzeigen, in welchen kritischen Situationen sich erfahrene Fahrer von unerfahrenen in ihrem Reaktionsverhalten unterscheiden, um davon ausgehend sicherheitsrelevante Inhalte für die zu entwickelnde Trainingsanwendung zu identifizieren. Expertise äußert sich in diagnostischen Aufgaben darin, dass vom Handelnden rasch viele richtige oder zufriedenstellende Entscheidungen bei domänenspezifischen Problemstellungen getroffen werden. Auf den Wissensbereich der fahrbezogenen Gefahrenwahrnehmung übertragen, sind mit Experten damit Personen gemeint, die potentielle Gefahrenereignisse frühzeitig erkennen und ihr Fahrverhalten angemessen danach ausrichten; das heißt, kritische Verkehrssituationen vermeiden bzw. rechtzeitig abwenden. Bis auf wenige Ausnahmen, traf das in den für Studie 1 entwickelten Hazard Perception-Testaufgaben für die Gruppe der erfahrenen Fahrer zu. In der Mehrzahl der Aufgaben übertrafen die erfahrenen Fahrer die unerfahrenen in ihren Leistungen deutlich und identifizierten potentielle Gefahren nicht nur verlässlicher, sondern reagierten auch frühzeitiger auf diese Ereignisse. Die entwickelten Verkehrsszenarien eigneten sich demnach überwiegend, um domänenspezifisches Wissen und Können abzubilden; und damit solches Wissen, an dem es unerfahrenen Fahrern noch mangelt. Defizitäre Leistungen zeigten auf, für welche Aspekte Trainingsbedarf bei unerfahrenen Fahrern besteht.

Da es das Ziel war, beispielhaft eine Lernumgebung zu entwickeln, lag der Fokus nicht darauf, möglichst viele domänenspezifische Problemstellungen zu identifizieren. Für Trainingsinterventionen, die den theoretischen Ausbildungsteil sinnvoll ergänzen können, müssten künftig mehr und auch schwieriger zu lösende Problemsachverhalte identifiziert werden. Mit den im vorliegenden Projekt eingesetzten Aufgaben lässt sich kaum das gesamte Spektrum an möglichen Gefahren abbilden und trainieren.

Außerdem hätten die entwickelten Szenarien, die in Anlehnung an gängige Hazard Perception-Testverfahren als Reaktionszeitaufgaben konzipiert worden sind, durch zusätzliche Messmethoden

ergänzt werden können, um Aufschluss über kognitive Mechanismen zu erhalten, die die Expertenleistungen bedingen. Für künftige Studien ist daher zu überlegen, ob Reaktionszeitaufgaben z. B. mit Blickbewegungsmessungen oder Protokollen zum Lauten Denken kombiniert werden sollten, um Lerninhalte zu identifizieren. Anhand von Blickabfolgen ließe sich z. B. eindeutig beurteilen, ob bestimmte Hinweisreize fixiert wurden und ob diese von fahrerunfähigen Probanden in ähnlicher Reihenfolge beachtet worden sind wie von erfahrenen Fahrern. Diese Erkenntnisse ließen wiederum genauere Rückschlüsse über die Ähnlichkeit der mentalen Modelle beider Fahrergruppen zu. Das heißt, um eindeutige Aussagen zu Defiziten fahrerunfähiger Probanden treffen zu können, sollte auch der zweite Schritt des Expert Performance Approach bei der Entwicklung von Lernszenarien künftig stärker berücksichtigt werden.

In Studie 2 wurden spezifische Annahmen des 4C/ID-Modells auf deren Anwendbarkeit und Gültigkeit für den vorliegenden Wissensbereich überprüft. Die Übertragung eines Instruktionsdesignmodells auf einen neuen Anwendungskontext ist nicht unproblematisch. Instruktionsdesignansätze werden vor dem Hintergrund bestimmter Anwendungskontexte entwickelt. Um einer unzureichenden Lösung von Instruktionsproblemen vorzubeugen, sollte deren Geeignetheit für den Einsatz in neuen Wissensbereichen deshalb zunächst überprüft werden. In Studie 2 wurden daher zwei Modellkomponenten, die das 4C/ID-Modell neben authentischen Problemstellungen ebenfalls als obligatorische Elemente gut gestalteter Lernumgebungen für den Erwerb komplexer Problemlösekompetenzen postuliert, auf ihre Eignung zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung geprüft. Die Ergebnisse von Studie 2 stützen die Annahme des Modells, dass sowohl Unterstützende als auch Prozedurale Lerninformationen zur Förderung von Gefahrenwahrnehmung essentielle Komponenten darstellen. Trainingsinterventionen für die Fahranfängervorbereitung, die auf die Förderung von Gefahrenwahrnehmungsfähigkeiten abzielen, sollten deshalb beide Arten von Zusatzinformationen bereitstellen.

Teilübungsaufgaben, die vierte Komponente im 4C/ID-Modell, blieben in der für dieses Vorhaben eingesetzten Lernumgebung außen vor. Die Umsetzung von Teilübungsaufgaben ist in Anlehnung an das 4C/ID-Modell nur dann angezeigt, wenn für bestimmte rekurrierende Aufgabenaspekte sehr viel Übung notwendig ist, um diese im Rahmen der Gesamtaufgabe angemessen ausführen zu können. Teilübungsaufgaben sind demnach dann erforderlich, wenn für bestimmte Aufgabenaspekte ein sehr hohes Maß an Automatisierung erreicht werden sollte und die Anzahl an Lernaufgaben hierfür nicht ausreicht, um die zu trainierenden Teilfertigkeiten genügend oft zu wiederholen. Andernfalls ist, wie im hier beschriebenen Anwendungsfall, die Darbietung Prozeduraler Informationen zur Förderung der Ausbildung von Prozedurenwissen ausreichend. Die im vorliegenden Projekt eingesetzten Verkehrsszenarien sind nur wenige Sekunden lang und könnten daher in einer Trainingsumgebung problemlos ohne großen Zeitaufwand beliebig oft wiederholt werden. Ein Einsatz von Teilübungsaufgaben war

deshalb nicht vorgesehen. Ob überhaupt und wenn ja, in welchem Umfang Teilübungsaufgaben für zu entwickelnde Problemsachverhalte zur Förderung von komplexen Problemlösefähigkeiten im Bereich Gefahrenwahrnehmung für Fahranfänger bereitgestellt werden sollten, muss in weiterführenden Studien geklärt werden.

In Studie 3 wurde überprüft, ob Fahranfänger stärker von einer Lernumgebung profitieren würden, in der Unterstützende und Prozedurale Informationen im Sinne einer Vervollständigungsstrategie adaptiv auf den jeweiligen Kenntnisstand zugeschnitten sind oder ob es vorteilhafter ist, diese Fahrergruppe durch eine für alle Lernaufgaben vollumfängliche Darbietung beider Zusatzinformationen zu unterstützen. Außerdem wurde der Frage nachgegangen, ob das im CBT Gelernte auch auf handlungsnähere Kontexte übertragen werden kann. Aufgezeigt werden konnte in Studie 3, dass es vorteilhaft ist, die vom 4C/ID-Modell vorgesehenen Zusatzinformationen für die 9 entwickelten Lernaufgaben mit zunehmender Kompetenz kontinuierlich zu reduzieren. Erklärt werden können die Ergebnisse damit, dass der Lerner durch das kontinuierliche Ausblenden dieser Informationen kognitiv entlastet wird, weil Redundanzeffekte durch irrelevante – da überflüssige Zusatzinformationen vermieden werden. Die Verarbeitung redundanter Informationen erfordert kognitive Ressourcen. Letztere stehen dann wiederum für die Verarbeitung relevanter Inhalte nicht mehr zur Verfügung (Kalyuga, 2000), wodurch die Konstruktion und Automatisierung von Schemata beeinträchtigt sein kann. Um Lerner optimal zu fördern und um Expertise-Umkehr-Effekten vorzubeugen, schreibt das 4C/ID-Modell vor, den Lernprozess für Domänenneulinge zunächst durch geeignete instruktionale Hilfen anzuleiten und diese Unterstützung mit zunehmendem Fertigkeitserwerb sukzessive zu reduzieren. Die adaptive Lernumgebung in Studie 3 bot zunächst ausgearbeitete Lösungsbeispiele dar, die entsprechend der Leistung in der vorangegangenen Aufgabe kontinuierlich durch Vervollständigungs- bzw. Problemlöseaufgaben vom System ersetzt wurden. Im Vergleich zur Lernumgebung, in der ausschließlich ausgearbeitete Lösungsbeispiele präsentiert wurden, konnten mit Vervollständigungsstrategie auf effizientere Weise vergleichbare Lernleistungen erzielt werden. Die Ergebnisse von Studie 3 bestätigen damit, dass die Vervollständigungsstrategie eine geeignete Adaptationsmethode zur Individualisierung von Instruktion und für die Sequenzierung von Lernaufgaben zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung ist.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse von Studie 3 auch, dass sich Lerner sehr deutlich darin unterscheiden können, wie schnell und richtig domänenspezifische Prinzipien verstanden werden. Während die überwiegende Mehrheit der Lerner Schwierigkeitsniveau 4 erreichte, kamen zwei Trainingsteilnehmer nicht über Schwierigkeitsgrad zwei hinaus. Zudem benötigten einige Trainingsteilnehmer 10 Lösungsversuche, um das gesamte Lernprogramm zu absolvieren, andere annähernd 20. Das heißt, auch bei sorgfältiger Gestaltung der Instruktion zeigen sich große interindividuelle

Unterschiede in der Zügigkeit, mit der Fertigkeiten erworben werden. Es ist daher auch für kurze Trainingsinterventionen notwendig, Lernumgebungen adaptiv zu gestalten. Nur so kann gewährleistet werden, dass jeder Lerner seinen Bedürfnissen und Fähigkeiten entsprechend gefördert und Über- oder Unterforderung vermieden wird.

Der Befund, dass zwei Probanden nicht über Schwierigkeitsniveau zwei hinaus kamen, kann als Hinweis darauf gewertet werden, dass einige Trainingsteilnehmer nicht optimal durch die Lernumgebung gefördert werden können. Es ist anzunehmen, dass diese Testteilnehmer die Aufgaben z. B. durch die Bereitstellung von entsprechendem, informativem Feedback hätten besser verstehen und bewältigen können. Neben der Darbietung valider Lernszenarien sowie der Ermöglichung prolongierter Übung ist auch die Bereitstellung von unmittelbarem, individuellem und eindeutigem Feedback eine wichtige Voraussetzung für den Erwerb intuitiven Urteilsvermögens (Kahneman & Klein, 2009). Beim in der Trainingsintervention zur Verfügung gestellten Feedback handelte es sich nicht um elaborierte Leistungsrückmeldungen. Um die zwei Trainingsbedingungen aus experimentellen Gründen so gleich wie möglich zu halten, wurde den Lernern in Studie 3 sehr allgemein und einfach gehaltenes Feedback zur erbrachten Leistung dargeboten (vgl. Abschn. 7.3.3.3). Die Lerner erhielten lediglich Rückmeldung darüber, ob sie eine Aufgabe richtig oder falsch gelöst hatten. Gründe hierfür wurden nicht genannt. Informatives, elaboriertes Feedback zur eigenen Leistung spielt aber beim Lernen eine entscheidende Rolle (Ericsson et al., 1993; Ericsson, 2017), weil es die Reorganisation von Wissensstrukturen und die zunehmende Verbesserung von Handlungswissen unterstützt (Kolodner, 1983). Beim Autofahren fehlt unmittelbares Feedback zur eigenen Leistung oft und Studien zeigen, dass Lerner in CBTs enorm von Feedback profitieren können (Horswill et al., 2017). Im 4C/ID-Modell wird zwischen kognitivem Feedback als Teil Unterstützender Informationen und korrigierendem Feedback als Teil Prozeduraler Informationen unterschieden. Während kognitives Feedback den Zweck erfüllt, reflexive Lernprozesse zu fördern, dient korrigierendes Feedback der Unterstützung des Erkennens und Korrigierens von Fehlern.

Kognitives Feedback wird im Anschluss an die Bewältigung der Lernaufgabe bereitgestellt und soll zur kritischen Reflexion des eigenen Problemlöseprozesses anregen, sodass kognitive Problemlösestrategien und mentale Modelle verbessert und zunehmend optimiert werden können (van Merriënboer, Clark, et al., 2002). Eine Möglichkeit, Lerner zur Reflexion des eigenen Verhaltens anzuhalten, besteht darin, sie aufzufordern, den eigenen Problemlöseprozess mit dem anderer Personen (z. B. Experten oder der *Peer*) kritisch zu vergleichen. Beispielsweise kann ein videobasiertes Lernszenario nach der Bearbeitung durch den Lerner erneut, nun aber mit Expertenkommentaren präsentiert und dem Lerner die Aufgabe gestellt werden, herauszuarbeiten, worin Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Problemlöseverhalten beider Parteien liegen. Um den Aufbau adäquater

mentaler Modelle und Problemlöse-strategien zu fördern und Fehlkonzepte zu vermeiden, können insbesondere in frühen Phasen des Kompetenzerwerbs Vergleiche mit Experten hilfreich sein. In späteren Phasen des Fertigkeitserwerbsprozesses können auch Vergleiche mit der Peer sinnvoll sein. In Gruppendiskussionen bspw. werden Lerner in der Regel mit mehreren Lösungsansätzen konfrontiert, die bei der Feinabstimmung des eigenen Verständnisses einer Aufgabe helfen können (van Merriënboer & Kirschner, 2018). Vorstellbar sind z. B. Diskussionsrunden in Kleingruppen, angeleitet durch einen Experten, wie im *Higher-Order Skill-Training*, das Isler et al. (2011) entwickelten. Solche Diskussionen lassen sich auch über *Blended Learning* realisieren (vgl. Reinmann & Vohle, 2009) und damit über eine Kombination aus Theorieunterricht als Präsenzveranstaltung und computer-gestütztem selbständigen Theorielernen.

Anders als kognitives Feedback hilft korrigierendes Feedback dem Lerner, Fehler bei der Anwendung von Regeln oder Vorgehensweisen zu erkennen und zu korrigieren. Korrigierendes Feedback sollte unmittelbar erfolgen, wenn eine fehlerhafte Handlung festgestellt wurde (Hattie & Timperley, 2007). Gut gestaltetes korrigierendes Feedback beinhaltet eine Beschreibung der Situation, die aus dem gemachten Fehler resultiert und informiert den Lerner über die Ursachen, die zum Fehler führten, sodass diese künftig vermieden werden können, gibt aber auch Hinweise oder Handlungsanweisungen, wie der gemachte Fehler korrigiert werden kann (van Merriënboer & Kirschner, 2018). Nur die Lösung zu nennen und anzugeben, was richtigerweise hätte gemacht werden müssen, ist nicht effektiv, weil die praktische Anwendung entscheidend für die Bildung kognitiver Regeln ist. Gut gestaltetes korrigierendes Feedback könnte demnach bei Item A6 für einen Lerner, der nicht oder zu spät durch Tastendruck auf das potentielle Gefahrenereignis reagierte, im unmittelbar während der Aufgabenbearbeitung angehaltenen Verkehrsszenario wie folgt lauten: „Du konntest nicht mehr rechtzeitig bremsen, weil dir nur wenig Zeit zum Reagieren auf das Hindernis vor dir blieb. Damit hast du einen Beinhäeunfall provoziert und wärst fast auf den Vordermann aufgefahren. Bearbeite das Verkehrsszenario erneut und achte auf vorausfahrende Fahrzeuge!“.

In Übereinstimmung mit dem 4C/ID-Modell könnten nach diesem Vorbild für zu entwickelnde Lernanwendungen kognitives und korrigierendes Feedback gestaltet und so Trainingsteilnehmer optimaler beim Lernen unterstützt werden. Da nicht jede Form von Feedback zu Leistungsverbesserungen führt (Kluger & DeNisi, 1996), muss in künftigen Studien jedoch zunächst geprüft werden, ob diese Arten von Feedback zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung geeignet bzw. welche Art von Leistungsrückmeldungen für entsprechende CBTs am vorteilhaftesten sind.

8.2 Theoretische und Praktische Implikationen

In Studie 1 konnte aufgezeigt werden, dass nach dem Vorgehen des Expert Performance Approach Problemstellungen für den Wissensbereich Gefahrenwahrnehmung identifiziert werden können, die expertiseabhängige Unterschiede zwischen Fahrergruppen abbilden und sich deshalb prinzipiell für die Einbindung in eine Lernumgebung eignen können. Solange kein theoretisches Rahmenmodell für den Fahrkompetenzerwerb vorliegt, kann künftig nach diesem Vorbild die Identifikation weiterer fahraufgabenbezogener Inhaltsbereiche für zu entwickelnde Trainingsinterventionen erfolgen.

Im Mittelpunkt des Projekts stand die Klärung der Frage nach der Anwend- und Übertragbarkeit des 4C/ID-Modells, das ursprünglich für technische Wissensbereiche entwickelt wurde, auf den Bereich Gefahrenwahrnehmung. Ziel war demnach die Validierung des Modells für den vorliegenden Wissensbereich. Mit den Ergebnissen von Studie 2 konnte erstmals empirisch nachgewiesen werden, dass – wie vom 4C/ID-Modell postuliert – sowohl Unterstützende als auch Prozedurale Informationen unverzichtbare Bestandteile adäquat gestalteter Lernumgebungen zur Vermittlung komplexer Problemlösekompetenzen sind. Die Modellannahmen konnten somit bestätigt werden. Insbesondere für die Entwicklung von Trainingsinterventionen zur Förderung von Gefahrenwahrnehmung kann aus den Ergebnissen abgeleitet werden, dass Fahrschüler bzw. Fahranfänger von diesen beiden Arten an Zusatzinformationen beim Fertigkeitserwerb profitieren. Instruktion, die sich an Fahrschüler und Fahranfänger richtet, sollte demnach Unterstützende und Prozedurale Informationen bereitstellen, um diese Zielgruppe optimal beim Kompetenzerwerb zu unterstützen.

Ferner konnte mit dieser Untersuchung die Eignung des 4C/ID-Modells für eine weitere komplexe Domäne außerhalb technischer oder medizinischer Wissensbereiche bestätigt werden. Auch geben die Ergebnisse Grund zur Annahme, dass dieser Instruktionsdesignansatz ebenso für die Vermittlung weiterer fahrbezogener Teilkompetenzen gewinnbringend eingesetzt werden kann; z. B. für das Training von SA. Diese Annahme könnte in weiterführenden Forschungsarbeiten überprüft werden.

Durch die zunehmende Automatisierung von Fahraufgaben wird die Fahrausbildung umfangreicher sowie komplexer und der Zeitaufwand zum Lernen damit höher werden, da sowohl Kenntnisse für den Umgang mit als auch ohne Assistenz- bzw. automatisierte Systeme vermittelt werden müssen (vgl. Abschn. 8.3). Lernzeit ist eine kostbare und im Rahmen der Fahrausbildung knapp bemessene Ressource. Lernen mit Vervollständigungsstrategie hat sich als weniger zeitintensiv herausgestellt als das Lernen mit ausgearbeiteten Lösungsbeispielen. Das Ergebnis ist deshalb von praktischer Relevanz, weil es eine Möglichkeit aufzeigt, wie die knapp bemessene Ressource Lernzeit effektiv und effizient in der Fahrausbildung genutzt werden kann.

Ob sich die für das vorliegende Projekt entwickelten Trainingsinterventionen positiv auf das Fahrverhalten auswirken, konnte mit den Ergebnissen aus Studie 3 nicht abschließend beantwortet werden. Nachgewiesen werden konnte zwar, dass sich das Training eignet, gefahrenspezifisches Wissen zu vermitteln, deutliche Unterschiede im Fahrverhalten zwischen trainierten und untrainierten Teilnehmern in der simulierten Testumgebung ließen sich jedoch nicht beobachten. Auch stünde in diesem Zusammenhang noch der Nachweis aus, ob das Gelernte im Realverkehr angewendet werden kann. Solch einen Nachweis zu führen ist entscheidend, da Autofahren eine komplexe Aufgabe ist, die neben der Identifikation potentieller Gefahren auch andere Teilkompetenzen (z. B. Fahrzeugführung) einschließt. Diese Kompetenzen wiederum werden von Umgebungsfaktoren, wie der Vertrautheit mit der Fahrtstrecke oder internalen Faktoren, wie beispielsweise der Gestresstheit oder Müdigkeit des Fahrers beeinflusst. Zusammengenommen ergeben diese Faktoren spezifische Fahr- und Verkehrssituationen, die unter Laborbedingungen so nicht herzustellen sind. Deshalb sollte die Effektivität von Trainingsinterventionen immer auch unter realen Bedingungen überprüft werden, um verlässliche Aussagen treffen zu können. Es sollten demnach weiterführende Untersuchungen angestellt werden, die nicht nur das Fahrverhalten nach der Teilnahme am Training im Fahrsimulator erneut prüfen, sondern auch im Realverkehr, damit stichhaltige Aussagen zur Effektivität der entwickelten Trainingsintervention möglich sind. Dass das Fahrverhalten im Realverkehr durch vergleichbare Trainingsinterventionen positiv beeinflusst und hierdurch das Unfallrisiko reduziert werden kann, zeigen Untersuchungsergebnisse aus den USA zum RAPT (Unverricht et al., 2018).

8.3 Ausblick und weiterführende Forschungsfragen

Mit dem Vorhaben, menschliche Fehler im Straßenverkehr auszuschließen und damit die Verkehrssicherheit zu erhöhen, ist autonomes Fahren das ultimative Ziel innovativer Fahrzeughersteller der Automobilbranche (Casner & Hutchins, 2019; Klopff, 2018). Ziel ist damit die Entwicklung fahrerloser Systeme, in denen alle Mitfahrende Passagiere sein werden.

In der Fachliteratur werden neben der manuellen Fahrzeugsteuerung und dem fahrerlosen Fahren als den zwei Extremen des Kontinuums in Abhängigkeit des Automatisierungsgrades 4 Stufen der Fahrzeugautomation unterschieden (vgl. Gasser et al., 2012); assistiert, teil-, hoch- und vollautomatisiert. Erst mit der Überwindung der vierten Automationsstufe würde der Fahrer vollständig durch die Maschine ersetzt und wäre somit für den Fahrbetrieb nicht mehr erforderlich.

Mit den technischen Möglichkeiten, wie adaptiver Geschwindigkeitsregelung, Spurhalte-, Notbrems- und Stauassistenten stehen dem Fahrer schon länger (teil)automatisierte Assistenzfunktionen beim Fahren zur Verfügung (Bönninger, Eichelmann, & Schüppel, 2018), die in neueren Fahrzeugmodellen

mit technischen Ausstattungen, wie dem Autobahn-Chauffeur beispielsweise durch hochautomatisierte Systeme noch ergänzt werden.

Derzeit ist nicht davon auszugehen, dass der Großteil der Fahrzeuge in unmittelbarer Zukunft ohne Fahrerinteraktion betrieben wird (Beiker, 2015; Gasser et al., 2012). Selbst überzeugte Befürworter halten fahrerloses Fahren in den nächsten 30 Jahren für nicht realisierbar (Schlag, 2016). Darüber hinaus würde es Jahrzehnte dauern bis ältere Fahrzeuge durch neuere, fahrerlose vollständig ersetzt wären (z. B. Casner, Hutchins, & Norman, 2016). Solange der Fahrer als Rückfallebene für die Maschine dient, werden geschulte Fahrer benötigt, die jederzeit in der Lage sind, ihr Fahrzeug manuell steuern zu können (Bainbridge, 1983; Endsley, 2019).

Automatisierung ist mit vielen Vorteilen verbunden. Erhöhte Sicherheit, erweiterte Mobilität, Entlastung und Komfort, Kraftstoff-, Emissions- und Staureduktion sind positive Aspekte, die im Zusammenhang mit der Fahrzeugautomatisierung diskutiert werden. Automatisierte Systeme können z. B. dabei helfen, Kompetenzdefizite in psychomotorischen Fertigkeiten sowie hinsichtlich der Gefahrenerkennung und -vermeidung auszugleichen (Sturzbecher, Mörl, & Kaltenbaek, 2014). Somit können diese Systeme zu einer erhöhten Sicherheit beitragen.

Neben all den vielen Vorteilen bringt Automatisierung aber auch Nachteile mit sich. Autofahren soll durch Automatisierung – dadurch dass dem Menschen als fehlerverursachendem Element im System Aufgaben von der Maschine abgenommen werden – vor allem sicherer werden. Die Ironie dabei so Bainbridge (1983) *...the more advanced a control system is, so the more crucial may be the contribution of the human operator*“ (S. 775). Das Dilemma: Der Mensch soll in hochautomatisierte Systeme kontrollierend und steuernd eingreifen, kann gleichzeitig aber viele Prozesse aufgrund der Automatisierung immer weniger nachvollziehen und damit nur schwer das fürs Problemlösen erforderliche Erfahrungswissen erwerben. Mit der Automatisierung werden damit neue Probleme aufgeworfen, ohne dass bestehende bereits gelöst worden wären (Hollnagel, 2012). Nachlässigkeit, mangelndes Situationsbewusstsein, Kompetenzverlust, unangemessenes Systemvertrauen sowie Über- und Unterforderung werden in der Literatur als negative Folgen von Automatisierung diskutiert (vgl. z. B. Bainbridge, 1983; Parasuraman, Sheridan, & Wickens, 2000; Wiener & Curry, 1980). Probleme, die auch in Verbindung mit automatisiertem Fahren genannt werden (Casner et al., 2016; Endsley, 2019; Schlag, 2016; Schlag & Weller, 2015; Young & Stanton, 2002).

Die Ergebnisse einer von Onnasch, Wickens, Li und Manzey (2014) durchgeführten Metaanalyse mit insgesamt 18 Studien zeigen, dass die nachteiligen Effekte mit steigendem Automatisierungsgrad umso deutlicher in Übernahmesituationen zum Tragen kommen. Das heißt, vor allem dann, wenn automatisierte Systeme in der Regel zuverlässig funktionieren und nur seltenen mit dem Erreichen von

Funktionsgrenzen oder Systemausfällen zu rechnen ist, sind unerwünschte Nebeneffekte der Automatisierung wahrscheinlich (Endsley, 2017).

Im Zusammenhang mit zuverlässig funktionierenden Systemen werden z. B. Nachlässigkeit und Kompetenzverlust als sicherheitsabträgliche Auswirkungen von Automatisierung angeführt. Um die Fahrzeugführung bei einem Systemausfall oder beim Erreichen von Systemgrenzen jederzeit übernehmen zu können, sind nicht nur manuelle Fertigkeiten zur Fahrzeugsteuerung erforderlich, sondern z. B. auch Situationsbewusstsein. Der Fahrer benötigt ein genaues Bild von der Gesamtsituation und eine Vorstellung davon, wie sich diese weiterentwickeln wird. Je mehr Teilaufgaben beim Fahren jedoch vom System automatisiert ausgeführt werden, desto weniger besteht für den Fahrer generell die Notwendigkeit, sich selbst permanent die für eine sichere Fahrweise relevanten Informationen aus der Verkehrswelt einzuholen.

Die permanente Verwendung des Überholassistenten, der vor Verkehr im toten Winkel warnt, kann zum Beispiel dazu führen, dass sich der Fahrer auf dieses System verlässt und folglich generell dazu neigt, sich weniger Informationen beim Fahrspurwechsel aktiv einzuholen (vgl. Schlag & Weller, 2015). Bei einem Systemausfall kann unzureichendes Informationssuchverhalten zu mangelndem Situationsbewusstsein führen und in der Folge davon die Übernahme beeinträchtigen und ein erhöhtes Unfallrisiko bedingen. Durch den permanenten Gebrauch automatisierter Systeme besteht so langfristig die Gefahr der Dequalifizierung, denn Fertigkeiten die nicht permanent ausgeführt oder geübt werden, werden zunehmend verlernt. Werden diese Fertigkeiten in kritischen Situationen benötigt, kann der Kompetenzverlust zu Problemen bei der Übernahme der Fahrzeugsteuerung führen.

Bei Fahrschülern hingegen bestünde durch einen permanenten Rückgriff auf Assistenz- oder automatisierte Systeme die Gefahr, dass spezifische Kompetenzen, die für die manuelle Fahrzeugführung in Übernahmesituationen erforderlich wären, gar nicht erst oder nur unzureichend erworben werden (vgl. Endsley, 2019; Wiener & Curry, 1980). Junge Fahrer würden z. B. nicht die für die Identifikation und den Umgang mit potentiellen Gefahren nötigen Kompetenzen erlernen (Fisher et al., 2016).

Entgegen lässt sich diesem Problem, indem im Rahmen der Fahrausbildung Kenntnisse vermittelt werden, die sowohl zur Ausführung von Fahraufgaben unter Verwendung von automatisierten Systemen als auch ohne benötigt werden (Sturzbecher et al., 2014). So können jene Fertigkeiten geübt werden, die beim automatisierten Fahren in der Regel vom System übernommen werden. Um beim Beispiel des Fahrspurwechsels zu bleiben, z. B. die dafür notwendigen Blickstrategien auszuführen und ausreichend nach hinten rechts abzusichern, um auf die rechte Fahrspur zu wechseln.

Auch mangelnde Transparenz und eine unzureichende Kommunikation zwischen Mensch und Maschine werden in der Literatur als kritische Faktoren diskutiert (Sarter & Woods, 1995). Eine sichere Fahrweise setzt voraus, dass zweifelsfrei klar ist, welcher Akteur für welche Fahraufgaben zuständig ist.

Die Maschine nimmt dem Fahrer zwar Teilaufgaben beim Fahren ab, gleichzeitig müssen aber auch neue Teilaufgaben bei der Nutzung von Automation beim Fahren bewältigt werden. Der Einsatz technischer Systeme geht dabei keinesfalls immer mit einer Erleichterung beim Fahren einher (Endsley, 2017). Je höher die Stufe der Automatisierung, desto umfangreicher und komplexer sind die technologischen Komponenten, die im Fahrzeug verbaut sind (Esser & Kurte, 2018). Muss man als Anwender wissen, wie die im Fahrzeug verfügbaren Systeme funktionieren, um sie zweckmäßig bedienen zu können, steigt in der Regel die Komplexität der Fahraufgabe durch diese Systeme (Endsley & Jones, 2004).

Die zunehmende Komplexität von Bedienelementen infolge einer steigenden Anzahl an verfügbaren Systemfunktionen kann bei der Interaktion mit diesen Systemen eine Herausforderung für Nutzer darstellen (Forster, Hergeth, Naujoks, Krems, & Keinath, 2019). Aussagen von Fahrlehrern, die im Rahmen eines Experten-Workshops Anforderungen durch Assistenz- und automatisierte Systeme an die Fahrausbildung beurteilen sollten, deuten darauf hin, dass Fahrschüler im Umgang mit automatisierten Systemen beim Fahrenlernen zuweilen überfordert sein können (Weißgerber, Grattenthaler, & Hoffmann, 2019).

Es ist demnach anzunehmen, dass in der Phase des Mischbetriebs das Wissen, das für eine sichere Fahrweise künftig benötigt wird, zunehmend umfangreicher und komplexer und die Fahraufgabe damit anspruchsvoller wird, denn zusätzlich zur ohnehin komplexen Fertigkeit der manuellen Fahrzeugführung müssen sich Fahrer zunehmend mit (teil)automatisierten Systemen auseinandersetzen und deren Einsatzmöglichkeiten ebenso kennen und verstehen, wie deren Funktionsgrenzen, sodass sie in der Lage sind, diese effektiv nutzen und angemessen bedienen zu können (Pradhan, Sullivan, Schwarz, Feng, & Bao, 2019).

Um das durch die steigende Anzahl technischer Systeme entstehende Komplexitätsproblem zu lösen, wird im Bereich des *Human Factors Engineering* u. a. die Strategie verfolgt, das Verhalten des Nutzers durch entsprechende Trainings an die Maschine anzupassen (Hollnagel, 2012). Bainbridge (1983) wies in ihrem einflussreichen Artikel bereits auf die Bedeutsamkeit von Trainings in Verbindung mit der Übernahmeproblematik hin. Dass die Bereitstellung effektiver Ausbildungs- und Trainingsmaßnahmen eine entscheidende Rolle spielen wird, um sicherheitsabträglichen Effekten der Automatisierung

entgegenzuwirken, legen auch Gespräche mit Vertretern aus Industrie, Politik und Wissenschaft nahe (vgl. Pradhan et al., 2019).

Ähnlich wie Automatisierung die Flugzeugführung verändert hat, wird sich auch die Fahrzeugführung durch die Nutzung automatisierter Systeme verändern. Während es in der Ausbildung von Piloten Standard ist, Kenntnisse über Mensch und Maschine sowie über deren Zusammenwirken bei der Flugzeugführung zu vermitteln, wurde im Bereich der Fahrausbildung bislang wenig unternommen, Fahrer systematisch im Umgang mit automatisierten Systemen zu schulen (Casner & Hutchins, 2019; Forster, Hergeth, Naujoks, Krems, et al., 2019). Dabei kann Autofahren in vielerlei Hinsicht sogar gefährlicher sein als die Flugzeugführung (Casner et al., 2016). Das Straßenverkehrssystem zeichnet sich in der Regel durch eine höhere Verkehrsdichte und Dynamik aus, weshalb Entscheidungen und Reaktionen oft in Sekundenschnelle erfolgen müssen. Piloten stehen zur Behebung von Systemfehlern nicht selten mehrere Minuten zur Abarbeitung von Checklisten zur Verfügung, während eine zweite Person die manuelle Steuerung übernimmt. Dem Autofahrer hingegen wird in Situationen, in denen das System an seine Grenzen kommt oder ausfällt in der Regel eine unmittelbare Reaktion abverlangt. Zudem handelt es sich bei Piloten im Gegensatz zu Autofahrern um ausgebildete Fachkräfte, die ihre Fertigkeiten in Prüfsituationen regelmäßig unter Beweis stellen müssen, um ihren Beruf weiterhin ausüben zu dürfen. Autofahren darf hingegen nahezu jede Person, die im Laufe ihres Lebens eine Fahrerlaubnis erworben hat. Von einem vergleichbaren Ausbildungsniveau kann bei Autofahrern kaum ausgegangen werden.

Bei der Flugzeugführung entstehen Probleme vor allem in Übernahme-situationen. Gleiches gilt auch für das automatisierte Fahren (Trösterer et al., 2016). Dementsprechend beschäftigen sich Forschungsarbeiten zur Bereitstellung von Trainings im Wissensbereich des automatisierten Fahrens zumeist mit der Übernahmeproblematik. Untersuchungen zeigen, dass insbesondere in Situationen, in denen die Fahrzeugführung unerwartet übernommen werden muss, mit steigenden Unfallzahlen zu rechnen ist (Jamson, Merat, Carsten, & Lai, 2013; Zeeb, Buchner, & Schrauf, 2015). Vorerfahrung mit unerwarteten Übernahme-situationen führt indes zu verbesserten Übernahmeleistungen (z. B. Hergeth, Lorenz, & Krems, 2017; Zhang, De Winter, Varotto, Happee, & Martens, 2019), woraus sich schließen lässt, dass Übernahmefähigkeit erlernbar und damit prinzipiell trainierbar ist.

In Studien zeigten sich große Lerneffekte bei Neuanwendern, die zum ersten Mal mit automatisierten Systemen interagierten (Forster, Hergeth, Naujoks, Krems, et al., 2019). Um die Funktionsweisen dieser Systeme angemessen verstehen und das Wissen und Können im Umgang mit diesen Systemen nachhaltig festigen zu können, ist jedoch wiederholtes Bedienen notwendig (Beggiato, Pereira, Petzoldt, & Krems, 2015; Forster, Hergeth, Naujoks, Beggiato, et al., 2019). Diese Ergebnisse können als Hinweis für die Notwendigkeit von Trainings für den Umgang mit automatisierten Systemen

gewertet werden. Dass sich Übernahmeleistungen in der Fahrzeugführung durch Trainings verbessern, konnte empirisch bereits mehrfach nachgewiesen werden (z. B. Forster, Hergeth, Naujoks, Krems, & Keinath, 2020; Payre, Cestac, Dang, Vienne, & Delhomme, 2017). Ganz allgemein hat sich dabei gezeigt, dass durch wiederholtes Üben Verbesserungen hinsichtlich der Qualität und Schnelligkeit, mit der Fahrer die manuelle Fahrzeugführung übernehmen, erzielt werden können (Gold, Happee, & Bengler, 2018). Allerdings merken Gold et al. (2018) in dem Zusammenhang auch an, dass sich dieser Lerneffekt nicht mehr zeigen oder sogar ins Gegenteil verkehren könnte, wenn Fahrer vor einer kritischen Übernahmesituation zunächst mit einer unkritischen konfrontiert würden. Hierdurch wird u. a. die Frage nach der Sequenzierung von Lerninhalten in Trainings aufgeworfen.

Auf der Basis ihrer Ergebnisse, in denen 753 Übernahmesituationen aus 6 Simulator-Experimenten berücksichtigt wurden, geben Gold et al. (2018) die Empfehlung, dass vor allem die ersten Erfahrungen, die ein Fahrer mit Übernahmesituationen sammelt, nicht mit einer zu hohen Verkehrsdichte bei gleichzeitig engem Reaktionszeitfenster verbunden sein sollten. Mit anderen Worten: Sie formulieren auf der Basis ihrer Untersuchungsergebnisse die Gestaltungsempfehlung, dass im Training nicht mit der komplexesten Aufgabe begonnen werden sollte. Damit verweisen Gold et al. (2018) nicht nur darauf, dass die Art der Problemstellungen und die Sequenzierung von Lernaufgaben bei der Erstellung von Lernumgebungen zum Trainieren von Übernahmesituationen von Bedeutung sind, um sicherheitszuträgliches Fahrverhalten zu fördern, ihre Empfehlungen weisen auch Parallelen zu Gestaltungsempfehlungen auf, die u. a. im Rahmen des 4C/ID-Modells gelten. Hierdurch wiederum drängt sich die Frage auf, ob das 4C/ID-Modell als Instruktionsdesign für Trainings zum Erwerb von Übernahmefertigkeiten gewinnbringend eingesetzt werden kann. Angewendet wurde dieses Modell hierfür bislang noch nicht. In künftigen Forschungsarbeiten könnte daher überprüft werden, ob sich das 4C/ID-Modell eignet, effektive Lernanwendungen zum Training von Übernahmesituationen zu erstellen.

Automatisierte Fahrzeuge stellen neue Anforderungen an Fahrer. Ähnlich wie Automation die Flugzeugführung verändert hat, wird sich auch zwangsläufig die Fahraufgabe und die Rolle des Fahrer im Zuge der Automatisierung kontinuierlich verändern (Casner & Hutchins, 2019). Je höher der Anteil an technischen Systemen an der Fahraufgabe, desto seltener sind aktive Eingriffe in die Fahrzeugführung aufseiten des Fahrers notwendig. Der Fahrer wird von Aufgaben der manuellen Fahrzeugsteuerung zunehmend entbunden und wird vom aktiv Handelnden, der das Fahrzeug kontrolliert, zunehmend mehr zum Systemüberwacher (Pradhan et al., 2019), der gegebenenfalls (z. B. beim Erreichen von Systemgrenzen) in den Betrieb der Systeme eingreift, um diese zu übersteuern oder zu deaktivieren und die Fahrzeugführung manuell zu übernehmen (vgl. z. B. Bainbridge, 1983).

Im Zuge der Automatisierung werden demnach zunehmend mehr Routineaufgaben von Fahrzeugen übernommen. Das Lösen komplexer Probleme hingegen, die von der Maschine noch nicht übernommen werden können, wird in der Phase des Mischbetriebs weiterhin dem Fahrer vorbehalten sein. Die veränderte Rollenaufteilung zwischen Mensch und Maschine geht damit einher, dass die Fahraufgabe für den Menschen zunehmend stärker durch komplexe kognitive und wahrnehmungsbezogene Kompetenzen dominiert wird; durch solche also, für deren Erwerb das 4C/ID-Modell vornehmlich konzipiert worden ist.

Durch den Anforderungswandel wird der Trainingsbedarf zunehmen (Weißgerber et al., 2019). Zusätzlich zu den Steuerungs- und Kontrollfertigkeiten, die für die manuelle Fahrzeugführung relevant sind, muss in der künftigen Fahrerqualifizierung Wissen und Können zum angemessenen Umgang mit Fahrassistenz und Automation erworben und geprüft werden (Lemmer, 2016; Sturzbecher et al., 2014; Weißgerber et al., 2019). Nur so kann sichergestellt werden, dass im Bedarfsfall, die Fahrzeugführung sicher und effizient übernommen oder die Kontrolle an die Maschine abgegeben sowie dem System ein gesundes Misstrauen entgegengebracht werden kann und sich seitens des Fahrers nicht blindlings auf ein sicheres Funktionieren der Maschine verlassen wird (Pradhan et al., 2019).

Ein entscheidender Aspekt im Zusammenhang mit automatisierten Systemen wird daher die Bereitstellung zusätzlicher geeigneter Trainingsinstrumente sein. Aufgrund der Komplexitätszunahme bei der Fahraufgabe durch automatisierte Systeme nehmen Weißgerber et al. (2019) nicht nur an, dass der Trainingsbedarf künftig steigen, sondern auch dass praktisches Üben an Bedeutung gewinnen wird. Ein wichtiges Ziel wird deshalb die Identifikation geeigneter Methoden sein, um den Umgang mit automatisierten Systemen effektiv zu trainieren. Ähnlich wie im Bereich der Luftfahrt können Simulationen eine hilfreiche Ergänzung in der Fahrausbildung darstellen (Trösterer et al., 2016), da sich diese u. a. eignen, Sachverhalte zu veranschaulichen und kritische Situationen im geschützten Rahmen zu trainieren. So konnten z. B. Ebnali, Hulme, Ebnali-Heidari und Mazloumi (2019) aufzeigen, dass durch ein Training im Simulator ein besseres Verständnis automatisierter Systeme und ein angemesseneres Systemvertrauen gefördert werden kann. Darüber hinaus gelang es insbesondere den Teilnehmern, die das Training im Simulator absolviert hatten, angemessenere Entscheidungen in Bezug auf die Notwendigkeit einer Übernahme der manuellen Fahrzeugsteuerung zu treffen.

Mit der zunehmenden Vielfalt und der hohen Entwicklungsdynamik im Bereich automatisierter Systeme wird die Automobilbranche von einem sich immer rascher vollziehenden technologischen Wandel geprägt sein (Casner & Hutchins, 2019). Fahrer sind deshalb auch über die Fahrausbildung hinaus permanent gefordert, sich auf technische Neuerungen einzustellen. Neben Flexibilität ist dafür auch die Bereitschaft erforderlich, lebenslang dazu zu lernen und sich weiterzubilden. Ändern müssen sich demnach nicht nur die Methoden für den Erwerb, sondern auch für den Erhalt kognitiver und

psychomotorischer Fahrfertigkeiten (Endsley, 2019). Über die Qualifizierung von Führerscheinaspiranten hinaus wird es notwendig sein, Fahrer weiterzuqualifizieren, die bereits einen Führerschein besitzen und über Erfahrung mit der Führung konventioneller Fahrzeuge verfügen.

Während Fahrschüler Informationen zum Umgang mit automatisierten Systemen im Fahrschulunterricht erhalten können, gibt es für andere Nutzergruppen bislang kaum Trainingskonzepte. So lernen z. B. erfahrene Fahrer den Umgang mit automatisierten Systemen in der Regel durch die Anwendung dieser beim Fahren im Realverkehr oder durch die Nutzung von Benutzerhandbüchern (McDonald, Carney, & McGehee, 2018). McDonald et al. (2018) berichten, dass Fahrer über ein verhältnismäßig geringes Wissen über Assistenz- oder automatisierte Systeme in ihren Fahrzeugen verfügen und auch Fehlkonzepte zu bereits etablierten Systemtechnologien keine Seltenheit sind. Es ist daher notwendig, geeignetere Methoden für die Aus- bzw. Weiterbildung zu identifizieren, die Fahrern Wissen über automatisierte Systeme vermitteln und zu einer angemessenen Nutzung befähigen.

Für die Erarbeitung effektiver und effizienter Trainingsanwendungen für die unterschiedlichen Fahrergruppen werden aber geeignete Gestaltungskonzepte benötigt. Ein infrage kommendes Instruktionsdesignmodell für die Gestaltung von Lernumgebungen zur Vermittlung komplexer kognitiver Problemlösekompetenzen wurde in der vorliegenden Arbeit vorgestellt und zur Vermittlung von Gefahrenwahrnehmung angewendet. In nachfolgenden Studien könnte überprüft werden, ob sich das 4C/ID-Modell für den Erwerb weiterer fahrbezogener Fertigkeiten, wie z. B. zur Vermittlung von Übernahmefähigkeiten eignet.

Literaturverzeichnis

- Agrawal, R., Knodler, M. A., Fisher, D. L., & Samuel, S. (2017). *Advanced virtual reality based training to improve young drivers' latent hazard anticipation ability*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Agrawal, R., Knodler, M. A., Fisher, D. L., & Samuel, S. (2018). Virtual reality headset training: Can it be used to improve young drivers' latent hazard anticipation and mitigation skills. *Transportation Research Record*, 2672(33), 20-30.
- Alberti, C. F., Shahar, A., & Crundall, D. (2014). Are experienced drivers more likely than novice drivers to benefit from driving simulations with a wide field of view? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 27, Part A, 124-132.
- Aleven, V., Stahl, E., Schworm, S., Fischer, F., & Wallace, R. (2003). Help seeking and help design in interactive learning environments. *Review of Educational Research*, 73(3), 277-320.
- Alexander, P. A. (2003). The development of expertise: The journey from acclimation to proficiency. *Educational Researcher*, 32(8), 10-14.
- Anderson, J. R. (1982). Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, 89(4), 369-406.
- Anderson, J. R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, J. R., & Bower, G. H. (1973). *Human associative memory*. Washington D. C.: V. H. Winston & Sons.
- Anderson, J. R., & Schunn, C. D. (2000). Implications of the ACT-R learning theory: No magical bullets. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology* (Vol. 5): Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Eds.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 2, pp. 89-195). London: Academic Press.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1969). Storage and retrieval processes in short-term memory. *Psychological Review*, 76(2), 179-193.
- Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A., & Wortham, D. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research*, 70(2), 181-214.
- Atkinson, R. K., Renkl, A., & Merrill, M. M. (2003). Transitioning from studying examples to solving problems: Effects of self-explanation prompts and fading worked-out steps. *Journal of Educational Psychology*, 95(4), 774-783.
- Ayres, P., & Paas, F. (2009). Interdisciplinary perspectives inspiring a new generation of cognitive load research. *Educational Psychology Review*, 21(1), 1-9.
- Baars, M., Visser, S., van Gog, T., de Bruin, A. B. H., & Paas, F. (2013). Completion of partially worked-out examples as a generation strategy for improving monitoring accuracy. *Contemporary Educational Psychology*, 38(4), 395-406.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775-779.
- Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*: Springer Publishing Company.
- Bédard, J., & Chi, M. T. H. (1992). Expertise. *Current Directions in Psychological Science*, 1, 135-139.

- Beggiato, M., Pereira, M., Petzoldt, T., & Krems, J. F. . (2015). Learning and development of trust, acceptance an the mental model of ACC. A longitudinal on-road study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 35, 75-84.
- Beiker, S. (2015). Einführungsszenarien für höhergradig automatisierte Straßenfahrzeuge. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Eds.), *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Berlin: Springer Vieweg.
- Benda, H. v., & Hoyos, C. G. (1983). Estimating hazards in traffic situations. *Accident Analysis and Prevention*, 15(1), 1-9.
- Benner, P. (1996). A response by P. Benner to K. Cash, "Benner and expertise in nursing: a critique". *International Journal of Nursing Studies*, 33(6), 669-674.
- Betrancourt, M. (2005). The animation and interactivity principles in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of multimedia learning* (pp. 287-296). NY: Cambridge University Press.
- Blank, D., & McCord, R. (1998). *Design and presentation of a CD-ROM driving program (Driver-ZED)*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, Los Angeles, CA.
- Bönninger, J., Eichelmann, A., & Schüppel, U. (2018). Automatisiertes und vernetztes Fahren: Potenziale und Herausforderungen der technischen Entwicklung im Fahrzeug. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 64(2), 97-98.
- Bordage, G. (1994). Elaborated knowledge: a key to successful diagnostic thinking. *Academic Medicine*.
- Borowsky, A., Horrey, W. J., Liang, Y., Garabet, A., Simmons, L., & Fisher, D. L. (2016). The effects of brief visual interruption tasks on drivers' ability to resume their visual search for a pre-cued hazard. *Accident Analysis & Prevention*, 93, 207-216.
- Borowsky, A., Meir, A., Oron-Gilad, T., Shinar, D., & Parmet, Y. (2010). *The effect of hazard perception training on traffic-scene movies categorization*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Borowsky, A., & Oron-Gilad, T. (2013). Exploring the effects of driving experience on hazard awareness and risk perception via real-time hazard identification, hazard classification, and rating tasks. *Accident Analysis & Prevention*, 59(0), 548-565.
- Borowsky, A., Oron-Gilad, T., & Parmet, Y. (2009). Age and skill differences in classifying hazardous traffic scenes. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour*, 12(4), 277-287.
- Borowsky, A., Oron-Gilad, T., & Parmet, Y. (2010). *The role of driving experience in hazard perception and categorization: a traffic-scene paradigm*. Paper presented at the Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology.
- Borowsky, A., Shinar, D., & Oron-Gilad, T. (2007). *Age, skill, and hazard perception in driving*. Paper presented at the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Stevenson, Washington.
- Borowsky, A., Shinar, D., & Oron-Gilad, T. (2010). Age, skill, and hazard perception in driving. *Accident Analysis and Prevention*, 42(4), 1240-1249.
- Boshuizen, H. P. A. (2009). Teaching for expertise: Problem-based methods in medicine and other professional domains. In K. A. Ericsson (Ed.), *Development of professional expertise: Toward measurement of expert performance and design of optimal learning environments* (pp. 379-404). NY: Cambridge University Press.

- Boshuizen, H. P. A., Phythian-Sence, C., Wagner, R. K., Gravemeijer, K., van der Aalsvoort, G. M., Nieveelstein, F., . . . Scherpbier, A. (2008). Instructional Models in Domains and Professions. In J. M. Spector, M. D. Merrill, J. J. G. van Merriënboer & M. P. Driscoll (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (3rd ed., pp. 537-566). New York: Routledge.
- Boshuizen, H. P. A., & Schmidt, H. G. (2008). The development of clinical reasoning expertise. *Clinical reasoning in the health professions*, 3, 113-121.
- Brand-Gruwel, S., Wopereis, I., & Vermetten, Y. (2005). Information problem solving by experts and novices: Analysis of a complex cognitive skill. *Computers in Human Behavior*, 21(3), 487-508.
- Bredow, B., & Sturzbecher, D. (2016). Ansätze zur Optimierung der Fahrschulbildung in Deutschland. In E. D. e. BAST-Archiv (Ed.): BAST.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon.
- Brown, I. D., & Groeger, J. A. (1988). Risk perception and decision taking during the transition between novice and experienced driver status. *Ergonomics*, 33(10-11), 1307-1314.
- Brown, J. S., Collins, A., & Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
- Brünken, R. (2019). Instruktionspsychologie. In R. Brünken, S. Münzer & B. Spinath (Eds.), *Pädagogische Psychologie – Lernen und Lehren* (pp. 257-291). Göttingen: Hogrefe.
- Brünken, R., Münzer, S., & Spinath, B. (2019). *Pädagogische Psychologie – Lernen und Lehren* (Vol. 25). Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Camp, G., Paas, F., Rikers, R. M. J. P., & van Merriënboer, J. J. G. (2001). Dynamic problem selection in air traffic control training: A comparison between performance, mental effort and mental efficiency. *Computers in Human Behavior*, 17(5), 575-595.
- Casner, S. M., & Hutchins, E. L. (2019). What do we tell the drivers? Toward minimum driver training standards for partially automated cars. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 13(2), 55-66.
- Casner, S. M., Hutchins, E. L., & Norman, D. A. (2016). The challenges of partially automated driving. *Communications of the ACM*, 59(5), 70-77.
- Catchpole, J., Congdon, P., & Leadbeater, C. (2001). Implementation of victoria's new hazard perception test. *Proceedings of the Road Safety Research: Policing and Education Conference 2001*. Melbourne, Victoria.
- Causser, J., Barach, P., & Williams, A. M. (2014). Expertise in medicine: Using the expert performance approach to improve simulation training. *Medical Education*, 48(2), 115-123.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Chapman, P., & Underwood, G. (1998). Visual search of driving situations: Danger and experience. *Perception*, 27(8), 951-964.
- Chapman, P., Underwood, G., & Roberts, K. (2002). Visual search patterns in trained and untrained novice drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(2), 157-167.
- Charness, N., Tuffiash, M., Krampe, R., Reingold, E., & Vasyukova, E. (2005). The role of deliberate practice in chess. *Applied Cognitive Psychology*, 19, 151-165.
- Chase, W. G., & Ericsson, K. A. (1981). Skilled memory. In J. R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 141-189). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Chase, W. G., & Ericsson, K. A. (1982). Skill and working memory *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 16, pp. 1-58): Elsevier.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973a). The mind's eye in chess. In W. G. Chase (Ed.), *Visual Information Processing* (pp. 215-281). New York: Academic Press.
- Chase, W. G., & Simon, H. A. (1973b). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.
- Chi, M. T. H. (2006). Two approaches to the study of experts' characteristics. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich & R. R. Hoffman (Eds.), *The cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 21-30). New York: Cambridge University Press.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal*, 5(2), pp. 121 - 152.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., & Farr, M. J. (Eds.). (1988). *The nature of expertise*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2016). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*: John Wiley & Sons.
- Clark, R. C., Nguyen, F., & Sweller, J. (2011). *Efficiency in learning: Evidence-based guidelines to manage cognitive load*: John Wiley & Sons.
- Clark, R. E., Kirschner, P. A., & Sweller, J. (2012). Putting students on the path to learning: The case for fully guided instruction. *American Educator*, 36(1), 6-11.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser*, 18, 32-42.
- Cooper, G. A., Tindall-Ford, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2001). Learning by imagining. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 7(1), 68-82.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87-114.
- Cowan, N. (2012). *Working memory capacity*. NY: Psychology Press.
- Crundall, D. (2016). Hazard prediction discriminates between novice and experienced drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 86, 47-58.
- Crundall, D., Andrews, B., van Loon, E., & Chapman, P. (2010). Commentary training improves responsiveness to hazards in a driving simulator. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 2117-2124.
- Crundall, D., Chapman, P., Phelps, N., & Underwood, G. (2003). Eye movements and hazard perception in police pursuit and emergency response driving. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9(3), 163.
- Crundall, D., Chapman, P., Trawley, S., Collins, L., van Loon, E., Andrews, B., & Underwood, G. (2012). Some hazards are more attractive than others: Drivers of varying experience respond differently to different types of hazard. *Accident Analysis & Prevention*, 45, 600-609.
- Crundall, D., & Underwood, G. (1998). Effects of experience and processing demands on visual information acquisition in drivers. *Ergonomics*, 41(4), 448-458.
- Crundall, D., Underwood, G., & Chapman, P. (2002). Attending to the peripheral world while driving. *Applied Cognitive Psychology*, 16(4), 459-475.

- Currie, L. (1969). The perception of danger in a simulated driving task. *Ergonomics*, 12(6), 841-849.
- Curry, A. E., Pfeiffer, M. R., Durbin, D. R., & Elliott, M. R. (2015). Young driver crash rates by licensing age, driving experience, and license phase. *Accident Analysis & Prevention*, 80, 243-250.
- Darby, P., Murray, W., & Raeside, R. (2009). Applying online fleet driver assessment to help identify, target and reduce occupational road safety risks. *Safety Science*, 47(3), 436-442.
- Day, M. R., Thompson, A. R., Poulter, D. R., Stride, C. B., & Rowe, R. (2018). Why do drivers become safer over the first three months of driving? A longitudinal qualitative study. *Accident Analysis & Prevention*, 117, 225-231.
- de Bruin, A. B. H., Smits, N., Rikers, R. M. J. P., & Schmidt, H. G. (2008). Deliberate practice predicts performance over time in adolescent chess players and drop-outs: A linear mixed models analysis. *British Journal of Psychology*, 99(4), 473-497.
- de Groot, A. D. (1946/1978). *Thought and choice in chess*. The Hague: Mouton (Original work published 1946).
- Debus, G., Leutner, D., Brünken, R., Skottke, E.-M., & Biermann, A. (2008). Wirkungsanalyse und Bewertung der neuen Regelungen im Rahmen der Fahrerlaubnis auf Probe *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 194*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Deery, H. A. (1999). Hazard and risk perception among young novice drivers. *Journal of Safety Research*, 30(4), 225-236.
- Demberg, V., Sayeed, A., Mahr, A., & Müller, C. (2013). *Measuring linguistically-induced cognitive load during driving using the ConTRe task*. Paper presented at the Proceedings of the 5th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, Eindhoven, Netherlands.
- DeVellis, R. F. (2017). *Scale Development: Theory and Applications*. (4th ed.). Los Angeles: Sage.
- Dolmans, D., & Schmidt, H. G. (2010). The problem-based learning process. In H. van Berkel, A. Scherpbier, H. Hillen & C. Van der Vleuten (Eds.), *Lessons from Problem-based Learning* (pp. 13-20). Oxford: University Press.
- Donges, E. (1982). Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobilindustrie* 27, 183-190.
- Donges, E. (2009). Fahrerhaltensmodelle. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Eds.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme* (pp. 15-23). Wiesbaden: Springer Vieweg
- Dörner, D., & Funke, J. (2017). Complex problem solving: What it is and what it is not. *Frontiers in psychology*, 8 (1153), 1-11.
- Dörner, D., Kreuzig, H., Reither, F., & Stäudel, T. (1983). *Lohausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Huber.
- Dreyfus, H. L., & Dreyfus, S. E. (1986). *Mind over machine: The power of human intuition and expertise in the era of the computer*. NY: Free Press.
- Dreyfus, S. E. (2004). The five-stage model of adult skill acquisition. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 24(3), 177-181.
- Dreyfus, S. E., & Dreyfus, H. L. (1980). A five-stage model of the mental activities involved in directed skill acquisition. 1-18.
- Driscoll, M. P. (2005). Psychology of learning for instruction.

- Duffy, T. M., & Jonassen, D. H. (1992). Constructivism: New implications for instructional technology. In T. M. Duffy & D. H. Jonassen (Eds.), *Constructivism and the technology of instruction: A conversation* (Vol. 1, pp. 1-16). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Duncan, J., Williams, A. F., & Brown, I. (1991). Components of driving skill: Experience does not mean expertise. *Ergonomics*, *34*, 919-937.
- Ebnali, M., Hulme, K., Ebnali-Heidari, A., & Mazloumi, A. (2019). How does training affect users' attitudes and skills needed for highly automated driving? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*(66), 184-195.
- Edmonds, G. S., Branch, R. C., & Mukherjee, P. (1994). A conceptual framework for comparing instructional design models. *Educational Technology Research and Development*, *42*(4), 55-72.
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors* *37*(1), 32-64.
- Endsley, M. R. (2006). Expertise and Situation Awareness. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance*. Cambridge Univ. Press.
- Endsley, M. R. (2017). From here to autonomy: lessons learned from human-automation research. *Human Factors*, *59*(1), 5-27.
- Endsley, M. R. (2019). The limits of highly autonomous vehicles: an uncertain future: Commentary on Hancock (2019) Some pitfalls in the promises of automated and autonomous vehicles. *Ergonomics*, *62*(4), 496-499.
- Endsley, M. R., & Jones, D. G. (2004). Dealing with complexity. In M. R. Endsley & D. G. Jones (Eds.), *Designing for Situation Awareness. An Approach to User-Centered Design* (2nd ed., pp. 131-146). Boca Raton: CRC Press.
- Ericsson, K. A. (2005). Recent Advances in Expertise Research: A Commentary on the Contributions to the Special Issue. *Applied Cognitive Psychology*, *19*, 233-241.
- Ericsson, K. A. (2006a). The influence of experience and deliberate practice on the development of superior expert performance. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (pp. 685-705): Cambridge Univ. Press.
- Ericsson, K. A. (2006b). An introduction to Cambridge handbook of expertise and expert performance: Its development, organization, and content. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (pp. 3-19). New York: Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A. (2006c). Protocol analysis and expert thought: Concurrent verbalizations of thinking during experts' performance on representative tasks. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (pp. 223-241). New York: Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A. (2017). Expertise and individual differences: The search for the structure and acquisition of experts' superior performance. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *8*(1-2), 1-6.
- Ericsson, K. A., & Charness, N. (1994). Expert performance. Its structure and acquisition. *American Psychologist*, *49*, 725-747.
- Ericsson, K. A., & Crutcher, R. J. (1990). The nature of exceptional performance. In P. B. Baltes, D. L. Featherman & R. M. Lerner (Eds.), *Life-span Development and Behavior* (pp. 187-217). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, *102*(2), 211-245.
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (2000). Shortcomings of generic retrieval structures with slots of the type that Gobet (1993) proposed and modelled. *British Journal of Psychology*, *91*(4), 571-590.
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, *100*(3), 363-406.
- Ericsson, K. A., & Lehmann, A. C. (1996). Expert and exceptional performance: Evidence of maximal adaptation to task constraints. *Annual Review of Psychology*, *47*(1), 273-305.
- Ericsson, K. A., Nandagopal, K., & Roring, R. W. (2005). Giftedness viewed from the expert-performance perspective. *Journal for the Education of the Gifted*, *28*(3-4), 287-311.
- Ericsson, K. A., & Pool, R. (2016). *Peak: Secrets from the new science of expertise*: Houghton Mifflin Harcourt.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, *87*(3), 215-251.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1998). How to study thinking in everyday life: Contrasting think-aloud protocols with descriptions and explanations of thinking. *Mind, Culture, and Activity*, *5*(3), 178-186.
- Ericsson, K. A., & Smith, J. (1991). Prospects and limits of the empirical study of expertise: An introduction. In K. A. Ericsson & J. Smith (Eds.), *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits* (pp. 1-38). New York: Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A., & Towne, T. J. (2010). Expertise. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *1*(3), 404-416.
- Ertmer, P. A., & Newby, T. J. (1993). Behaviorism, cognitivism, constructivism: Comparing critical features from an instructional design perspective. *Performance Improvement Quarterly*, *6*(4), 50-72.
- Esser, K., & Kurte, J. (2018). Autonomes Fahren. Aktueller Stand, Potentiale und Auswirkungsanalyse. *Studie im Auftrag des Deutschen Industrie- und Handelskammertag (DIHK)* (pp. 1-70).
- Ewert, O. M. (1992). Instruktionspsychologie – ein neues Selbstverständnis der Pädagogischen Psychologie? *Bildung und Erziehung*, *45*(3), 265-276.
- Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (2005). *Cognitive Psychology: A Student's Handbook* (Vol. 5th): Psychology Press.
- FahrschAusbO. (2012). Fahrschüler-Ausbildungsordnung: Zugriff am 30.06.2020 http://service.juris.de/fahrschausbo_2012/BJNR131800012.html. vom Bundesministerium der Justiz
- Farrand, P., & McKenna, F. P. (2001). Risk perception in novice drivers: the relationship between questionnaire measures and response latency. *Transportation Research Part F*, *4*, 201-212.
- Farrington-Darby, T., & Wilson, J. R. (2006). The nature of expertise: A review. *Applied Ergonomics*, *37*(1), 17-32.
- Farrow, D., & Abernethy, B. (2003). Do expertise and the degree of perception—action coupling affect natural anticipatory performance? *Perception*, *32*(9), 1127-1139.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, *39*, 175-191.
- Feltovich, P. J., Prietula, M. J., & Ericsson, K. A. (2006). Studies of expertise from psychological perspectives. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance* (pp. 41-67): Cambridge Univ. Press.

- Fisher, D. L. (2008). Evaluation of pc-based novice driver risk awareness. Final Report. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Fisher, D. L., & Dorn, L. (2016). The training and education of novice, teen drivers. In D. L. Fisher, J. K. Caird, W. J. Horrey & L. Trick (Eds.), *Handbook of Teen and Novice Drivers: Research, Practice, Policy, and Directions* (pp. 270-289). Milton, United States: CRC Press.
- Fisher, D. L., Laurie, N. E., Glaser, R., Connerney, K., Pollatsek, A., Duffy, S. A., & Brock, J. (2002). Use of a fixed-base driving simulator to evaluate the effects of experience and pc-based risk awareness training on drivers' decisions. *Human Factors*, *44*(2), 287-302.
- Fisher, D. L., Lohrenz, M., Moore, D., Nadler, E. D., & Pollard, J. D. (2016). Humans and intelligent vehicles: The hope, the help, and the harm. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, *1*(1), 56-67.
- Fisher, D. L., Narayanaa, V., Pradhan, A., & Pollatsek, A. (2004). *Using eye movements in driving simulators to evaluate effects of PC-based risk awareness training*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Fisher, D. L., Pollatsek, A., & Pradhan, A. K. (2006). Can novice drivers be trained to scan for information that will reduce their likelihood of a crash? *Injury Prevention*, *12*(suppl 1), i25-i29.
- Fisseni, H.-J. (2004). *Lehrbuch der psychologischen Diagnostik: mit Hinweisen zur Intervention* (Vol. 3). Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). *Human Performance*. Belmont, CA: Brooks/Cole.
- Forster, Y., Hergeth, S., Naujoks, F., Beggiato, M., Krems, J. F., & Keinath, A. (2019). *Learning and development of mental models during interactions with driving automation: A simulator study*. Paper presented at the Proceedings of the tenth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Santa Fe, New Mexico.
- Forster, Y., Hergeth, S., Naujoks, F., Krems, J. F., & Keinath, A. (2019). User Education in Automated Driving: Owner's Manual and Interactive Tutorial Support Mental Model Formation and Human-Automation Interaction. *Information*, *10*(4), 1-22.
- Forster, Y., Hergeth, S., Naujoks, F., Krems, J. F., & Keinath, A. (2020). What and how to tell beforehand: The effect of user education on understanding, interaction and satisfaction with driving automation. *Transportation Research Part F*, *68*, 316-335.
- Frey, P. W., & Adesman, P. (1976). Recall memory for visually presented chess positions. *Memory & Cognition*, *4*(5), 541-547.
- Funke, J. (2012). Complex problem solving. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the sciences of learning* (pp. 682-685). Heidelberg: Springer.
- Gagné, R. M. (1965). *The conditions of learning*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Gagné, R. M. (1985). *The conditions of learning and theory of instruction*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Garay-Vega, L., & Fisher, D. L. (2005). *Can novice drivers recognize foreshadowing risks as easily as experienced drivers?* Paper presented at the Driving Assessment Conference, Rockport, Maine. Iowa City, IA: Public Policy Center, University of Iowa.
- Gasser, T. M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Bürkle, L., Eier, J., . . . Huber, W. (2012). Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Reihe Fahrzeugtechnik Heft F 83*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Genschow, J., & Sturzbecher, D. (2014). Verkehrssinn - das "Missing Link" einer sicherheitswirksamen Fahranfängervorbereitung? *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*(4), 207-213.

- Gerstenmaier, J., & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 867-888.
- Gessler, M. (2009). Situated learning and cognitive apprenticeship. In R. Maclean & D. N. Wilson (Eds.), *International Handbook of Education for the Changing World of Work. Bridging Academic and Vocational Learning* (Vol. 1, pp. 1611-1625). Berlin: Springer.
- Glaser, R. (1962). Psychology and instructional technology. In R. Glaser (Ed.), *Training Research and Education* (pp. 1-30). Pittsburgh: Pittsburgh Press.
- Glaser, R., & Chi, M. T. H. (1988). Overview. In M. T. H. Chi, R. Glaser & M. J. Farr (Eds.), *The Nature of Expertise* (pp. xv-xxviii). Hillsdale: NJ: Erlbaum.
- Gobet, F. (2005). Chunking models of expertise: Implications for education. *Applied Cognitive Psychology*, 19, 183-204.
- Gobet, F., & Jackson, S. (2002). In search of templates. *Cognitive Systems Research*, 3(1), 35-44.
- Gobet, F., & Lane, P. C. R. (2012). Chunking mechanisms and learning. *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, 541-544.
- Gobet, F., Lane, P. C. R., Croker, S., Cheng, P. C.-H., Jones, G., Oliver, I., & Pine, J. M. (2001). Chunking mechanisms in human learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(6), 236-243.
- Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). Templates in chess memory: A mechanism for recalling several boards. *Cognitive Psychology*, 31(1), 1-40.
- Gobet, F., & Simon, H. A. (2000). Five seconds or sixty? Presentation time in expert memory. *Cognitive Science*, 24(4), 651-682.
- Gold, C., Happee, R., & Bengler, K. (2018). Modeling take-over performance in level 3 conditionally automated vehicles. *Accident Analysis and Prevention*, 116, 3-13.
- Goode, N., Salmon, P. M., & Lenné, M. G. (2013). Simulation-based driver and vehicle crew training: applications, efficacy and future directions. *Applied Ergonomics*, 44(3), 435-444.
- Grattenthaler, H., Krüger, H.-P., & Schoch, S. (2009). Bedeutung der Fahrpraxis für den Kompetenzerwerb beim Fahrlernen. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 201*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Grayson, G. B., Maycock, G., Groeger, J. A., Hammond, S. M., & Field, D. T. (2003). Risk, hazard perception and perceived control Crowthorne, Berkshire: TRL Limited.
- Greiff, S., & Funke, J. (2010). *Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal komplexer Systeme. Projekt Dynamisches Problemlösen*.
- Greiff, S., Kretschmar, A., & Leutner, D. (2014). Problemlösen in der Pädagogischen Psychologie.
- Groeger, J. A. (2000). *Understanding Driving. Applying cognitive psychology to a complex everyday task*. Hove, UK: Psychology Press.
- Groeger, J. A., & Chapman, P. R. (1996). Judgement of traffic scenes: The role of danger and difficulty. *Applied Cognitive Psychology*, 10, 349-364.
- Gruber, H. (1994). *Expertise. Modelle und empirische Untersuchungen*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Gruber, H. (2010). Expertise. In D. H. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (Vol. 4, pp. 183-189). Weinheim: Beltz PVU.
- Gruber, H., & Degner, S. (2016). Expertise und Kompetenz. In M. Dick, W. Marotzki & H. Mieg (Eds.), *Handbuch Professionsentwicklung* (Vol. 8622, pp. 173-180). Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.

- Gruber, H., & Mandl, H. (1996). Expertise und Erfahrung. In H. Gruber & A. Ziegler (Eds.), *Expertiseforschung. Theoretische und methodische Grundlagen* (pp. 18-34). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Gruber, H., & Ziegler, A. (1996). Expertise als Domäne psychologischer Forschung. In H. Gruber & A. Ziegler (Eds.), *Expertiseforschung. Theoretische und methodische Grundlagen* (pp. 7-16). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Hatakka, M., Keskinen, E., Gregersen, N. P., & Glad, A. (1999). Theories and aims of educational and training measures In S. Siegrist (Ed.), *Driver Training, Testing and Licensing - Towards Theory-based Management of Young Drivers' Injury Risk in Road Traffic. Results of EU-Project GADGET* (pp. 13-48). Bern: BFU.
- Hatakka, M., Keskinen, E., Gregersen, N. P., Glad, A., & Hernetkoski, K. (2002). From control of the vehicle to personal self-control; broadening the perspectives to driver education. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 5(3), 201-215.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (1986). Two courses of expertise. In H. Stevenson, H. Azuma & K. Hatuka (Eds.), *Child Development in Japan*. San Francisco, CA: Freeman.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112.
- Helman, S, Grayson, G. B., & Parkes, A. M. (2010). How can we produce safer new drivers? A review of the effects of experience, training and limiting exposure on the collision risk of new drivers *TRL Insight Report IN005*. UK: Berkshire: Transportation Research Laboratory.
- Hergeth, S., Lorenz, L., & Krems, J. F. (2017). Prior familiarization with takeover requests affects drivers' takeover performance and automation trust. *Human Factors*, 59(3), 457-470.
- Hesketh, B., & Ivancic, K. (2002). Enhancing performance through training. *Psychological Management of Individual Performance*, 249-265.
- Hillen, H., Scherpbier, A., & Wijnen, W. (2010). History of problem-based learning in medical education. In H. van Berkel, A. Scherpbier, H. Hillen & C. Van der Vleuten (Eds.), *Lessons from Problem-based Learning* (pp. 5-12). Oxford: University Press.
- Hilz, J., Malone, S., & Brünken, R. (eingereicht zur Veröffentlichung). E-Learning Unterrichtskonzepte für die Fahranfängervorbereitung. Vorgesehen für: Berichte der BAST. (eingereicht). E-Learning Unterrichtskonzepte für die Fahranfängervorbereitung. In BAST (Ed.), *Vorgesehen für: Berichte der BAST*.: BAST.
- Höffler, T. N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722-738.
- Hoffman, R. R. (1998). How can expertise be defined?: Implications of research from cognitive psychology. . In R. Williams, W. Faulkner & J. Fleck (Eds.), *Exploring Expertise* (pp. 81-100). New York: Macmillan.
- Hollnagel, E. (2012). Coping with complexity: past, present and future. *Cognition, Technology and Work*, 14(3), 199-205.
- Horswill, M. S. (2016a). Hazard perception in driving. *Current Directions in Psychological Science*, 25(6), 425-430.
- Horswill, M. S. (2016b). Improving fitness to drive: The case for hazard perception training. *Australian Psychologist*, 51(3), 173-181. doi: 10.1111/ap.12132
- Horswill, M. S., Falconer, E. K., Pachana, N. A., Wetton, M., & Hill, A. (2015). The longer-term effects of a brief hazard perception training intervention in older drivers. *Psychology and Aging*, 30(1), 62.

- Horswill, M. S., Garth, M., Hill, A., & Watson, M. O. (2017). The effect of performance feedback on drivers' hazard perception ability and self-ratings. *Accident Analysis & Prevention*, *101*, 135-142.
- Horswill, M. S., Hill, A., & Wetton, M. A. (2015). Can a video-based hazard perception test used for driver licensing predict crash involvement? *Accident Analysis & Prevention*, *82*, 213-219.
- Horswill, M. S., & McKenna, F. P. (2004). Drivers' hazard perception ability: Situation awareness on the road. In S. Banbury & S. Tremblay (Eds.), *A Cognitive Approach to Situation Awareness: Theory and Application* (pp. 155-175). Aldershot: Ashgate.
- Horswill, M. S., Taylor, K., Newnam, S., Wetton, M. A., & Hill, A. (2013). Even highly experienced drivers benefit from a brief hazard perception training intervention. *Accident Analysis & Prevention*, *52*, 100-110.
- Huestegge, L., Skottke, E.-M., Anders, S., Muesseler, J., & Debus, G. (2010). The development of hazard perception: Dissociation of visual orientation and hazard perception. *Transportation Research Part F*, *13*, 1-8.
- Hull, M. A., & Christie, R. J. (1993). The hazard perception test: The Geelong trial and future developments. In R. S. Division (Ed.), *VicRoads Report GR 93-113*. Melbourne, Australia: Road Safety Division.
- Isler, R. B., & Cockerton, C. (2003). *A computer-based interactive multimedia training CD-ROM for novice drivers in New Zealand*. Paper presented at the Proceedings of World Conference on Educational Multimedia Hypermedia and Telecommunications 2003, Chesapeake, VA.
- Isler, R. B., & Isler, N. M. (2011). *Free Online Training in Situation Awareness, Hazard Perception and Risk Management for Learner Drivers in New Zealand*. Paper presented at the Australian Road Safety Research, Policing and Education Conference, Perth, Australia.
- Isler, R. B., & Starkey, N. J. (2012). *Driver education and training as evidence-based road safety interventions*. Paper presented at the Wellington, NZ: Australasian Road Safety Research Policy Education Conference.
- Isler, R. B., Starkey, N. J., & Sheppard, P. (2011). Effects of higher-order driving skill training on young, inexperienced drivers' on-road driving performance. *Accident Analysis & Prevention*, *43*(5), 1818-1827.
- Isler, R. B., Starkey, N. J., & Williamson, A. R. (2009). Video-based road commentary training improves hazard perception of young drivers in a dual task. *Accident Analysis & Prevention*, *41*(3), 445-452.
- Ivancic, K., & Hesketh, B. (2000). Learning from errors in a driving simulation: Effects on driving skill and self-confidence. *Ergonomics*, *43*(12), 1966-1984.
- Jackson, L., Chapman, P., & Crundall, D. (2009). What happens next? Predicting other road users' behaviour as a function of driving experience and processing time. *Ergonomics*, *52*(2), 154-164. doi: 10.1080/00140130802030714
- Jamson, A. H., Merat, N., Carsten, O. M. J., & Lai, F. C. H. (2013). Behavioral changes in drivers experiencing highly-automated vehicle control in varying traffic conditions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *30*, 116-125.
- Janssen-Noordman, A., van Merriënboer, J., van der Vleuten, C., & Scherpbier, A. (2006). Design of integrated practice for learning professional competences. *Medical Teacher*, *28*(5), 447-452.
- Jonassen, D. H. (1997). Instructional design models for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, *45*(1), 65-94.

- Jürgensohn, T., Böhm, S., Gardas, D., & Stephani, T. (2018). Entwicklung der Fahr- und Verkehrskompetenz mit zunehmender Fahrerfahrung. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 280*. Bremen: Fachverlag in der Carl Ed. Schünemann KG.
- Kahneman, D., & Klein, G. (2009). Conditions for intuitive expertise: a failure to disagree. *American psychologist, 64*(6), 515.
- Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational Psychology Review, 19*(4), 509-539.
- Kalyuga, S. (2014). The expertise reversal principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (Vol. 2, pp. 576-597). NY: Cambridge University Press.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist, 38*, 23-32.
- Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J. E., & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology, 93*(3), 579.
- Kalyuga, S., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2012). Educational implications of expertise reversal effects in learning and performance of complex cognitive and sensorimotor skills. *Educational Psychological Review, 24*, 313-337.
- Kalyuga, S., & Sweller, J. (2014). The redundancy principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 247-262). NY: Cambridge University Press.
- Keskinen, E. (1996). Warum ist die Unfallrate junger Fahrer und Fahrerinnen höher? In BAST (Ed.), *Junge Fahrer und Fahrerinnen* (Vol. Berichte der BAST, Heft M52, pp. 42-53). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Keskinen, E., & Hernetkoski, K. (2011). Driver education and training. In B. E. Porter (Ed.), *Handbook of Traffic Psychology* (1st ed., pp. 403-422). New York: Academic Press, Elsevier Inc.
- Kiefer, M. (2002). Bewusstsein. In J. Müsseler & W. Prinz (Eds.), *Allgemeine Psychologie* (pp. 179-222). Heidelberg: Spektrum.
- Kirschner, P. A. (2009). Epistemology or pedagogy, that is the question. In S. Tobias & T. M. Duffy (Eds.), *Constructivist Instruction: Success or Failure?* (pp. 144-157). New York: Routledge.
- Klein, G. (1993). A recognition-primed decision (RPD) model of rapid decision making. In G. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood & C. E. Zsombok (Eds.), *Decision making in action: Models and methods*. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation.
- Klein, G. (1997). Developing expertise in decision making. *Thinking & Reasoning, 3*(4), 337-352.
- Klein, G. (1998). Sources of Power: How people make decisions. *MIT Press, , 13*.
- Klein, G. (2015). A naturalistic decision making perspective on studying intuitive decision making. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 4*(3), 164-168.
- Klein, G., Calderwood, R., & Clinton-Cirocco, A. (1986). *Rapid decision making on the fire ground*. Paper presented at the Proceedings of the human factors society annual meeting, CA: Los Angeles.
- Klein, G., Calderwood, R., & Clinton-Cirocco, A. (2010). Rapid decision making on the fire ground: The original study plus a postscript. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making, 4*(3), 186-209.

- Klopf, J. (2018). Die Verkehrspsychologie im transdisziplinären Spannungsfeld von Technik und Umwelt. Vom Wagenlenker der Antike zum autonomen Fahren – das neue Bewusstsein der Maschinen? *Psychologie in Österreich. Themenschwerpunkt Verkehrspsychologie*, 38, 7-18.
- Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119(2), 254-284.
- Koedinger, K. R., & Aleven, V. (2007). Exploring the assistance dilemma in experiments with cognitive tutors. *Educational Psychology Review*, 19(3), 239-264.
- Koepfen, K., Hartig, J., Klieme, E., & Leutner, D. (2008). Current issues in competence modeling and assessment. *Zeitschrift für Psychologie*, 216(2), 61-73.
- Kollar, I., & Fischer, F. (2011). Mediengestützte Lehr-, Lern- und Trainingsansätze für die Weiterbildung. In R. Tippelt & A. Hippel (Eds.), *Handbuch Erwachsenenbildung/Weiterbildung* (pp. 1017-1030). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kolodner, J. L. (1983). Towards an understanding of the role of experience in the evolution from novice to expert. *International Journal of Man-Machine Studies* 19, 497-518.
- Krems, J. F. (1997). Expertise und diagnostische Urteilsbildung. In K. Sonntag & N. Schaper (Eds.), *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz. Leistungskritisches Denken und Handeln in komplexen technischen Systemen* (pp. 77-94). Zürich: vdf.
- Krishnan, A., Samuel, S., Romoser, M., & Fisher, D. L. (2015). *A study to evaluate the effectiveness of a tablet-based training program for younger drivers: Addressing distraction head on*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, Los Angeles, CA.
- Krüger, H.-P. (2010). *Ursachenanalyse*. Paper presented at the 48. Deutscher Verkehrsgerichtstag in Goslar.
- Kyun, S., Kalyuga, S., & Sweller, J. (2013). The effect of worked examples when learning to write essays in English literature. *The Journal of Experimental Education*, 81(3), 385-408.
- Lames, M., & Werninger, L. (2011). Expertiseforschung – Was sagt sie uns für die Gestaltung von Talentfördersystemen der Zukunft. *Leistungssport*, 41(2), 24-29.
- Larkin, J., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208(4450), 1335-1342.
- Law, L.-C., & Wong, K.-M. P. (1996). Expertise und Instructional Design. In H. Gruber & A. Ziegler (Eds.), *Theoretische und Methodische Grundlagen* (pp. 115-147). Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Lemmer, K. (2016). *Neue autoMobilität: Automatisierter Straßenverkehr der Zukunft*: Herbert Utz Verlag.
- Lenné, M. G., Regan, M. A., Triggs, T., & Haworth, N. (2004). Review of recent research in applied experimental psychology: Implications for countermeasure development in road safety. *Monash University Accident Research Centre Reports*, 223, 112.
- Leppink, J., Paas, F., van Gog, T., van der Vleuten, C., & van Merriënboer, J. J. G. (2014). Effects of pairs of problems and examples on task performance and different types of cognitive load. *Learning and Instruction*, 30, 32-42.
- Leutner, D. (1992). *Adaptive Lehrsysteme - Instruktionspsychologische Grundlagen und experimentelle Analysen*. Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Leutner, D. (2010). Instruktionspsychologie. In D. H. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (Vol. 4, pp. 289-298). Weinheim: PVU.

- Leutner, D., & Brünken, R. (2002). Lehr-lernpsychologische Grundlagen des Erwerbs von Fahr- und Verkehrskompetenzen. In BAST (Ed.), *Zweite Internationale Konferenz "Junge Fahrer und Fahrerinnen"* (Vol. Berichte der BAST, Heft M 142, pp. 76-87). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Leutner, D., Brünken, R., & Willmes-Lenz, G. (2009). Fahren lernen und Fahrausbildung. In H.-P. Krüger (Ed.), *Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D: Praxisgebiete, Serie VI Verkehrspsychologie, Bd. 2 Anwendungsfelder der Verkehrspsychologie* (pp. 1-79). Göttingen: Hogrefe.
- Li, Q., & Tay, R. (2014). Improving drivers' knowledge of road rules using digital games. *Accident Analysis & Prevention, 65*, 8-10.
- Lipowsky, F. (2009). Unterricht. In E. Wild & J. Möller (Eds.), *Pädagogische Psychologie* (Vol. 2, pp. 69-105). Heidelberg: Springer.
- Lipshitz, R. (1993). Converging themes in the study of decision making in realistic settings. In G. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood & C. E. Zsombok (Eds.), *Decision Making in Action: Models and Methods*. Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Lowe, R. K. (2003). Animation and learning: Selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction, 13*(2), 157-176.
- Macnamara, B. N., Hambrick, D. Z., & Oswald, F. L. (2014). Deliberate practice and performance in music, games, sports, education, and professions: A meta-analysis. *Psychological Science, 25*(8), 1608-1618.
- Macnamara, B. N., Hambrick, D. Z., & Oswald, F. L. (2018). Corrigendum: Deliberate practice and performance in music, games, sports, education, and professions: A meta-analysis. *Psychological Science, 25*(8), 1608-1618.
- Malone, S., Biermann, A., & Brünken, R. (2012). The influence of presentation mode and hazard ambiguity on the domain specificity of hazard perception tasks. In N. A. Stanton (Ed.), *Advances in human aspects of road and rail transportation* (pp. 429-438): CRC Press.
- Malone, S., & Brünken, R. (2013). Assessment of driving expertise using multiple choice questions including static vs. animated presentation of driving scenarios. *Accident Analysis & Prevention, 51*, 112-119.
- Malone, S., & Brünken, R. (2014). Detection or appraisal – Do their eye movements reveal what causes novices' poor performance in a dynamic hazard perception test? In N. A. Stanton, S. Landry, G. Di Bucchianico & A. Vallicelli (Eds.), *Advances in Human Aspects of Transportation: Part III* (pp. 173 - 181).
- Malone, S., & Brünken, R. (2016). The role of ecological validity in hazard perception assessment. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 40*, 91-103.
- Malone, S., Hiltz, J., & Brünken, R. (2016). Ergebnisse aus der Gefahrenwahrnehmungsforschung und deren Implikation für Training und Praxis. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 62*(1), 7-12.
- Math, R., Mahr, A., Moniri, M. M., & Müller, C. (2012). *OpenDS: A new open-source driving simulator for research*. Paper presented at the AmE 2013, Dortmund.
- Mautone, P. D., & Mayer, R. E. (2001). Signaling as a cognitive guide in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology, 93*(2), 377-389.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist, 59*(1), 14.

- Mayer, R. E. (2008). Research-based principles for learning with animation. In R. K. Lowe & W. Schnotz (Eds.), *Learning with Animation. Research Implications for Design* (pp. 30-48). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2010). Applying the science of learning to medical education. *Medical Education*, 44(6), 543-549.
- McCartt, A. T., Mayhew, D. R., Braitman, K. A., Ferguson, S. A., & Simpson, H. M. (2009). Effects of age and experience on young driver crashes: Review of recent literature. *Traffic Injury Prevention*, 10(3), 209-219.
- McCartt, A. T., Shabanova, V. I., & Leaf, W. A. (2003). Driving experience, crashes and traffic citations of teenage beginning drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 35(3), 311-320.
- McDonald, A., Carney, C., & McGehee, D. V. (2018). Vehicle owners' experiences with and reactions to advanced driver assistance systems. Washington, DC: American Automobile Association Foundation for Traffic Safety.
- McDonald, C. C., Goodwin, A. H., Pradhan, A. K., Romoser, M., & Williams, A. F. (2015). A review of hazard anticipation training programs for young drivers. *Journal of Adolescent Health*, 57(1), S15-S23.
- McDonald, J. K., Yanchar, S. C., & Osguthorpe, R. T. (2005). Learning from programmed instruction: Examining implications for modern instructional technology. *Educational Technology Research and Development*, 53(2), 84-98.
- McGowan, A. M., & Banbury, S. P. (2004). Evaluating interruption-based techniques using embedded measures of driver anticipation. In S. Banbury & S. Tremblay (Eds.), *A Cognitive Approach to Situation Awareness: Theory and Application* (pp. 176-192). Aldershot, UK: Ashgate.
- McKenna, F. P. (2012). Young driver challenges. *Psychologist*, 25(9), 672-675.
- McKenna, F. P., & Crick, J. L. (1994). Hazard perception in drivers: A methodology for testing and training. Crowthorne, UK: Transport Research Laboratory.
- McKenna, F. P., & Crick, J. L. (1997). Developments in hazard perception. Crowthorne, UK: Transport Research Laboratory.
- McKenna, F. P., & Horswill, M. S. (1999). Hazard perception and its relevance for driver licensing. *IATSS Research*, 23(1), 36-41.
- McKenna, F. P., Horswill, M. S., & Alexander, J. L. (2006). Does anticipation training affect drivers' risk taking? *Journal of Experimental Psychology*, 12(1), 1-10.
- McKnight, A. J., & McKnight, S. A. (2003). Young novice drivers: careless or clueless? *Accident Analysis and Prevention*, 35, 921-925.
- McLaren, B. M., & Isotani, S. (2011). *When is it best to learn with all worked examples?* Paper presented at the International Conference on Artificial Intelligence in Education.
- Meir, A., Borowsky, A., & Oron-Gilad, T. (2014). Formation and evaluation of Act and Anticipate Hazard Perception Training (AAHPT) intervention for young novice drivers. *Traffic injury prevention*, 15(2), 172-180.
- Merrill, M. D. (2002). First principles of instruction. *Educational technology research and development*, 50(3), 43-59.
- Merrill, M. D. (2012). *First principles of instruction*: John Wiley & Sons.
- Meuleners, L., & Fraser, M. (2015). A validation study of driving errors using a driving simulator. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 29, 14-21.

- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: What do we know, what should we do? In L. Evans & R. C. Schwing (Eds.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 485-520). New York: Plenum Press.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, *63*, 81-97.
- Møller, M., & Gregersen, N. P. (2008). Psychosocial function of driving as predictor of risk-taking behaviour. *Accident Analysis & Prevention*, *40*(1), 209-215.
- Moosbrugger, H., & Kelava, A. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (Vol. 2). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Moran, C., Bennett, J. M., & Prabhakaran, P. (2019). Road user hazard perception tests: a systematic review of current methodologies. *Accident Analysis & Prevention*, *129*, 309-333.
- Mourant, R. R., & Rockwell, T. H. (1972). Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Human Factors*, *14*(4), 325-335.
- Nadolski, R. J., Kirschner, P. A., van Merriënboer, J. J. G., & Hummel, H. G. K. (2001). A model for optimizing step size of learning tasks in competency-based multimedia practicals. *Educational Technology Research and Development*, *49*(3), 87-101.
- Neumann, K., Kauertz, A., Lau, A., Notarp, H., & Fischer, H. E. (2007). Die Modellierung physikalischer Kompetenz und ihrer Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *13*, 101-121.
- Newell, A., & Rosenbloom, P. S. (1981). Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. *Cognitive skills and their acquisition*, *1*(1981), 1-55.
- Niegemann, H. M., Domagk, S., Hessel, S., & Hein, A. (2008a). Die Konzeption von E-Learning: Wissenschaftliche Theorien, Modelle und Befunde. *Kompodium multimediales Lernen*, 17-40.
- Niegemann, H. M., Domagk, S., Hessel, S., & Hein, A. (2008b). *Kompodium multimediales Lernen*. Berlin: Springer.
- Niegemann, H., & Niegemann, L. (2018). Design digitaler Aus- und Weiterbildungsszenarien. In H. Niegemann (Ed.), *Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung* (pp. 75-91). Berlin: Springer-Verlag.
- Nivelstein, F., Van Gog, T., Van Dijck, G., & Boshuizen, H. P. A. (2013). The worked example and expertise reversal effect in less structured tasks: Learning to reason about legal cases. *Contemporary Educational Psychology*, *38*(2), 118-125.
- Nückles, M., Hübner, S., Dümer, S., & Renkl, A. (2010). Expertise reversal effects in writing-to-learn. *Instructional Science*, *38*, 237-258.
- Onnasch, L., Wickens, C. D., Li, H., & Manzey, D. (2014). Human performance consequences of stages and levels of automation: An integrated meta-analysis. *Human Factors*, *56*(3), 476-488.
- Paas, F. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, *84*(4), 429-434.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational psychologist*, *38*(1), 1-4.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and Humans*, *30*(3), 286-297.
- Patel, V. L., & Arocha, J. F. (2001). The nature of constraints on collaborative decision making in health care settings. *Linking expertise and naturalistic decision making*, 383-405.

- Patel, V. L., & Groen, G. J. (1991). The general and specific nature of medical expertise: A critical look *Toward a general theory of expertise: Prospects and limits* (pp. 93-125).
- Patel, V. L., Groen, G. J., & Arocha, J. F. (1990). Medical expertise as a function of task difficulty. *Memory & Cognition*, 18(4), 394-406.
- Payre, W., Cestac, J., Dang, N.-T., Vienne, F., & Delhomme, P. (2017). Impact of training on in-vehicle task performance on manual control recovery in an automated car. *Transportation Research Part F*, 46, 216-227.
- Pelz, D. C., & Krupat, E. (1974). Caution profile and driving record of undergraduate males. *Accident Analysis & Prevention*, 6, 45-58.
- Petzoldt, T., Weiß, T., Franke, T., Krems, J. F., & Bannert, M. (2013). Can driver education be improved by computer based training of cognitive skills? *Accident Analysis & Prevention*, 50, 1185-1192.
- Pittenger, A. L., & Olson-Kellogg, B. (2012). Leveraging learning technologies for collaborative writing in an online pharmacotherapy course. *Distance Education*, 33(1), 61-80.
- Plomin, R., Shakeshaft, N. G., McMillan, A., & Trzaskowski, M. (2014). Nature, nurture, and expertise. *Intelligence*, 45, 46-59.
- Pollatsek, A., Narayana, V., Pradhan, A. K., & Fisher, D. L. (2006). Using eye movements to evaluate a pc-based risk awareness and perception training program on a driving simulator. *Human Factors*, 48, 447-464.
- Pollatsek, A., Vlakveld, W. P., Kappé, B., Pradhan, A., & Fisher, D. L. (2011). Driving simulators as training and evaluation tools: Novice drivers. In D. L. Fisher, M. Rizzo, J. K. Caird & J. D. Lee (Eds.), *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine, and Psychology* (pp. 30.31-30.18). Boca Raton, USA: CRC Press.
- Pollock, E., Chandler, P., & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12(1), 61-86.
- Pörksen, B. (2011). *Schlüsselwerke des Konstruktivismus*. Wiesbaden: Springer VS.
- Pradhan, A. K., Fisher, D. L., & Pollatsek, A. (2005). *The effects of PC-based training on novice drivers' risk awareness in a driving simulator*. Paper presented at the Proceedings of 3rd International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design. Rockport, Maine: USA.
- Pradhan, A. K., Fisher, D. L., Pollatsek, A., Knodler, M. A., & Langone, M. (2006). *Field evaluation of a risk awareness and perception training program for younger drivers*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Pradhan, A. K., Pollatsek, A., Knodler, M. A., & Fisher, D. L. (2009). Can younger drivers be trained to scan for information that will reduce their risk in roadway traffic scenarios that are hard to identify as hazardous? *Ergonomics*, 52(6), 657-673.
- Pradhan, A. K., Sullivan, J., Schwarz, C., Feng, F., & Bao, S. (2019). Training and education: Human factors considerations for automated driving systems. In G. Meyer & S. Beiker (Eds.), *Road Vehicle Automation 5* (pp. 77-84). Cham, Schweiz: Springer.
- Quimby, A. R., Maycock, G., Carter, I. D., Dixon, R., & Wall, J. G. (1986). *Perceptual abilities of accident involved drivers*. Crowthorne, Berkshire: Transport and Road Research Laboratory.
- Quimby, A. R., & Watts, G. R. (1981). *Human factors and driving performance*. Crowthorne, Berkshire: Transport and Road Research Laboratory.
- Ranney, T. A. (1994). Models of driving behavior: A review of their evolution. *Accident Analysis & Prevention*, 26(6), 733-750.

- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-13(3), 257-266.
- Regan, M. A., Triggs, T. J., & Godley, S. T. (2000a). *Evaluation of a novice driver CD-ROM based training program: A simulator study*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Regan, M. A., Triggs, T. J., & Godley, S. T. (2000b). *Simulator-based evaluation of the DriveSmart novice driver CD-ROM training product*. Paper presented at the Road Safety Research, Policing and Education Conference (26.-28. November, 2000), Brisbane, Queensland.
- Reigeluth, C. M. (1983). *Instructional-Design Theories and Models: An Overview of their Current Status*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Reigeluth, C. M. (1987). *Instructional Theories in Action. Lessons illustrating selected Theories and Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Reigeluth, C. M. (1999). *Instructional-Design Theories and Models. A New Paradigm of Instructional Theory (Vol. 2) (Vol. II)*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Reigeluth, C. M., Beatty, B. J., & Myers, R. D. (2017). *Instructional-Design Theories and Models. The Learner-centered Paradigm of Education (Vol. 4)*. New York: Routledge.
- Reigeluth, C. M., & Carr-Chellman, A. A. (2009a). *Instructional Design Theories and Models. Building a Common Knowledge Base. (Vol. 3)*. New York: Routledge.
- Reigeluth, C. M., & Carr-Chellman, A. A. (2009b). Understanding Instructional Theory. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-Design Theories and Models (Vol. 3, pp. 3-26)*. New York: Routledge.
- Reinmann, G. (2011). Didaktisches Design: Von der Lerntheorie zur Gestaltungsstrategie. In S. Schön & M. Ebner (Eds.), *Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien* (pp. 2-10).
- Reinmann, G., & Vohle, F. (2009). Digitale Medien in der Fahrausbildung: Einstieg in ein neues Forschungsfeld zum situierten Lernen. (Arbeitsbericht Nr. 25). Augsburg: Universität Augsburg, Medienpädagogik.
- Reisslein, J. (2005). *Learner achievement and attitudes under varying paces of transitioning to independent problem solving*. Arizona State University, Phoenix, Arizona.
- Renge, K. (2000). Effect of driving experience on drivers' decoding process of roadway interpersonal communication. *Ergonomics*, 43(1), 27-39.
- Renkl, A. (1996). Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. *Psychologische Rundschau*, 47(2), 78-92.
- Renkl, A. (2014a). Toward an instructionally oriented theory of example-based learning. *Cognitive Science*, 38(1), 1-37.
- Renkl, A. (2014b). The worked examples principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning (Vol. 2, pp. 391-412)*. NY: Cambridge University Press.
- Renkl, A., & Atkinson, R. K. (2003). Structuring the transition from example study to problem solving in cognitive skill acquisition: A cognitive load perspective. *Educational Psychologist*, 38(1), 15-22.
- Renkl, A., Atkinson, R. K., & Große, C. S. (2004). How fading worked solution steps works – a cognitive load perspective. *Instructional Science*, 32(1-2), 59-82.
- Renkl, A., Atkinson, R. K., Maier, U. H., & Staley, R. (2002). From example study to problem solving: Smooth transitions help learning. *The Journal of Experimental Education*, 70(4), 293-315.

- Renkl, A., Stark, R., Gruber, H., & Mandl, H. (1998). Learning from worked-out examples: The effects of example variability and elicited self-explanations. *Contemporary Educational Psychology*, 23(1), 90-108.
- Resnick, L. B. (1989). Introduction. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Ritter, F. E., Tehranchi, F., & Oury, J. D. (2019). ACT-R: A cognitive architecture for modeling cognition. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 10(3), 1-19.
- Rosenbloom, T., Perlman, A., & Pereg, A. (2011). Hazard perception of motorcyclists and car drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 43(3), 601-604.
- Ross, K. G., Lussier, J. W., & Klein, G. (2005). From the recognition primed decision model to training. In T. Betsch & S. Haberstroh (Eds.), *The Routines of Decision Making* (pp. 327-341). NY: Psychology Press.
- Rourke, A., & Sweller, J. (2009). The worked-example effect using ill-defined problems: Learning to recognise designers' styles. *Learning and Instruction*, 19(2), 185-199.
- Rouse, W. B., & Morris, N. M. (1985). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. *Psychological Bulletin*, 100(3), 349.
- Rumelhart, D. E. (1981). Schemata: the Building blocks of cognition. In J. T. Guthrie (Ed.), *Comprehension and Teaching: Research Reviews* (pp. 3-26): International Reading Association.
- Sagberg, F., & Bjørnskau, T. (2006). Hazard perception and driving experience among novice drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 38, 407-414.
- Salden, R., Alevin, V., Schwonke, R., & Renkl, A. (2010). The expertise reversal effect and worked examples in tutored problem solving. *Instructional Science* 38, 289-307.
- Salthouse, T. A. (1991). Expertise as the circumvention of human processing limitations. In K. A. Ericsson & J. Smith (Eds.), *Toward a General Theory of Expertise: Prospects and Limits* (pp. 286-300). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Salvendy, G. (2012). *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. NJ: John Wiley & Sons.
- Samuel, S., Zafian, T. M., Borowsky, A., Romoser, M., & Fisher, D. L. (2013). *Can young drivers learn to anticipate hidden hazards: A driving simulator study*. Paper presented at the Seventh International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design.
- Sarter, N. B., & Woods, D. D. (1995). How in the world did we ever get into that mode? Mode error and awareness in supervisory control. *Human Factors*, 37(1), 5-19.
- Schade, F.-D. (2001). Daten zur Verkehrsbewährung von Fahranfängern. Reanalyse von Rohdaten der Untersuchung Hansjosten, E., Schade, F.-D.(1997): Legalbewährung von Fahranfängern. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Reihe Mensch und Sicherheit. Heft M, 71*.
- Schaumburg, H., & Issing, L. J. (2004). Interaktives Lernen mit Multimedia. In R. Mangold, P. Vorderer & G. Bente (Eds.), *Lehrbuch der Medienpsychologie* (pp. 717-742). Göttingen: Hogrefe.
- Schlag, B. (2016). Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr – Offene Fragen aus Sicht der Psychologie. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 2(2016), 94-98.
- Schlag, B., & Weller, G. (2015). Verhaltenswissenschaftliche Aspekte von Fahrerassistenzsystemen. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Eds.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Schmidt, R. A., & Bjork, R. A. (1992). New conceptualizations of practice: Common principles in three paradigms suggest new concepts for training. *Psychological Science*, 3(4), 207-218.

- Schunk, D. H. (2012). *Learning theories: An educational perspective* (6th ed.). Boston: Pearson.
- Schwonke, R., Renkl, A., Krieg, C., Wittwer, J., Aleven, V., & Salden, R. (2009). The worked-example effect: Not an artefact of lousy control conditions. *Computers in Human Behavior, 25*(2), 258-266.
- Schwonke, R., Wittwer, J., Aleven, V., Salden, R. J. C. M., Krieg, C., & Renkl, A. (2007). *Can tutored problem solving benefit from faded worked-out examples*. Paper presented at the European Cognitive Science Conference.
- Scialfa, C. T., Borkenhagen, D., Lyon, J., & Deschênes, M. C. (2013). A comparison of static and dynamic hazard perception tests. *Accident Analysis and Prevention, 51*, 268-273.
- Scialfa, C. T., Borkenhagen, D., Lyon, J., Deschênes, M. C., Horswill, M. S., & Wetton, M. A. (2012). The effects of driving experience on responses to a static hazard perception test. *Accident Analysis and Prevention, 45*(0), 547-553.
- Scialfa, C. T., Deschênes, M. C., FERENCE, J., Boone, J., Horswill, M. S., & Wetton, M. A. (2011). A hazard perception test for novice drivers. *Accident Analysis and Prevention, 43*(1), 204-208.
- Scialfa, C. T., Pereverseff, R. S., & Borkenhagen, D. (2014). Short-term reliability of a brief hazard perception test. *Accident Analysis and Prevention, 73*(0), 41-46. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2014.08.007>
- Seufert, S., & Euler, D. (2005). *Learning Design: Gestaltung eLearning-gestützter Lernumgebungen in Hochschulen und Unternehmen (Vol. Arbeitsbericht 5)*. Universität st. Gallen: Swiss Centre for Innovations in Learning.
- Seufert, T., Jänen, I., & Brünken, R. (2007). The impact of intrinsic cognitive load on the effectiveness of graphical help for coherence formation. *Computers in Human Behavior, 23*, 1055-1071.
- Shahar, A., Poulter, D., Clarke, D., & Crundall, D. (2010). Motorcyclists' and car drivers' responses to hazards. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 13*(4), 243-254.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review, 84*(2), 127.
- Siegrist, S. (Ed.). (1999). *Driver Training, testing and licensing - towards theory-based management of young drivers' injury risk in road traffic. Results of EU-Project GADGET, Work Package 3*. Bern.
- Simon, H. A. (1973). The structure of ill structured problems. *Artificial intelligence, 4*(3-4), 181-201.
- Simon, H. A., & Chase, W. G. (1973). Skill in chess. *American Scientist, 61*, 394-403.
- Skinner, B. F. (1958). Teaching machines. *Science, 128*(3330), 969-977.
- Skinner, B. F. (1965). Review Lecture - The technology of teaching. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences, 162*(989), 427-443.
- Smith, S. S., Horswill, M. S., Chambers, B., & Wetton, M. A. (2009a). Hazard perception in novice and experienced drivers: The effects of sleepiness. *Accident Analysis and Prevention, 41*(4), 729-733.
- Smith, S. S., Horswill, M. S., Chambers, B., & Wetton, M. A. (2009b). *Sleepiness and hazard perception while driving*. Canberra, Australia: Department of Infrastructure, Transport, Regional Development and Local Government.
- Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, R. J., & Anderson, D. K. (1988). Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In V. Patel (Ed.), *Tenth annual conference of the Cognitive Science Society* (pp. 375-385). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Stark, R., Gruber, H., Renkl, A., & Mandl, H. (1998). Instructional effects in complex learning: Do objective and subjective learning outcomes converge? *Learning and Instruction*, 8(2), 117-129.
- Statistisches Bundesamt. (2017). Verkehrsunfälle. Unfälle von 18-24-Jährigen im Straßenverkehr, 2016 (erhältlich unter <http://www.destatis.de>). Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Steinbauer, C., Debus, S., Torsello, G., Steinbauer, M., & Adili, F. (2016). Instructional Design Modelle in der EVA-Weiterbildung. *Gefäßchirurgie*, 21(6), 433-436.
- Stoof, A., Martens, R. L., van Merriënboer, J. J. G., & Bastiaens, T. J. (2002). The boundary approach of competence: A constructivist aid for understanding and using the concept of competence. *Human Resource Development Review*, 1(3), 345-365.
- Sturzbecher, D. (2010). Methodische Grundlagen der praktischen Fahrerlaubnisprüfung. In D. Sturzbecher, J. Bönninger & M. Rüdell (Eds.), *Praktische Fahrerlaubnisprüfung - Grundlagen und Optimierungsmöglichkeiten*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Sturzbecher, D., Mörl, S., & Kaltenbaek, J. (2014). Optimierung der praktischen Fahrerlaubnisprüfung *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 243*. Bremen: Fachverlag NW.
- Sturzbecher, D., & Weiße, B. (2011). Möglichkeiten zur Modellierung und Messung von Fahrkompetenz. In TÜV/DEKRA arge tp 21 (Ed.), *Das Fahrerlaubnisprüfsystem und seine Entwicklungspotenziale - Innovationsbericht 2009/2010. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen* (Vol. Heft M 239). Bremerhaven: Wirtschaftsverlag.
- Sümer, N., Berfu, Ü. A., & Birdal, A. (2007). *Assessment of Hazard Perception Latencies using real life and animated traffic hazards: comparison of novice and experienced drivers*. Paper presented at the Fourth International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Stevenson, Washington.
- Susilo, A. P., van Merriënboer, J. J. G., van Dalen, J., Claramita, M., & Scherpbier, A. (2013). From lecture to learning tasks: Use of the 4C/ID model in a communication skills course in a continuing professional education context. *The Journal of Continuing Education in Nursing*, 44(6), 278-284.
- Sweller, J. (2004). Instructional design consequences of an analogy between evolution by natural selection and human cognitive architecture. *Instructional Science*, 32(1), 9-31.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York: Springer.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Tabbers, H. K., Martens, R. L., & van Merriënboer. (2004). Multimedia instructions and cognitive load theory: Effects of modality and cueing. *British Journal of Educational Technology*, 74(1), 71-81.
- Taylor, T. G. G., Masserang, K. M., Pradhan, A. K., Divekar, G., Samuel, S., Muttart, J. W., . . . Fisher, D. L. (2011). *Long term effects of hazard anticipation training on novice drivers measured on the open road*. Paper presented at the Proceedings of the International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design.
- Thomas, F. D., Korbela, K. T., Divekar, G., Blomberg, R. D., Romoser, M., & Fisher, D. L. (2017). Evaluation of an updated version of the risk awareness and perception training program for young drivers. Washington, DC, USA: National Highway Traffic Safety Administration.
- Thomas, F. D., Rilea, S., Blomberg, R. D., Peck, R. C., & Korbela, K. T. (2016). Evaluation of the safety benefits of the risk awareness and perception training program for novice teen drivers. Washington, DC, USA: National Highway Traffic Safety Administration.

- Tracey, T. J. G., Wampold, B. E., Lichtenberg, J. W., & Goodyear, R. K. (2014). Expertise in psychotherapy: An elusive goal? *American Psychologist*, *69*(3), 1-12.
- Trösterer, S., Meschtscherjakov, A., Mirnig, A. G., Lupp, A., Gärtner, M., McGee, F., . . . Engel, T. (2016, September 24-27). *What we can learn from pilots for handovers and (de)skilling in semi-autonomous driving: An interview study*. Paper presented at the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '17), Oldenburg, Germany.
- Twisk, D. A. M., & Stacey, C. (2007). Trends in young driver risk and countermeasures in European countries. *Journal of Safety Research*, *38*(2), 245-257.
- Underwood, G., Chapman, P., Brocklehurst, N., Underwood, J., & Crundall, D. (2003). Visual attention while driving: Sequences of eye fixations made by experienced and novice drivers. *Ergonomics*, *46*(6), 629-646.
- Underwood, G., Crundall, D., & Chapman, P. (2002). Selective searching while driving: The role of experience in hazard detection and general surveillance. *Ergonomics*, *1-12*.
- Underwood, G., Crundall, D., & Chapman, P. (2011). Driving simulator validation with hazard perception. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *14*, 436-446.
- Underwood, G., Ngai, A., & Underwood, J. (2013). Driving experience and situation awareness in hazard detection. *Safety Science*, *56*, 29-35.
- Unverricht, J., Samuel, S., & Yamani, Y. (2018). Latent hazard anticipation in young drivers: Review and meta-analysis of training studies. *Transportation Research Record*, *1-9*.
- van Gog, T. (2014). The signaling (or cueing) principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 263). NY: Cambridge University Press.
- van Gog, T., Kester, L., & Paas, F. (2011). Effects of worked examples, example-problem, and problem-example pairs on novices' learning. *Contemporary Educational Psychology*, *36*(3), 212-218.
- van Gog, T., & Rummel, N. (2010). Example-based learning: Integrating cognitive and social-cognitive research perspectives. *Educational Psychology Review*, *22*(2), 155-174.
- van Merriënboer, J. J. G. (1990). Strategies for programming instruction in high school: Program completion vs. program generation. *Journal of Educational Computing Research*, *6*(3), 265-285.
- van Merriënboer, J. J. G. (1997). *Training complex cognitive skills: A four-component instructional design model for technical training*. NJ, USA: Educational Technology Publications.
- van Merriënboer, J. J. G. (2013). Perspectives on problem solving and instruction. *Computers & Education*, *64*, 153-160.
- van Merriënboer, J. J. G., & Boot, E. W. (2009). Research on past and current training in professional domains: The emerging need for a paradigm shift. In K. A. Ericsson (Ed.), *Development of Professional Expertise: Toward Measurement of Expert Performance and Design of Optimal Learning Environments* (pp. 131-156). NY: Cambridge University Press.
- van Merriënboer, J. J. G., Clark, R. E., & de Croock, M. (2002). Blueprints for complex learning: The 4C/ID-model. *Educational Technology Research and Development*, *50*(2), 39-61.
- van Merriënboer, J. J. G., & Dijkstra, S. (1997). The four-component instructional design model for training complex cognitive skills. In R. D. Tennyson, F. Schott, N. Seel & S. Dijkstra (Eds.), *Instructional Design: International Perspectives. Theory, Research and Models* (Vol. 1, pp. 427-446). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- van Merriënboer, J. J. G., Gros, B., & Niegemann, H. (2018). Instructional design in Europe: trends and issues. In R. A. Reiser & J. V. Dempsey (Eds.), *Trends and Issues in Instructional Design and Technology* (4th ed.). NY: Pearson.
- van Merriënboer, J. J. G., Jelsma, O., & Paas, F. (1992). Training for reflective expertise: A four-component instructional design model for complex cognitive skills. *Educational Technology Research and Development*, 40(2), 23-43.
- van Merriënboer, J. J. G., & Kester, L. (2014). The four-component instructional design model: Multimedia principles in environments for complex learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (Vol. 2, pp. 104-148). NY: Cambridge University Press.
- van Merriënboer, J. J. G., Kester, L., & Paas, F. (2006). Teaching complex rather than simple tasks: Balancing intrinsic and germane load to enhance transfer of learning. *Applied Cognitive Psychology*, 20(3), 343-352.
- van Merriënboer, J. J. G., & Kirschner, P. A. (2001). Three worlds of instructional design: State of the art and future directions. *Instructional Science*, 29(4-5), 429-441.
- van Merriënboer, J. J. G., & Kirschner, P. A. (2007). *Ten steps to complex learning: A systematic approach to four-component instructional design* (Vol. 1). New York and London: Routledge: Taylor & Francis Group.
- van Merriënboer, J. J. G., & Kirschner, P. A. (2018). *Ten steps to complex learning. A systematic approach to four-component instructional design* (Vol. 3rd). New York: Routledge: Taylor & Francis Group.
- van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A., & Kester, L. (2003). Taking the Load Off a Learner's Mind: Instructional Design for Complex Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 5-13.
- van Merriënboer, J. J. G., & Krammer, H. P. M. (1990). *The "completion strategy" in programming instruction: Theoretical and empirical support*. NJ: Englewood Cliffs.
- van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (1990). Automation and schema acquisition in learning elementary computer programming: Implications for the design of practice. *Computers in Human Behavior*, 6(3), 273-289.
- van Merriënboer, J. J. G., Schuurman, J. G., de Croock, M., & Paas, F. (2002). Redirecting learners' attention during training: Effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, 12(1), 11-37.
- van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177.
- Vandewaetere, M., Manhaeve, D., Aertgeerts, B., Clarebout, G., van Merriënboer, J. J. G., & Roex, A. (2015). 4C/ID in medical education: How to design an educational program based on whole-task learning: AMEE Guide No. 93. *Medical Teacher*, 37(1), 4-20.
- Ventsislavova, P., Gugliotta, A., Peña-Suarez, E., Garcia-Fernandez, P., Eisman, E., Crundall, D., & Castro, C. (2016). What happens when drivers face hazards on the road? *Accident Analysis & Prevention*, 91, 43-54.
- Verheyden, G., Handgraaf, M., Demirci, A., & Grüneberg, C. (2011). The future of physiotherapy education: Towards a translational model of learning complex skills. *Physiotherapy Research International*, 16(4), 187-190.
- Vlakveld, W. P. (2004). *New policy proposals for novice drivers in the Netherlands*. Paper presented at the Behavioural Research in Road Safety: Fourteenth Seminar.

- Vlakveld, W. P. (2014). A comparative study of two desktop hazard perception tasks suitable for mass testing in which scores are not based on response latencies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 22, 218-231.
- Vlakveld, W. P., Romoser, M., Mehranian, H., Diete, F., Pollatsek, A., & Fisher, D. L. (2011). Do crashes and near crashes in simulator-based training enhance novice drivers' visual search for latent hazards? *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (2265), 153-160.
- Wallace, P. R. (1992). An incremental transfer approach to instructional design. *Educational technology for the clever country: Selected papers from EdTech*, 92, 151-155.
- Wallace, P. R., Haworth, N., & Regan, M. A. (2005). Best training methods for teaching hazard perception and responding by motorcyclists. Clayton, Victoria: Monash University Accident Research Centre.
- Wallis, T. S. A., & Horswill, M. S. (2007). Using fuzzy signal detection theory to determine why experienced and trained drivers respond faster than novices in a hazard perception test. *Accident Analysis & Prevention*, 39(6), 1177-1185.
- Wang, Y., Zhang, W., & Salvendy, G. (2010). Effects of a simulation-based training intervention on novice drivers' hazard handling performance. *Traffic injury prevention*, 11(1), 16-24.
- Weiß, T., Bannert, M., Petzoldt, T., & Krems, J. F. (2009). Computergestuetzte Medien und Fahrsimulatoren in Fahrausbildung, Fahrerweiterbildung und Fahrerlaubnispruefung. *Berichte der Bundesanstalt fr Straßenwesen. Unterreihe Mensch und Sicherheit*(202).
- Weiß, T., Petzoldt, T., Bannert, M., & Krems, J. F. (2013). Calibration as side effect? Computer-based learning in driver education and the adequacy of driving-task-related self-assessments. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 17, 63-74.
- Weißgerber, T., Grattenthaler, H., & Hoffmann, H. (2019). Einfluss zunehmender Fahrzeugautomatisierung auf Fahrkompetenz und Fahrkompetenzerwerb *Berichte der Bundesanstalt fr Straßenwesen, Reihe Fahrzeugtechnik, Heft F 126*. Bremen: Fachverlag NW.
- Wetton, M. A., Hill, A., & Horswill, M. S. (2011). The development and validation of a hazard perception test for use in driver licensing. *Accident Analysis & Prevention*, 43(5), 1759-1770. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2011.04.007>
- Wetton, M. A., Hill, A., & Horswill, M. S. (2013). Are what happens next exercises and self-generated commentaries useful additions to hazard perception training for novice drivers? *Accident Analysis & Prevention*, 54(0), 57-66.
- Wetton, M. A., Horswill, M. S., Hatherly, C., Wood, J. M., Pachana, N. A., & Anstey, K. J. (2010). The development and validation of two complementary measures of drivers' hazard perception ability. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 1232-1239.
- Wiener, E. L., & Curry, R. E. (1980). Flight-deck automation: Promises and problems. *Ergonomics*, 23(10), 995-1011.
- Williams, A. F. (2003). Teenage drivers: patterns of risk. *Journal of Safety Research*, 34, 5-15.
- Williams, A. F. (2006). Young driver risk factors: Successful and unsuccessful approaches for dealing with them and an agenda for the future. *Injury Prevention*, 12(suppl 1), i4-i8.
- Williams, A. F., & O'Neill, B. (1974). On-the-road driving records of licensed race drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 6(3-4), 263-270.
- Williams, A. F., & Tefft, B. C. (2014). Characteristics of teens-with-teens fatal crashes in the united states, 2005–2010. *Journal of Safety Research*, 48, 37-42.

- Williams, A. M., Fawver, B., & Hodges, N. J. (2017). Using the "expert performance approach" as a framework for improving understanding of expert learning. *Frontline Learning Research*, 5(3), 64-79.
- Willis, D. K. (1998). *The impetus for the development of a new risk management training program for young teen drivers*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Willmes-Lenz, G. (2002). Internationale Erfahrungen mit neuen Ansätzen zur Absenkung des Unfallrisikos junger Fahrer und Fahranfänger. Analyse der Voraussetzungen einer Übertragbarkeit auf Deutschland unter besonderer Berücksichtigung der Unfallentwicklung in den ersten Monaten nach dem Fahrerlaubniserwerb. Bergisch-Gladbach: BAST.
- Willmes-Lenz, G. (2010). Unfallrisiko "Junge Fahrer" - neue Lösungsansätze. Arbeitskreis VII. Unfallrisiko "Junge Fahrer". *Deutscher Verkehrsgerichtstag - Deutsche Akademie für Verkehrswissenschaften e.V. -Tagungsband zum 48. Deutschen Verkehrsgerichtstag 2010* (Vol. Köln): Luchterhand.
- Young, A. H., Chapman, P., & Crundall, D. (2014). Producing a commentary slows concurrent hazard perception responses. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 20(3), 285-294.
- Young, A. H., Crundall, D., & Chapman, P. (2017). Commentary driver training: Effects of commentary exposure, practice and production on hazard perception and eye movements. *Accident Analysis & Prevention*, 101, 1-10.
- Young, M. S., & Stanton, N. A. (2002). Attention and automation: New perspectives on mental underload and performance. *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 3(2), 178-194.
- Zafian, T. M., Agrawal, R., & Samuel, S. (2017). *On-road assessment of retention effects on hazard anticipation training for novice drivers*. Paper presented at the 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.
- Zafian, T. M., Samuel, S., Borowsky, A., & Fisher, D. L. (2014). *Can young drivers be trained to better anticipate hazards in complex driving scenarios? A driving simulator study*. Paper presented at the Paper presented at the Transportation Research Board 93rd Annual Meeting.
- Zafian, T. M., Samuel, S., Coppola, J., O'Neill, E. G., Romoser, M. , & Fisher, D. L. (2016). *On-road effectiveness of a tablet-based teen driver training intervention*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting.
- Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2015). What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. *Accident Analysis and Prevention*, 78, 212-221.
- Zhang, B., De Winter, J. C. F., Varotto, S., Happee, R., & Martens, M. H. (2019). Determinants of take-over time from automated driving: A meta-analysis of 129 studies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 64, 285-307.

Anhang A: Materialien Studie 1

Computerbasierter Test

Instruktion 1: Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer, zunächst einmal vielen Dank für Deine Teilnahme an unserem Forschungsprojekt. Unser Ziel ist es, ein Übungsprogramm zur Verbesserung bestimmter Fahrfähigkeiten zu entwickeln.

Der Test besteht aus zwei Teilen: Im ersten Teil wirst Du einige Fragen zu Deiner Person beantworten. Im zweiten Teil des Tests bearbeitest Du Aufgaben aus dem Bereich der Gefahrenlehre. Jeder Testteil wird Dir vorher genau erklärt. Solltest Du dennoch Probleme oder Fragen haben, melde Dich bitte beim Testleiter. Um mit dem Fragebogen zu beginnen, drücke jetzt bitte auf Start!

Instruktion 2: Um Deine Daten bei der Auswertung einander einwandfrei zuordnen zu können, benötigen wir zunächst einen Code von Dir. Dieser setzt sich aus 3 Buchstaben und 4 Ziffern zusammen. Bitte wähle aus dem jeweiligen Menü die entsprechenden Angaben aus.

Anfangsbuchstabe des Vornamens Deiner Mutter —
Anfangsbuchstabe des Vornamens Deines Vaters —
Anfangsbuchstabe Deines Geburtsortes —

Bitte gib nun noch den Monat und das Jahr Deiner Geburt an! Wähle hierzu aus dem Menü die entsprechenden Angaben aus!

Dein Geburtsmonat —
Dein Geburtsjahr —

Instruktion 3: Bevor es nun mit dem Programm losgeht, bitten wir Dich noch, einige Angaben zu Deiner Person und Deiner bisherigen Fahrpraxis zu machen. Bitte beantworte alle Fragen, da Du nur dann im Programm fortfahren kannst.

F1. Geschlecht: männlich
 weiblich

F2. Höchster Bildungsabschluss: Hauptschulabschluss
 Realschulabschluss
 Fachschulabschluss
 Abitur/ Fachhochschulreife
 Hochschulabschluss
 kein Abschluss

F3. Welche der folgenden Angaben trifft zu?

zurzeit SchülerIn
 zurzeit in der Lehre als:
 in sonstiger Berufsausbildung (z. B. Fachschule) als:
 voll berufstätig (ganztätig aber nicht als Lehrling) als:
 teilweise berufstätig (halbtags, stundenweise) als:
 StudentIn Studienfach:
 ohne Anstellung

- F4: Wohnortgröße:** bis 5.000 Einwohner (Dorf)
 5.000 – 20.000 Einwohner (Kleinstadt; z. B. Dudweiler, Künzelsau)
 20.000 – 100.000 Einwohner (mittelgroße Stadt; z. B. St. Ingbert)
 mehr als 100.000 Einwohner (Großstadt; z. B. Saarbrücken, Stuttgart)

F5: Ich habe eine Sehschwäche:

Ja Nein

F6: Ich trage gerade eine Sehhilfe (z. B. Lesebrille, Kontaktlinsen):

Ja Nein

F7: Ich besitze eine Fahrerlaubnis der Klasse B (PKW-Klasse):

Ja Nein

F8: Meine Fahrerlaubnis der Klasse B (z. B. PKW-Klasse) habe ich gemacht am:

__ - __ - ____ (Tag, Monat, Jahr)

F9: Ich besitze eine Fahrerlaubnis für folgende Klassen (mehrere Antworten möglich):

- Klasse AM (Kleinkrafträder, Fahrräder mit Hilfsmotor)
 Klasse A1 (Krafträder); A2, A (Motorräder)
 Klasse B96, BE (Zugfahrzeuge)
 Klasse L, T (Zugmaschinen, Sonderklasse für Land- und Forstwirtschaft)
 besitze keine weitere Fahrerlaubnis

F10: Ich nehme im Moment am Begleiteten Fahren ab 17 teil oder habe daran teilgenommen:

Ja Nein

F11: Ich bin noch in der zweijährigen Probezeit:

Ja Nein

F12: Ich war bisher Fahrer von Kleinkrafträdern/ Mopeds/ Mokicks (Klasse AM):

- noch nie
 ca. 1 bis 2 Mal in der Woche
 fast täglich

F13: Ich habe noch keine Fahrerlaubnis Klasse B,

- bin aber gerade dabei, sie zu erwerben
 erwerbe sie aber voraussichtlich in den nächsten 6 Monaten
 erwerbe sie später oder gar nicht

F14: Anzahl meiner Theoriestunden bisher:

F15: Die folgenden Aussagen beziehen sich auf Deine praktische Ausbildung in der Fahrschule für den PKW-Führerschein:

Ich hatte bisher insgesamt _____ praktische Fahrstunden. Davon waren
_____ Stunden Überlandfahrten
_____ Stunden Autobahnfahrten
_____ Beleuchtungs- bzw. Nachtfahrten
_____ Stunden unter Schlechtwetterbedingungen (Regen, Schnee, Nebel etc.)

F16: Mir steht ein Pkw zum Fahren zur Verfügung

Ja Nein

F17: Seit meinem Fahrerlaubniserwerb bin ich insgesamt ca.

_____ km mit dem Pkw gefahren.

F18: Innerhalb einer Woche (einschließlich Wochenende) fahre ich normalerweise ca.

_____ km mit dem Pkw.

F19: Zu besonderen Gelegenheiten (längere Fahrten z. B. in den Urlaub) bin ich bisher als Fahrer ca.

_____ km mit dem Pkw gefahren.

F20: Ich habe schon einmal ein freiwilliges Fahrsicherheitstraining für Pkw absolviert.

Ja Nein Wann? ___ - _____ (Monat, Jahr)

F21: Ich musste Verwarnungsgeld (bis maximal 40 Euro, z. B. wegen falschen Parkens) bezahlen:

_____ mal in den letzten 6 Monaten
_____ mal seit Führerscheinerhalt

F22: Ich habe schon einmal einen kleineren Unfall verursacht, bei dem es nicht erforderlich war, die Polizei hinzuzuziehen.

_____ mal in den letzten 6 Monaten
_____ mal seit Führerscheinerhalt

F23: Ich habe schon einmal einen Unfall verursacht, bei dem die Höhe des Sachschadens aller Beteiligten 500 Euro oder mehr betrug.

_____ mal in den letzten 6 Monaten
_____ mal seit Führerscheinerhalt

F24: Ich habe schon einmal einen Unfall verursacht, bei dem eine oder mehrere Personen verletzt wurden und zum Arzt oder ins Krankenhaus mussten.

_____ mal in den letzten 6 Monaten
_____ mal seit Führerscheinerhalt

F25: Wie oft nutzt Du einen PC?

- täglich
- wöchentlich
- seltener als einmal in der Woche

Instruktion 4 (Reaktionszeittest): Es folgt nun eine Aufgabe, mit der Deine allgemeine Reaktionsfähigkeit getestet werden soll. Auf dem Bildschirm wird in unregelmäßigen Zeitabständen ein schwarzes Kreuz zu sehen sein. Deine Aufgabe ist es, 1x so schnell wie möglich die Leertaste zu drücken, sobald das schwarze Kreuz erscheint. Um nun mit der Aufgabe zu beginnen, drücke bitte auf Start!

Instruktion 5 (Testszenarien): Im Folgenden siehst Du 15 Videos von verschiedenen Verkehrssituationen. Du bist der Fahrer und Deine Aufgabe ist es, so schnell wie möglich die Leertaste zu drücken, sobald Du einen Hinweis erkennst, dass Du deine Geschwindigkeit reduzieren solltest. Das heißt, immer dann, wenn Du das Gefühl hast „jetzt müsste ich aber bremsen, um noch genügend Abstand zum Vordermann zu haben, oder ich fahre zu schnell, oder hier muss ich aufgrund der Verkehrsregelung/ der Witterungsverhältnisse/ Fahrbahnbeschaffenheit usw. bremsen“ solltest Du die **Leertaste 1x** drücken.

Nicht in jedem Video ist es notwendig, die Geschwindigkeit zu reduzieren. In einigen Fällen kann sie auch beibehalten werden. Maximal 3x muss pro Video die Leertaste gedrückt werden. Beim Abbiegen oder beim Einfahren in einen Kreisverkehr bspw. wird die Geschwindigkeit automatisch reduziert, das heißt in diesem Fall muss die Leertaste **nicht** gedrückt werden.

Unabhängig davon, ob Du reagiert hast oder nicht, läuft das Video bis zum Ende weiter. Dass Du gebremst hast, merkst Du daran, dass der Bildschirmrand gelb aufleuchtet.

Zum jeweils nächsten Video gelangst Du mit der Taste **Start**. Das erste Video ist eine Beispielaufgabe, damit Du ein Gefühl dafür bekommst, was Du tun sollst. Drücke bitte jetzt auf **Start**, um mit der Aufgabe zu beginnen!

Nach der Präsentation des Beispieltens folgen die Aufgaben A1 bis A15 in randomisierter Reihenfolge.

Instruktion 6: Geschafft! Vielen Dank fürs Mitmachen.

Anhang B: Materialien Studie 2

Computerbasiertes Lern- und Testprogramm

Instruktion 1: Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer! Zunächst erst einmal vielen Dank fürs Mitmachen in unserem Forschungsprojekt. Unser Ziel ist es herauszufinden, wie Lernmaterialien gestaltet sein sollten, um Fahrschüler optimal beim Lernen zu unterstützen. Hierfür haben wir ein Lernprogramm mit Aufgaben aus dem Bereich der Gefahrenlehre entwickelt.

Bevor es mit dem Lernprogramm losgeht, möchten wir zunächst von Dir wissen, wie viel Vorerfahrungen Du mitbringst. Außerdem werden noch Daten zu Deiner Person erfasst. Alle diese Daten dienen ausschließlich Forschungszwecken und werden anonym behandelt.

Das gesamte Programm besteht aus mehreren Testteilen. Jeder Testteil wird zu Beginn genau erklärt. Solltest Du dennoch Probleme haben, etwas zu verstehen, wende Dich bitte an den Testleiter! Um jetzt mit dem Fragebogen zu beginnen, drücke bitte auf Start!

Instruktion 2 und 3: siehe Studie 1

F1 bis F24: siehe Studie 1

F25: Deutsch ist meine Muttersprache:

Ja Nein wenn Nein, wie schätzt du dich selbst ein:
Wie gut sprichst du Deutsch? sehr gut/ gut/ ausreichend/ eher schlecht/ schlecht

F26: Wie oft nutzt Du Computer: täglich mehrere Stunden
 einmal täglich
 mehrmals pro Woche
 einmal pro Woche
 einmal pro Monat
 seltener als einmal pro Monat

Instruktion 4 (Vorwissenstest): Die nächsten Aufgaben dienen dazu, einschätzen zu können wie viel Erfahrung du bereits im Straßenverkehr gesammelt hast, z. B. als Rad- oder Mopedfahrer oder als Mitfahrender im Auto deiner Eltern. Beantworte hierzu bitte folgende 5 Fragen.

Darbietung des Vorwissenstests mit den Fragen 1.1.01-001, 1.2.11-003, 1.3.01-002, 1.3.01-003 und 1.7.01-003 aus dem Amtlichen Fragenkatalog.

Instruktion 5 (Reaktionszeittest): Es folgt nun eine Aufgabe, mit der Deine allgemeine Reaktionsfähigkeit getestet werden soll. Auf dem Bildschirm wird in unregelmäßigen Zeitabständen und an unterschiedlichen Orten ein schwarzes Kreuz zu sehen sein. Deine Aufgabe ist es, 1x so schnell wie möglich die Leertaste zu drücken, sobald das schwarze Kreuz erscheint. Um nun mit der Aufgabe zu beginnen, drücke bitte auf Start!

Instruktion 6 (Demovideo): Bevor Du nun mit dem Lernprogramm beginnst, hier noch ein paar Tipps zum Umgang mit den Lernmaterialien in Form eines Demovideos. Setz Dir bitte die Kopfhörer auf und klicke auf das Demovideo, um Dir anzuschauen, wie die Lernaufgaben aufgebaut sind und wie Du sie zum Lernen nutzen kannst.

Präsentation des Demovideos.

Instruktion 7: Das Demovideo darfst Du Dir gerne auch ein zweites Mal anschauen. Wenn Du Dir aber sicher bist, dass Du alles verstanden hast, Drücke auf Weiter, um mit dem Lernprogramm zu beginnen!

Lernphase: Ablauf pro Item:

- Standbild und Nennung des Themas (vgl. Abb. 21)
- Kurzbeschreibung inkl. Draufsicht zur Fahrscene und Lerntext (vgl. Abb. 22 und Abb. 23 für Alternativ-Text)
- Lernvideo zur Veranschaulichung der Fahrscene (PI siehe Abb. 24)
- Testvideo

Instruktion 8 (Testvideo): Überprüfe nun, was Du gelernt hast! Deine Aufgabe ist es, im nachfolgenden Video **1x** die **Leertaste zu drücken**, sobald Du als Fahrer einen Hinweis darauf erkennst, dass Du bremsen solltest. Aber Achtung: Schummeln lohnt sich nicht! Wenn Du zu früh oder öfter als 1x die Leertaste drückst, bekommst Du keinen Punkt für die Lösung der Aufgabe.

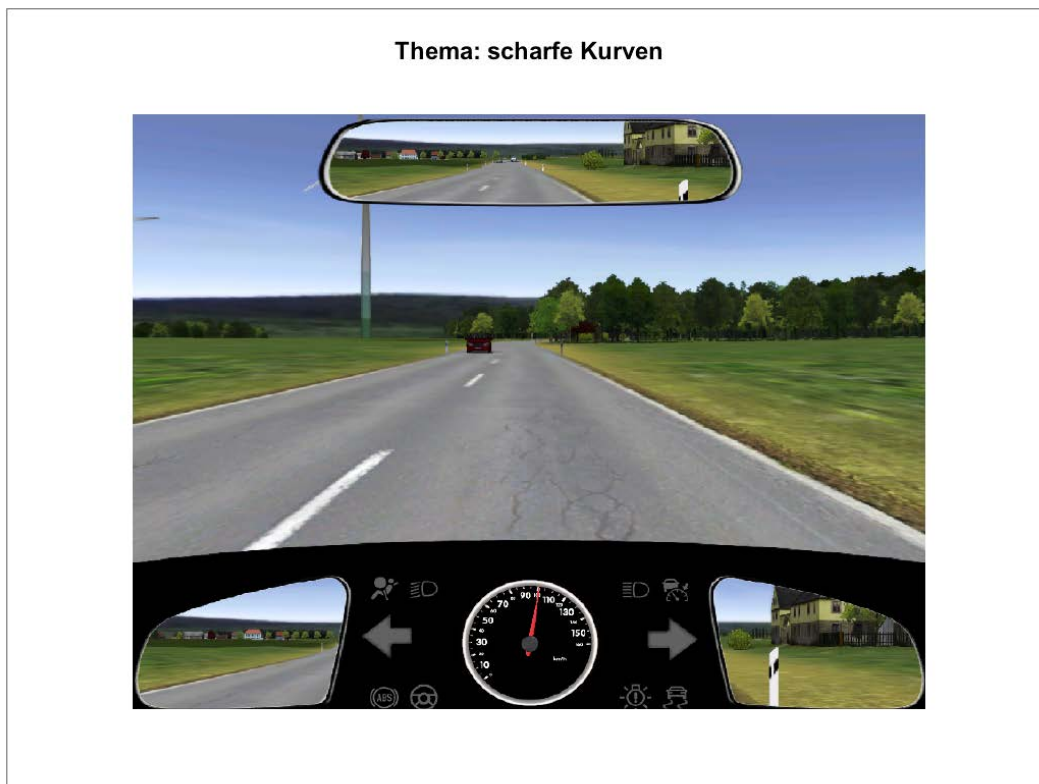


Abbildung 21: Screenshot zu Standbild Item A6

In der folgenden Aufgabe fährst du auf einer Landstraße. Vor dir liegt eine langgezogene, scharfe Rechtskurve. In der Kurve nähерst du dich einem Mopedfahrer, der deutlich langsamer fährt als du.



Kurven verhindern oft eine **weite Sicht nach vorne**, sodass du Vorausfahrende erst sehr spät erkennst. Das kann schnell gefährlich für dich werden. Vor allem in ländlichen Gebieten musst du **mit langsamen** und überbreiten landwirtschaftlichen **Fahrzeugen** (z. B. Traktoren) **rechnen** und in Waldstücken auch mit Wild (z. B. Rehe) auf der Fahrbahn.

Sogenannte Richtungstafeln (siehe unten) weisen dich darauf hin, dass gleich eine besonders scharfe und gefährliche Kurve vor dir liegt. Stell dich in solchen Kurven darauf ein, dass

- **hinter der Kurve ein deutlich langsames Fahrzeug** ist und du vielleicht bremsen musst, um nicht aufzufahren.
- Rechne auch damit, dass dein **Gegenverkehr** zu schnell unterwegs ist und **die Kurve schneidet**.

Unfallstatistiken zeigen, dass sehr viele Unfälle in Kurven passieren, meistens durch überhöhte Geschwindigkeit. Solange keine Geschwindigkeitsbegrenzung vorgegeben ist, darfst du **außerhalb von Ortschaften 100 km/h** fahren. **Bei uneinsichtigen Kurven**, wie hier im Bild, ist es ratsam, möglichst **frühzeitig vom Gas** zu gehen und **nicht schneller als 60 km/h** zufahren. Dann bleibt dir noch genügend Zeit, auf Gefahren zu reagieren.



Richtungstafeln in Kurven

weiter

Abbildung 22: Screenshot Lerntext (EG) Item A6

In der folgenden Aufgabe fährst du auf einer Landstraße. Vor dir liegt eine langgezogene, scharfe Rechtskurve. In der Kurve nähерst du dich einem Mopedfahrer, der deutlich langsamer fährt als du.



Manche Vorschriften gelten außerorts (auf Landstraßen) und innerorts gleichermaßen; z. B. das Verbot, andere Verkehrsteilnehmer zu gefährden oder zu behindern. Es gibt aber auch eine Reihe spezieller Vorschriften für das Benutzen von Landstraßen:

- Auf Vorfahrtstraßen außerhalb geschlossener Ortschaften ist es z. B. verboten, das Fahrzeug abzustellen oder zu parken.
- Auf Vorfahrtstraßen innerhalb geschlossener Ortschaften darf die Hupe bzw. Lichthupe (kurzes Auf- und Abblenden) nicht als Überholsignal benutzt werden; außerhalb geschlossener Ortschaften ist das aber erlaubt. Wenn man z. B. erkennt, dass das Fahrzeug, das man gerade überholt, immer mehr auf die eigene Seite kommt (weil der Fahrer nicht gemerkt hat, dass er überholt wird), kann es sinnvoll sein, die Hupe oder Lichthupe als Überholsignal einzusetzen.
- Sind außerorts mehrere Fahrstreifen für die eigene Richtung vorgesehen, darf der Fahrstreifen nicht, wie das innerorts der Fall ist, frei gewählt werden. Außerhalb geschlossener Ortschaften muss man sich an das Rechtsfahrgebot halten und darf den linken Fahrstreifen nur dann benutzen, wenn rechts langsamere Fahrzeuge fahren und diese überholt werden dürfen.

weiter

Abbildung 23: Screenshot Lerntext (KG) Item A6



Abbildung 24: Standbild aus dem Lernvideo von Item A6, inkl. Prozeduraler Informationen

Instruktion 9 (Wissenstest): Im folgenden Teil wirst Du Aufgaben aus dem Bereich Gefahrenlehre bearbeiten. Klicke hierfür jeweils die Deiner Meinung nach richtigen Antworten an. Es können immer eine, mehrere oder alle Antworten richtig sein.

Zu einigen Aufgaben siehst Du ein Bild oder Video. Bilder und Videos musst Du zunächst vergrößern, indem Du die dafür vorgesehene Taste drückst. Um das Bild wieder zu verkleinern, klicke einfach auf das Bild.

Du musst erst die Frage beantworten, um zur nächsten Seite zu gelangen. Du kannst im Test nicht zurückgehen.

Es folgt ein Wissenstest mit den Aufgaben 1.1.02-037, 1.2.04-101, 2.2.18-006, 1.1.05-102-M, 1.1.04-107, 1.1.01-101, 1.2.09-123, 1.2.04-102, 1.1.07-021, 1.1.02-124-M, und 2.1.08-001 aus dem Amtlichen Fragenkatalog.

Instruktion 10: Geschafft! Vielen Dank fürs Mitmachen.

Anhang C: Materialien Studie 3

I. Computerbasierter Testteil – Fragebogen, Reaktionszeittest, Wissenstest

Instruktion 1: Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer, zunächst einmal vielen Dank fürs Mitmachen in unserem Forschungsprojekt. Unser Ziel ist es herauszufinden, wie Lernmaterialien gestaltet sein sollten, um Fahrschüler oder Personen, die ihren Führerschein gerade erst erworben haben, beim Lernen optimal zu unterstützen. Hierfür haben wir ein Lernprogramm mit Aufgaben aus dem Bereich der Gefahrenlehre entwickelt.

Bevor es mit dem Lernprogramm losgeht, möchten wir zunächst von Dir wissen, wie viel Vorerfahrungen Du mitbringst. Außerdem werden noch Daten zu Deiner Person erfasst. Alle diese Daten dienen ausschließlich Forschungszwecken und werden anonym behandelt.

Das gesamte Programm besteht aus mehreren Testteilen. Jeder Testteil wird zu Beginn genau erklärt. Solltest Du dennoch Probleme haben, etwas zu verstehen, wende Dich bitte an den Testleiter! Um jetzt mit dem Fragebogen zu beginnen, drücke bitte auf Start!

Instruktion 2 und 3: siehe Studie 1

F1 bis F24: siehe Studie 1

F25 bis F26: siehe Studie 2

F27: Wie oft spielst Du folgende Computerspiele (PC und/ oder Spielekonsole)?

- | | |
|--|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Abenteuerspiele | nie/ manchmal/ öfter/ sehr oft |
| <input type="checkbox"/> Actionspiele | |
| <input type="checkbox"/> Sportspiele | |
| <input type="checkbox"/> Simulationsspiele | |
| <input type="checkbox"/> Fahrsimulationsspiele | |

F28: Welche Möglichkeiten hast Du beim Lernen für die Führerscheinprüfung genutzt?

- | | |
|---|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Computer-Programme auf CD | nie/ manchmal/ öfter/ sehr oft |
| <input type="checkbox"/> Online-Lernprogramme | |
| <input type="checkbox"/> YouTube-Videos | |
| <input type="checkbox"/> Apps fürs Smartphone oder Tablet | |
| <input type="checkbox"/> Fahrsimulation | |

Instruktion 4 (Reaktionszeittest): siehe Instruktion 5 Studie 2 (Anhang B)

Instruktion 5 (Wissenstest): Instruktion sowie Items siehe Instruktion 9 Studie 2 (Anhang B)

II. Computerbasierter Testteil – CBT (adaptiv vs. non-adaptiv)

Instruktion 6 bis 7: siehe Instruktion 6 bis 7 Studie 2 (Anhang B)

Instruktionen 8 (nach Lernvideo): Wenn Du jetzt mit der Aufgabe fortfährst, kannst Du nicht mehr zurück, um Dir die Fahrszene erneut anzuschauen oder noch einmal im Lerntext nachzulesen. Möchtest Du fortfahren?

Ja Nein

Deine Aufgabe ist es, im nachfolgenden Video **1x** die **Leertaste zu drücken**, sobald Du als Fahrer einen Hinweis darauf erkennst, dass Du bremsen musst. Dass Du gebremst hast, siehst Du daran, dass der Bildschirmrand kurz gelb aufleuchtet. Aber Achtung: Schummeln lohnt sich nicht! Wenn Du zu früh, zu spät, oder **öfter als 1x** die Leertaste drückst, musst Du die Aufgabe wiederholen.

Instruktion 9 (Wissenstest): Instruktion sowie Items siehe Instruktion 9 Studie 2 (Anhang B)

III. Fahrsimulator-Testteil

Vor der Fahrt im Fahrsimulator erhielten die Teilnehmer zunächst untenstehende Informationen zur Simulatorkrankheit sowie die Einverständniserklärung zur Unterzeichnung (siehe DIN A4-Seite am Ende des Anhangs C).

Instruktion 10: Den ersten Teil der Untersuchung hast Du geschafft. Nun folgt der zweite Teil, die Fahrt im Fahrsimulator. Hierfür setzt Du Dich bitte so hin, dass Du die Pedale und das Lenkrad gut erreichst und dass Du die Bildschirme gut im Blick hast! Du wirst durch insgesamt 6 virtuelle Verkehrsszenarien fahren und bist ca. 10 Minuten unterwegs. Dabei wirst Du beobachtet und gefilmt.

Bevor es mit der eigentlichen Fahrt losgeht, bekommst Du zunächst noch die Möglichkeit, Dich mit der Apparatur des Simulators vertraut zu machen.

Es folgt die ConTRe-Task.

Instruktionen 11: Nun zu den „echten“ Verkehrsszenarien, in denen Du z. B. durch die Stadt oder über Landstraßen fahren wirst. Wie im richtigen Leben auch, werden Dir andere Verkehrsteilnehmer begegnen und es werden Verkehrsschilder zu sehen sein. Bitte halte Dich an die geltenden Verkehrsregeln!

Über Kopfhörer bekommst Du zu jeder Fahrszene gesagt, wie schnell Du maximal fahren darfst und wohin Du abbiegen sollst. Fahre so, wie Du Dich in Deinem eigenen Pkw verhalten würdest. Bitte halte Dich an die vorgegebene Wegstrecke.

Wenn es der Verkehr erlaubt, versuche bitte auch, die angesagte Geschwindigkeit zu erreichen und beizubehalten. Achte auch auf Rück- und Seitenspiegel.

Im Verkehr und so auch in dieser Simulation kann es zu Konfliktsituationen mit anderen Verkehrsteilnehmern kommen. Versuche rechtzeitig zu bremsen, wenn Du eine solche Konfliktsituation bemerkst, damit du keinen Unfall verursachst. Manchmal musst Du auch bremsen, weil die Situation es aus anderen Gründen verlangt. Wenn Du bremst, sag bitte immer laut und deutlich und in knappen Worten, warum Du das gerade tust. Zum Beispiel: Ich bremse, weil das Auto aus der Parklücke fährt.

Setz nun bitte die Kopfhörer auf und los geht's.

Es folgt die Fahrt durch 6 virtuelle Verkehrsszenarien.

Instruktion 12: Danke fürs Mitmachen.

Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

Du hast Dich dazu bereiterklärt, an einem Fahrsimulations-Experiment der FR Bildungswissenschaften der Universität des Saarlandes teilzunehmen.

Wir möchten Dich darauf hinweisen, dass bei manchen Teilnehmern während oder nach der Simulationsfahrt ein Syndrom auftritt, das als „Simulatorkrankheit“ bezeichnet wird. Bei Betroffenen treten eines oder mehrere der folgenden Symptome auf:

- o Müdigkeit/ Konzentrationsschwierigkeiten
- o Unwohlsein/ Übelkeit/ erhöhte Speichelbildung/ Aufstoßen/ Magenbeschwerden/ Erbrechen
- o Schwindel/ Gleichgewichtsstörungen,
- o Kopfschmerzen/ Druckgefühl im Kopf
- o Überanstrengte Augen/ Sehprobleme
- o Schwitzen

Solltest Du eines oder mehrere der obengenannten Symptome während der Simulation verspüren, kannst Du das Experiment jederzeit abbrechen.

Bitte verzichte mindestens 30 Minuten nach dem Experiment darauf, selbst Auto zu fahren. Sollten tatsächlich Symptome der Simulatorkrankheit auftauchen, dann warte mindestens eine Stunde bevor Du selbst fährst. Wenn Du an Epilepsie erkrankt bist, solltest Du nicht an dem Experiment teilnehmen.

Ich habe die Informationen zur Simulatorkrankheit gelesen und möchte weiterhin am Experiment teilnehmen.

Testtermin 1:

Testtermin 2:

Datum, Unterschrift

Datum, Unterschrift