

Thomas Nelius

Untersuchung des Confirmation Bias bei der Fehleranalyse in der Konstruktion und Evaluation einer methodischen Unterstützung

Investigation of confirmation bias in failure analysis in design engineering and evaluation of a support method

Band 143

Systeme ■ Methoden ■ Prozesse

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Albers
Univ.-Prof. Dr.-Ing. S. Matthiesen
(Hrsg.)

Copyright IPEK • Institut für Produktentwicklung, 2022
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft
Alle Rechte vorbehalten

ISSN 1615-8113

Untersuchung des Confirmation Bias bei der Fehleranalyse in der Konstruktion und Evaluation einer methodischen Unterstützung

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
von der KIT-Fakultät für Maschinenbau des
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

angenommene

DISSERTATION

von

M.Sc. Thomas Nelius

Tag der mündlichen Prüfung:	29.09.2021
Hauptreferent:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Kilian Gericke

Vorwort der Herausgeber

Wissen ist einer der entscheidenden Faktoren in den Volkswirtschaften unserer Zeit. Der Unternehmenserfolg wird mehr denn je davon abhängen, wie schnell ein Unternehmen neues Wissen aufnehmen, zugänglich machen und verwerten kann. Die Aufgabe eines Universitätsinstitutes ist es, hier einen wesentlichen Beitrag zu leisten. In den Forschungsarbeiten wird ständig Wissen generiert. Dieses kann aber nur wirksam und für die Gemeinschaft nutzbar werden, wenn es in geeigneter Form kommuniziert wird. Diese Schriftenreihe dient seit mehr als 20 Jahren als eine Plattform zum Transfer und macht damit das Wissenspotenzial aus aktuellen Forschungsarbeiten am IPEK - Institut für Produktentwicklung Karlsruhe* am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) verfügbar. Die Forschung des IPEK ist dabei strukturiert in die Kategorien Systeme, Methoden und Prozesse, um so der Komplexität heutiger Produktentwicklung ganzheitlich gerecht zu werden. Erst die Verknüpfung dieser drei Kategorien ermöglicht die Synthese innovativer Systeme durch Nutzung neuester Methoden und Prozesse. Gleichzeitig werden durch die Systemsynthese die erforschten neuen Methoden und Prozesse validiert und deren Mehrwert für die Praxis abgesichert. Dieses Forschungskonzept prägt nicht nur das IPEK-Leitbild, sondern auch den Charakter dieser Schriftenreihe, da immer alle drei Kategorien und deren Wechselwirkungen berücksichtigt werden. Jeder Band setzt hier individuelle Schwerpunkte und adressiert dabei folgende Forschungsgebiete des IPEK:

- das Entwicklungs- und Innovationsmanagement,
- die Entwicklungs- und Konstruktionsmethodik,
- der Leichtbau von der Ebene des ganzen Systems bis hinunter zur Optimierung des Bauteils,
- die Validierung technischer Systeme auch unter Berücksichtigung der NVH Aspekte (Noise, Vibration, Harshness) mit dem Fokus auf Schwingungen und Akustik an Komponenten und in den Gesamtsystemen sowie deren subjektiver Beurteilung durch den Menschen,
- die Antriebssystemtechnik mit den Schwerpunkten komplette Antriebslösungen für Fahrzeuge und Maschinen,
- das Design, die Tribologie und Erprobung von Kupplungen und Bremsen sowie
- die Gerätetechnik mit dem Schwerpunkt auf Power-Tools.

Die Forschungsberichte stellen Ergebnisse unserer Forschung sowohl anderen Wissenschaftlern als auch den Unternehmen zu Verfügung, um damit die Produktentwicklung in allen ihren Facetten mit innovativen Impulsen zu optimieren.

Albert Albers und Sven Matthiesen

* Eh.: Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau, Universität Karlsruhe (TH)

Vorwort zu Band 143

Konstruktion ist ein iterativer Prozess aus Analyse und Synthese, bei dem eine funktionserfüllende Gestalt fertigbar festgelegt wird. Die Synthese der Gestalt basiert auf Erkenntnissen, die in immer wiederkehrenden Analysen der entstehenden technischen Systeme gewonnen werden. Bei der Analyse der technischen Systeme werden von den Konstrukteuren Informationen aufgenommen, interpretiert und in mentale Modelle überführt. Werden Informationen aus der Analyse falsch interpretiert, führt dies zu fehlerhaften mentalen Modellen und oft zu falschen Lösungen bei der Gestaltsynthese. Dies wiederum erzeugt meist große kosten- und zeitintensive Iterationen im Entwicklungsprozess. In der Psychologie werden Fehler des menschlichen Denkens, die reproduzierbar auftreten und zu einem verzerrten Abbild der Realität führen, systematische Denkfehler genannt (Haselton, Nettle & Morray, 2015). Systematische Denkfehler treten auch bei der Analyse in der Konstruktion auf. Diese sind in der Produktentwicklung und Konstruktion bisher wissenschaftlich kaum untersucht worden. Ein schwer-wiegender systematischer Denkfehler ist der sogenannte Confirmation Bias. Der Confirmation Bias beschreibt die menschliche Neigung, Informationen so zu suchen und zu interpretieren, dass die eigenen Ansichten bestätigt werden (Nickerson, 1998). In anderen Fachdisziplinen konnten Ansätze und Methoden zur Reduktion der systematischen Denkfehler entwickelt werden, in der Produktentwicklung und Konstruktion gibt es derartige Methoden nicht. In der vorliegenden Arbeit beantwortet Herr Thomas Nelius die Frage, wie negative Aspekte des Confirmation Bias bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren methodisch verringert werden können. Dabei untersucht er den Einfluss des Confirmation Bias sowohl auf die Interpretation von Informationen als auch auf die visuelle Informationssuche in der Fehleranalyse. Er entwickelt auf Basis seiner Untersuchungen eine Methode, die Design-ACH Methode, welche die Fehleranalyse von Konstrukteuren unterstützt. Thomas Nelius liefert damit einen Beitrag im Forschungsfeld Design Research. Er untersucht erstmalig den Confirmation Bias bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren, entwickelt die Design-ACH Methode und weist nach, dass durch die Nutzung der Design-ACH Methode mehr Indizien und Gegenindizien aufgestellt werden als ohne.

September, 2021

Sven Matthiesen

Kurzfassung

Bei der Problemlösung müssen Konstrukteure die Ursachen von Fehlern und unerwünschtem Systemverhalten auf die Gestalt von Bauteilen zurückführen. Erst dieses Wissen ermöglicht eine zielgerichtete Entwicklung. Untersuchungen in anderen Disziplinen legen nahe, dass die Informationsaufnahme und -verarbeitung bei der Fehleranalyse durch systematische Denkfehler wie den Confirmation Bias beeinflusst wird. Der Confirmation Bias führt dazu, dass Informationen so gesucht und interpretiert werden, dass sie die eigenen Ansichten bestätigen. Bisher ist der Einfluss dieser Denkfehler auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren jedoch noch nicht erforscht. Bekannte Methoden der Fehleranalyse adressieren nicht die Aspekte, die zur Reduktion des Confirmation Bias empfohlen werden.

Zur Untersuchung des Confirmation Bias wurde Konstrukteuren und Studierenden ein Fehlerfall aus der Industrie vorgelegt. Die Teilnehmer sollten die Fehlerursache identifizieren und eine konstruktive Lösung entwickeln. Mit Eye-Tracking und Think-Aloud wurde der Einfluss des Confirmation Bias auf die Informationssuche und -interpretation analysiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass sowohl irrelevante als auch widerlegende Informationen fehlinterpretiert wurden, um eigene Annahmen zu bestätigen. Ein Einfluss des Confirmation Bias auf die visuelle Informationssuche konnte nicht beobachtet werden. Jedoch wurden relevante Indizien nur kurz betrachtet. Die geringere visuelle Aufmerksamkeit ist daher eine mögliche Ursache für Fehlinterpretationen.

Die Erkenntnisse der ersten deskriptiven Studie wurden genutzt, um die Methode Design-ACH zu entwickeln, mit der der Confirmation Bias bei der Fehleranalyse reduziert werden soll. Bei der Anwendung der Design-ACH werden mehrere Hypothesen zur Fehlerursache aufgestellt und vorliegenden Indizien gegenübergestellt. Durch Falsifikation der Hypothesen wird dann die wahrscheinlichste Hypothese ausgewählt. Die Design-ACH unterstützt zudem die Definition weiterer Untersuchungen, wenn auf Basis der vorliegenden Informationen keine Hypothese ausgewählt werden kann.

Die Design-ACH wurde sowohl in einer Labor- als auch einer Feldevaluation analysiert. Die Laborevaluation zeigt, dass die Design-ACH den Confirmation Bias bei der Fehleranalyse reduzieren kann. In der Fallstudie wurde die Design-ACH mit Konstrukteuren an einer realen Problemstellung aus deren Unternehmen angewendet. Die Fallstudie zur Methodenevaluation zeigte zudem, dass die Design-ACH auch bei realen Unternehmensproblemen die Fehleranalyse unterstützt.

Abstract

When solving problems, designers must trace the causes of failures and undesirable system behavior back to the design of components. Only this knowledge enables targeted development. Research in other disciplines suggests that this failure analysis is influenced by cognitive biases, such as confirmation bias. Confirmation bias leads to information being searched for and interpreted in such a way that it confirms one's own views. So far, however, the influence of these cognitive biases on the failure analysis of design engineers has not yet been researched. Known methods of failure analysis do not address the aspects recommended to reduce confirmation bias.

To investigate confirmation bias, the present study mapped the challenges of failure analysis in a laboratory setting. Here, design engineers and students were presented with a failure case from industry. Participants were asked to identify the cause of the failure and develop a design solution. In an eye tracking study, the confirmation bias in the failure analysis of design engineers was investigated in more detail for the first time. Eye tracking and think aloud were used to analyze the influence of the confirmation bias on information search and interpretation. It was demonstrated that both irrelevant and disconfirming information was misinterpreted to confirm own assumptions. An influence of confirmation bias on visual information search could not be observed. However, relevant evidence was only briefly observed. The lower visual attention is therefore a possible cause for misinterpretation.

The findings of the initial descriptive study were used to develop the Design-ACH method to reduce confirmation bias in failure analysis. In the application of Design-ACH, several hypotheses about the cause of the problem are made and contrasted with available evidence. The most probable hypothesis is then selected by falsification of the hypotheses. The Design-ACH also supports the definition of further investigations if no hypothesis can be selected on the basis of the available information.

The Design-ACH was analyzed in both a laboratory and a field evaluation. In the laboratory evaluation, designers and students were trained in the use of the Design-ACH and worked on the task from the first descriptive study. The laboratory evaluation shows that Design-ACH can reduce the confirmation bias in failure analysis. In the case study, the design ACH was applied with design engineers on a real problem from the company. The field evaluation also showed that the Design-ACH supports failure analysis in real company problems.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinem Doktorvater Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen, der meine Faszination für das Denken beim Konstruieren mit mir teilt. Durch sein Fordern und Fördern konnte ich mich in meiner gesamten Zeit am Institut persönlich und fachlich weiterentwickeln.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Kilian Gericke danke ich für die Übernahme des Korreferats. Die Fachdiskussionen mit ihm waren für meine Weiterentwicklung im wissenschaftlichen Arbeiten sehr wertvoll.

Der Forschungsgruppe Konstruktionsmethodik und dem gesamten IPEK-Team gilt ein großer Dank für den fachlichen Austausch und die angenehme Arbeitsatmosphäre. Christoph Zimmerer, Markus Döllken, Patric Grauberger und Frank Bremer haben durch gemeinsame Diskussionen und ihr Feedback zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Insbesondere danke ich Matthias Eisenmann für den intensiven Austausch zu meiner Forschungsarbeit und der Konstruktionsforschung im Allgemeinen.

Dank gilt außerdem allen Studierenden und Konstrukteuren, die an meinen Studien teilgenommen haben und die Arbeit dadurch ermöglicht haben. Zudem bedanke ich mich bei den Abschlussarbeitern und wissenschaftlichen Hilfskräften, die bei der Studiendurchführung und -auswertung unterstützt haben. Hier sind insbesondere Benjamin Pflegler, Timo Gutmann, Enno Garrelts, Nathalie Maul und Mariana Hergl zu nennen.

Mein herzlichster Dank gilt meiner Familie und Freunden, allen voran meinen Eltern für die Unterstützung während meines Studiums und der Promotion. Meiner Freundin Teresa danke ich für den Rückhalt, den Freiraum und die notwendige Ablenkung während der Arbeit. Hierfür bedanke ich mich von ganzem Herzen.

Karlsruhe, Oktober 2021

Thomas Nelius



Man sieht nur mit dem Herzen gut.
Das Wesentliche ist für die Augen unsichtbar.

Antoine de Saint-Exupéry – Der kleine Prinz

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	iii
Abbildungsverzeichnis	xi
Tabellenverzeichnis	xiii
Abkürzungsverzeichnis	xv
1 Einleitung	1
2 Grundlagen und Stand der Forschung	5
2.1 Fehleranalyse in der Konstruktion.....	5
2.1.1 Der Begriff der Analyse in der Konstruktion.....	6
2.1.2 Methodische Unterstützung der Fehleranalyse.....	8
2.1.3 Zwischenfazit.....	18
2.2 Empirische Untersuchung von Konstruktionsprozessen.....	19
2.2.1 Untersuchungsmethoden für Konstruktionsprozesse.....	19
2.2.2 Untersuchungen der Analyse in Konstruktionsprozessen.....	23
2.2.3 Zwischenfazit.....	24
2.3 Confirmation Bias.....	25
2.3.1 Heuristiken und systematische Denkfehler.....	25
2.3.2 Definition Confirmation Bias.....	32
2.3.3 Abgrenzung des Confirmation Bias von ähnlichen Effekten.....	33
2.3.4 Studien zum Confirmation Bias.....	36
2.3.5 Systematische Denkfehler in der Konstruktion.....	38
2.3.6 Methoden zur Reduzierung systematischer Denkfehler.....	40
2.4 Fazit zum Stand der Forschung.....	44
3 Motivation und Zielsetzung	47
3.1 Motivation am Beispiel einer realen Fehleranalyse in der Industrie.....	47
3.1.1 Fallstudie zum Auftreten des Confirmation Bias in der Fehleranalyse.....	47
3.1.2 Beobachtungen.....	49
3.1.3 Diskussion.....	51
3.2 Zielsetzung.....	56
4 Forschungsfragen und Forschungsdesign	59
4.1 Forschungsfragen.....	59
4.2 Forschungsvorgehen.....	60
5 Laboruntersuchung zum Einfluss des Confirmation Bias	63

5.1	Vorstudie zur reproduzierbaren Abbildung der Fehleranalyse	64
5.1.1	Studienaufbau	65
5.1.2	Ergebnisse	78
5.1.3	Diskussion	83
5.2	Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren	85
5.2.1	Studienaufbau	85
5.2.2	Ergebnisse	96
5.2.3	Diskussion	106
5.3	Zwischenfazit zum Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse	113
6	Entwicklung einer methodischen Unterstützung für die Fehleranalyse.	115
6.1	Methodenentwicklung Design-ACH	115
6.2	Vorstellung der Design-ACH	117
6.3	Beispielhafte Anwendung der Design-ACH	123
7	Evaluation der Design-ACH	131
7.1	Laborevaluation der Design-ACH	131
7.1.1	Studienaufbau	132
7.1.2	Ergebnisse	140
7.1.3	Diskussion	146
7.1.4	Zwischenfazit zur Methodenevaluation	148
7.2	Feldevaluation der Design-ACH	149
7.2.1	Studienaufbau	149
7.2.2	Ergebnisse	155
7.2.3	Diskussion	158
7.3	Fazit zur Methodenevaluation	160
8	Zusammenfassung und Ausblick	163
8.1	Zusammenfassung	163
8.2	Ausblick	165
	Literaturverzeichnis	I
	Glossar	XVII
	Anhang	XIX
	Einfluss des Confirmation Bias auf Studierende und Konstrukteure	XIX

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	FBS-Framework zur Beschreibung des Konstruktionsprozesses.....	7
Abbildung 2.2:	Problemlösemethodik SPALTEN.....	10
Abbildung 2.3:	Darstellung der Blickheuristik beim Fangen eines Balls.....	28
Abbildung 2.4:	Wason's Card Test	34
Abbildung 3.1:	Darstellung der identifizierten Herausforderungen bei der Fehleranalyse in der Konstruktion	51
Abbildung 3.2:	Darstellung der Groan Zone in Problemlöseprozessen.....	54
Abbildung 3.3:	Kleine Iteration durch unzureichende Situationsanalyse.....	55
Abbildung 3.4:	Große Iteration in der Problemlösung durch fehlerhafte Modellvorstellungen in der Problemeingrenzung	56
Abbildung 4.1:	Übergeordnetes Forschungsvorgehen	61
Abbildung 5.1:	Aufgabenstellung: Bolzensetzgerät und dessen Funktionsprinzip	66
Abbildung 5.2:	Aufgabenstellung: Funktionsweise des Sicherheitsmechanismus Nageldetektion.....	67
Abbildung 5.3:	Aufgabenstellung: Bauteile nach den Prototypenversuchen....	68
Abbildung 5.4:	Aufgabenstellung: Biegekante, die mit dem Rückstoß des Gerätes zum Versagen der Nageldetektion führte	69
Abbildung 5.5:	Studienaufbau mit Hilfsmitteln	71
Abbildung 5.6:	Bewertung der funktionalen Eignung beispielhafter Entwürfe ..	73
Abbildung 5.7:	Arten der Fehlinterpretationen von Indizien.....	91
Abbildung 5.8:	Lage der AOIs im Studienaufbau.....	93
Abbildung 5.9:	Referenzansicht für die Auswertung der Eye-Tracking-Daten ..	95
Abbildung 5.10:	Identifikation des Confirmation Bias durch den Vergleich von objektiver und subjektiver Sicht auf die Indizien.....	100
Abbildung 5.11:	Auswirkung der identifizierten Indizien auf die verfolgte Vermutung für alle Studienteilnehmer konsolidiert	101
Abbildung 5.12:	Identifikation von Auswirkungen des Confirmation Bias auf die visuelle Informationsaufnahme	104

Abbildung 5.13:	Zusammenhang zwischen identifizierter Problemursache und entwickelter Lösung.....	106
Abbildung 6.1:	Überblick zur Design-ACH.....	118
Abbildung 7.1:	Aufbau des Trockenbauschraubers im Praxisbeispiel	136
Abbildung 7.2:	Interpretation von Indizien durch die Probanden bei der Anwendung der Design-ACH	142
Abbildung 7.3:	Verringerung des Confirmation Bias sichtbar in der Reduzierung von Fehlinterpretationen	143
Abbildung 7.4:	Auswirkung der identifizierten Indizien auf die verfolgte Vermutung bei der Anwendung der Design-ACH.....	144
Abbildung 7.5:	Zusammenhang zwischen identifizierter Problemursache und entwickelter Lösung in der Laborevaluation	145
Abbildung 7.6:	Ablauf der Problemlösungsmethode SPALTEN und Einordnung der vorgestellten Schulung in die Problemlösung	151
Abbildung 7.7:	Der C&C ² -Ansatz mit Elementen, Grundhypothesen und Schritten zur Modellbildung	152
Abbildung 7.8:	Evaluationsergebnisse der Design-ACH-Methode.....	155
Abbildung A.1:	Interpretation von Indizien durch die Probanden und die Auswirkung auf das Verfolgen von Vermutungen von Studierenden	XX
Abbildung A.2:	Interpretation von Indizien durch die Probanden und die Auswirkung auf das Verfolgen von Vermutungen von Konstrukteuren	XXI

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Vergleich von Methoden zur Fehleranalyse anhand von Kriterien zur Reduktion des Confirmation Bias.....	16
Tabelle 2.2:	Exemplarische Darstellung bekannter Heuristiken.....	27
Tabelle 2.3:	Darstellung von systematischen Denkfehlern	31
Tabelle 5.1:	Bewertungsschema der funktionalen und wirtschaftlichen Eignung der entwickelten Lösungen mit Beispielen in Klammern.....	74
Tabelle 5.2:	Übersicht der Probanden der Vorstudie	78
Tabelle 5.3:	Studienergebnisse der studentischen Probanden.....	81
Tabelle 5.4:	Studienergebnisse der Konstrukteure	82
Tabelle 5.5:	Übersicht zu den studentischen Probanden der Laborstudie zum Auftreten des Confirmation Bias	87
Tabelle 5.6:	Übersicht zu den erfahrenen Probanden der Laborstudie zum Auftreten des Confirmation Bias	88
Tabelle 5.7:	Auszug aus dem Concurrent-Think-Aloud-Protokoll mit Kodierung (Student 3).....	92
Tabelle 5.8:	Anzahl an bestätigenden, widerlegenden und fehlinterpretierten Indizien der Studienteilnehmer	98
Tabelle 6.1:	Beispielhafte Anwendung der Design-ACH (Schritt 1: Hypothesen und Indizien identifizieren, zeilenweise Bewertung).....	125
Tabelle 6.2:	Beispielhafte Anwendung der Design-ACH (Schritt 2: Matrix verfeinern).....	126
Tabelle 6.3:	Beispielhafte Anwendung der Design-ACH (Schritt 4: Effiziente Hypothesenprüfung definieren)	129
Tabelle 7.1:	Übersicht zu den studentischen Teilnehmern der Laborevaluation	133
Tabelle 7.2:	Übersicht zu den erfahrenen Teilnehmern der Laborevaluation	134
Tabelle 7.3:	Formblatt zur Unterstützung der vereinfachten Design-ACH.	137
Tabelle 7.4:	Mittlere Anzahl an aufgestellten Vermutungen und genutzten Indizien pro Proband.....	141

Abkürzungsverzeichnis

CTA	Concurrent Think-Aloud
C&C ² -A	Contact-&-Channel-Ansatz
MW	Mittelwert
RTA	Retrospective Think-Aloud
s	Standardabweichung
TFD	Total Fixation Duration

1 Einleitung

Bei der Entwicklung technischer Systeme treten häufig Probleme auf, bei denen das System die gewünschte Funktion noch nicht erfüllt. Es ist dann die Aufgabe von Konstrukteuren das unerwünschte Systemverhalten zu untersuchen und durch Änderungen der Konstruktion das Problem zu lösen. Hierzu müssen die Problemursachen und die Wirkzusammenhänge verstanden werden, um weitere Iterationen zu vermeiden. Auch die Konstruktion scheinbar einfacher Produkte wird zur Herausforderung, wenn Informationen zum Zusammenhang zwischen Funktion, Verhalten und Gestalt fehlen (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013). Da das Wissen über diese Zusammenhänge, vor allem in der Problemlösung oder der Neuentwicklung, häufig nicht vorhanden ist, entsteht die Gestalt in Iterationen (Matthiesen, 2021). Im Rahmen dieser Arbeit wird daher die Analyse von Konstrukteuren untersucht, mit der Wissen generiert wird, um zielgerichtet konstruieren zu können.

Konstrukteure bauen in Analysephasen Wissen über unbekannte Zusammenhänge von Produktmerkmalen und Produkteigenschaften auf. Die Analyse hat daher eine zentrale Bedeutung für die Konstruktion. Für die Ausrichtung der nachfolgenden Konstruktionsschritte sollten die Eigenschaften der Lösung bereits früh analysiert werden. Dabei tritt jedoch ein Widerspruch auf, denn genaue Aussagen zu Produkteigenschaften können zumeist erst spät im Entwicklungsprozess getroffen werden, wenn viele Produktmerkmale festgelegt sind (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013). Für eine wirtschaftliche Entwicklung müssen Konstrukteure die Entwicklung daher häufig mit Abschätzungen und Annahmen beginnen. Stellen sich diese Annahmen später als falsch heraus, unterscheidet sich das erwartete vom tatsächlichen Systemverhalten. Die Konstrukteure müssen in der Folge die Ursachen des entstandenen Fehlers analysieren.

Zur Behebung der Probleme ist ein Verständnis der Problemursache und der mit ihr verbundenen Wirkzusammenhänge notwendig. Falsche Annahmen diesbezüglich können ansonsten zu langwierigen und teuren Iterationen führen (Meboldt, Matthiesen & Lohmeyer, 2012). Eine erfolgreiche Fehleranalyse ermöglicht eine zielgerichtete virtuelle und physische Untersuchung des Systems sowie eine nachhaltige Problemlösung. Das unerwünschte Systemverhalten muss hierbei auf Gestaltmerkmale zurückgeführt werden, bevor konstruktive Maßnahmen effizient umgesetzt werden können. Die Unterstützung der Fehleranalyse trägt somit zur Einsparung von ungewünschten Iterationen bei.

Bei der Analyse technischer Systeme nehmen Konstrukteure Informationen auf, interpretieren diese, bilden mentale Modelle und nutzen sie für die weitere Entwicklung. Die Analyse erfordert viele kognitive Prozesse, die potenziell zu einer unzureichenden oder fehlerhaften Analyse führen können. In der Psychologie werden Fehler des menschlichen Denkens, die reproduzierbar auftreten und zu einem verzerrten Abbild der Realität führen, systematische Denkfehler genannt (Haselton, Nettle & Murray, 2015). Deren Auftreten wurde in der Psychologie (Tversky & Kahneman, 1974; Wason, 1960), in der Medizin (Chapman, 2004), in der Rechtswissenschaft (Schweizer, 2005), in der Informatik (Mohanani, Salman, Turhan, Rodriguez & Ralph, 2018) und weiteren Fachdisziplinen gezeigt. Es liegt daher nahe, dass systematische Denkfehler auch bei der Analyse in der Konstruktion auftreten. Jedoch wurden sie im Bereich der Produktentwicklung und Konstruktion bislang kaum untersucht.

Ein schwerwiegender systematischer Denkfehler ist der sogenannte Confirmation Bias. Dieser beschreibt die menschliche Neigung, Informationen so zu suchen und zu interpretieren, dass die eigenen Ansichten bestätigt werden (Nickerson, 1998). Auf Basis der Untersuchung von systematischen Denkfehlern in den verschiedenen Fachdisziplinen konnten Ansätze und Methoden zu deren Reduzierung entwickelt werden. Da der Confirmation Bias bei der Fehleranalyse in der Konstruktion bisher jedoch nicht untersucht wurde, werden in diesem Feld bisher auch keine Methoden zu dessen Reduzierung eingesetzt.

Im Rahmen dieser Arbeit wird daher folgende Forschungsfrage untersucht:

Wie können negative Aspekte des Confirmation Bias bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren methodisch verringert werden?

Der Stand der Forschung legt nahe, dass der Confirmation Bias die Informationsverarbeitung bei der Fehleranalyse beeinflusst. Entsprechend wurde dies in der vorliegenden Arbeit untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass der Confirmation Bias die Interpretation von Informationen in der Konstruktion beeinflusst. Ein Einfluss des Confirmation Bias auf die visuelle Informationssuche konnte nicht beobachtet werden. Zur Unterstützung der Fehleranalyse wurde eine bestehende Methode für den Einsatz in der Konstruktion weiterentwickelt und in zwei Studien evaluiert.

Die Arbeit gliedert sich in acht Kapitel, die im Folgenden kurz beschrieben werden. Nach der Einleitung werden die Grundlagen und der Stand der Forschung in Kapitel 2 vorgestellt. Dabei wird auf die Analyseaktivitäten in der Konstruktion, empirische Untersuchungen der Konstruktion und den Confirmation Bias eingegangen.

Aus dem Stand der Forschung und einem Unternehmensbeispiel werden in Kapitel 3 die Motivation und die Zielsetzung der Arbeit hergeleitet. In Kapitel 4 werden anschließend die Forschungsfragen und das Forschungsvorgehen vorgestellt.

Kapitel 5 beschreibt die erste deskriptive Studie, in der der Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren untersucht wurde. Dabei wurde der Einfluss des Confirmation Bias auf die visuelle Informationsaufnahme und die Interpretation der Informationen erfasst.

In Kapitel 6 wird auf Grundlage der Studienergebnisse die Design-ACH entwickelt – eine Methode, die die Identifikation von Problemursachen in der Konstruktion unterstützt. Kapitel 7 beschreibt danach die Evaluation der Design-ACH im Rahmen einer Laborevaluation und einer Fallstudie an einem aktuellen Unternehmensproblem.

Kapitel 8 fasst schließlich die Erkenntnisse der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf nachfolgende wissenschaftliche Fragestellungen.

2 Grundlagen und Stand der Forschung

In diesem Kapitel werden die für die Arbeit notwendigen Grundlagen sowie der relevante Stand der Forschung dargestellt. Zunächst werden Analyseaktivitäten in der Konstruktion beschrieben, mit denen das Ziel verfolgt wird, unerwünschtes Systemverhalten auf die Gestalt der Konstruktion zurückzuführen. Zudem werden bestehende Methoden zur Unterstützung der Problemlösung und Fehleranalyse in der Konstruktion aufgezeigt.

Anschließend werden die Grundlagen empirischer Studien in der Konstruktion und die dazu geeigneten Untersuchungsmethoden beschrieben. Zudem werden vergleichbare Untersuchungen des Konstruktionsprozesses und insbesondere der Analyseaktivitäten erläutert.

Nachfolgend wird eine Übersicht über systematische Denkfehler, sogenannte Cognitive Bias¹, und insbesondere den Confirmation Bias gegeben. Es werden zudem Untersuchungen verschiedener systematischer Denkfehler in der Konstruktion und Methoden zu deren Überwindung vorgestellt. Zum Abschluss des Kapitels wird der Stand der Forschung in einem Fazit zusammengefasst.

2.1 Fehleranalyse in der Konstruktion

Im Fokus dieser Arbeit stehen Analyseaktivitäten von Konstrukteuren, bei denen Unterschiede zwischen erwartetem und tatsächlichem Systemverhalten auf die Gestalt des Systems zurückgeführt werden. Im Folgenden werden diese Erkenntnisprozesse in bestehende Modelle des Konstruktionsprozesses eingeordnet und es wird die Verbindung zur Fehleranalyse dargestellt.

¹ Ein Bias bezeichnet eine systematische Abweichung von einem wahren Wert. Im Gegensatz zu einem zufälligen Fehler ist der Bias prognostizierbar und konstant oder proportional zum wahren Wert.

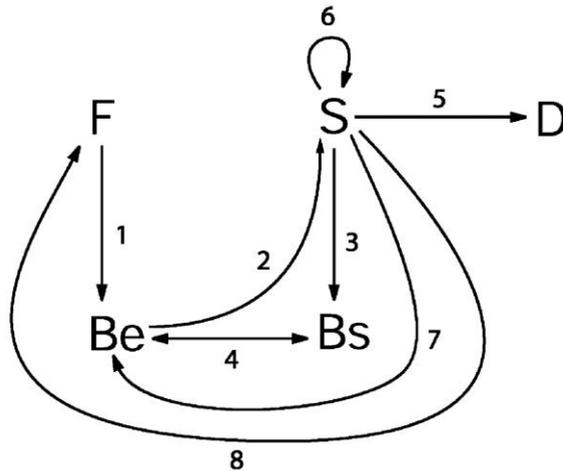
2.1.1 Der Begriff der Analyse in der Konstruktion

Die Analyse beschreibt eine „Informationsgewinnung durch Zerlegen und Aufgliedern sowie Untersuchen der Eigenschaften einzelner Elemente und der Zusammenhänge zwischen ihnen“ (Gericke et al., 2021, S. 49). Sie ist daher ein zentraler Teil der Konstruktion und wird in unterschiedlichen Ausprägungen in Modellen des Konstruktionsprozesses abgebildet.

Gero (1990) beschreibt im FBS-Framework drei Kategorien des zu konstruierenden Objektes: die Funktion (Wofür ist das Objekt?), das Verhalten (Was tut das Objekt?) und die Gestalt (Was ist das Objekt?). Der Konstruktionsprozess kann nach Gero und Kannengiesser (2004) als Aktivitäten zur Überführung dieser Kategorien beschrieben werden (siehe Abbildung 2.1). Aus der Funktion leitet der Konstrukteur ein erwartetes Verhalten ab (1). In einem Syntheseschritt (2) wird das erwartete Verhalten anschließend in eine Gestalt überführt, die das erwartete Verhalten aufweisen soll. Das tatsächliche Verhalten der Gestalt wird in einem Analyseschritt (3) erfasst. Daraufhin werden das erwartete und das tatsächliche Verhalten in einer Evaluation verglichen (4). Zur Herstellung des konstruierten Objekts wird danach eine Beschreibung des Objekts erstellt (5). Zudem treten unterschiedliche Reformulierungen auf, wenn im Konstruktionsprozess die Gestalt (6), das erwartete Verhalten (7) oder die Funktion (8) geändert wird.

Zum Konstruieren wird Wissen darüber benötigt, wie Funktion, Verhalten und Gestalt voneinander abhängen (Gero, 1990). Ist dieses Wissen nicht vorhanden, müssen die notwendigen Kenntnisse zur Synthese aufgebaut werden (Matthiesen, 2021).

Sowohl das Modell der Produktentwicklung nach VDI 2221 Blatt 1 als auch andere Makrobeschreibungen von Entwicklungsprozessen (bspw. VDI 2206) stellen die Analyse als Verifikation und Validierung dar. Hierbei liegt der Fokus auf der Eigenschaftsabsicherung und weniger auf dem Aufbau des zur Synthese notwendigen Wissens. Ruckpaul, Kriltz und Matthiesen (2014) nennen die Analyse zum Aufbau von für die Synthese notwendigem Wissen *synthesegetriebene Analyse*. Da dieser Begriff nicht weit verbreitet ist, wird im Rahmen der Arbeit der Begriff der Fehleranalyse genutzt.



Be = expected behaviour \rightarrow = transformation
Bs = behaviour derived from structure \leftrightarrow = comparison
D = design description
F = function
S = structure

Abbildung 2.1: FBS-Framework zur Beschreibung des Konstruktionsprozesses (Gero & Kannengiesser, 2004)

Fehleranalyse

Treten im Entwicklungsprozess Abweichungen zwischen dem erwarteten und dem tatsächlichen Systemverhalten auf, muss die Ursache auf die Gestalt des zu konstruierenden Systems zurückgeführt werden. Die Abweichung zwischen erwartetem und tatsächlichem Verhalten kann als Fehler bezeichnet werden. Nach der IEC bezeichnet ein Fehler² ein Ereignis, bei dem ein System seine Fähigkeit verliert, eine gewünschte Funktion zu erfüllen (IEC 61508-4). Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff Fehleranalyse daher auch verwendet, wenn Systeme analysiert werden, die ihre Funktion noch nicht erfüllen (bspw. Prototypen von Entwicklungsgenerationen).

² Der Begriff *Fehler* wird in der Fachliteratur und in Normen unterschiedlich definiert. Im Englischen wird er differenzierter betrachtet. So werden *Failure*, *Fault*, *Error*, *Malfunction* und *Mistake* werden im Deutschen allesamt als *Fehler* bezeichnet. Bielefeld (2021) gibt eine Übersicht der verschiedenen Definitionen des Begriffs *Fehler*.

2.1.2 Methodische Unterstützung der Fehleranalyse

Zur Unterstützung der Fehleranalyse werden in der Produktentwicklung verschiedene Methoden eingesetzt. Im Folgenden wird zunächst auf allgemeinere Problemlösemethoden eingegangen und im Anschluss werden Methoden zur Fehleranalyse beschrieben.

2.1.2.1 Methoden der Problemlösung

Zur Fehleranalyse und -behebung können Problemlösemethoden eingesetzt werden. Den meisten Problemlösemethoden ist gemein, dass sie die Phasen *Zielsuche*, *Lösungssuche* und *Lösungsauswahl* beinhalten (VDI 2221 Blatt 1). Die Fehleranalyse findet hierbei zu Beginn, während der *Zielsuche*, statt, sie steht jedoch nicht im Zentrum der Problemlösemethoden. Im Folgenden wird die Klasse der Problemlösemethoden am Beispiel der SPALTEN-Methode (Albers, Saak & Burkardt, 2002) diskutiert. Eine Beschreibung weiterer Problemlösemethoden ist Lindemann (2009) zu entnehmen.

Die VDI-Richtlinie 2221 empfiehlt ein Vorgehen zur Problemlösung, die der SPALTEN-Methode (Albers et al., 2002) entspricht, die im Folgenden näher beschrieben wird. Die SPALTEN-Methode wurde am IPEK entwickelt und 2002 erstmalig veröffentlicht (Albers et al., 2002). SPALTEN ist ein Akronym der sieben Aktivitäten zur Problemlösung³ (siehe Abbildung 2.2).

Nach Albers, Reiß, Bursac und Breitschuh (2016) sollte bei jeder Aktivität der Problemlösung die Zusammensetzung des Problemlöseteams (PLT) bewusst überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Ideen, die bei der Problemlösung entstehen, jedoch in der aktuellen Aktivität nicht benötigt werden, werden in einem kontinuierlichen Ideenspeicher (KIS) für eine spätere Verwendung dokumentiert. Vor Beginn der nächsten Aktivität wird ein Informationscheck (IC) durchgeführt. Hierbei wird überprüft, ob alle relevanten Informationen für den nächsten Schritt vorhanden sind. Wie in Abbildung 2.2 dargestellt ist, besitzt SPALTEN einen fraktalen Charakter. Daher kann es in jedem Problemlöseschritt erneut angewendet werden (Albers et al., 2016). Die Analyse des Problems findet dabei in den ersten Schritten *Situationsanalyse* und *Problemeingrenzung* statt.

Nach Albers et al. (2016) werden in der Situationsanalyse die Informationen für die weitere Problemlösung gesammelt, geordnet und dokumentiert. Insbesondere Infor-

³ Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Aktivitäten der SPALTEN-Methode ist Reiß (2018) zu entnehmen.

mationen zur aktuellen Ist-Situation und der angestrebten Soll-Situation werden erfasst. In der Problemeingrenzung werden die Abweichungen zwischen Soll und Ist untersucht und auf die Problemursache zurückgeführt. Danach werden alternative Lösungen geniert. In der Lösungsauswahl werden diese dann hinsichtlich der Zielerfüllung bewertet. In der Tragweitenanalyse werden die Risiken und Chancen der Lösung erfasst und Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Realisierung abgeleitet. Beim Entscheiden und Umsetzen wird die Lösung ausgewählt und umgesetzt. Im letzten Schritt (Nachbereiten und Lernen) wird das entstandene Wissen gesichert und in einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess überführt (Albers et al., 2016).

Problemlösemethoden ermöglichen eine strukturierte Vorgehensweise zur Problemlösung. Die SPALTEN-Methode kann dem Entwickler als roter Faden dienen und schafft es, durch die Trennung von Phasen der Informationsgenerierung und -verdichtung größere Probleme in handhabbare Teilprobleme aufzuteilen (Reiß, 2018). Die Unterstützung in der Analyse des Problems fällt jedoch recht oberflächlich aus. So wird die Eingrenzung auf die tatsächliche Problemursache nicht methodisch unterstützt. Hierfür werden Methoden der Fehleranalyse eingesetzt (siehe Kapitel 2.1.2.2).

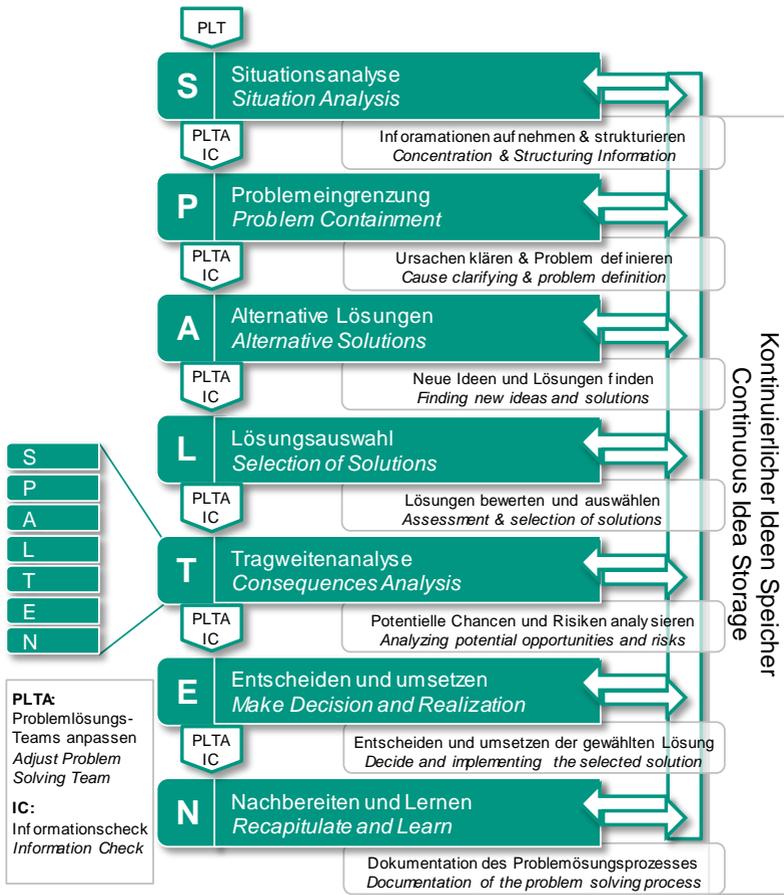


Abbildung 2.2: Problemlösemethodik SPALTEN (Albers, Reiß et al., 2016)

2.1.2.2 Methoden der Fehleranalyse

Im Folgenden werden Methoden der Fehleranalyse beschrieben und dahingehend bewertet, inwiefern sie geeignet sind, den Confirmation Bias (siehe Kapitel 2.3.2) zu reduzieren. Hierzu werden exemplarisch zwei Methoden der Fehleranalyse und eine

Methode der Schadensanalyse (als Unterkategorie der Fehleranalyse) exemplarisch dargestellt. Tabelle 2.1 zeigt eine Übersicht weiterer Methoden der Fehleranalyse.

Unter dem Begriff Root Cause Analysis werden Methoden gebündelt, die die Grundursachen von Fehlern erfassen. Es wird dabei von einer Kette von Ereignissen und Ursachen ausgegangen. Die Ursache, die die Ereigniskette ausgelöst hat, wird hierbei als Grundursache bezeichnet. Die Vorgehensweise nach dem Energieministerium der Vereinigten Staaten (DOE-NE-STD-1004-92) ähnelt den zuvor beschriebenen Problemlösungsmethoden (vgl. Kap. 2.1.2.1) und umfasst folgende Schritte:

- *Datenerfassung*: Informationen zu den Zuständen vor, bei und nach dem Auftreten des Fehlers werden gesammelt.
- *Begutachtung*: Die gesammelten Informationen werden bezüglich der möglichen Ursachen hin analysiert und interpretiert.
- *Maßnahmen zur Verbesserung*: Es werden Maßnahmen zur Verbesserung identifiziert und umgesetzt.
- *Information*: Personen, die von der Problemlösung profitieren können werden über die Problemursache und die Maßnahmen informiert.
- *Nachbereitung*: Die Gegenmaßnahmen und deren Effekte werden regelmäßig überprüft. Die Erfahrungen aus der Problemlösung werden auf andere Prozesse übertragen.

Um die tatsächliche Problemursache zu identifizieren und nicht durch subjektive Annahmen beeinflusst zu werden, sollten Methoden der Fehleranalyse den Confirmation Bias reduzieren. Aus dem Stand der Forschung (die Erklärung und die Herleitung der Aspekte erfolgen erfolgt in Kapitel 2.3.6) wurden daher folgende Aspekte identifiziert, um den Confirmation Bias methodisch zu verringern::

- Aufstellen mehrerer Hypothesen,
- Eingrenzung durch Falsifikation,
- Verknüpfung mit vorliegenden Daten,
- Berücksichtigung des diagnostischen Wertes⁴ vorliegender Daten,
- Definition von Folgeuntersuchungen zur Falsifikation sowie
- Dokumentation/Nachvollziehbarkeit der Analyse.

⁴ Der diagnostische Wert (oder auch Beweiskraft) eines Indizes beschreibt, wie viel häufiger bzw. seltener ein Indiz beim Zutreffen einer Hypothese als beim Nichtzutreffen der Hypothese auftritt (Schweizer (2005)).

Im Folgenden werden drei Methoden exemplarisch vorgestellt und es wird evaluiert, inwiefern diese geeignet sind, den Confirmation Bias zu reduzieren. Als Beispiel wird hierbei die 5-Why-Methode aufgeführt, die die Reduzierung des Confirmation Bias nicht unterstützt. Die Methode zur Problemanalyse nach Kepner und Tregoe dient hingegen als Positivbeispiel, da hier zahlreiche Aspekte zur Überwindung des Confirmation Bias berücksichtigt werden. Die Methode zur Schadensanalyse nach Ehrlenspiel repräsentiert eine Unterklasse der Methoden zur Fehleranalyse, bei denen ein Fehler zu einem Schaden geführt hat. Im Anschluss werden weitere Fehleranalysemethoden tabellarisch aufgeführt und den Aspekten gegenübergestellt.

Exemplarische Darstellung von Methoden zur Fehleranalyse

Die 5-Why-Methode ist eine simple Methode zur Identifikation einer Problemursache (Ōno & Bodek, 2008). Dabei wird die vermutete Problemursache fünfmal mit ‚Warum?‘ hinterfragt, um zu ergründen, was die tiefere Ursache des Problems ist. Das mehrfache Hinterfragen soll helfen, die Ursache hinter offensichtlichen Symptomen zu erkennen (Ōno & Bodek, 2008). Bei der 5-Why-Methode werden jedoch keine alternativen Erklärungen oder die Eingrenzung durch Falsifizierung eingefordert. Sie erfüllt keinen der aufgeführten Aspekte, um den Confirmation Bias zu reduzieren. Es besteht daher die Gefahr, dass fälschlicherweise eine angenommene Problemursache weiterverfolgt und bestätigt wird. Eine Falsifizierung der Problemursache ist nur dann wahrscheinlich, wenn keine tiefere Ursache identifiziert werden kann.

Die Methode zur Problemanalyse nach Kepner und Tregoe (1997) berücksichtigt nahezu alle Aspekte, um den Confirmation Bias zu reduzieren. Sie umfasst folgende Schritte zur Identifikation von Problemursachen:

- **Problembeschreibung:**
Das zu lösende Problem soll möglichst spezifisch beschrieben werden. Dabei ist darauf zu achten, dass unabhängige Probleme einzeln betrachtet werden.
- **Spezifizieren des Problems:**
Zur genaueren Beschreibung sollen die Aspekte *Was*, *Wo*, *Wann* und *Ausmaß* der Abweichung beschrieben und mit Beobachtungen und Daten abgesichert werden. Zur weiteren Eingrenzung sollen diese Aspekte ebenfalls für das Nichtauftreten der Abweichung beschrieben werden (z. B.: *Wann tritt der Fehler nicht auf?*).
- **Erarbeiten möglicher Ursachen:**
Anhand der Unterschiede hinsichtlich der Frage, wann und wo ein Fehler auftritt und wann nicht, sollen auf Basis von Wissen und Erfahrung mehrere Problemursachen beschrieben werden.
- **Testen möglicher Ursachen anhand der Spezifikation:**
Für jede mögliche Ursache wird nun überprüft, ob diese das Auftreten/Nichtauftreten des Fehlers in allen Fällen erklären kann.
- **Bestimmen der wahrscheinlichsten Problemursache:**
Aus den möglichen Ursachen wird die Ursache ausgewählt, die alle Aspekte des Fehlers (*Was*, *Wo*, *Wann* und *Ausmaß*) erklären kann.
- **Überprüfen der Annahmen:**
Im letzten Schritt soll die wahrscheinlichste Ursache bestätigt werden. Hierzu sollen Experimente und Beobachtungen durchgeführt werden.

Das Aufstellen alternativer Hypothesen wird explizit eingefordert und diese werden mit vorliegenden Daten den Fehlerspezifikationen gegenübergestellt. Da die Problemursachen das Auftreten und Nichtauftreten des Fehlers erklären müssen, wird auch der diagnostische Wert der Informationen berücksichtigt. Bei der Folgeuntersuchung ist jedoch keine methodische Unterstützung angegeben. Sie fokussiert zudem die Bestätigung von Problemursachen und nicht explizit die Falsifikation. Auch wird eine nachvollziehbare Dokumentation der Analyse nicht beschrieben oder eingefordert. Des Weiteren wird bei dieser Methode für den Vergleich zwischen Auftreten und Nichtauftreten des Fehlers immer ein funktionierendes System benötigt. Ein erster Prototyp, der nicht funktioniert, kann daher nicht mit dieser Methode analysiert werden. Letztere ist daher eher für späte Phasen der Produktentwicklung geeignet, wenn mehrere funktionsfähige Systeme vorhanden sind.

Exemplarische Darstellung einer Methode zur Schadensanalyse

Ehrlenspiel und Meerkamm (2013) beschreiben mit der *Methode der Schadensanalyse* ein Vorgehen zur Analyse von Schäden und Beanstandungen. Sie betonen hierbei, dass vor allem in kleinen und mittleren Unternehmen die Schadensanalyse Aufgabe von Entwicklern und Konstrukteuren ist. Um das übergeordnete Ziel der Schadensvermeidung zu erreichen, setzen die Autoren die Identifizierung der Problemursache voraus.

Das Vorgehen ist in die drei Schritte *Schadensanalyse – Aufgabe klären*, *Hypothesen suchen* und *Hypothesen auswählen* unterteilt. Beim ersten Schritt *Schadensanalyse – Aufgabe klären* sind die Schadensumstände (Schadensverlauf, Zeitpunkt), Schadensmerkmale (Schadensarten, Bruch, Verschleiß) und Symptome (Geräusch, Überlast) festzustellen und zu dokumentieren. Beim Schritt *Hypothesen suchen* werden mehrere hypothetische Ursache-Wirkungs-Ketten gebildet. Dabei soll zwischen primären (verursachenden) und sekundären Erscheinungen⁵ unterschieden werden. Beim letzten Schritt *Hypothesen auswählen* sollen durch Überlegungen, Simulation und Versuche Hypothesen ausgeschlossen werden. Aus den verbleibenden Hypothesen soll die Wahrscheinlichste ausgewählt werden (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013).

Die Schadensanalyse nach Ehrlenspiel und Meerkamm (2013) adressiert viele der Kriterien zur Reduktion des Confirmation Bias (siehe Tabelle 2.1). Das Aufstellen alternativer Hypothesen wird explizit eingefordert und die Hypothesen werden mit vorliegenden Daten und weiteren Untersuchungen eingegrenzt. Die Vorgehensweise berücksichtigt jedoch nicht explizit den diagnostischen Wert der Informationen. Die Definition weiterer Untersuchungen wird zwar empfohlen, jedoch methodisch nicht weiter unterstützt. Auch die Dokumentation zur Überprüfung des Analyseergebnisses wird nicht beschrieben. Daher ergeben sich Bereiche, bei denen der Confirmation Bias das Analyseergebnis negativ beeinflussen kann.

⁵ Die Schädigung einer Welle durch eine Dauerbelastung stellt eine primäre Ursache dar, während ein darauffolgender Gewaltbruch eine sekundäre Erscheinung ist.

Übersicht von Methoden zur Fehleranalyse

In Tabelle 2.1 werden Methoden der Fehleranalyse⁶ (engl. Root Cause Analysis) nach Kriterien verglichen, die bei der Überwindung des Confirmation Bias unterstützen. Die Methoden lassen sich nach ihrem Ziel in präventive und korrektive Methoden einteilen. Präventive Methoden haben das Ziel, mögliche Fehlerursachen vorzudenken und zu vermeiden, bevor Fehler auftreten. Korrektive Methoden werden eingesetzt, um ein Problem zu lösen, nachdem ein Fehler aufgetreten ist.

⁶ Die Identifikation und Auswahl der Methoden basiert auf der Literaturrecherche von Hussin, Ahmed und Muhammad (2017) und wurde durch eine zusätzliche Recherche ergänzt.

Tabelle 2.1: Vergleich von Methoden zur Fehleranalyse anhand von Kriterien zur Reduktion des Confirmation Bias

Methode	Ziel	Aufstellen mehrerer Hypothesen	Eingrenzung durch Falsifikation	Verknüpfung mit vorliegenden Daten	Berücksichtigung des diagnostischen Wertes vorliegender Informationen	Definition von Folgeuntersuchungen zur Falsifikation	Dokumentation/Nachvollziehbarkeit der Analyse
FMEA (Werdich, 2011)	präventiv	Ja	-	-	-	-	-
Task Analysis (French, Taylor & Lemke, 2019)	präventiv	Ja	-	-	-	-	-
Fehlerbaumanalyse (Fault Tree Analysis – FTA) (Xing & Amari, 2008)	präventiv	Ja	-	-	-	-	-
Barrier Analysis (Livingston et al., 2001)	präventiv/ korrektiv	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Relations Diagram (Doggett, 2005)	präventiv/ korrektiv	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein
Ishikawa-Diagramm (Ishikawa, 1997)	präventiv/ korrektiv	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Analysis of Competing Hypothesis (Heuer, 1999)	korrektiv	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
Apollo root cause analysis (ARCA) (Gano, 2007)	korrektiv	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein
CDEAC (Ashok Sarkar, Ranjan Mukhopadhyay & Ghosh, 2013)	korrektiv	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Change Analysis (Livingston, Jackson & Priestly, 2001)	korrektiv	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja

Methode	Ziel	Aufstellen mehrerer Hypothesen	Eingrenzung durch Falsifikation	Verknüpfung mit vorliegenden Daten	Berücksichtigung des diagnostischen Wertes vorliegender Informationen	Definition von Folgeuntersuchungen zur Falsifikation	Dokumentation/Nachvollziehbarkeit der Analyse
Events and Causal Factors Charting (Livingston et al., 2001)	korrektiv	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja
Human performance Investigation Process (Livingston et al., 2001)	korrektiv	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
Kepner-Tregoe problem solving (Kepner & Tregoe, 1997)	korrektiv	Ja	Teilweise	Ja	Ja	nicht methodisch unterstützt	Nein
Management Oversight and Risk Tree (MORT) (Livingston et al., 2001)	korrektiv	Nein, nutzt bestehende FTA	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
Methode der Schadensanalyse (Ehrlenspiel & Meerkamm, 2013)	korrektiv	Ja	Ja	Ja	Nein	nicht methodisch unterstützt	Nein
Schadensanalyse (VDI 3822)	korrektiv	Nicht vorgegeben	Nein	Ja	Nein	nicht methodisch unterstützt	Nein
Systematic Cause Analysis Technique (SCAT) (Livingston et al., 2001)	korrektiv	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein
Tree Diagramm (Gano, 2007)	korrektiv	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
5-Why-Methode (Ōno & Bodek, 2008)	korrektiv	Nicht vorgegeben	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein

Die meisten in Tabelle 2.1 dargestellte Methoden unterstützen die Aspekte zur Reduktion des Confirmation Bias nicht hinreichend. Viele Methoden adressieren zumindest das Aufstellen mehrerer Hypothesen und die Verknüpfung mit vorliegenden Daten. Die Eingrenzung der Problemursache durch Falsifikation, die Definition von Folgeuntersuchungen und die nachvollziehbare Dokumentation werden nur durch wenigen Methoden eingefordert. Die Definition von Folgeuntersuchungen wird durch drei Methoden eingefordert, jedoch methodisch nicht unterstützt.

Die Problemlösung nach Kepner und Tregoe (1997) sowie die Analysis of Competing Hypothesis adressieren hingegen nahezu alle Aspekte zur Reduktion des Confirmation Bias. Erstere kann jedoch nur verwendet werden, wenn ein funktionierendes Referenzsystem vorhanden ist. Insbesondere beim Aufbau und Testen von Prototypen ist dies jedoch oftmals nicht der Fall. Die Problemlösung nach Kepner und Tregoe wird daher in dieser Arbeit nicht weiter fokussiert. Die Analysis of Competing Hypothesis (ACH) (Heuer, 1999) deckt bis auf die Definition von Folgeuntersuchungen alle Anforderungen ab. Die Methode stammt aus dem Umfeld der Intelligence Analysis und wurde noch nicht für die Fehleranalyse in der Konstruktion evaluiert (vgl. Kapitel 2.3.6).

2.1.3 Zwischenfazit

Die Analyse ist ein essenzieller Bestandteil des Konstruierens. Bei der Analyse von Problemen generieren Konstrukteure Wissen über technische Zusammenhänge, die zur Lösung des Problems notwendig sind. Eine unzureichende Analyse kann hierbei zu langwierigen und kostenintensiven Iterationen führen. Da in der Produktentwicklung – trotz methodischer Unterstützung – unweigerlich technische Probleme auftreten, müssen Ingenieure diese effizient lösen können und dafür zunächst eine zielgerichtete Fehleranalyse durchführen.

Aus dem dargestellten Vergleich der Methoden zur Fehleranalyse wird daher geschlossen, dass die bestehenden Methoden zur Fehleranalyse in der Konstruktion Ansätze zur Überwindung des Confirmation Bias nicht umfassend berücksichtigen. Die ACH-Methode wird jedoch als geeignete Grundlage für eine methodische Unterstützung angesehen (siehe Weiterentwicklung zur Design-ACH in Kapitel 6 und Evaluation in Kapitel 0).

2.2 Empirische Untersuchung von Konstruktionsprozessen

Empirische Studien sind ein bedeutender Bestandteil der Konstruktionsforschung (als Teil des Design-Research⁷). Seit den 1980er-Jahren werden im Design-Research empirische Studien in Feld- und Laborumgebungen durchgeführt, mit denen zwei verwandte Ziele verfolgt werden. Zum einen werden Modelle und Theorien aufgebaut und validiert, um das Konstruieren besser zu verstehen, und zum anderen werden auf Basis dieses Wissens verschiedene Arten von Unterstützung (Methoden, Prozesse, Werkzeuge) entwickelt, deren Nutzen ebenfalls in Studien validiert wird (Blessing & Chakrabarti, 2009).

Im Folgenden werden Grundlagen zu Untersuchungsmethoden vorgestellt, die zur Erforschung von Konstruktionsprozessen genutzt werden. Der Fokus liegt hierbei auf jenen Untersuchungsmethoden, die im Rahmen dieser Arbeit genutzt wurden. Im Anschluss werden empirische Studien vorgestellt, in denen Analyseprozesse von Konstrukteuren untersucht wurden.

2.2.1 Untersuchungsmethoden für Konstruktionsprozesse

Zur Untersuchung von Konstruktionsprozessen werden zumeist Methoden aus den Sozialwissenschaften genutzt. Ahmed (2007) gibt einen Überblick über etablierte Untersuchungsmethoden, die in der Konstruktionsforschung angewendet werden. Es wird zudem beschrieben, welche Art von Wissen mit den Untersuchungsmethoden erhoben werden kann. Die Protokollanalyse⁸ stellt dabei die einzige Methode dar, die explizites, implizites und stilles Wissen erfassen kann. Explizites Wissen beschreibt Wissen, das durch die untersuchte Person erklärt werden kann (bspw. physikalische Gesetze). Implizites Wissen hingegen kann durch die untersuchte Person nicht direkt erklärt werden, aber durch andere Personen (bspw. eine Strategie eines erfahrenen Entwicklers). Stilles Wissen wiederum kann nicht durch die

⁷ Design-Research beschreibt die Forschung an Gestaltungsprozessen. Letzteren ist gemein, dass sie ein Objekt gestalten, das einen bestimmten Zweck erfüllen soll. In diesem Sinne wird die Arbeit von Architekten, Industriedesignern, Konstrukteuren und Softwareentwicklern als Design verstanden (siehe Blessing und Chakrabarti (2009) für eine Übersicht der historischen Entwicklung des Design-Research).

⁸ Bei der Protokollanalyse werden verbale Berichte der Probanden untersucht (siehe Kapitel 2.2.1.1).

untersuchte Person artikuliert, sondern nur von einer außenstehenden Person beschrieben werden (bspw. das intuitive Gefühl eines Entwicklers für die korrekte Form eines Bauteils) (Ahmed, 2007).

Neben den klassischen Methoden der Sozialforschung werden seit etwa 2010 vermehrt neurophysiologische und biometrische Messgrößen in der Konstruktionsforschung eingesetzt⁹. Lohmeyer und Meboldt (2016) stellen verschiedene quantitative Messmethoden für Biosignale vor, die in der Konstruktionsforschung zur Anwendung kommen. Zu den erwähnten Methoden und Messwerten zählen Herzfrequenzvariabilität (heart rate variability, HRV), Hautleitwert (skin conductance response, SCR), Elektroenzephalografie (electroencephalography, EEG), funktionelle Magnetresonanztomografie (functional magnetic resonance imaging, fMRI) und Eye-Tracking (ET).

Lohmeyer und Meboldt betonen die Vorteile von quantitativen biometrischen Messungen gegenüber klassischen Untersuchungsmethoden der Sozialforschung, die einer subjektiven Beeinflussung durch die Probanden und die Auswerter unterliegen können. Sie stellen aber auch heraus, dass biometrische Messungen mit klassischen Methoden kombiniert werden sollten. Dadurch lassen sich die gemessenen Daten mit kontextspezifischen Informationen ergänzen und quantitative Daten besser interpretieren (Lohmeyer & Meboldt, 2016).

In der Arbeit werden die Methoden Concurrent Think-Aloud zur Erfassung der Informationsverarbeitung und Eye-Tracking zur Erfassung der Informationsaufnahme kombiniert eingesetzt. Im Folgenden werden diese Untersuchungsmethoden vorgestellt.

2.2.1.1 Concurrent Think-Aloud

Bei der Untersuchung mit Think-Aloud verbalisieren die Probanden ihre Gedanken. Think-Aloud ist daher geeignet, die kognitiven Prozesse bei der Informationsverarbeitung von Designern zu untersuchen (Gero & Tang, 2001). Die Probandenaussagen werden transkribiert und in einer Protokollanalyse untersucht. Nach Ericsson und Simon (1993) kann dabei zwischen *Concurrent Think-Aloud* (CTA) und *Retrospective Think-Aloud* (RTA) unterschieden werden. Beim *Concurrent Think-Aloud* verbalisieren die Probanden ihre Gedanken, während sie eine Aufgabe bearbeiten. Beim *Retrospective Think-Aloud* tun sie dies nach der Aufgabenbearbeitung. Bei beiden Methoden sollen die Probanden ihre Gedanken direkt und ohne Erklärung

⁹ Siehe Borgianni und Maccioni (2020) für eine systematische Übersicht von Studien im Design-Research, die neurophysiologische und biometrische Untersuchungsmethoden einsetzen.

verbalisieren. Nach Ericsson und Simon (1993) sind beide Methoden geeignet, um Problemlöseprozesse zu untersuchen, da sie die kognitiven Prozesse der Probanden kaum beeinflussen.

CTA ist in der Konstruktionsforschungsgemeinschaft allerdings umstritten. Einige Autoren schätzen die direkte und ausführliche Datenerhebung mit CTA und gehen nur von einer geringen Beeinflussung der Probanden aus (Ericsson & Simon, 1993; Gero & Tang, 2001). Andere Autoren sind dagegen der Ansicht, dass CTA die kognitive Belastung deutlich erhöht und Probanden daher in Studien leichter überlastet werden (Davies, 1995; van Someren, Barnard & Sandberg, 1994). Zudem kann bei Anwendung von CTA das verbalisierte Vorgehen vom tatsächlichen Vorgehen abweichen (Davies, 1995; Lloyd, Lawson & Scott, 1995). Eckert und Stacey (2003) betonen, dass CTA Informationen hervorbringt, die ansonsten unzugänglich wären, und stellen diesen Mehrwert über eine mögliche Beeinflussung der Probanden durch CTA.

Ruckpaul, Fürstenhöfer und Matthiesen (2014) untersuchten, welche Informationen mit CTA und RTA in Studien zu Konstruktionsprozessen erhoben werden können. Beim CTA werden spezifischere Äußerungen zu einzelnen Funktionen und Gestaltmerkmalen erfasst. RTA ermöglicht dagegen eher die Untersuchung von übergeordneten Strategien der Probanden (Ruckpaul, Fürstenhöfer et al., 2014). Zur detaillierten Analyse von Denkprozessen beim Konstruieren ist CTA daher eine geeignete Untersuchungsmethode, auch wenn einige Einschränkungen berücksichtigt werden müssen.

2.2.1.2 Eye-Tracking

Eye-Tracking bezeichnet das Aufzeichnen von Blickbewegungen. Da beim Konstruieren die meisten Informationen visuell aufgenommen werden, kann Eye-Tracking die Informationsaufnahme von Konstrukteuren beobachtbar und messbar machen. Die Bewegungen der Augen werden in verschiedene Ereignisse unterteilt. Eine *Fixation* beschreibt einen Zeitraum, in dem das Auge zum betrachteten Objekt (Stimulus) nahezu stillsteht¹⁰. Während dieser Zeit (typischerweise 200–300 ms) können Informationen aufgenommen werden. Eine *Sakkade* beschreibt die schnelle Bewegung des Auges (30–80 ms) zwischen zwei *Fixationen*. Da während einer *Sakkade* keine Informationen aufgenommen werden können (Holmqvist et al., 2011), werden für die Untersuchung der Informationsaufnahme Fixationen genutzt.

¹⁰ Während einer Fixation treten weiterhin kleinste Bewegungen (Tremor, Mikrosakkaden und Drift) auf (siehe Holmqvist et al. (2011) für eine detaillierte Beschreibung von Augenbewegungen und deren Bedeutung).

Für Untersuchungen in der Konstruktionsforschung werden hauptsächlich Remote-Systeme und Eye-Tracking-Brillen eingesetzt. Remote-Systeme sind stationäre Systeme, die zumeist unter einem Bildschirm angebracht sind. Sie ermöglichen eine einfache Erfassung von Blickpfaden auf dem Monitor. Eye-Tracking-Brillen sind mobile Systeme, bei denen der Proband eine mit verschiedenen Kameras ausgestattete Brille trägt. Mit einer oder mehreren Augenkameras wird die Bewegung des Auges erfasst. Zusätzlich erfasst eine Szenenkamera die Umgebung aus Probandensicht. Nach einer Kalibrierung der Eye-Tracking-Brille kann der Blickpfad im Video der Szenenkamera dargestellt werden.

Zur Auswertung von Eye-Tracking-Aufnahmen können die Blickpfadvideos qualitativ interpretiert oder Ereignisse quantitativ analysiert werden. Bei der quantitativen Auswertung kann eine Vielzahl an Metriken¹¹ erfasst werden. Viele der Metriken lassen sich *Areas of Interest* (AOIs) zuweisen. Eine AOI beschreibt einen Bereich auf dem Stimulus, der von Forschern als interessant definiert wurde. Dadurch lässt sich beispielsweise erfassen, wie lange ein spezieller Bereich auf dem Stimulus angeschaut wurde, wann der Bereich das erste Mal betrachtet wurde oder in welcher Reihenfolge Bereiche angeschaut wurden. Die Zuweisung von Fixationen zu AOIs kann manuell oder über eine Bilderkennung¹² erfolgen.

Zur Messung der visuellen Aufmerksamkeit kann die *Verweildauer* (dwell time) genutzt werden (Holmqvist et al., 2011). Diese beschreibt die Dauer vom Eintritt bis zum Verlassen des Blickpfades eines AOIs und wird als Indikator für das Interesse und den erwarteten Informationsgehalt eines AOIs genutzt (Holmqvist et al., 2011). Die *Total Fixation Duration* (TFD) bezeichnet die aufsummierte Dauer der einzelnen Fixationen auf einem AOI über die gesamte Versuchsdauer. Durch die TFD kann somit die visuelle Aufmerksamkeit für einzelne AOIs bestimmt werden.

Ruckpaul und Fürstnhöfer et al. (2014) zeigten, dass die Fixationsdauer durch den Einsatz von Concurrent Think-Aloud nicht beeinflusst wird und letzteres sich somit gut mit Eye-Tracking kombinieren lässt.

¹¹ Siehe Holmqvist et al. (2011) für eine umfangreiche Beschreibung von Eye-Tracking-Metriken und deren Bedeutung.

¹² Beispielsweise Wolf, Hess, Meboldt, Lohmeyer und Bachmann (2018).

2.2.2 Untersuchungen der Analyse in Konstruktionsprozessen

Dinar et al. (2015) beschreiben die Entwicklung und den aktuellen Stand von empirischen Studien im Design-Research. Sie stellen fest, dass die meisten Untersuchungen frühe Phasen, wie das Klären der Aufgabe oder die Konzeptentwicklung, analysieren. Spätere Phasen, wie die Gestaltung, werden nur selten in Studien untersucht (Dinar et al., 2015), obwohl die Analyse vor allem in dieser Phase der Produktentwicklung besonders herausfordernd ist (Smith & Tjandra, 1998).

Untersuchungen der Problemanalyse können in Studien zu Ziel- und Mittelproblemen unterschieden werden. Bei Studien, in denen Zielprobleme vorliegen, müssen Probanden Anforderungen analysieren und daraus Lösungen entwickeln (Kruger & Cross, 2006; Liikkanen & Perttula, 2009). In Untersuchungen, die Mittelprobleme abbilden, analysieren Probanden hingegen technische Systeme, um das vorliegende System weiterzuentwickeln. Ruckpaul und Kriltz et al. (2014) sprechen hierbei von einer synthesegetriebenen Analyse.

Des Weiteren werden Studien durchgeführt, bei denen technische Systeme analysiert werden, um ein Funktionsverständnis aufzubauen. Diese Art der Analyse wird als Funktionsanalyse (engl. functional analysis) bezeichnet (Booth, Reid, Eckert & Ramani, 2015). Hierbei wird von den Probanden jedoch kein technisches Problem gelöst. Da die Studienteilnehmer technische Systeme analysieren, besteht eine Ähnlichkeit zu Studien der synthesegetriebenen Analyse. Im Folgenden werden die für die Forschungsarbeit relevanten Studien zur Funktionsanalyse und der synthesegetriebenen Analyse beschrieben.

Die Funktionsanalyse beschreibt die Identifizierung der Funktionen eines technischen Systems. Sie wird bei der Weiterentwicklung von älteren Produkten, der Analyse von Wettbewerbsprodukten und der Einarbeitung neuer Mitarbeiter angewendet (Booth et al., 2015). Die Funktionsanalyse wurde bereits häufig mit traditionellen Untersuchungsmethoden (Booth et al., 2015; Eckert, Ruckpaul, Alink & Albers, 2012; Matthiesen & Nelius, 2018b) und Eye-Tracking (Hess, Lohmeyer & Meboldt, 2018; Matthiesen & Nelius, 2018a; Ruckpaul, Nelius & Matthiesen, 2015) untersucht. In den Studien werden den Probanden technische Systeme vorgelegt, deren genauer Aufbau und detaillierte Funktionsweise ihnen unbekannt ist. Das Ziel ihrer Analyse ist es, die Funktionsweise zu verstehen. Die Synthese ist in diesen Studien allerdings nicht abgebildet. Sie verfolgen stattdessen das Ziel, Makro-Strategien (Eckert et al., 2012) oder Mikro-Strategien (Matthiesen & Nelius, 2018a) zu identifizieren oder die methodische Ansätze zu untersuchen (Booth et al., 2015).

Bei der Untersuchung der synthesegetriebenen Analyse ist das Ziel für die Probanden die Weiterentwicklung eines technischen Systems (Ruckpaul, Krlitz et al., 2014). Die Analyse ist für die Studienteilnehmer Mittel zum Zweck. Sie müssen das System nur soweit verstehen, wie sie es für den nächsten Syntheseschritt benötigen. Durch den Fokus auf die Synthese eines Systems sollen die Vorgehensweisen bei der realen Produktentwicklung besser abgebildet werden.

Matthiesen, Nelius, Pflegler und Gutmann (2017) zeigen, dass sich die visuelle Aufmerksamkeit bei Studien der beiden Analysearten unterscheidet. Während bei der Funktionsanalyse die Aufmerksamkeit nahezu gleich über alle Baugruppen verteilt ist, liegt sie bei der synthesegetriebenen Analyse verstärkt auf der zu optimierenden Baugruppe (Matthiesen et al., 2017).

Da Studien zur synthesegetriebenen Analyse die Synthese zum Ziel haben, wird letztere in zahlreichen Studien der Konstruktionsforschung abgebildet (bspw. Dylla, 1990; Günther, 1998). Jedoch stehen die Analysephasen selten im Fokus der Untersuchungen. Ruckpaul (2017) untersuchte die synthesegetriebene Analyse in einer Eye-Tracking-Studie an einer realen Problemlöseaufgabe¹³. In der Studie haben Experten und Studierende ein Bauteilversagen an einem Prototyp analysiert und Lösungsvorschläge erarbeitet. Bei der Problemlösung haben erfahrene Konstrukteure die korrekte Problemursache häufiger identifiziert und bessere Lösungsvorschläge entwickelt als Studierende (Ruckpaul, 2017). Es konnte auch gezeigt werden, dass erfolgreiche Probanden relevante Bauteile länger betrachteten.

In Anlehnung an die *funktionale Gebundenheit*¹⁴ nach Duncker (1974) beschreibt Ruckpaul die *örtliche Gebundenheit* bei der Identifikation von Ursachen eines Bauteilversagens. Bei der *örtlichen Gebundenheit* beziehen sich Lösungsvorschläge zu meist auf das versagende Bauteil (bspw. Verstärken des Bauteils), obwohl andere Lösungen in der Umgebung des versagenden Bauteils wirtschaftlicher umzusetzen wären (Ruckpaul, 2017).

2.2.3 Zwischenfazit

Zur Untersuchung von Konstruktionsprozessen werden sowohl traditionelle Untersuchungsmethoden der Sozialforschung, wie Protokollanalysen und Beobachtungen, als auch Messungen von Biosignalen, wie Eye-Tracking, eingesetzt. Vor allem

¹³ Die Aufgabe wird in dieser Forschungsarbeit in angepasster Form genutzt (siehe Kapitel 5.1).

¹⁴ Das Konzept der örtlichen Gebundenheit wird in Kapitel 2.3.1 näher beschrieben.

die Kombination von quantitativen Messverfahren und kontextspezifischen Informationen der traditionellen Methoden bietet einen umfassenden Erkenntnisgewinn für Studien in der Konstruktionsforschung.

Empirische Studien zur Analyse technischer Systeme untersuchen zumeist die Funktionsanalyse. Bei letzterer werden zuvor unbekannte Systeme in Hinblick auf ihre Funktionserfüllung analysiert. Dies unterscheidet sich vom Alltag in der Konstruktion, da dort an einem bekannten System Wissen für den nächsten Syntheseschritt aufgebaut werden muss. Da in den meisten Studien die Funktionsanalyse abgebildet wird, sind die Vorgehensweisen und Herausforderungen bei der Fehleranalyse unbekannt.

2.3 Confirmation Bias

Bei der Analyse technischer Systeme werden Informationen aufgenommen, verarbeitet und in mentalen Modellen gespeichert. Auf Basis dieser mentalen Modelle treffen Konstrukteure Entscheidungen über den weiteren Verlauf der Entwicklung. Die Analyse technischer Systeme ist daher eine kognitiv anspruchsvolle Aufgabe, die anfällig für Denkfehler ist. Die Ursprünge der Forschung an Denkfehlern sind verankert in der Psychologie und der Verhaltensökonomik, in der untersucht wird, wie Menschen in wirtschaftlichen Situationen Entscheidungen treffen. Im Folgenden werden die Grundlagen dieses Forschungsfeldes und Anknüpfungen an die Konstruktionsforschung dargestellt.

Der Confirmation Bias als systematischer Denkfehler von zentraler Bedeutung wird dabei detaillierter dargestellt und von anderen Denkfehlern abgegrenzt. Im Anschluss werden Untersuchungen zum Confirmation Bias insbesondere in der Konstruktionsforschung dargestellt. Anschließend werden Methoden zur Reduzierung von systematischen Denkfehlern erläutert.

2.3.1 Heuristiken und systematische Denkfehler

Kahnemann und Tversky begannen in den 1970er-Jahren ihre Forschung an kognitiven Heuristiken und systematischen Denkfehlern. Diese Arbeiten stellten den Beginn eines neuen Forschungsfeldes dar. Die grundlegende These der Studien ist die Unterscheidung des menschlichen Denkens in zwei Systeme. System 1 beschreibt das schnelle, automatische, unbewusste und intuitive Denken, während System 2 das langsame, anstrengende, bewusste und logische Denken darstellt.

In vielen Situationen müssten Menschen eine Unmenge an Informationen berücksichtigen, um eine rationale Entscheidung zu treffen. Stattdessen nutzen sie Heuristiken, um die Informationsmenge zu reduzieren und eine einfachere Entscheidung zu treffen (Tversky & Kahneman, 1974). Meistens ist das schnelle Denken (System 1) ausreichend genau und bietet einen deutlichen Vorteil, da es schnell zu einer Entscheidung führt. In einigen Fällen können Heuristiken (Tabelle 2.2) jedoch gravierende und systematische Fehler zur Folge haben. Diese systematischen Fehler, die auf die bewusste und unbewusste Nutzung von Heuristiken zurückzuführen sind, werden systematische Denkfehler genannt (Tversky & Kahneman, 1974).

Heuristiken und deren Auswirkungen werden in der Literatur unterschiedlich bewertet. Während Kahneman (2011) vor allem die negativen Auswirkungen sowie die systematischen Fehler beschreibt, stellen Todd und Gigerenzer (2000) die positiven Seiten von Heuristiken hervor. In vielen Veröffentlichungen zur Entscheidungsfindung wird die Prämisse unterstellt, dass Entscheidungsträger unbegrenzte Zeit und Informationen haben, um eine rationale Entscheidung treffen zu können. Da diese Randbedingungen in realen Entscheidungssituationen nicht zutreffen, sollten Forscher stattdessen die begrenzte Rationalität menschlichen Denkens akzeptieren und Entscheidungsträgern einfache Regeln zur Verfügung stellen. Diese *schnellen und frugalen Heuristiken* ermöglichen es, in komplexen Situationen auf Basis weniger Informationen gute Entscheidungen zu treffen (Todd & Gigerenzer, 2000). Sie gelten jedoch immer nur für spezielle Bereiche.

Tabelle 2.2: Exemplarische Darstellung bekannter Heuristiken

Heuristik	Beschreibung
Verfügbarkeitsheuristik (availability heuristic)	Die Verfügbarkeitsheuristik tritt beim Schätzen von Häufigkeiten auf. Die schwierige Frage nach der Häufigkeit eines Ereignisses wird durch die einfachere Frage ‚Wie leicht fällt es mir, ein Beispiel des Falls zu nennen?‘ ersetzt (Tversky & Kahneman, 1974).
Ankereffekt (anchoring heuristic)	Der Ankereffekt beschreibt, dass sich Menschen beim Schätzen von Zahlenwerten von einem Startwert beeinflussen lassen (Tversky & Kahneman, 1974). In einem Experiment sollten Probanden den prozentualen Anteil an afrikanischen Staaten in den Vereinten Nationen schätzen. Bevor sie eine Antwort gaben, wurde ihnen eine zufällige Zahl zwischen 0 und 100 genannt. Die Studienteilnehmer, denen eine niedrigere Zahl genannt wurde, schätzten den Anteil deutlich geringer ein (Tversky & Kahneman, 1974).
Repräsentativitätsheuristik (representativeness heuristic, conjunction fallacy)	Die Repräsentativitätsheuristik besagt, dass Wahrscheinlichkeiten danach beurteilt werden, wie gut ein Ereignis in ein bestimmtes Schema passt (wie repräsentativ es für das Schema ist) – die zugrundeliegende Häufigkeitsverteilung wird dabei vernachlässigt (Pfister, Jungermann & Fischer, 2017).
Decoy-Effekt (decoy effect)	Der Decoy-Effekt beschreibt die Bevorzugung eines Produktes gegenüber einem zweiten Produkt, wenn ein drittes Produkt vorgestellt wird, das dem ersten ähnlich, ihm aber deutlich unterlegen ist (Ariely, 2008).
Heureka-Heuristik (eureka heuristic)	Die Heureka-Heuristik wird durch Aha-Momente ausgelöst. Letztere treten bei plötzlichen Erkenntnissen auf und sind mit einem positiven Gefühl verbunden (Bühler, 1907). Die Heureka-Heuristik besagt nach Laukkonen, Kaveladze, Tangen und Schooler (2020), dass Erkenntnisse, die von einem Aha-Moment begleitet werden, eher als korrekt und wertig eingeschätzt werden.

Blickheuristik – Beispiel einer schnellen und frugalen Heuristik

Marewski, Gaissmaier und Gigerenzer (2010) beschreiben die *Gaze Heuristic* (siehe Abbildung 2.3) als Beispiel einer schnellen und einfachen Heuristik, die ein Sportler beim Fangen eines Balles anwenden kann. Eine rationale Entscheidung würde in diesem Fall die Berechnung der Flugbahn unter Berücksichtigung aller relevanten Parameter (Abwurfgeschwindigkeit, Wind, Drehung des Balls etc.) entsprechen. Die Nutzung der *Blickheuristik* ermöglicht es dem Sportler, den Ball ohne Berechnung zu fangen. Er schaut hierfür zu einem Zeitpunkt auf den Ball und fängt an zu laufen. Beim Laufen versucht er den Blickwinkel zum Ball konstant zu halten, indem er seine Geschwindigkeit und Laufrichtung anpasst. Kann er den Winkel konstant halten, wird er zum richtigen Zeitpunkt an der Stelle sein, an der er den Ball fangen kann (Marewski et al., 2010). Da die rationale Lösung des Problems eine präzise Schätzung vieler Parameter erfordert, können hierbei Ungenauigkeiten bei der Lösung des Problems entstehen.

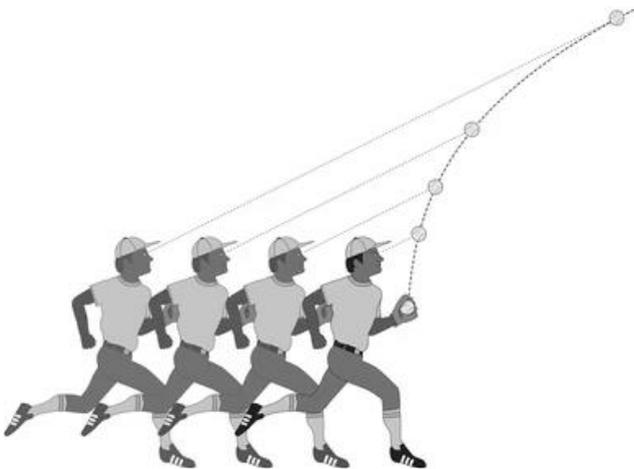


Abbildung 2.3: Darstellung der Blickheuristik beim Fangen eines Balls (Marewski et al., 2010)

Für einige komplexe Entscheidungsumgebungen zeigen Marewski et al. (2010), dass Heuristiken schnellere und bessere Lösungen genießen können als auf-

wendige rationale Ansätze. Heuristiken gelten jedoch lediglich für vergleichbare Entscheidungsumgebungen und können daher nur bedingt auf Entscheidungen in anderen Situationen übertragen werden. Jedoch bestehen auch viele Entscheidungsheuristiken, die unbewusst eingesetzt werden und zu systematischen Fehlentscheidungen führen (bspw. Verfügbarkeitsheuristik). In Bereichen, für die keine *schnellen und frugalen Heuristiken* bekannt sind, sollte daher zunächst erfasst werden, welche systematischen Fehler im jeweiligen Bereich entstehen und wie diese vermindert werden können.

Übersicht systematischer Denkfehler

Systematische Denkfehler sind Fehler des menschlichen Denkens, die zuverlässig auftreten und zu einem verzerrten Abbild der Realität führen (Haselton et al., 2015). Häufig werden sie durch Heuristiken ausgelöst, sie lassen sich aber auch auf Beschränkungen menschlicher Kognition zurückführen (Haselton et al., 2015). Zudem nennen Mohanani et al. (2018) Sinnestäuschungen, Gruppenprozesse wie *Groupthink*, psychologische Phänomene, Motivation und Anpassung an die Umgebung als mögliche Ursachen.

Seit Tversky und Kahnemann das Konzept der systematischen Denkfehler in den 1970er-Jahren begründeten, ist das Forschungsfeld sehr stark gewachsen. Es bestehen Übersichten, die 187 bis 288 systematische Denkfehler auflisten (Ellis, 2018). Nach Arnott (2006) lassen sich systematische Denkfehler in die folgenden Kategorien einteilen:

- Gedächtnisverzerrungen, bei denen das Speichern und Abrufen von Informationen beeinflusst wird;
- statistische Verzerrungen als die Tendenz, Informationen entgegen den Regeln der Wahrscheinlichkeitstheorie zu verarbeiten;
- Konfidenzverzerrungen, die das Vertrauen in die Fähigkeiten als Entscheidungsträgers erhöhen
- Präsentationsverzerrungen, die die Art beeinflussen, wie Informationen wahrgenommen und verarbeitet werden, sowie
- situationsbedingte Verzerrungen, die beschreiben, wie Personen auf Entscheidungssituationen reagieren.

Arnott (2006) schreibt jedoch auch, dass sich die systematischen Denkfehler nicht strikt in die Klassifizierung einordnen lassen und sich die Definitionen und Wirkungen überschneiden können.¹⁵

Systematische Denkfehler werden herangezogen, um das Entscheidungsverhalten von Personen in vielen Fachdisziplinen zu erklären – unter anderem in der Medizin (Chapman, 2004), im Recht (Schweizer, 2005) und in der Intelligence Analysis¹⁶ (Lehner, Adelman, Cheikes & Brown, 2008). Im Bereich der Informatik führten Mohanani et al. (2018) eine systematische Literaturrecherche durch, die allein in diesem Feld 65 Primärstudien umfasst.

In Tabelle 2.3 werden einige bekannte systematische Denkfehler exemplarisch dargestellt.

¹⁵ Arnott (2006) ordnet den Confirmation Bias zwar den Konfidenzverzerrungen zu, jedoch beeinflusst der Confirmation Bias auch die Suche nach Informationen (Nickerson (1998); Rajsic, Wilson und Pratt (2015), die den Präsentationsverzerrungen zuzuordnen ist.

¹⁶ Intelligence Analysis beschreibt im Englischen den Prozess, um aus vorhandenen Informationen Bedeutung zu entwickeln, wie dies bei Nachrichtendiensten und Polizeibehörden der Fall ist.

Tabelle 2.3: Darstellung von systematischen Denkfehlern

Systematischer Denkfehler	Beschreibung
Hindsight Bias	Im Nachhinein wird die Fähigkeit, ein Ereignis vorherzusagen deutlich überschätzt (Leary, 1982).
Funktionale Gebundenheit (functional fixedness)	Die funktionale Gebundenheit beschreibt, dass Personen Objekte meist nur für Zwecke benutzen, die die Objekte normalerweise erfüllen (Duncker, 1974).
Overconfidence Bias (optimism bias)	Beim Overconfidence Bias werden die eigenen Fähigkeiten überschätzt, was sich unter anderem in einer zu optimistischen Projektplanung zeigen kann (Mohanani et al., 2018).
Zeitpräferenz (Intertemporal Discounting)	Zeitpräferenz beschreibt die Neigung, kleine naheliegende Belohnungen späteren größeren Belohnungen vorzuziehen (Soman et al., 2005).
Halo-Effekt (halo effect)	Beim Halo-Effekt wird von unbekanntem Eigenschaften einer Sache oder Person auf andere unbekanntem Eigenschaften geschlossen (Kahneman, 2011).

Limitierungen der Forschung an systematischen Denkfehlern

Auch wenn durch die Forschung an systematischen Denkfehlern viele Verhaltensweisen und Entscheidungen beschrieben und erklärt werden können, gibt es einige Limitierungen. Mohanani et al. (2018) zählen zu diesen eine inkonsistente Benennung und Definition der Denkfehler, eine separierte Betrachtung der Denkfehler und eine Vernachlässigung der zugrunde liegenden Effekte, die zu den Denkfehlern führen. Gigerenzer beschreibt zudem eine Tendenz, Effekte auf systematische Denkfehler zurückzuführen, die nicht systematisch sondern zufällig auftreten, und spricht von einem „Bias Bias“ (Gigerenzer, 2018, S. 303).

2.3.2 Definition Confirmation Bias

Der Confirmation Bias wird als einer der problematischsten Aspekte des menschlichen Denkens bezeichnet (Nickerson, 1998). Die erste Beschreibung dieses Effektes wird Sir Francis Bacon im Jahr 1620 zugeschrieben (Bilalić, McLeod & Gobet, 2008).

Ausprägung des Confirmation Bias

Im Rahmen dieser Arbeit wird die übergeordnete Definition des Confirmation Bias nach Nickerson (1998) genutzt, nach der dieser die menschliche Neigung beschreibt, Informationen zu suchen und so zu interpretieren, dass sie die eigene Ansicht bestätigen. Nach Nickerson (1998) beeinflusst der Confirmation Bias also die Interpretation und Suche von Informationen.

Zur weiteren Abgrenzung der Informationsinterpretation und -suche werden die Beschreibungen von Lehner et al. (2008) sowie Rajsic, Wilson und Pratt (2015) genutzt. Der Einfluss des Confirmation Bias auf die Interpretation von Informationen kann nach Lehner et al. (2008) in drei Fehlerarten unterschieden werden:

- Interpretation Error:
Widerlegende Indizien werden als bestätigende Indizien¹⁷ fehlinterpretiert.
- Projection Error:
Informationen, die aus objektiver Sicht keine Aussage zur Vermutung zulassen, werden als bestätigende Indizien fehlinterpretiert.

¹⁷ Indizien werden in dieser Arbeit als Informationen verstanden, die zur Bewertung einer Vermutung genutzt werden.

- **Weighting Error:**

Beim Weighting Error wird zwar die Richtung des Indizes korrekt erkannt, jedoch wird die Stärke der Aussagekraft in Richtung Bestätigung der eigenen Ansicht verschoben. Stark widerlegende Indizien werden als schwach widerlegend und schwach bestätigende Indizien als stark bestätigend für die eigene Vermutung wahrgenommen.

Der Einfluss des Confirmation Bias auf die Informationssuche wird von Rajsic et al. (2015) beschrieben. Menschen suchen ihnen zufolge eher in Bereichen eines Stimulus, in denen sie bestätigende Informationen erwarten (Rajsic et al., 2015). Im Rahmen dieser Forschungsarbeit soll daher ebenfalls untersucht werden, welchen Einfluss der Confirmation Bias auf die visuelle Informationssuche bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren hat.

2.3.3 Abgrenzung des Confirmation Bias von ähnlichen Effekten

Wie zuvor beschrieben, werden in der Forschungsliteratur systematische Denkfehler häufig unterschiedlich beschrieben und definiert. Daher werden im Folgenden ähnliche Denkfehler erklärt und voneinander abgegrenzt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass wenig über die Ursachen der systematischen Denkfehler bekannt ist und es auch zu deren gegenseitiger Verstärkung kommen kann.

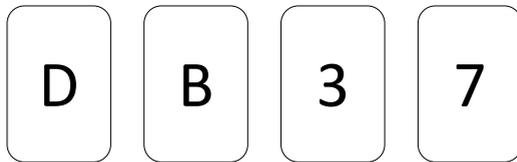
Positive Teststrategie (positive test strategy)

Nach Klayman und Ha (1987) verfolgen Menschen bei der Untersuchung von Hypothesen eine positive Teststrategie. Hierbei werden Instanzen untersucht, bei denen erwartet wird, dass ein durch die Hypothese vorhergesagtes Ereignis oder Merkmal auftritt.

Leventhal, Teasley, Rohlman und Instone (1993) zeigten, dass Softwareentwickler viermal häufiger positive Tests durchführten, um zu zeigen, dass die Software funktioniert, als Tests, die die Funktionsweise infrage stellen. Die Autoren nennen die Programmierung einer Eingabezeile für eine Postleitzahl als Beispiel. Ein positiver Test liegt bei der Eingabe einer fünfstelligen Zahl vor, in diesem Fall müsste die Zahl abgespeichert werden. Ein negativer Test liegt vor, wenn andere Zeichenfolgen eingegeben werden, in diesem Fall müsste eine Fehlermeldung ausgegeben werden.

Die ersten Untersuchungen in diesem Bereich stammen von Peter Wason Anfang der 1960er-Jahre. Er untersuchte an einfachen Aufgaben, inwiefern Menschen wissenschaftliche Denkweisen anwenden und Annahmen falsifizieren. In einer Studie bekamen Probanden die Aufgabe, die einer Zahlenfolge zugrundeliegende Regel zu bestimmen. Sie bekamen eine Zahlenfolge (2, 4, 6) vorgegeben, die der Regel folgt. Sie konnten jederzeit dem Experimentleiter eine Zahlenreihenfolge nennen, woraufhin dieser antwortete, ob diese der Regel entspricht. Wason konnte zeigen, dass Probanden häufig ausschließlich nach Bestätigung für ihre Annahmen suchten (bspw. 4, 6, 8 oder 10, 12, 14 für die Regel ‚Addiere 2 zur vorangegangenen Zahl‘) und selten ihre Annahmen falsifizierten (bspw. 2, 4, 5 für die Regel ‚Addiere 2 zur vorangegangenen Zahl‘). Probanden, die ihre Vermutungen auch falsifizierten, erkannten häufiger die korrekte Regel (‚drei aufsteigende Zahlen‘) (Wason, 1960).

In einer weiteren Studie von Wason (1968) bekamen die Probanden vier Spielkarten vorgelegt. Auf einer Seite jeder Karte war ein Buchstabe, auf der anderen eine Zahl. Den Probanden wurde eine Regel vorgelegt, die sie durch Umdrehen möglichst weniger Karten überprüfen sollten (siehe Abbildung 2.4).



Welche Karten müssen zum Überprüfen der folgenden Regel umgedreht werden?

Wenn auf einer Seite der Karte ein „D“ steht, dann ist eine „3“ auf der anderen Seite.

Abbildung 2.4: Wason's Card Test, nach Wason (1960)

Um die Korrektheit der Regel zu überprüfen, müssen die Karten ‚D‘ und ‚7‘ umgedreht werden. Die meisten Probanden haben jedoch die Karten ‚D‘ und ‚3‘ umgedreht. Wason (1968) führt das auf eine Fixierung auf die Korrektheit der Regel zurück.¹⁸ Die Probanden berücksichtigen nicht, dass die Regel falsch sein könnte. Sie

¹⁸ Die Karten ‚D‘ und ‚7‘ müssen zur Überprüfung der Regel umgedreht werden. Auf der Rückseite der Karte ‚D‘ muss ‚3‘ und auf der Rückseite der Karte ‚7‘ darf

testeten daher nicht den Fall, dass die Karte ‚7‘ ein ‚D‘ auf der Rückseite hat und somit die Regel falsifiziert. Wason (1968) schlussfolgert daraus, dass Menschen Schwierigkeiten mit der logischen, wissenschaftlichen Denkweise und dem Falsifizieren von Hypothesen haben.

Obwohl die Studien von Wason häufig als Ursprung der wissenschaftlichen Untersuchung des Confirmation Bias genannt werden, werden auch einige methodische Schwächen kritisiert. So konnte in Untersuchungen, in denen weniger abstrakte Aufgaben verwendet wurden, gezeigt werden, dass die Fehler deutlich seltener auftraten (Cox & Griggs, 1982; Johnson-Laird, Legrenzi & Legrenzi, 1972). Klayman und Ha (1987) schlagen zudem vor, die ineffizienten Vorgehensweisen bei der Zahlen-trippel-Studie eher als *positive Teststrategie*¹⁹ zu bezeichnen und nicht als Confirmation Bias.

Bei der Untersuchung von Mynatt, Doherty und Tweney (1977) sollten Probanden Bewegungsgesetze für eine simulierte Umgebung identifizieren. Hierzu konnten sie Hypothesen an einer Computersimulation testen. Im Gegensatz zu den Studien von Wason (1968) hatten die Probanden keine Schwierigkeit, Hypothesen bei eindeutigen Gegenindizien zu widerlegen. Jedoch testeten sie selten Hypothesen, die ihre Vermutung widerlegen könnten (Mynatt et al., 1977).

Cognitive Resistance

In der Dissertation von Boer (2012) wird Cognitive Resistance als das Vermögen beschrieben, externe Reize zu ertragen, die dem eigenen mentalen Modell widersprechen. In einer Studie untersuchte Boer die Wechselwirkungen zwischen Emotionen und der Cognitive Resistance. Die Beschreibung ähnelt stark dem Confirmation Bias. Beide Begriffe werden in der Arbeit verwendet jedoch nicht voneinander abgegrenzt. Boer (2012) untersuchte zwar Konstrukteure, jedoch wurde eine abstrakte Aufgabenstellung verwendet, bei der eine Zahlenreihenfolge durch nacheinander durchgeführte Rechenoperationen auf eine Ziffer reduziert wurde (Boer, 2012). Es ist daher unklar, inwiefern die Studie Problemstellungen aus der Konstruktion abbildet.

Pseudodiagnostizität (Pseudodiagnosticity)

kein ‚D‘ stehen. Die Karte ‚3‘ muss nicht überprüft werden, da auch bei anderen Buchstaben die ‚3‘ auf der Rückseite stehen kann.

¹⁹ Nähere Erklärung in Kapitel 2.3.3.

Pseudodiagnostizität beschreibt den Fehler, diagnostisch relevante Informationen falsch zu erkennen und auszuwählen (Mynatt, Doherty & Tweney, 1978). Diagnostisch relevante Informationen ermöglichen Aussagen zur Wahrscheinlichkeit des Zutreffens einer Hypothese. Die Beweiskraft eines Indizes beschreibt, wie viel häufiger oder seltener das Indiz beim Zutreffen einer Hypothese auftritt als bei deren Nichtzutreffen (Schweizer, 2005).

In einer Studie von Mynatt et al. (1978) zur Pseudodiagnostizität sollten Probanden den Fundort einer Vase einer von zwei Inseln zuordnen. Sie erhielten Informationen zu binären Merkmalsausprägungen der Vase (gebogener Henkel (nicht gerade), glatter Ton (nicht rau)). Zudem konnten sie Informationen über die Häufigkeit der Merkmalsausprägungen auf den zwei Inseln erlangen. Die meisten Probanden fragten nur nach der Häufigkeitsverteilung für die von ihnen ausgewählte Insel. Der diagnostische Wert der Merkmale ergibt sich jedoch nur daraus, dass eine Merkmalsausprägung auf beiden Inseln unterschiedlich häufig auftritt. Die Information ‚79 % der Vasen auf Insel 1 haben gebogene Henkel‘ hat nur dann einen diagnostischen Wert, wenn auf der zweiten Insel mehr oder weniger Vasen einen gebogenen Henkel haben. Mynatt et al. (1978) führen die ausschließliche Suche nach Informationen auf der ausgewählten Insel auch auf den Confirmation Bias zurück. Nach der Beschreibung von Schweizer (2005) handelt es sich hierbei jedoch eher um eine ineffiziente Suchstrategie, da mit der Vorgehensweise weder bestätigende noch widerlegende Indizien erlangt werden.

Einstellungseffekt (mental-set effect)

Der Einstellungseffekt tritt auf, wenn eine gefundene Lösung für ein Problem das Finden weiterer Lösungen verhindert (Luchins, 1942). Bilalić, McLeod und Gobet (2010) zeigten, dass das Finden einer Lösung beim Schachspiel auch die Informationsaufnahme beeinflusst. Probanden, die eine Lösung gefunden hatten, schauten häufiger auf konsistente Informationen zu ihrem Zug als auf inkonsistente Informationen. Alternative Lösungen für das Problem wurden durch den Einstellungseffekt nicht gefunden (Bilalić et al., 2010).

In der Konstruktionsforschung wird der Einstellungseffekt als Design-Fixation bezeichnet. Dabei hält ein Entwickler an bekannten Lösungen oder Konzepten fest (siehe Kapitel 2.3.5).

2.3.4 Studien zum Confirmation Bias

In der Studie von Lehner et al. (2008) haben Analysten der Intelligence Analysis anhand vorgegebener Informationen einen Unfall auf einem Kriegsschiff untersucht.

Die Studienteilnehmer bekamen zunächst eine Beschreibung des Unfalls. Anschließend wurden in mehreren Runden vorbereitete Indizien verteilt, die stets eine Hypothese unterstützten oder widerlegten. Die Indizien wurden so ausgegeben, dass zwei Hypothesen als besonders wahrscheinlich dargestellt werden. Dies sollte den Confirmation Bias auslösen. In den weiteren Runden wurden Indizien vorgestellt, die diese Hypothesen widerlegten. Die Teilnehmer sollten die Richtung (stark bestätigend bis stark widerlegend) jedes Indizes und nach jeder Runde die Wahrscheinlichkeit der Hypothesen angeben. Der Confirmation Bias trat hierbei vor allem bei unerfahrenen Probanden auf. Diese erkannten zwar die korrekte Richtung der Indizien, schätzten deren Stärke jedoch falsch ein (Weighting Error) (Lehner et al., 2008).

In einer ähnlichen Studie von Cook und Smallman (2008) wurden den Studienteilnehmern (Analysten der U. S. Navy) ebenfalls vordefinierte Hypothesen und Indizien vorgelegt. Der Confirmation Bias zeigte sich in dieser Untersuchung vor allem darin, dass bestätigende Indizien als besonders wichtig für die Analyse eingestuft wurden (Cook & Smallman, 2008).

Die Untersuchung des Confirmation Bias wird meist in Laborstudien an stark vereinfachten Aufgaben durchgeführt (Coley, Houseman & Roy, 2007). Häufig werden Hypothesen und Indizien für die Studie aufbereitet und den Probanden vorgegeben (vgl. Cook & Smallman, 2008; Lehner et al., 2008). In diesen Studien verfolgen die Probanden nicht ihre eigenen Vermutungen, sondern nutzen vorgegebene Hypothesen. Der Einfluss dieser Vereinfachung ist nicht bekannt. Der Confirmation Bias ist jedoch stärker, wenn der Proband stark an eine Hypothese glaubt (Schweizer, 2005). Bei selbst aufgestellten Hypothesen sollte der Confirmation Bias daher stärker ausgeprägt sein als bei vorgegebenen Hypothesen.

In einigen Studien wurde bereits die häufigere Nutzung von bestätigenden Indizien als Anzeichen des Confirmation Bias gewertet (Hallihan, Cheong & Shu, 2012; Hallihan & Shu, 2013). Das Verhältnis zwischen genutzten bestätigenden und widerlegenden Indizien sollte jedoch nur in Studien verwendet werden, in denen die Verteilung von objektiv bestätigenden und widerlegenden Indizien bekannt ist. Obwohl der Confirmation Bias einen Einfluss auf die Suche und die Interpretation von Informationen hat, wurden in den berücksichtigten Studien nur einzelne Effekte untersucht. Für die Übertragung von Erkenntnissen auf systematische Denkfehler ist es notwendig, möglichst realitätsnahe Aufgaben zu verwenden, da Vereinfachungen und Abstraktionen zu Veränderungen der systematischen Denkfehler führen (Stacy & MacMillan, 1995).

Des Weiteren liegen zum Einfluss der Erfahrung auf den Confirmation Bias unterschiedliche Ergebnisse vor. Bei der Untersuchung von Studierenden und Experten der Spurensicherung konnten keine Unterschiede bezüglich des Auftretens des Confirmation Bias erkannt werden (van den Eeden, Poot & van Koppen, 2019). Bei Studien mit erfahrenen Medizinerinnen wurde hingegen gezeigt, dass sie weniger anfällig für den Confirmation Bias sind als Mediziner mit weniger Berufserfahrung (Krems & Zierer, 1994). In der Konstruktionsforschung ist der Einfluss der Erfahrung auf den Confirmation Bias bisher unbekannt.

2.3.5 Systematische Denkfehler in der Konstruktion

In der Konstruktionsforschung gibt es nur wenige Forschungsarbeiten zu systematischen Denkfehlern (Nordfeld, 2013), obwohl die Berücksichtigung des unbewussten und rationalen Denkens wie auch die Vermeidung systematischer Denkfehler bedeutende Aspekte für die Konstruktionsmethodik darstellen (Ehrlenspiel, 2020). Drei Forschungsbereiche konnten identifiziert werden, die sich mit Denkfehlern befassen. Diese werden in diesem Unterkapitel vorgestellt.

Von einer Forschergruppe wurden bereits an sehr abstrakten Aufgaben das Auftreten des Confirmation Bias sowie Möglichkeiten zu dessen Überwindung in der Produktentwicklung beschrieben (Hallihan et al., 2012; Hallihan & Shu, 2013). Eine weitere Forschungsgruppe am IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) untersucht Entscheidungsheuristiken in der Produktentwicklung (Bursac et al., 2018; Tanaiutchawoot, Bursac, Rapp & Albers, 2019). Deutlich zahlreichere Studien liegen dagegen in der Konstruktionsforschung zur *Design-Fixation* vor – einem systematischen Denkfehler, der bei der Gestaltung von Systemen auftritt.

Hallihan et al. (2012) analysierten in mehreren Studien systematische Denkfehler im Umfeld der Produktentwicklung. In einer ersten Studie wurde untersucht, ob der Confirmation Bias in der Konzeptentwicklung bei Studierenden auftritt. Hierzu wurden die Aussagen der Studierenden transkribiert. In den Transkripten wurden Annahmen sowie bestätigende und widerlegende Indizien kodiert. Die Ergebnisse zeigen, dass der Anteil an bestätigenden Aussagen (83 %) deutlich höher lag als der Anteil an widerlegenden Aussagen (17 %). Die Autoren führen diese einseitige Verteilung auf den Confirmation Bias zurück. Da unbekannt ist, ob bestätigende und widerlegende Indizien bei der Konzeptentwicklung zu gleichen Anteilen vorlagen, ist dieser Schluss auf Fehlinterpretationen durch den Confirmation Bias unsicher.

In einer weiteren Studie führten Hallihan et al. (2012) eine Variante des *Wason's Card Test* (Wason, 1968) durch. In dieser Untersuchung gelangten sie zu ähnlichen

Ergebnissen wie Wason (1968). Die Autoren führen die Ergebnisse auf den Confirmation Bias zurück, obwohl *Wason's Card Test* der positiven Teststrategie zuzuordnen ist (Klayman & Ha, 1987).

In weiteren Studien untersuchten Hallihan et al. (2012) sowie Hallihan und Shu (2013), wie Probanden bei der Beantwortung einer wissenschaftlichen Fragestellung der Konstruktionsforschung unterstützt werden können. Dazu wurden sie mit einer vereinfachten Version der ACH-Methode²⁰ vertraut gemacht. Die Probanden sollten eine vorgegebene Hypothese zum Auftreten von Design-Fixation anhand vorgegebener Konzepte überprüfen (Hallihan et al., 2012). Die Aufgabenstellung bildete die Tätigkeiten eines Wissenschaftlers ab, jedoch nicht jene eines Konstrukteurs. Zu den Auswirkungen des Confirmation Bias im Bereich der Konstruktion liegen daher keine Forschungsarbeiten vor.

Überdies untersuchten Bursac, Rapp, Albers, Breitschuh und Tanaiutchwoot (2017), inwiefern Entscheidungsheuristiken die Produktentwicklung beeinflussen. Sie zeigten, dass bei Produktentwicklern verschiedene Entscheidungsheuristiken (Decoy, Repräsentativitätsheuristik) auftreten (Bursac et al., 2018). Zudem demonstrierten sie, dass Nudges²¹ in der Produktentwicklung eingesetzt werden können, um Bewertungen in letzterer objektiver zu treffen (Tanaiutchwoot, Bursac, Rapp, Albers & Heimicke, 2019).

Besonders umfassend wird die Design-Fixation in der Konstruktionsforschung untersucht. Design-Fixation beschreibt ein blindes Festhalten an Ideen oder Konzepten, das Gestaltungsergebnisse beschränkt. Es handelt sich um einen Effekt, der große Ähnlichkeiten mit der funktionalen Gebundenheit und dem Einstellungseffekt aufweist und speziell im Design auftritt (Jansson & Smith, 1991). Die Erforschung von Design-Fixation hat sich zu einem Teilbereich der Konstruktionsforschung entwickelt, in dem der Effekt und Möglichkeiten zu dessen Überwindung untersucht werden (Crilly, 2019). Crilly und Cardoso (2017) bringen Design-Fixation mit einer Reihe weiterer systematischer Denkfehler in Verbindung, darunter auch der Confirmation Bias. Wie Design-Fixation und Confirmation Bias zusammenhängen wird jedoch nicht beschrieben.

²⁰ Analysis of Competing Hypotheses (ACH) nach Heuer (1999), siehe auch Kapitel 2.3.6 und 6.2.

²¹ Nudge (dt. Stups) – ein Begriff der durch Thaler und Sunstein (2009) in ihrem Buch „Nudge – Improving Decisions about Health, Wealth, and Happiness“ geprägt wurde. Nudges bezeichnen einfache Methoden, die Entscheidungen in vielen Situationen verbessern können, ohne Wahlmöglichkeiten einzuschränken.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Design-Fixation nicht näher betrachtet, da sie das Gestalten von Neuem einengt und damit Einfluss auf divergente Phasen in der Problemlösung hat. In dieser Untersuchung liegt der Fokus jedoch auf den konvergenten Phasen der Problemlösung (vgl. Kapitel 3.1.3).

2.3.6 Methoden zur Reduzierung systematischer Denkfehler

Seit den ersten Studien zu systematischen Denkfehlern wurden wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt, um Strategien und Methoden zur Verminderung der Fehler zu entwickeln – sogenannte Debiasing-Ansätze. Das bloße Wissen über systematische Denkfehler führt nicht zu deren Reduzierung (Stacy & MacMillan, 1995). Die Debiasing-Ansätze lassen sich in folgende drei Kategorien unterteilen:

- **Änderung der Anreize:**
Durch Anreize kann ein erwünschtes Verhalten verstärkt werden; so führt die Belohnung von gesundem Verhalten zu mehr Sport, einer besseren Ernährung und weniger Tabakkonsum (Morewedge et al., 2015).
- **Optimierung der Entscheidungsprozesse:**
Durch die Optimierung der Entscheidungsarchitektur können einzelne systematische Denkfehler verringert werden (Klayman & Brown, 1993). Beispielsweise kann bei der Planung von Projekten der Ankereffekt durch Planning-Poker verringert werden (Haugen, 2006). Hierbei schätzen die Beteiligten die Projektaufwände unabhängig voneinander und notieren diese. Die Aufwände werden gleichzeitig aufgedeckt, um eine gegenseitige Beeinflussung zu verhindern. Eine übermäßig zuversichtliche Einschätzung des Projektverlaufs (Overconfidence Bias) kann hierdurch jedoch nicht verringert werden. Eine Änderung der Anreize und die Optimierung der Entscheidungsprozesse gelten zudem meist nur für einzelne Bereiche und können nur selten auf andere Kontexte übertragen werden (Stacy & MacMillan, 1995).
- **Verbesserung der Entscheidungsfähigkeit durch Training:**
Zum Training von Entscheidungsträgern empfehlen Kahneman, Slovic und Tversky (2013) ein stufenweises Vorgehen. Hierzu sollen (1) Entscheidungsträger über das Auftreten systematischer Denkfehler unterrichtet, (2) die Richtung und der Einfluss von Denkfehlern auf die Entscheidungen beschrieben und (3) personalisiertes Feedback sowie (4) ein umfangreiches Coaching zur Verbesserung der Entscheidungsfähigkeit eingesetzt werden. Debiasing-Ansätze werden in unterschiedlichen Formen umgesetzt. Morewedge et al. (2015) nutzten die Schritte 1 bis 3 von Kahneman et al. (2013) und untersuchten den Einsatz eines Videos und

eines Computerspiels zur Reduktion von systematischen Denkfehlern. In dem Video bekamen die Probanden mehrere Heuristiken und systematische Denkfehler sowie Verminderungsstrategien vorgestellt. In einem speziell entworfenen Computerspiel wurden verschiedene Bias provoziert. Nach jedem Level bekamen die Spieler personalisiertes Feedback zu den aufgetretenen Denkfehlern und übten deren Überwindung an zusätzlichen Aufgaben. Sowohl Video als auch Computerspiel führten zu einer Verringerung systematischer Denkfehler. Auch zwei Monate nach der Schulung wurde eine Reduzierung der Denkfehler festgestellt (Morewedge et al., 2015).

Wie beschrieben soll im Rahmen dieser Arbeit eine methodische Unterstützung zur Reduktion des Confirmation Bias entwickelt werden. Dies stellt eine Optimierung der Entscheidungsprozesse dar. Folgende Kriterien wurden aus dem Stand der Forschung zur methodischen Reduzierung des Confirmation Bias abgeleitet:

- Aufstellen mehrerer Hypothesen:
Die Berücksichtigung alternativer Hypothesen ist ein bedeutender Schritt, um den Confirmation Bias zu verringern (Mynatt et al., 1977; Schweizer, 2005).
- Eingrenzung durch Falsifikation:
Die wissenschaftliche Denkweise, Hypothesen zu falsifizieren, statt sie zu verifizieren, verringert den Confirmation Bias (Mynatt et al., 1977; Schweizer, 2005). Methoden zur Fehleranalyse sollten daher das Ziel haben, Hypothesen durch Falsifizierung einzugrenzen.
- Verknüpfung mit vorliegenden Daten:
Zur Reduktion des Confirmation Bias sollten Annahmen vorliegenden Daten und Informationen gegenübergestellt werden, statt sich auf Meinungen und Intuition zu verlassen (Heuer, 1999).
- Berücksichtigung des diagnostischen Wertes vorliegender Daten:
Menschen haben die Neigung, den diagnostischen Wert von Daten zu überschätzen (Mynatt et al., 1977; Schweizer, 2005). Der Confirmation Bias kann dazu führen, dass Daten, die die eigenen Annahmen bestätigen, stärker gewichtet werden, obwohl sie auch andere Hypothesen bestätigen (Lehner et al., 2008). Bei der Fehleranalyse sollte daher Letzteres berücksichtigt werden.

- Definition von Folgeuntersuchungen zur Falsifikation:
Untersuchungen in der Fehleranalyse sollten das Ziel haben, Hypothesen zu falsifizieren und so eine Auswahl zwischen den Hypothesen zu ermöglichen (Mynatt et al., 1977).
- Dokumentation/Nachvollziehbarkeit der Analyse:
Eine nachvollziehbare Dokumentation ermöglicht es Entscheidungsträgern, die Schlussfolgerungen zu überprüfen und die Unsicherheit des Analyseergebnisses abzuschätzen (Heuer, 1999). Zur Überprüfung der Schlussfolgerungen muss klar zwischen objektiven Informationen und den daraus folgenden Interpretationen unterschieden werden.

Zur Überwindung von systematischen Denkfehlern bei der Intelligence Analysis der CIA entwickelte Heuer (1999) die bereits erwähnte Methode *Analysis of Competing Hypotheses*. Die ACH-Methode wurde auf Basis von Erkenntnissen aus der Kognitionspsychologie, der Entscheidungstheorie und der wissenschaftlichen Vorgehensweise entwickelt. Ziel der Methode ist es, zwischen verschiedenen möglichen Alternativen auf Basis vorhandener Informationen die wahrscheinlichste Erklärung oder Schlussfolgerung zu identifizieren. Durch die ACH-Methode sollen insbesondere der Confirmation Bias und Satisficing²² überwunden werden.

Heuer beanstandet, dass die meisten Verbesserungen der CIA auf höheren Prozessebenen und nicht bei der Kerntätigkeit der Analysten stattfinden. Er möchte daher mit der ACH-Methode das analytische Denken, also die zentrale Tätigkeit der Analysten, unterstützen. Bei der Anwendung der Methode werden mehrere Hypothesen und Indizien gesammelt und in einer Matrix gegenübergestellt. In den Zellen der Matrix wird bewertet, wie konsistent Indizien und Hypothesen miteinander sind. Auf Basis der Matrix wird dann versucht die Hypothesen zu falsifizieren. Letzteres ist für Heuer (1999) ein zentrales Element. So können Hypothesen, die nicht falsifiziert werden, dann vorsichtig akzeptiert werden.

In der Intelligence Analysis können allerdings zumeist keine statistischen Verfahren zu Falsifikation von Hypothesen eingesetzt werden, daher sollen Analysten versuchen, ihre Hypothesen argumentativ zu widerlegen. Heuer (1999) betont jedoch auch, dass die Suche nach Falsifikation nicht intuitiv ist und die Bedeutung von widerlegenden Informationen häufig unterschätzt wird.

²² Satisficing beschreibt nach Simon (1990) das Phänomen, dass die Suche nach einer Lösung nur so lange fortgesetzt wird, bis die eigene Erwartung an die Lösung erfüllt ist.

Die ACH-Methode nach Heuer (1999) beinhaltet folgende acht Schritte:

1. Identifikation möglicher Hypothesen:
Hierbei sollen Mitarbeiter mit unterschiedlichem Fachhintergrund nach Hypothesen suchen.
2. Sammlung von Indizien für alle Hypothesen:
Für alle Hypothesen sollen bestätigende und vor allem widerlegende Indizien beschrieben werden.
3. Aufstellen der Matrix:
Hypothesen und Indizien werden in einer Matrix gegenübergestellt. Die Aussagekraft der Indizien zu den Hypothesen bezüglich ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit wird in der Matrix dokumentiert. Die Bewertung erfolgt zeilenweise.
4. Verfeinern der Matrix:
Die Hypothesen werden hinterfragt und Indizien ohne Aussagekraft aus der Matrix entfernt.
5. Bewerten der relativen Wahrscheinlichkeit der Hypothesen:
Die relative Wahrscheinlichkeit der Hypothesen wird bewertet. Hierbei soll stets versucht werden die Hypothesen zu falsifizieren.
6. Hinterfragen der kritischen Indizien:
Die Schlussfolgerungen werden bezüglich der Sensibilität einzelner Indizien hinterfragt. Die Auswirkung von fehlinterpretierten Indizien wird abgeschätzt.
7. Berichten der Schlussfolgerungen:
Die relative Wahrscheinlichkeit aller Hypothesen wird dargestellt und nicht nur die der wahrscheinlichsten.
8. Definition von Wendepunkten:
Es werden mögliche künftige Beobachtungen definiert, die darauf hinweisen, dass die Schlussfolgerungen falsch sind.

Die ACH-Methode wurde bereits mehrfach in Studien untersucht. Lehner et al. (2008) analysierten den Nutzen der Methode in einem Experiment. Für eine gegebene Problemstellung aus der Intelligence Analysis wurden drei Hypothesen und 60 Indizien an die Probanden ausgegeben. Die Indizien bestätigten oder widerlegten dabei exakt eine Hypothese. Der Confirmation Bias äußerte sich vor allem im Auftreten des Weighting Errors, bei dem die Richtung des Indizes korrekt erkannt, die Stärke der Aussagekraft jedoch in Richtung Bestätigung der eigenen Ansicht verschoben wird (Lehner et al., 2008). Durch Anwendung der ACH-Methode konnte der Confirmation Bias bei Probanden mit geringer Erfahrung deutlich reduziert werden

(Lehner et al., 2008). Erfahrene Probanden hingegen waren auch ohne ACH-Methode weniger durch den Confirmation Bias beeinflusst. Bei ihnen konnte keine weitere Reduzierung des Confirmation Bias beobachtet werden (Lehner et al., 2008).

Darüber hinaus wandten Hallihan et al. (2012) eine modifizierte ACH-Methode im Bereich der Produktentwicklung an. Sie stellten den Teilnehmern die Aufgabe, eine Hypothese zur Design-Fixation („Das Vorhandensein eines Beispiels führt dazu, dass Designer Elemente des Beispiels fixieren und in ihre Lösungen einbauen.“) prüfen sollen. Die Anwendung der modifizierten ACH-Methode führte hierbei zu einer häufigeren Nennung von Gegenindizien und der Reduzierung des Confirmation Bias (Hallihan et al., 2012). Die Untersuchung liegt damit zwar im Umfeld des Design-Research, beschäftigt sich jedoch mit den Forschern und nicht mit den Entwicklern.

2.4 Fazit zum Stand der Forschung

Die Analyse ist ein essenzieller Bestandteil des Konstruierens. Vor allem bei der Entwicklung von neuen Systemen oder bei der Fehleranalyse müssen Konstrukteure die Ursache von Systemverhalten auf die Gestalt von Bauteilen zurückführen. Durch diese synthesesgetriebene Analyse bauen sie Wissen auf, um den nächsten Syntheseschritt durchführen zu können. Eine ungenügende Analyse kann hierbei zu langwierigen und kostenintensiven Iterationen führen.

Trotz der Relevanz der Analyse für die Konstruktion ist wenig über die dabei auftretenden Herausforderungen und Vorgehensweisen bekannt. Erkenntnisse aus anderen Fachdisziplinen legen jedoch nahe, dass auch in der Fehleranalyse von Konstrukteuren systematische Denkfehler auftreten, die die Suche, Interpretation und Nutzung von Informationen beeinflussen. Untersuchungen zu etablierten systematischen Denkfehlern wurden im Bereich der Konstruktion allerdings nur vereinzelt an stark abstrahierten Aufgaben durchgeführt. Eine Ausnahme bilden die Studien zur Design-Fixation. Da die Untersuchung von systematischen Denkfehlern an möglichst realitätsnahen Aufgaben durchgeführt werden sollte, ist wenig über deren Auftreten in der Konstruktion bekannt. Neben den Erkenntnissen zur Design-Fixation ist jedoch weitgehend unbekannt, inwiefern weitere systematische Denkfehler in der Konstruktion auftreten und ob vorhandene Methoden auch in der Konstruktion zu deren Reduzierung führen.

Überdies sind Empfehlungen zur Reduktion von systematischen Denkfehlern nur ungenügend in vorhandenen Methoden der Fehleranalyse abgebildet. Methoden,

die zur Überwindung systematischer Denkfehler geeignet sind, wurden noch nicht an realitätsnahen Aufgaben aus dem Bereich der Konstruktion evaluiert.

Es ist daher unbekannt, wie sich der Confirmation Bias bei der Fehleranalyse in der Konstruktion auswirkt und welche Methoden zu dessen Überwindung geeignet sind.

3 Motivation und Zielsetzung

In diesem Kapitel wird zunächst eine Fallstudie aus der Praxis dargestellt, um das Auftreten des Confirmation Bias und dessen möglichen Einfluss auf die Fehleranalyse in realen Projekten zu illustrieren. Aus den Beobachtungen in der Fallstudie und auf Basis des Stands der Forschung wird der Forschungsbedarf dargestellt und die Zielsetzung für die vorliegende Arbeit formuliert.

3.1 Motivation am Beispiel einer realen Fehleranalyse in der Industrie

Zur Darstellung des Confirmation Bias in der Fehleranalyse wird im Folgenden eine Fallstudie beschrieben. In dieser wurden Herausforderungen beobachtet, die einen Zusammenhang mit dem Confirmation Bias nahelegen.

Dieses Kapitel basiert auf der Veröffentlichung „Tatort Technik – Herausforderungen bei der Problemanalyse beim Konstruieren“ (Nelius, Eisenmann, Grauburger & Matthiesen, 2021a). Teile des folgenden Textes sind ohne Veränderung aus der Veröffentlichung übernommen.

3.1.1 Fallstudie zum Auftreten des Confirmation Bias in der Fehleranalyse

Zur Beobachtung einer realen Fehleranalyse wurde ein moderierter Workshop zur Fehleranalyse als Fallstudie genutzt. Ziel des Workshops war es, die Ursache für das Versagen einer Dichtung an einer Großmaschine im Tiefbau zu identifizieren. Aufgrund ihrer geometrischen Dimensionen und speziellen Anforderungen wurde in der Maschine ein Dichtungskonzept umgesetzt, zu dem weder unternehmensinternes noch -externes Erfahrungswissen vorlag. Durch den Ausfall dieser Dichtung kam es zu einem ungeplanten Stillstand der Maschine. Unternehmensinterne Untersuchungen und daraus abgeleitete Maßnahmen führten nicht zur Lösung des Problems. Da die Maschine bereits in Betrieb war, waren technische Änderungen

nur bedingt möglich. Sämtliche Änderungen hatten einen hohen Zeit- und Kostenaufwand zur Folge. Eine schnelle und nachhaltige Problemlösung hatte deshalb für das Unternehmen höchste Priorität.

Aufgrund der Größe der Maschine konnten die Problemursachen allerdings nur schwer experimentell untersucht werden. Durch eine Workshopreihe sollte die tatsächliche Problemursache identifiziert werden. Zur Lösung des Problems wurde eine Reihe von zehn eintägigen Workshops angesetzt, bei denen festgelegt wurde, welche Informationen zur Problemeingrenzung notwendig sind. Diese Informationen wurden unter anderem durch Simulationen, Begutachtung der Maschine und Maschinendaten erfasst.

Die Teilnehmer des Problemlösungsworkshops waren der Entwicklungsleiter des Unternehmens, zwei Universitätsprofessoren und zwei wissenschaftliche Mitarbeiter, von denen einer als Moderator der Workshops fungierte. In einem ersten Treffen wurden vorhandene Informationen gesichtet und bereits vermutete Problemursachen und implementierte Lösungsmaßnahmen begutachtet. Danach wurden Hypothesen zur Ursache des Dichtungsversagens aufgestellt. Zu diesen Hypothesen wurden bestätigende und widerlegende Informationen zusammengestellt. War dies auf Basis vorhandener Informationen nicht möglich, wurden weitere Informationen angefordert, die das Unternehmen durch Schadensanalysen, Simulationen und Versuche zur Verfügung stellte. Durch die Workshopreihe konnte herausgefunden werden, dass zwei zeitgleich auftretende Effekte den Ausfall verursachten. Die daraufhin definierten Maßnahmen führten zur Lösung des Problems.

Der beobachtete Workshop war der sechste und letzte Workshop. Die unternehmensexternen Teilnehmer hatten ausgiebig Zeit, sich mit dem vorliegenden System und dem Fehler vertraut zu machen. Der sechsstündige Termin fand im Kreativitätslabor des IPEK-Instituts für Produktentwicklung statt. Der Raum ist mit einem großen Whiteboard, einem Beamer und einem großen Monitor ausgestattet. Diese Ausstattung diente der Visualisierung von technischen Zeichnungen und den Ideen der Teilnehmer.

Die Beobachtung in der Fallstudie wurde durch einen weiteren wissenschaftlichen Mitarbeiter protokolliert. Dessen Aufgabe lag ausschließlich in der Beobachtung des Workshopablaufs, er war nicht bei der Fehleranalyse beteiligt. Der Workshop wurde zudem per Videokamera dokumentiert. Herausforderungen wurden als solche identifiziert, wenn der Moderator wiederholt in den Ablauf des Workshops eingreifen musste, um die Teilnehmer zum geplanten Vorgehen der Problemlösung zurückzuführen. Als weitere Herausforderungen wurden die Gründe für ungeplante Iteratio-

nen in der Problemlösung notiert. Die Herausforderungen wurden durch den Beobachter im Workshop notiert und anschließend mit der Videoaufnahme ergänzt. Zudem wurden die Erkenntnisse aus der Beobachtung nach dem Projekt mit den Workshopteilnehmern diskutiert. Letztere stimmten den identifizierten Herausforderungen zu und ergänzten diese um qualitative Aussagen.

3.1.2 Beobachtungen

Zur Auswertung der Fallstudie wurden die Beobachtungen zu vier Herausforderungen geclustert.

1. Eingrenzung auf die tatsächliche Problemursache

Für die Teilnehmer war es eine Herausforderung zu bewerten, ob eine identifizierte Problemursache die tatsächliche Ursache ist. Zumeist wurden Informationen gesucht, die die vermutete Problemursache erklären oder stützen. Informationen, die die vermutete Problemursache widerlegen, wurden nur selten aktiv gesucht. Es wurden daher mehrmals über lange Zeiträume falsche Problemursachen verfolgt, bis zufällig widerlegende Informationen gefunden wurden. Mehrmals wurden auch Annahmen zu Wirkzusammenhängen als Tatsache benannt, ohne dass objektive Informationen vorlagen, die diese Annahmen begründeten.

Diese Herausforderung trat sowohl bewusst als auch unbewusst bei den Teilnehmern auf. Beim bewussten Auftreten erkannten die Teilnehmer, dass sie möglicherweise die Problemursache identifiziert hatten. Sie konnten jedoch keine Informationen erkennen, mit denen sie diese sicher verifizieren oder falsifizieren konnten. Beim unbewussten Auftreten dieser Herausforderung gingen die Teilnehmer davon aus, dass die Problemursache bereits korrekt identifiziert wurde. Erst die spätere, zumeist zufällige Betrachtung von falsifizierenden Informationen führte zum Verwerfen der vermuteten Problemursache. Für die abschließend identifizierte Problemursache wurden im Workshop keine widerlegenden Indizien gefunden. Die Herausforderung trat unabhängig von der Erfahrung der Teilnehmer auf. Im Nachgang wurden Untersuchungen definiert, mit denen die Problemursache überprüft werden konnte.

2. Unbemerkte Fehlinterpretation diskutierter Zusammenhänge

In zahlreichen Diskussionen stellte sich nach einiger Zeit heraus, dass die Teilnehmer ein unterschiedliches Verständnis von den diskutierten technischen Zusammenhängen hatten. Diese Herausforderung trat häufig dann auf, wenn die Fehleranalyse auf wenig detaillierten Modellvorstellungen basierte oder Visualisierungen

fehlten. Bei wenig detaillierten Visualisierungen wurde nur selten durch die Workshopteilnehmer nachgefragt. Detaillierte Visualisierungen der technischen Zusammenhänge wurden hingegen länger besprochen und führten zu einer einheitlichen Modellvorstellung.

3. Übersehen von möglichen Problemursachen und Indizien

Durch die Größe der Maschine sowie die Vielzahl an Teilsystemen und Einflüssen von Anwendern und Umgebung, war es herausfordernd, mögliche Problemursachen und Indizien umfassend zu berücksichtigen. Diese Herausforderung konnte bei allen Teilnehmern beobachtet werden, trat jedoch insbesondere bei den unternehmensexternen Teilnehmern auf.

Das intuitive Vorgehen der Teilnehmer bei ihrer Fehleranalyse am technischen System war häufig sprunghaft. Es wurden Problemursachen und Informationen zu unterschiedlichen funktionalen und zeitlichen Zuständen sowie an unterschiedlichen Orten des Systems genannt. Dieses intuitive Vorgehen erforderte häufig ein Eingreifen des Moderators, um zu einer strukturierten Fehleranalyse zurückzukehren und so die relevanten Informationen zu berücksichtigen. Durch das sprunghafte Vorgehen bei der Analyse wären ansonsten relevante Indizien und Ursachen bei der Analyse übersehen worden.

4. Problemlösung ohne ausreichende Fehleranalyse

Eine weitere Herausforderung bestand für die Teilnehmer darin, einer strukturierten Problemlösung zu folgen. Problemlösungsmethoden aus dem Stand der Forschung beinhalten übergeordnet die Phasen Zielsuche, Lösungssuche und Lösungsauswahl (vgl. Kapitel 2.1.2.1). Im Workshop wurde mehrmals beobachtet, dass sich Teilnehmer in unterschiedlichen Phasen befanden und auch die gesamte Gruppe zwischen den Phasen wechselte, ohne diese abzuschließen.

In der Zielsuche sollte vor der Lösungssuche die vermutete Problemursache verifiziert werden. Eine Abweichung von diesem Prozess äußerte sich darin, dass einzelne Teilnehmer eine konstruktive Lösung vorschlugen, ohne eine Verifizierung oder Falsifizierung der angenommenen Problemursache vorzunehmen. So wurden mehrmals Lösungen für nicht vorhandene Problemursachen entwickelt. Durch eine spätere Falsifizierung der angenommenen Ursachen kam es zu Iterationen, die durch eine umfassendere Fehleranalyse hätten vermieden werden können.

3.1.3 Diskussion

Die Analyse von Problemen beruht auf dem Aufbau von Modellvorstellungen der Beteiligten. Die identifizierten Herausforderungen können durch den Bezug zu Modellvorstellungen zueinander in Verbindung gesetzt werden. Die Nutzung falscher Modellvorstellungen (Herausforderungen 1-3) führt dabei zu einer Problemlösung ohne ausreichende Fehleranalyse und zu unnötigen Iterationen (Herausforderung 4), siehe Abbildung 3.1.

Im Folgenden werden die Beobachtungen der Fallstudie diskutiert und es wird dargestellt, wie diese mit dem Confirmation Bias in Beziehung stehen können.

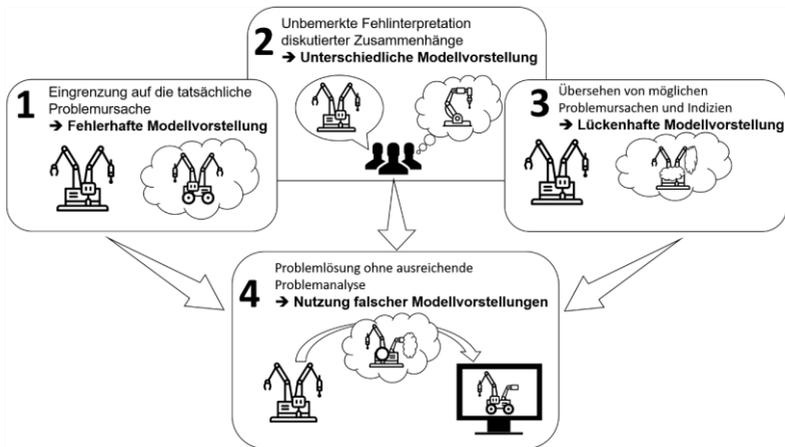


Abbildung 3.1: Darstellung der identifizierten Herausforderungen bei der Fehleranalyse in der Konstruktion (Nelius et al., 2021a)

1. Fehlerhafte Modellvorstellung – Eingrenzung auf die tatsächliche Problemursache

In der Fallstudie wurde mehrmals beobachtet, dass falsche Problemursachen über einen längeren Zeitraum verfolgt wurden. Dabei wurden bestätigende Indizien häufiger genannt als widerlegende. Diese Beobachtungen lassen sich auf den Confirmation Bias (siehe Kapitel 2.3.2) zurückführen. Der Confirmation Bias führt dazu, dass fehlerhafte Modellvorstellungen nicht erkannt werden. Stattdessen wird nach weiterer Bestätigung für die fehlerhafte Modellvorstellung gesucht. Das Ergebnis

dieser Studie deckt sich also mit den Ergebnissen von Hallihan et al. (2012), die Indizien für das Auftreten des Confirmation Bias bei der Entwicklung von Konzepten in einer Laborstudie gezeigt haben.

In der Fallstudie konnte die häufigere Nennung von bestätigenden Indizien im Vergleich zu widerlegenden Indizien beobachtet werden. Inwiefern hierbei Informationen durch den Confirmation Bias in bestätigende Richtung fehlinterpretiert wurden, kann nicht festgestellt werden, da der Beobachter denselben Wissenstand wie die Workshopteilnehmer hatte. Für die Untersuchung der Fehlinterpretationen ist daher eine Laborstudie notwendig, in der mehr Wissen über die tatsächliche Problemursache vorliegt.

2. Unterschiedliche Modellvorstellungen – unbemerkte Fehlinterpretation diskutierter Zusammenhänge

Bei dem Workshop kam es in der Gruppe zu Fehlinterpretationen der diskutierten Zusammenhänge. Hier ist es von hoher Bedeutung, dass gemeinsam eine möglichst umfassende und einheitliche Modellvorstellung aufgebaut wird. Für die Bildung eines gemeinsamen Verständnisses ist es notwendig, dass jeder seine Ideen detailliert präsentiert. In dem beschriebenen Workshop kamen Teilnehmer aus unterschiedlichen Bereichen zusammen (Unternehmen und zwei Universitätsinstitute). Hierdurch können Missverständnisse, bspw. durch unterschiedliche Bauteilbenennungen sowie Fach- und Systemkenntnisse, weiter verstärkt werden.

3. Lückenhafte Modellvorstellung – Übersehen von möglichen Problemursachen und Indizien

Eine unstrukturierte Analyse des technischen Systems kann zu einer lückenhaften Modellvorstellung führen, in der Ursachen und Indizien übersehen werden. Untersuchungen in der Psychologie haben bereits gezeigt, dass Lücken in eigenen Modellvorstellungen häufig unbemerkt bleiben (Rozenblit & Keil, 2002).

4. Nutzung falscher Modellvorstellungen – Problemlösung ohne ausreichende Problemanalyse

Falsche Annahmen in der Produktentwicklung sind häufige Ursache für Iterationen (Meboldt et al., 2012; Wynn & Eckert, 2017). Die getroffenen Annahmen müssen später korrigiert werden, da die umgesetzten Maßnahmen nicht zu den vorliegenden Problemursachen passen und diese dadurch nicht behoben werden können. Die Nutzung falscher Modellvorstellungen ist daher häufig eine Folge der drei zuvor benannten Herausforderungen (siehe Abbildung 3.1).

Bevor auf Basis einer falschen Modellvorstellung zur Problemursache eine Lösung entwickelt wird, sollten die Teilnehmer die Phase der Fehleranalyse bewusst beenden. Da die Teilnehmer eines Workshops mit der Lösung des Problems zumeist ausgelastet sind, ist die Einbindung von Moderatoren bei größeren Problemen ratsam. Die Aufgabe des Moderators ist es, die Einhaltung des Problemlöseprozesses und die Vollständigkeit der einzelnen Problemlöseschritte zu hinterfragen. Vorhandene Methoden im Bereich der Produktentwicklung unterstützen die Gliederung der Problemlösung auf übergeordneter Ebene.

In der Fallstudie zeigte sich vor allem die Eingrenzung auf die tatsächliche Problemursache (Herausforderung 1) als Aktivität der Problemlösung, die noch nicht ausreichend methodisch unterstützt wird (siehe auch Kapitel 2.1.2.2). Die Eingrenzung auf die tatsächliche Problemursache sollte in der Problemeingrenzung erfolgen. Im Folgenden wird beschrieben, wie der Confirmation Bias zu einer falschen Problemeingrenzung und dadurch zur Problemlösung ohne ausreichende Problemanalyse (Herausforderung 4) führen kann.

Bedeutung der Problemeingrenzung für die Produktentwicklung

Die Problemlösung lässt sich in divergente und konvergente Phasen einteilen (Kaner, 2007). Bei der Problemlösungsmethode SPALTEN (siehe Kapitel 3.1.3) werden in der Situationsanalyse Informationen gesammelt (divergente Phase) und in der Problemeingrenzung verdichtet, bis die Problemursache identifiziert ist (konvergente Phase) (Albers et al., 2016). In der Literatur (Kaner, 2007) wird der Wechsel von der divergenten zur konvergenten Phase als besonders herausfordernd beschrieben und als Groan Zone (dt. Knirschzone) bezeichnet (siehe Abbildung 3.2). Die Groan Zone ist deshalb so herausfordernd, weil divergente Phasen keinen definierten Endpunkt haben. In der Situationsanalyse können unzählige weitere Informationen zusammengetragen und gesichtet werden. Auch bei der Entwicklung von Lösungen können beliebig viele Ideen generiert werden. Die Herausforderung des Problemlöseteams liegt darin, den richtigen Zeitpunkt zu wählen, um die divergente Phase zu beenden.

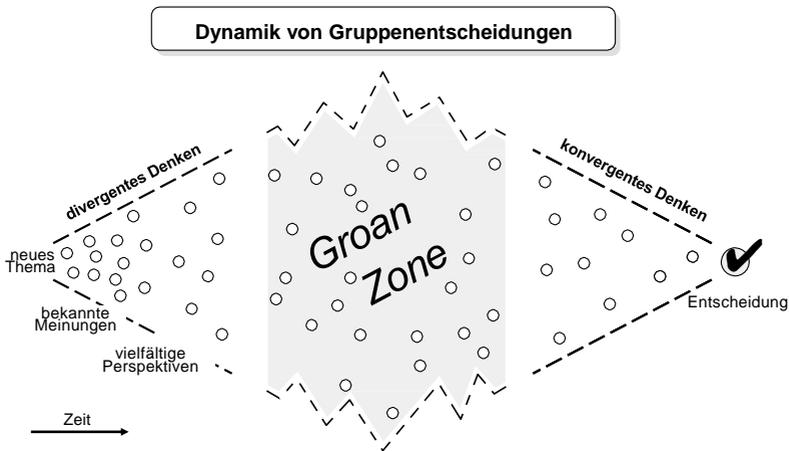


Abbildung 3.2: Darstellung der Groan Zone in Problemlöseprozessen, aus dem Englischen übersetzt (Kaner, 2007)

Das Ende der konvergenten Phase wird selten als herausfordernd beschrieben, da sie mit einem definierten Ergebnis abschließt. Das Ergebnis der Problemeingrenzung ist eine Problemursache. Die Lösungsauswahl wiederum endet mit einer ausgewählten Lösung. In der Fallstudie konnte jedoch beobachtet werden, dass mehrmals eine falsche Entscheidung in der konvergenten Phase getroffen wurde (vgl. Abbildung 3.4). Teilnehmer haben hierbei eine falsche Problemursache identifiziert. Für sie war die konvergente Phase damit beendet und sie begannen mit der Suche nach alternativen Lösungen. Die Eingrenzung auf eine falsche Problemursache lässt sich mit dem Confirmation Bias in Verbindung bringen.

Fehlentscheidungen in der divergenten Phase werden häufig in der anschließenden konvergenten Phase identifiziert. Werden beispielsweise in der Situationsanalyse nicht alle relevanten Informationen gesammelt, kann dies bei der Problemeingrenzung bemerkt werden, wenn Informationen zur Auswahl von Problemursachen fehlen. In diesem Fall muss durch eine kleine Iteration in die Situationsanalyse zurückgesprungen werden. Die Informationssammlung in der Situationsanalyse wird erweitert und die Problemeingrenzung kann erneut durchgeführt werden (kleine Iteration in Abbildung 3.3).

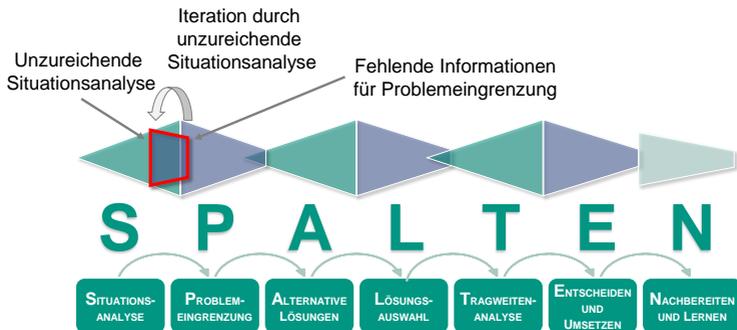


Abbildung 3.3: Kleine Iteration durch unzureichende Situationsanalyse; SPALTEN-Abbildung auf Grundlage von Reiß (2018)

Fehlentscheidungen in der konvergenten Phase können zu größeren Iterationen führen. Erfolgt die Problemeingrenzung auf Basis fehlerhafter Modellvorstellungen, werden Lösungen für Problemursachen entwickelt, die nicht vorliegen. Im ungünstigsten Fall werden diese Fehler erst mit der Umsetzung der Lösung bemerkt. Dies führt zu großen Iterationen, da mehrere Problemlöseschritte wiederholt werden müssen (große Iteration in Abbildung 3.4).

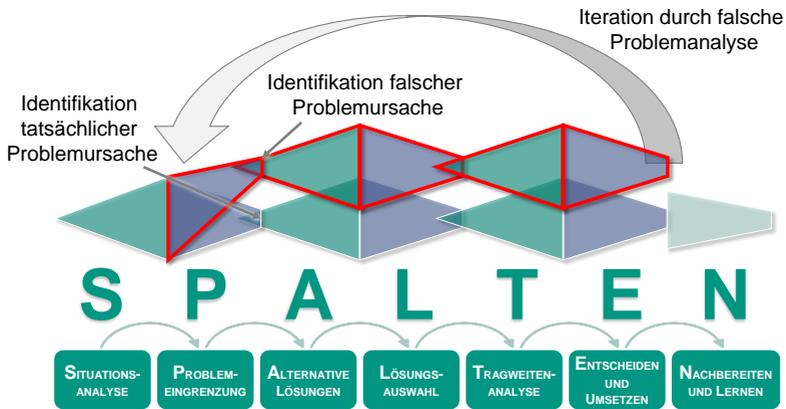


Abbildung 3.4: Große Iteration in der Problemlösung durch fehlerhafte Modellvorstellungen in der Problemeingrenzung – Abbildung des SPALTEN-Prozesses auf Grundlage von Reiß (2018)

Beobachtungen aus der Fallstudie wie die häufige Nennung von bestätigenden Informationen und das Verfolgen von falschen Vermutungen können mit dem Confirmation Bias in Verbindung gebracht werden. Die damit zusammenhängende fehlerhafte Problemeingrenzung kann zu langwierigen und kostenintensiven Iterationen führen. Daher soll im weiteren Verlauf dieser Forschungsarbeit der Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse weiter untersucht und eine methodische Unterstützung hierfür entwickelt werden.

3.2 Zielsetzung

Wie im Stand der Forschung gezeigt wurde, berücksichtigen bestehende Methoden zur Fehleranalyse in der Konstruktion kaum Konzepte zur Vermeidung des Confirmation Bias. In anderen Fachdisziplinen wurde bereits gezeigt, dass systematische Denkfehler eine korrekte und damit die direkte Problemlösung behindern können. In welchem Ausmaß systematische Denkfehler in der Fehleranalyse beim Konstruieren auftreten und inwiefern sie die Fehleranalyse beeinflussen, ist bisher unbekannt. Zudem werden die kognitiven Anforderungen bezüglich des Confirmation Bias von bekannten Methoden zur Fehleranalyse nicht ausreichend berücksichtigt, was eine Weiterentwicklung dieser Methoden nahelegt. Methoden aus anderen Disziplinen zur Überwindung von Denkfehlern (siehe Kapitel 2.3.6) wurden noch nicht auf ihre Wirksamkeit in der Fehleranalyse bei Konstrukteuren untersucht.

Zur Unterstützung der Fehleranalyse in der Konstruktion soll eine Methode entwickelt werden, die die Anforderungen zur Überwindung von systematischen Denkfehlern berücksichtigt. Insbesondere sollen mögliche systematische Denkfehler untersucht und adressiert werden, da diese ohne methodische Unterstützung nur unzureichend überwunden werden können. Diese Fehleranalyse tritt zumeist in Situationen auf, in denen entwickelte Systeme in Betrieb genommen werden. Hierbei zeigen sich Wissenslücken und falsche Annahmen der Konstrukteure als unerwünschtes Systemverhalten. Daraus ergibt sich folgende Zielsetzung der vorliegenden Forschungsarbeit:

Ziel ist die Entwicklung einer Methode, die Konstrukteure bei der Fehleranalyse ab der Prototypenphase unterstützt. Die Methode soll auf die kognitiven Anforderungen zur Überwindung von systematischen Denkfehlern ausgerichtet sein. Hierzu soll der Einfluss des Confirmation Bias bei der Fehleranalyse untersucht und berücksichtigt werden.
--

Die entwickelte Methode soll hinsichtlich ihres Nutzens, der Anwendbarkeit und der Akzeptanz untersucht werden.

4 Forschungsfragen und Forschungsdesign

Aus der zuvor beschriebenen Zielsetzung werden eine übergeordnete Forschungsfrage sowie weitere Teilforschungsfragen der vorliegenden Arbeit hergeleitet. Die Forschungsfragen adressieren die notwendigen Erkenntnisse, um eine geeignete Unterstützung für Konstrukteure zu entwickeln. Anschließend werden das Vorgehen und das verwendete Forschungsdesign zur Erzielung dieser Erkenntnisse beschrieben.

4.1 Forschungsfragen

Die im Stand der Forschung beschriebenen Untersuchungen zeigen, dass der Confirmation Bias die Problemlösung in vielen Disziplinen negativ beeinflusst. Im Bereich der Konstruktion liegen hierzu allerdings keine detaillierten Studien vor. Daher ist nicht bekannt, welchen Einfluss der Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren hat und wie er methodisch reduziert werden kann. Hieraus wird folgende Forschungsfrage abgeleitet:

Wie können negative Aspekte des Confirmation Bias bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren methodisch verringert werden?

Zur Beantwortung dieser übergeordneten Forschungsfrage werden drei Teilforschungsfragen definiert:

1. Welchen Einfluss hat der Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren?
 - 1.1. Welchen Einfluss hat der Confirmation Bias auf die Interpretation von Informationen in der Fehleranalyse?
 - 1.2. Welchen Einfluss hat der Confirmation Bias auf die visuelle Informationssuche in der Fehleranalyse?
 - 1.3. Welchen Einfluss hat der Confirmation Bias auf die Entwicklung konstruktiver Lösungen?
2. Wie kann der Confirmation Bias bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren methodisch verringert werden?
3. Welchen Einfluss hat die Design-ACH auf den Confirmation Bias und die Fehleranalyse von Konstrukteuren?

Die Antwort auf Teilforschungsfrage 1 soll zu einem besseren Verständnis von Denkfehlern bei der Fehleranalyse beitragen. Auf dieser Basis wird eine Methode entwickelt, mit der der Confirmation Bias reduziert und die Fehleranalyse von Konstrukteuren unterstützt werden soll (Teilforschungsfrage 2). Zudem wird der Einfluss der Methode auf den Confirmation Bias erfasst und die Methode evaluiert (Teilforschungsfrage 3).

4.2 Forschungsvorgehen

Im Folgenden wird das übergeordnete Forschungsvorgehen (siehe Abbildung 4.1) dargestellt. Die Studiendesigns zu den einzelnen Forschungsfragen werden in den jeweiligen Kapiteln detailliert vorgestellt.

Um den Einfluss des Confirmation Bias zu untersuchen, wurde eine Laborstudie (siehe Kapitel 5.1) aufgebaut, die die relevanten Herausforderungen in einer reproduzierbaren Umgebung abbildete. Mit diesem Studiendesign wurde eine Laboruntersuchung des Confirmation Bias (Kapitel 5.2) durchgeführt, um dessen Einfluss auf die Interpretation von Informationen, die visuelle Informationsaufnahme und die Entwicklung konstruktiver Lösungen zu erfassen.

Anschließend wurde auf Basis der Erkenntnisse aus Teilforschungsfrage 1 und des Standes der Forschung eine Methode entwickelt (Kapitel 6), die bei der Reduzierung des Confirmation Bias bei der Fehleranalyse unterstützen soll. Zur Vermittlung der Methode wurde eine Schulung aufgebaut.

Die entwickelte Methode wurde im Rahmen der zweiten deskriptiven Studie sowohl in einer Laborevaluation (siehe Kapitel 7.1) als auch in einer Feldevaluation (siehe Kapitel 7.2) angewendet, um zum einen reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen und zum anderen die Eignung der Methode bei einer realen Problemlösung zu evaluieren. Durch beide Studien wurde die Methode bei der Fehleranalyse in der Konstruktion untersucht.

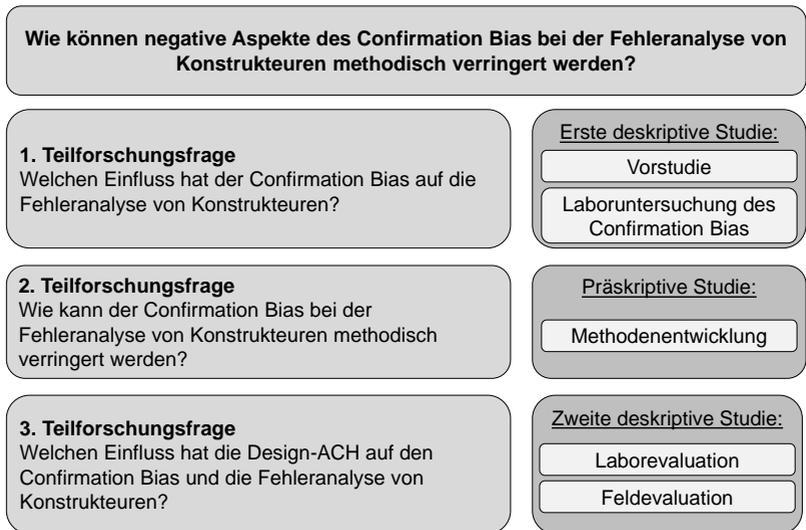


Abbildung 4.1: Übergeordnetes Forschungsvorgehen

5 Laboruntersuchung zum Einfluss des Confirmation Bias

Dieses Kapitel befasst sich mit der ersten Teilforschungsfrage:

Teilforschungsfrage 1

Welchen Einfluss hat der Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren?

- 1.1 Welchen Einfluss hat der Confirmation Bias auf die Interpretation von Informationen in der Fehleranalyse?
- 1.2 Welchen Einfluss hat der Confirmation Bias auf die visuelle Informationssuche in der Fehleranalyse?
- 1.3 Welchen Einfluss hat der Confirmation Bias auf die Entwicklung konstruktiver Lösungen?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde zunächst ein Studiendesign aufgebaut, mit dem Herausforderungen der Fehleranalyse (vgl. Kapitel 3.1) realitätsnah und reproduzierbar abgebildet werden. Im Rahmen einer Vorstudie wurde das Studiendesign erprobt und es wurde evaluiert, ob die Herausforderungen der Praxis im Labor abgebildet werden.

Mit dem entwickelten Studiendesign wurde in einer Laborstudie der vermutete Zusammenhang zwischen dem Confirmation Bias und der *Nutzung falscher Modellvorstellungen* untersucht. Hierbei führt ersterer zu einer Suche nach bestätigenden Informationen und zu Fehlern in der Interpretation von Informationen. Dies führt im Weiteren dazu, dass Konstrukteure *fehlerhafte Modellvorstellungen* beibehalten und für die Entwicklung von Lösungen nutzen. Im Stand der Forschung sind widersprüchliche Ergebnisse bezüglich eines Zusammenhangs zwischen der Erfahrung und dem Auftreten des Confirmation Bias zu finden (Krems & Zierer, 1994; van den Eeden et al., 2019). Daher sollten sowohl Studierende als auch Konstrukteure an der Studie teilnehmen. Auf Basis dieser Untersuchung sollte die Entwicklung einer Methode zur Vermeidung der *Nutzung falscher Modellvorstellungen* ermöglicht werden.

Zur Beantwortung der Teilforschungsfrage 1 wurde der Einfluss des Confirmation Bias auf die Interpretation von Informationen und die visuelle Informationssuche untersucht. Hierzu wurden Concurrent Think-Aloud und Eye-Tracking genutzt. Der Einfluss auf die Entwicklung konstruktiver Lösungen wurde durch die Bewertung der entworfenen Konzepte untersucht.

5.1 Vorstudie zur reproduzierbaren Abbildung der Fehleranalyse

Zur Untersuchung des Confirmation Bias bei der Fehleranalyse wurde eine reale Problemstellung aus der Unternehmenspraxis für die Verwendung in einer Laborstudie aufbereitet. Die Probanden sollten hierbei eine konstruktive Lösung entwickeln, um ein Bauteilversagen zu verhindern. Die Untersuchung sollte Konstrukteure bei der Einzelarbeit abbilden, um Streuungen durch Gruppeneffekte zu vermeiden. Die Aufgabenstellung sollte die in Kapitel 3.1 identifizierten Herausforderungen möglichst reproduzierbar abbilden. Der Fokus lag hierbei auf den Herausforderungen der *fehlerhaften Modellvorstellung* und der daraus folgenden *Nutzung falscher Modellvorstellungen*. Diese Herausforderungen werden als kritisch gesehen, da hierfür im Bereich der Konstruktion noch keine adäquate methodische Unterstützung angeboten wird (vgl. Kapitel 2.1.2).

Mit der Vorstudie sollte sichergestellt werden, dass der Studienaufbau für die folgenden Untersuchungen in dieser Forschungsarbeit geeignet ist. Daher wurden auch die Datenerhebungsmethoden der darauffolgenden Studien angewendet. Um zu überprüfen, ob der Studienaufbau geeignet ist, die Herausforderungen der Fallstudie abzubilden, sollten folgende Aspekte übereinstimmen:

1. Die Herausforderung der *fehlerhaften Modellvorstellung*, bei der ein Zusammenhang mit dem Confirmation Bias vermutet wird, sollte zuverlässig auftreten.
2. Die Vorgehensweisen, die vermutlich zu dieser Herausforderung führen, sollten vergleichbar abgebildet werden.
3. Die *Nutzung falscher Modellvorstellungen* als Folge der *fehlerhaften Modellvorstellung* sollte ebenfalls auftreten.

Dieses Kapitel basiert auf den Veröffentlichungen „Studiendesign zur Untersuchung der synthesegetriebenen Analyse von Konstrukteuren“ (Matthiesen et al., 2017) und „Eye tracking study on successful micro-strategies by design engineers for the synthesis-driven analysis of technical systems“ (Matthiesen & Neilius, 2018a). Teile des folgenden Textes sind ohne Veränderung aus den Veröffentlichungen in deutscher Übersetzung übernommen.

5.1.1 Studienaufbau

Für die Untersuchung der Vorgehensweisen von Konstrukteuren bei der Fehleranalyse wurde ein Studienaufbau benötigt, der die Fehleranalyse möglichst realitätsnah abbildet. Die Entwicklung und der Aufbau werden im Folgenden detailliert beschrieben. Der Studienaufbau wird ebenfalls in Kapitel 5.2 und 7.1 verwendet.

Zur realitätsnahen Abbildung der Fehleranalyse wurde eine Problemstellung aus einem realen Industriefall angepasst und als Aufgabe verwendet. Da die Probanden das technische System nicht kannten, musste die Funktionsweise des Systems zunächst vermittelt werden. Hierzu wurden eine Einführung in die Funktionsweise des Produktes und eine Darstellung der Problemstellung in Form eines Videos gezeigt. Die Bearbeitungsdauer ist durch die Aufmerksamkeitsspanne der Probanden beschränkt (vgl. Vorarbeiten Ruckpaul (2017)). Daher waren einige Vereinfachungen der realen Problemstellung notwendig, um eine Bearbeitungsdauer von maximal 20 Minuten zu ermöglichen. Um eine Beeinflussung durch Interaktionen in einer Gruppe auszuschließen, wurde die Aufgabe für die Einzelarbeit aufbereitet.

5.1.1.1 Aufgabenstellung

Für die Aufgabenstellung wurde eine Aufgabe weiterentwickelt, die im Rahmen einer Dissertation (Ruckpaul, 2017) verwendet wurde. Die Aufgabenstellung wurde im Rahmen einer Co-betreuten Masterarbeit von Gutmann (2016) gemeinsam weiterentwickelt und an das Untersuchungsziel dieser Forschungsarbeit angepasst. Im Folgenden werden die Aufgabenstellung von Ruckpaul (2017) sowie die vorgenommene Weiterentwicklung vorgestellt. Dabei wird zunächst das Problem dargestellt und dann auf die daraus abgeleitete Aufgabenstellung eingegangen.

Die Aufgabenstellung bildete ein reales Problem aus der Konstruktionsabteilung eines Power-Tool-Herstellers ab. Bei der Entwicklung eines Bolzensetzgerätes kam es zu einem vorzeitigen Bauteilversagen während eines Lebensdauertests kurz vor der Markteinführung. Der Bruch eines sicherheitskritischen Bauteils führte zum Ausfall des gesamten Gerätes. Da bereits Werkzeuge zur Fertigung des Geräts bestellt waren, sollten die konstruktiven Änderungen möglichst klein sein. Durch diese ungeplante Verzögerung im Entwicklungsprojekt stand der Konstrukteur unter hohem Zeit- und Kostendruck, eine nachhaltige Lösung für dieses Problem zu finden.

Funktionsweise des Systems

Mit Bolzensetzgeräten werden dem Elemente an Stahl- und Betonkonstruktionen befestigt. Hierzu werden magazinierte Nägel mithilfe einer Treibladung beschleunigt und in den Untergrund (Stahl oder Beton) eingetrieben. Das Funktionsprinzip ist in

Abbildung 5.1 dargestellt. Die Explosion einer Treibladung beschleunigt einen Bolzen, der den Nagel in den Untergrund eintreibt. Um die sichere Nutzung des Gerätes zu gewährleisten, sind mehrere Sicherheitsmechanismen vorhanden. Das Gerät kann nur ausgelöst werden, wenn diese Sicherungen das System freigeben.

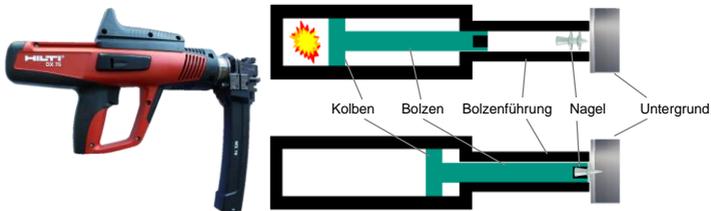


Abbildung 5.1: Aufgabenstellung: Bolzensetzgerät und dessen Funktionsprinzip nach Rader (2014)

Der erste Sicherheitsmechanismus ist die Untergrunddetektion. Diese stellt sicher, dass nur dann ein Nagel gesetzt werden kann, wenn das Gerät gegen den Untergrund gepresst wird. Zur Freigabe muss das Gerät gegen den Untergrund zusammengedrückt werden.

Die Nageldetektion – ein weiterer Sicherheitsmechanismus – prüft, ob die magazinierten Nägel koaxial vor dem Bolzen liegen. Ein Auslösen des Gerätes mit falsch positioniertem Nagel hätte ansonsten die Beschädigung des Bolzensetzgerätes und eine Gefährdung des Anwenders zur Folge. Die Position der Nägel wird über das Bauteil Nageldetektion erfasst (siehe Abbildung 5.2). Die Nageldetektion wird über eine Feder gegen die Nägel gedrückt. Wenn die Nägel nicht koaxial vor der Bolzenführung positioniert sind, wird die Nageldetektion ausgelenkt und versperrt in diesem Zustand einen Anpressbolzen. Letzteres verhindert somit das Auslösen des Gerätes bei falsch positioniertem Nagel.

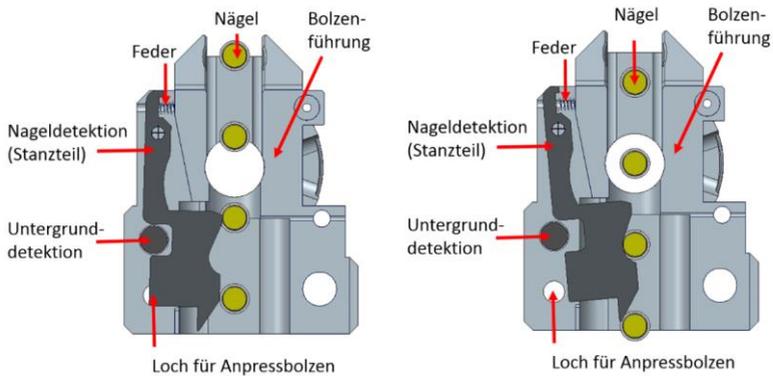


Abbildung 5.2: Aufgabenstellung: Funktionsweise des Sicherheitsmechanismus Nageldetektion – links gesperrter Zustand, rechts freigegebener Zustand (Rader, 2014)

Problem

Im Entwicklungsprojekt einer neuen Produktgeneration wurden Handversuche durchgeführt, um die geforderte Lebensdauer von 40 000 Setzungen zu überprüfen. Bei diesen Prototypenversuchen kam es bereits nach 6 000 Setzungen zum Bruch der Nageldetektion (siehe Abbildung 5.3), wodurch ein Auslösen des Gerätes auch bei falsch positioniertem Nagel möglich wird. Es war daher notwendig, eine Lösung zu entwickeln, die die Funktion über die gesamte Lebensdauer mit hoher Sicherheit gewährleistet. Da das Entwicklungsprojekt bereits weit fortgeschritten war, sollten möglichst wenige zusätzliche Versuche durchgeführt werden, was einen Konzeptwechsel erschwerte. Da die Stanzwerkzeuge bereits bestellt waren, wäre eine Änderung der Form der Nageldetektion mit hohen Kosten und weiterem Zeitverzug verbunden gewesen.

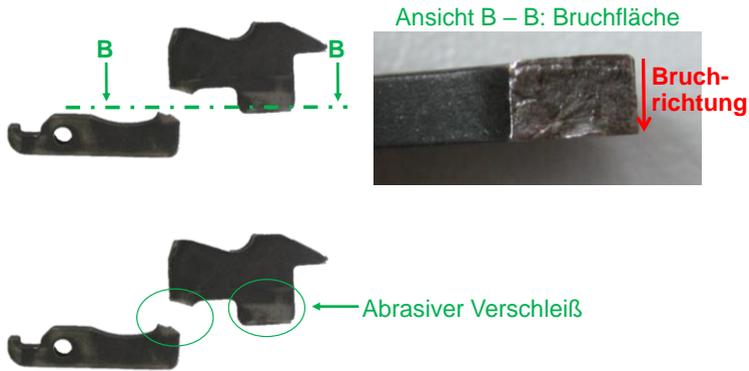


Abbildung 5.3: Aufgabenstellung: Bauteile nach den Prototypenversuchen: erste Verschleißspuren (links), gebrochene Nageldetektion (Mitte) und Bruchfläche der Nageldetektion (rechts) (Ruckpaul, 2017)

Problemursache

Wie bereits beschrieben, wird beim Setzvorgang durch die Zündung einer Treibladung der Kolben in Richtung Untergrund beschleunigt (siehe Abbildung 5.1). Auf das Gerät wirkt derselbe Impuls in entgegengesetzte Richtung und beschleunigt es vom Untergrund weg. Der Impuls wirkt auch auf die Nageldetektion und beschleunigt diese. Da die Nageldetektion nur auf einer Seite geführt wird, wirkt durch die Massenträgheit ein Biegemoment auf sie. Die Führung der Nageldetektion im Bauteil Bolzenführung endet direkt unter der Kerbe der Nageldetektion (rote Linie in Abbildung 5.4). Das maximale Biegemoment wirkt daher an der schwächsten Stelle der Nageldetektion, wodurch sie nach 6 000 Setzungen versagt.

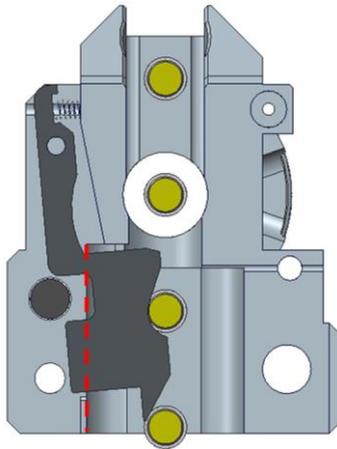


Abbildung 5.4: Aufgabenstellung: Biegekante, die mit dem Rückstoß des Gerätes zum Versagen der Nageldetektion führte

Die Verschleißspuren an der Nageldetektion (Abbildung 5.3) gaben Hinweise auf diese Versagensursache. Die Bruchfläche ließ auf eine Belastungsrichtung in Setzrichtung (senkrecht zur Bildebene in Abbildung 5.4) schließen. Die Verschleißspuren auf der Oberfläche der Nageldetektion zeigten, dass eine hohe Kraft in Setzrichtung auf die Nageldetektion wirkte, wenn die Nägel korrekt in Setzposition waren.

In dem zugrundeliegenden Entwicklungsprojekt wurde das Problem gelöst, indem die Führung der Nageldetektion vergrößert wurde. Die Biegekante wurde von der Kerbe der Nageldetektion verschoben. Dadurch verschob sich die Stelle der höchsten Belastung weg von der Schwachstelle der Nageldetektion. Zudem wurde der Anteil an Masse der Nageldetektion, die nicht geführt wird, kleiner und der Hebelarm der Biegebelastung kürzer. Hierdurch wurde die Belastung auf die Nageldetektion weiter reduziert. Nach der konstruktiven Änderung trat das Problem nicht wieder auf. Die Lösung war zudem kostengünstig umzusetzen, da nur die Bolzenführung geändert werden musste. Die Änderung der CNC-gefrästen Bolzenführung war deutlich kostengünstiger und schneller umsetzbar als eine Änderung der gestanzten Nageldetektion.

Aufgabenstellung für die Probanden

Die vorgestellte Problemstellung wurde für die Verwendung in einer Laborstudie aufbereitet. Die Probanden sollten hierzu in die Lage des Konstrukteurs versetzt werden, der im Unternehmen mit der Lösung des Problems betraut war. Hierzu war zum einen die Vorbereitung der Probanden notwendig und zum anderen die Bereitstellung vergleichbarer Hilfsmittel, wie sie im Unternehmen verfügbar sind.

Zur Vorbereitung der Probanden wurde eine PowerPoint-Präsentation erstellt, mit der ihnen das Einsatzgebiet des Bolzensetzgerätes und dessen Funktionsweise vermittelt wurden. Diese Informationen waren zur Lösung der Aufgabe notwendig und dem Konstrukteur im Unternehmen ebenfalls bekannt. In den vorhandenen Studienunterlagen von Ruckpaul (2017) wurden sie über Text und Abbildungen vermittelt. In eigenen Vorversuchen wurde deutlich, dass einige Probanden die Funktionsweise des Bolzensetzgerätes trotz der Erklärungen nicht verstanden hatten. Während der Bearbeitungszeit verbrachten sie einen Großteil der Zeit mit der Analyse der Funktionsweise des Systems. Zu deren Erklärung wurden daher Videos erstellt, die den Probanden das notwendige Wissen zur Problemlösung vermittelten.

Die Teilnehmer konnten die Videos im Vorfeld mehrmals anschauen und hatten auch während der Aufgabenbearbeitung Zugriff auf die PowerPoint-Präsentation. Zu folgenden Themen wurden Videos erstellt und den Probanden zur Verfügung gestellt:

- **Systemeinführung:**
Vorstellung des Anwendungsgebietes, der Funktionsweise und der relevanten Baugruppen des Bolzensetzgerätes.
- **Sicherheit:**
Darstellung eines Setzvorganges und der hohen Beschleunigungen, die beim Setzen wirken; Einführung der Sicherheitsvorrichtungen Untergunddetektion und Nageldetektion.
- **Nageldetektion:**
Detaillierte Darstellung der Komponenten und der Funktionsweise der Sicherheitseinrichtung Nageldetektion.
- **Bruchbeschreibung:**
Beschreibung der Aufgabenstellung und der gebrochenen Bauteile.

Auf einer weiteren Folie der Präsentation wurden den Probanden Randbedingungen und Informationen zum Entwicklungsprojekt gegeben. Hierbei wurden zudem die wirkenden Beschleunigungen beim Setzvorgang erneut dargestellt.

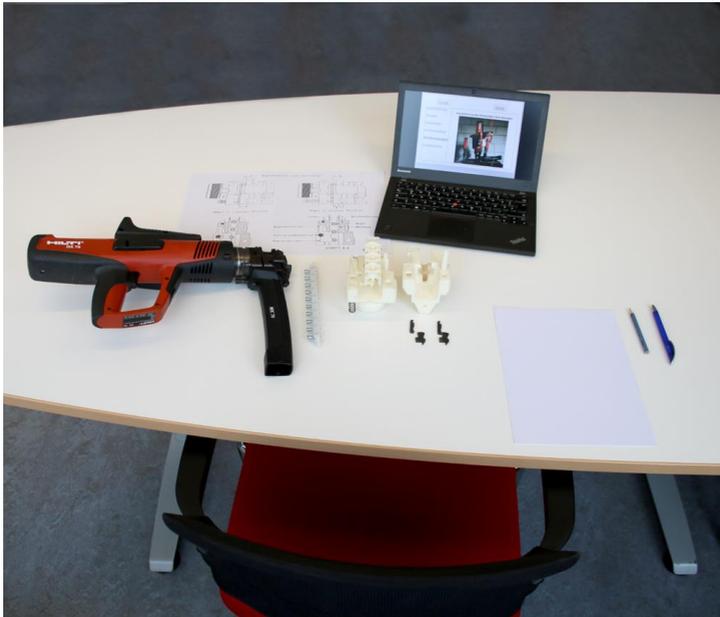


Abbildung 5.5: Studienaufbau mit Hilfsmitteln

Für die Bearbeitung der Aufgabe wurden den Probanden folgende Hilfsmittel (siehe Abbildung 5.5) zur Verfügung gestellt:

- PowerPoint-Präsentation der Einführung:
Die Probanden konnten während der Aufgabenbearbeitung die Videos aus der Einführung erneut anschauen.
- Bolzensetzgerät:
Den Probanden wurde das Bolzensetzgerät mit einem Nagelstreifen zur Verfügung gestellt.

- 3-D-Modell der Bolzenführung:
Die Baugruppe, in der die Nageldetektion verbaut ist, wurde den Probanden als 3-D-gedrucktes Modell zur Verfügung gestellt. Das Modell ist um den Faktor 1,5 größer als die Originalbauteile und erleichterte es so, die Eye-Tracking-Aufnahmen den Bauteilen zuzuordnen. Zudem wurde das 3-D-Modell für eine leichtere Zerlegbarkeit angepasst.
- Gebrochene und intakte Nageldetektion:
Die originalen Bauteile aus den Handversuchen ermöglichten die Analyse der Bruch- und Verschleißspuren.
- Schnittdarstellung der Bolzenführung:
Die technische Zeichnung der Bolzenführung zeigte die Nageldetektion in den Zuständen ‚Nägeln in richtiger Position‘ und ‚Nägeln in falscher Position‘ (vgl. Abbildung 5.2).
- Aufgabenstellung:
Den Probanden wurden in schriftlicher Form die Aufgabenstellung („Ihre Aufgabe ist es nun, mittels geeigneter Konstruktion des Systems zu ermöglichen, dass die Nageldetektion nicht ausfällt.“) und Informationen zum Ablauf der Studie gegeben.

In den Untersuchungen von Ruckpaul (2017) wurde den Probanden darüber hinaus der Hinweis gegeben, dass die Nageldetektion aufgrund des Rückstoßes bricht. Ihre Aufgabe war es, die Zusammenhänge zu identifizieren, die zum Versagen des Bauteils führten. Dieser Hinweis wurde in dieser Forschungsarbeit in keiner Studie verwendet, da die Vorgehensweisen bei der Identifikation der Problemursache untersucht werden sollten.

5.1.1.2 Datenaufnahme und Datenauswertung

Im Rahmen der Studie sollten die Herausforderungen der realen Problemlösung (vgl. Kapitel 3.1) bei der Fehleranalyse hervorgerufen werden können, um sie in der Laboruntersuchung des Confirmation Bias (Kapitel 5.2) und der Laborevaluation (Kapitel 7.2) zu untersuchen. Hierbei sollten die Herausforderungen *fehlerhafte Modellvorstellung* und *Nutzung falscher Modellvorstellungen* abgebildet und untersucht werden. Zudem sollte analysiert werden, ob mit dem Studienaufbau ähnliche Vorgehensweisen wie in der Fallstudie abgebildet werden können. Hierzu wurde ein Fragebogen im Rahmen einer Co-betreuten Masterarbeit von Garrelts (2016) aufgebaut. In diesem wurden explorativ weitere Fragen gestellt, die für die Auswertung in dieser Forschungsarbeit nicht relevant sind. Es werden daher nachfolgend nur die für diese Forschungsarbeit relevanten Fragen betrachtet.

Operationalisierung: Fehlerhafte Modellvorstellung

Die Herausforderung *fehlerhafte Modellvorstellung* tritt auf, wenn unbemerkt falsche Problemursachen als korrekt angenommen werden. Es wurde daher zunächst gefragt, welche Ursache die Probanden für das Versagen identifiziert haben. Die ausgewählte Problemursache wurde anhand folgender Aufforderung untersucht:

Beschreiben Sie in Stichworten den Versagenshergang.

Für die Auswertung wurde unterschieden, ob die genannte Ursache korrekt (Rückstoß führt zu einer Biegung der Nageldetektion um die Kante der Bolzenführung) oder falsch (andere Ursache genannt) war. Die falsch identifizierte Ursache wurde als Auftreten der Herausforderung *fehlerhafte Modellvorstellung* gewertet.

Operationalisierung: Nutzung falscher Modellvorstellungen

Die Herausforderung *Nutzung falscher Modellvorstellungen* wurde festgestellt, wenn Probanden Lösungen für falsche Problemursachen entwickelten, anstatt festzustellen, dass die korrekte Problemursache nicht identifiziert wurde. Hierzu wurde der erarbeitete Lösungsvorschlag der Probanden ausgewertet. Dabei wurde er hinsichtlich der funktionalen und wirtschaftlichen Eignung, das vorliegende Problem zu lösen, bewertet. Hierzu wurde das Bewertungsschema in Tabelle 5.1 verwendet.

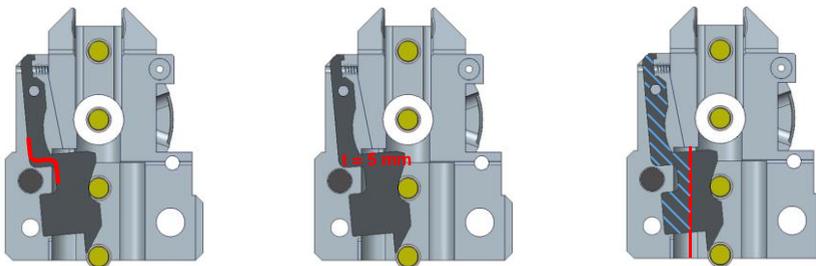


Abbildung 5.6: Bewertung der funktionalen Eignung beispielhafter Entwürfe (von links nach rechts: schlechte, neutrale und gute Eignung)

Eine gute Eignung ist hierbei durch die deutliche Verbesserung der Lebensdauer aufgrund der Verringerung der Belastung auf die Nageldetektion gekennzeichnet. Hierzu kann die Auflagefläche der Nageldetektion in der Bolzenführung vergrößert

werden (rechter Entwurf in Abbildung 5.6). Eine neutrale Eignung ist durch eine Vergrößerung der Lebensdauer aufgrund der Erhöhung der Belastbarkeit (stärkere Blechdicke, Reduzierung der Kerbe) gekennzeichnet (mittlerer Entwurf in Abbildung 5.6). Eine Verringerung der Lebensdauer (stärkere Einkerbung) wird als schlechte funktionale Eignung bewertet (linker Entwurf in Abbildung 5.6).

Tabelle 5.1: Bewertungsschema der funktionalen und wirtschaftlichen Eignung der entwickelten Lösungen mit Beispielen in Klammern

Bewertung	Funktionale Eignung	Wirtschaftliche Eignung
Schlecht (-)	Verschlechterung der Lebensdauer (stärkere Einkerbung der Nageldetektion)	Deutlich höhere Kosten (Änderung der Stanzwerkzeuge)
Neutral (0)	Verbesserung der Lebensdauer durch Erhöhung der Belastbarkeit (<i>stärkere Blechdicke, Reduzierung der Kerbe</i>)	Höhere Kosten (stärkere Blechdicke)
Gut (+)	Deutliche Verbesserung der Lebensdauer durch Verringerung der Belastung (<i>größere Auflagefläche der Nageldetektion</i>)	Keine höheren Fertigungskosten (<i>Änderung einer Fräskontur</i>)

Zusätzlich wurde folgende Frage gestellt:

Frage 5: Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer konstruktiven Lösung?

Antwort über eine fünfstufige Skala (1 – überhaupt nicht zufrieden bis 5 – sehr zufrieden).

Eine Zufriedenheit von 3 oder höher wurde als Indiz dafür gewertet, dass die Probanden diese Lösung auskonstruiert und weiterverfolgt hätten. Eine geringere Zufriedenheit wurde hingegen als Hinweis darauf gesehen, dass die Probanden in einem Entwicklungsprojekt die Lösung weiter optimiert hätten.

Operationalisierung: Auftreten des Confirmation Bias

Das Auftreten des Confirmation Bias kann darüber erfasst werden, dass eher bestätigende als widerlegende Indizien genutzt werden. In der Laborstudie können aus

der Bruchfläche hochrelevante Informationen gewonnen werden. An ihr kann die Bruchrichtung identifiziert werden, was als klares Indiz bzw. Gegenindiz für viele Vermutungen genutzt werden kann. Mit folgender Frage wurde erhoben, ob diese relevante Information erkannt wurde:

Frage 9: Was haben Sie an der Oberfläche der Nageldetektion bemerkt?

Antworten, die keine Aussage zur Bruchrichtung beinhalteten, wurden als Anzeichen des Confirmation Bias gewertet, wenn die Bruchrichtung die Problemursache der Probanden widerlegte.

Die gesamte Studiendurchführung wurde mit einer Videokamera gefilmt, die die Interaktion der Probanden mit den Studienunterlagen aufzeichnete. Die Antworten im Fragebogen konnten hierdurch mit den Vorgehensweisen der Probanden verglichen werden.

Die hier vorgestellte Studie diente als Vorstudie für die Untersuchungen zur Beantwortung der weiteren Teilforschungsfragen. Daher wurden in ihr bereits weitere Datenerhebungsmethoden eingesetzt. So wurde mithilfe einer Eye-Tracking-Brille die Informationsaufnahme der Probanden erfasst. Außerdem wurde Concurrent Think-Aloud eingesetzt, um die Interpretation der Probanden zu erfassen. Die Eye-Tracking-Daten und Think-Aloud-Protokolle wurden für die Auswertung einer weiteren Studie (Matthiesen et al., 2017) verwendet.

5.1.1.3 Ablauf der Studie

Für die reproduzierbare Durchführung der Studie wurde ein detaillierter Ablaufplan erstellt. Vor Beginn der Untersuchung bereitete der Studienleiter den Raum und die benötigten Materialien vor. Die Probanden nahmen einzeln an der Studie teil. Der jeweilige Proband wurde vom Studienleiter begrüßt und darauf hingewiesen, welche Daten aufgenommen und dass diese pseudonymisiert verarbeitet werden. Zudem wurde er darüber in Kenntnis gesetzt, dass er jederzeit die Möglichkeit habe, das Experiment zu beenden. Die gesamte Studie wurde mit einer Videokamera aufgezeichnet. Der Ablauf und die Aufgabenstellung der Studie wurden dem Probanden über eine PowerPoint-Präsentation und darin hinterlegte Videos vorgestellt. Hierüber wurde sichergestellt, dass alle Probanden dieselben Informationen zur Verfügung hatten.

Die visuelle Informationsaufnahme der Probanden wurde mit einer Eye-Tracking-Brille (SensoMotoric Instruments – SMI Glasses I, Aufnahmefrequenz 30 Hz) aufgezeichnet. Diese war über ein Kabel mit einem Laptop verbunden. Dort wurde die Aufnahme mit der Software SMI IView aufgezeichnet. In der Präsentation wurde den Probanden auch die verwendete Eye-Tracking-Brille vorgestellt. Der Studienleiter überreichte dem jeweiligen Probanden die Eye-Tracking-Brille und führte eine Drei-Punkt-Kalibrierung durch. Letztere erfolgte in einer Entfernung von 50 cm, was der mittleren Entfernung zum Stimulus bei dieser Studie entsprach.

Die Interpretation von Informationen durch die Probanden wurde über Concurrent Think-Aloud erfasst. Hierbei sprachen sie ihre Gedanken permanent laut aus. Concurrent Think-Aloud ist für die Untersuchung der interpretierten Zusammenhänge besser geeignet als die nachträgliche Verbalisierung beim Retrospective Think-Aloud (Ruckpaul, Fürstenhöfer et al., 2014). Bei einer Studiendauer von 20 Minuten wäre es ansonsten schwierig für die Probanden, sich unverfälscht an die Details ihres Vorgehens zu erinnern. In einem weiteren Video wurde den Studienteilnehmern Concurrent Think-Aloud vorgestellt.

Die Einführung von Concurrent Think-Aloud folgte dem Vorgehen von Holmqvist et al. (2011): Einführung, Training und Erinnerung. Nach der Einführung per Video trainierten die Probanden die Anwendung der Methode. Dazu sollten sie in Gedanken durch ein ihnen bekanntes Haus gehen und bei diesem Rundgang die Fenster zählen. Hierbei sollten sie auch beschreiben, wie sie von einem Zimmer in das nächste gehen. Machten die Probanden längere Sprechpausen, erinnerte der Studienleiter sie während der Trainingsaufgabe und bei der Studiendurchführung daran, ihre Gedanken möglichst kontinuierlich auszusprechen.

Die identifizierte Schadensursache wurde in einem abschließenden Interview erfragt. Zur Erfassung des konstruktiven Lösungsvorschlages wurden darüber hinaus die Skizzen der Probanden erfasst. Wurden keine Skizzen erstellt, wurden Aussagen aus den CTA-Transkripten genutzt, um den Lösungsvorschlag zu identifizieren.

Nachdem die Datenerhebungsmethoden eingeführt waren, begann die PowerPoint-Präsentation, die die Studienaufgabe vorstellte. Anschließend bekam der Proband die Hilfsmittel überreicht (siehe Kapitel 5.1.1.1). Nach der Übergabe begann die Bearbeitungszeit von 20 Minuten. Nach 15 Minuten wies der Studienleiter darauf hin, dass noch 5 Minuten Bearbeitungszeit zur Verfügung stehen. Der Proband konnte die Bearbeitung auch vorzeitig beenden, wenn er eine Lösung für das Problem gefunden hatte. Nach der Bearbeitung wurde ihm ein Fragebogen zur Aufgabe sowie zur Erfassung von Probandenmerkmalen vorgelegt. Zum Abschluss unterschrieb der Proband eine Datenschutzerklärung, mit der er einwilligte, dass seine Daten

pseudonymisiert für Forschungszwecke verwendet und veröffentlicht werden dürfen.

5.1.1.4 Probanden

Der Stand der Forschung legt nahe, dass die Erfahrung einen Einfluss auf die Problemlösung hat (siehe 2.3.4). Um sowohl die Vorgehensweisen von erfahrenen als auch von unerfahrenen Probanden in der Studie abzubilden, wurden drei Konstrukteure und vier Studierende für die Studie akquiriert (siehe Tabelle 5.2). Voraussetzung für die Teilnahme für die Studierenden war die erfolgreiche Teilnahme an der Lehrveranstaltung „Maschinenkonstruktionslehre“ (4. Semester, 18 ECTS, Kombination aus Vorlesung, Übung und Projektarbeit (Fakultät für Maschinenbau, 2016)). Die Lehrveranstaltung vermittelt die Grundlagen der Konstruktionslehre und der Maschinenelemente. Die Konstrukteure waren zum Zeitpunkt der Studie alle bei einem Ingenieurdienstleister tätig.

Tabelle 5.2: Übersicht der Probanden der Vorstudie

Probandenmerkmale					Erfahrung in ... (Selbsteinschätzung auf einer Skala von 1 – niedrig bis 5 – hoch)		
Studienteilnehmer	Alter	Geschlecht	Semester	Berufserfahrung (Jahre)	Entwicklungsmethoden	Theoretischer Maschinenbau	Schadenskunde
Student 1	26	m	6	0	2	3	2
Student 2	26	m	6	0	2	2	3
Student 3	25	w	6	0	2	3	2
Student 4	22	m	4	0	1	2	2
Konstrukteur 1	39	m	-	11,5	5	5	3
Konstrukteur 2	29	m	-	2	4	3	2
Konstrukteur 3	34	m	-	8,5	5	5	3

5.1.2 Ergebnisse

Die aufgenommenen Daten wurden hinsichtlich der Frage ausgewertet, ob die Herausforderungen *fehlerhafte Modellvorstellung* und *Nutzung falscher Modellvorstellungen* auftreten. Die Ergebnisse der studentischen Probanden sind in Tabelle 5.3 und die Resultate der Konstrukteure in Tabelle 5.4 dargestellt.

Fehlerhafte Modellvorstellung

Alle vier studentischen Probanden identifizierten eine falsche Problemursache. Sie gingen davon aus, dass die Auslenkung der Nageldetektion durch die Nägel Ursache für das Versagen war. Die dazu notwendige Kraft steht senkrecht zur Kraft der tatsächlichen Problemursache, dem Rückstoß. Zudem ist die Kraft in dieser Richtung durch eine Feder begrenzt. Letztere entspricht ungefähr der eines Kugelschreibers. Die Nageldetektion ist gegenüber dieser Belastung ausreichend ausgelegt. Die Studierenden verfolgten alle eine fehlerhafte Modellvorstellung. Die von den Teilnehmern identifizierte Modellvorstellung ist dabei naheliegend, da die Funktion der Nageldetektion als Ursache betrachtet wird.

Konstrukteur 3 hat die korrekte Problemursache identifiziert. Die Konstrukteure 1 und 2 erkannten zwar die korrekte Belastungsrichtung, gingen jedoch von anderen Problemursachen aus. Konstrukteur 1 traf die Annahme, dass die Konusform der Nägel zu einer Kraft in Setzrichtung führt. Konstrukteur 2 hingegen identifizierte den Kontakt zwischen Anpressbolzen und Nageldetektion als Problemursache. Er nahm an, dass der Anpressbolzen die Nageldetektion belastet. Die Kraft, die durch den Anpressbolzen eingeleitet wird, wird jedoch nicht über die Versagensstelle geleitet, sondern direkt unterhalb des Anpressbolzens in die Bolzenführung eingeleitet. Somit trat auch bei zweien der drei Konstrukteure die Herausforderung der fehlerhaften Modellvorstellung auf.

Nutzung falscher Modellvorstellungen

Sechs der sieben Probanden hatten eine falsche Modellvorstellung von der Problemursache. Keiner von ihnen erkannte, dass er nicht die korrekte Problemursache ausgemacht hatte. Diese sechs Probanden entwickelten konstruktive Lösungen für die von ihnen identifizierte Problemursache. Die Lösungen zielten darauf ab, die Belastbarkeit des Bauteils zu erhöhen. Nur Konstrukteur 1 und Konstrukteur 3 verringerten die Belastung auf das Bauteil. Die meisten Lösungen der Probanden sind durch eine schlechte (6 Lösungen) oder eine neutrale (2 Lösungen) wirtschaftliche Eignung gekennzeichnet. Nur Konstrukteur 3, der die korrekte Problemursache erkannt hatte, entwickelte eine Lösung, die aus funktionaler und wirtschaftlicher Sicht gut geeignet ist.

Des Weiteren gaben die Probanden auf einer Skala an, wie zufrieden sie mit ihrer Lösung sind. Konstrukteur 3, der eine gute Lösung gefunden hatte, gab an, dass er mit dieser Lösung sehr zufrieden sei. Die anderen Probanden bewerteten ihre Lösungen im mittleren Bereich (3 bis 4 von 5 Punkten). Bei diesen Probanden ist davon auszugehen, dass sie die Lösungen weiter auskonstruiert und implementiert hätten, obwohl sie das Problem nur unzureichend lösen würden.

Auftreten des Confirmation Bias

In der zuvor beschriebenen Fallstudie sind Vorgehensweisen beobachtet worden, die mit dem Confirmation Bias in Verbindung gebracht werden können. Im Rahmen dieser Vorstudie konnten ähnliche Vorgehensweisen erfasst werden. Hierbei wurde untersucht, ob die Probanden auf ein besonders relevantes Gegenindiz für ihre Vermutung geachtet haben. So kann durch eine Analyse der Bruchfläche die Bruchrichtung identifiziert werden. Letztere verläuft in Setzrichtung und ist daher ein starkes Gegenindiz für alle Vermutungen, die eine andere Bruchrichtung zugrunde legen.

Die Studierenden gingen von einer Bruchrichtung senkrecht zur Setzrichtung aus und berücksichtigten das starke Gegenindiz der Bruchfläche nicht. Die stellten Problemursachen auf, die von einer Bruchrichtung in Setzrichtung ausgingen. Für die Konstrukteure war die Bruchrichtung daher ein bestätigendes Indiz. In den Fällen, in denen die Bruchfläche bestätigende Informationen enthielt, wurde sie intensiver betrachtet als in den Fällen, in denen sie die Vermutung widerlegte.

Tabelle 5.3: Studienergebnisse der studentischen Probanden (Schlussfolgerungen des Auswerters in kursiv)

	Student 1	Student 2	Student 3	Student 4
Beschreiben Sie in Stichworten den Versagenshergang.	Zyklische Belastung (Biegebelastung durch Nägel)	Schwingbruch durch Nachführen der Nägel	Langer Hebelarm (Biegebelastung durch Nägel)	Biegebelastung (<i>durch Nägel</i>)
Ausgewählte Ursache	Falsche Ursache, falsche Bruchrichtung	Falsche Ursache, falsche Bruchrichtung	Falsche Ursache, falsche Bruchrichtung	Falsche Ursache, falsche Bruchrichtung
Fehlerhafte Modellvorstellung	Ja	Ja	Ja	Ja
Was haben Sie an der Bruchfläche bemerkt?	Nicht glatt	-	-	Ermüdungsbruch
Analyse der Bruchfläche	Keine Bruchrichtung erkannt	Keine Bruchrichtung erkannt	Keine Bruchrichtung erkannt	Keine Bruchrichtung erkannt
Anzeichen für Confirmation Bias	Ja	Ja	Ja	Ja
Entwickelte Lösung	Kerbe reduzieren	Kerbe reduzieren	Kerbe reduzieren	Kerbe reduzieren/ Blechstärke erhöhen
Funktionale wirtschaftliche Bewertung	0 -	0 -	0 -	0 - / 0 0
Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer Lösung? (1–5)	3	3	4	3
Nutzung falscher Modellvorstellung	Ja	Ja	Ja	Ja

Tabelle 5.4: Studienergebnisse der Konstrukteure (Schlussfolgerungen des Auswerters in kursiv)

	Konstrukteur 1	Konstrukteur 2	Konstrukteur 3
Beschreiben Sie in Stichworten den Versagenshergang.	Konischer Nagel verübt Biegemoment auf Blech, Blech wird über Kante gebogen	Detektion erfährt Querkräfte beim Setzen durch Druck vom (<i>Anpress</i> -)Bolzen	Hohe Beschleunigung -> Biegebelastung -> Bruch an dünnster Stelle
Ausgewählte Ursache	Falsche Ursache, korrekte Bruchrichtung	Falsche Ursache, korrekte Bruchrichtung	Korrekte Ursache, korrekte Bruchrichtung
Fehlerhafte Modellvorstellung	Ja	Ja	Nein
Was haben Sie an der Bruchfläche bemerkt?	Abnutzung durch Kante, Taille des Bauteils an der Bruchstelle	Bruchverlauf senkrecht zu Bruchfläche, Bruchstelle uneben	-
Analyse der Bruchfläche	Bruchrichtung korrekt	Bruchrichtung korrekt	Bruchrichtung korrekt
Anzeichen für Confirmation Bias	Nein	Nein	Nein
Entwickelte Lösung	Kerbe verrunden, Ausrundung/Gegekkante entschärfen	Kerbe reduzieren	Führung der Nageldetektion in Bolzenführung vergrößern
Funktionale wirtschaftliche Bewertung	0 - / + +	0 -	+ +
Wie zufrieden sind Sie mit Ihrer Lösung? (1–5)	4	3	5
Nutzung falscher Modellvorstellung	Ja	Ja	Nein (korrekte Lösung)

5.1.3 Diskussion

Das Ziel dieser Vorstudie war die Abbildung der Herausforderungen *falsche Modellvorstellung* und *Nutzung fehlerhafter Modellvorstellungen* in einer Laborumgebung, die zuvor in der Fallstudie identifiziert wurden (vgl. Kapitel 3.1). Zudem sollte überprüft werden, ob Vorgehensweisen hervorgerufen werden, die auf den Confirmation Bias hindeuten.

Der Studienaufbau, der auf einer realen Problemstellung basiert, konnte beide Herausforderungen und die Vorgehensweisen zuverlässig abbilden. Der Großteil der Probanden identifizierte eine falsche Problemursache. Wie in der Fallstudie war es herausfordernd, die tatsächliche Problemursache einzugrenzen. Ebenso haben die Probanden Lösungen für die von ihnen identifizierten falschen Ursachen entwickelt. In der Fallstudie wurden diese Fehler im Laufe des Workshops bemerkt und korrigiert. In der Laborstudie geschah dies aufgrund der kurzen Zeit nicht. Die Vorgehensweisen, wie die Suche nach bestätigenden Informationen, wurden in beiden Studien beobachtet. Es konnte gezeigt werden, dass der Studienaufbau geeignet ist, um die Herausforderungen der Fehleranalyse zu reproduzieren.

Um die Fehleranalyse im Labor abbilden zu können, mussten Randbedingungen eingeführt werden, die zu Einschränkungen der Aussagekraft führen können. In der Studie galt ein Zeitlimit von 20 Minuten für die Fehleranalyse. Auch wenn in der Realität Konstrukteure ebenfalls unter Zeitdruck stehen, ist das Zeitlimit in der Studie deutlich kürzer. Hierdurch kann bei den Studienteilnehmern Zeitdruck aufkommen, was zu einer oberflächlichen Fehleranalyse und einem geringeren Qualitätsanspruch führen kann. Es wurde daher sichergestellt, dass die Aufgabe in der gegebenen Zeit gut lösbar war.

Eine weitere Einschränkung liegt darin, dass sich die Teilnehmer bewusst waren, dass eine unzureichende Fehleranalyse und eine konstruktive Lösung keine Konsequenz für sie haben würde. Dies könnte ebenfalls einen niedrigeren Qualitätsanspruch zur Folge haben. Die Teilnehmer der Vorstudie waren jedoch hoch motiviert, gute Lösungen zu entwickeln.

Eine weitere Einschränkung besteht hinsichtlich der mangelnden Erfahrung der Teilnehmer mit dem genutzten System (Bolzensetzgerät). Die Teilnehmer wurden in die Rolle eines Konstrukteurs von Bolzensetzgeräten versetzt, obwohl keiner von ihnen Konstruktionserfahrung mit diesen Geräten hatte. Bei der Studiendurchführung wurde daher beobachtet, dass die Probanden die Funktionsweise von Teilsystemen in der Studie erneut analysierten. Neben der Fehleranalyse fand zu Teilen daher

auch eine Funktionsanalyse statt. Konstrukteuren von Setzgeräten ist die Funktionsweise hingegen bekannt, sodass sie sich auf die Fehleranalyse konzentrieren können. Die mangelnde Erfahrung mit dem System kann auch die erkannten Fehlerursachen beeinflussen und zur Entwicklung von ungeeigneten Lösungen führen. Für die Laboruntersuchung des Confirmation Bias (Kapitel 5.2) wurde daher die Erklärung des Setzgerätes noch einmal überarbeitet und ergänzt.

Eine weitere Einschränkung betrifft die Bearbeitung der Aufgabe in Einzelarbeit. Auch wenn Konstrukteure einen Großteil ihrer Arbeit auf diese Weise verrichten, werden in Unternehmen Probleme häufig in Teamarbeit analysiert oder zumindest Erkenntnisse aus Fehleranalysen und nächste Schritte besprochen. Inwiefern der Confirmation Bias die Fehleranalyse in Teamarbeit beeinflusst, konnte in dieser Studie nicht erfasst werden.

Die Relevanz der Herausforderungen *fehlerhafte Modellvorstellung* und *Nutzung falscher Modellvorstellungen* ist stark mit deren unbewusstem Auftreten verknüpft. Auch eine (objektiv) falsche Problemursache kann aus Sicht des Konstrukteurs die Problemursache darstellen. Daher ist es aus seiner Sicht sinnvoll, auf dieser Basis eine Lösung zu entwickeln. Wäre keine Ursache identifiziert worden, wäre es klar, dass die Analyse fortgesetzt werden muss. Dieser Fall ist in der Vorstudie jedoch nicht aufgetreten. In der Praxis können große Iterationen entstehen, wenn diese Fehlentscheidungen erst beim Testen der Lösung entdeckt werden.

Die Herausforderung der *fehlerhaften Modellvorstellung* zeigt eine Verbindung zum systematischen Denkfehler *Confirmation Bias*. In der Vorstudie konnte gezeigt werden, dass zumindest Studierende widerlegende Informationen nicht berücksichtigten. Das Verfolgen von *fehlerhaften Modellvorstellungen* kann auch durch einen unsystematischen Fehler (im Gegensatz zum Confirmation Bias) hervorgerufen werden. Hierbei würden sowohl bestätigende als auch widerlegende Indizien fehlerhaft interpretiert werden, ohne dass ein Bias in eine Richtung vorliegt.

Zur Unterscheidung zwischen dem systematischen Confirmation Bias und einem zufälligen Fehler sollte in der Laboruntersuchung des Confirmation Bias (Kapitel 5.2) quantitativ erfasst werden, ob Interpretationsfehler systematisch in die bestätigende Richtung auftreten. Beim Auftreten des Confirmation Bias müssen die Interpretationsfehler systematisch in die bestätigende Richtung verzerrt sein. Wenn der Confirmation Bias auch in der Fehleranalyse in der Konstruktion auftritt, könnte Wissen aus anderen Fachdisziplinen genutzt und es könnte von bestehenden Methoden zu dessen Reduzierung profitiert werden.

Fazit zur Vorstudie

Mit dem Studiendesign der Vorstudie konnten die Herausforderungen der realen Problemlösung aus Kapitel 3.1 zum Auftreten des Confirmation Bias in der Fehleranalyse abgebildet werden. Zudem wurden Anzeichen des Confirmation Bias beobachtet. Das Studiendesign wird daher als geeignet angesehen, um den Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse in der ersten deskriptiven Studie zu untersuchen.

5.2 Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren

In diesem Kapitel wird die Laboruntersuchung des Confirmation Bias vorgestellt, in der der Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren untersucht wurde.

Dieses Kapitel basiert auf den Veröffentlichungen „The impact of confirmation bias on reasoning and visual attention during analysis in engineering design: An eye tracking study“ (Nelius, Doellken, Zimmerer & Matthiesen, 2020) und „Managing Assumptions during Analysis – Study on successful Approaches of Design Engineers“ (Matthiesen & Nelius, 2018b). Teile des folgenden Textes sind ohne Veränderung aus den Veröffentlichungen in deutscher Übersetzung übernommen.

5.2.1 Studienaufbau

Zur Untersuchung des Einflusses des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse sollte der Studienaufbau die Herausforderungen von Konstrukteuren möglichst realistisch abbilden. Es wurde gezeigt, dass der in Kapitel 5.1 präsentierte Studienaufbau die Fehleranalyse für die Untersuchung ausreichend realitätsgetreu abbildet und die gleichen Herausforderungen hervorrief, die auch in der realen Problemlösung (Kapitel 3.1) beobachtet wurden. Der Studienaufbau wurde daher für diese Studie übernommen.

5.2.1.1 Probanden

In der Vorstudie wurden Unterschiede in den Vorgehensweisen zwischen Studierenden und Konstrukteuren beobachtet. Um sowohl die Vorgehensweisen von erfahrenen als auch von unerfahrenen Probanden in der Studie abzubilden, wurden zum einen erfahrene Konstrukteure und zum anderen Studierende für die Studie akquiriert. Ahmed, Wallace und Blessing (2003) nennen acht Jahre Erfahrung als

untere Grenze, um Konstrukteure als erfahren zu bezeichnen. 14 Studierende nahmen an der Studie teil. Diese waren mindestens in ihrem fünften Fachsemester im Studiengang Maschinenbau. Die Probanden mussten zudem das Fach „Maschinenkonstruktionslehre“ (4. Semester, 18 ECTS, Kombination aus Vorlesung, Übung und Projektarbeit (Fakultät für Maschinenbau, 2016)) erfolgreich abgeschlossen haben. Die neun teilnehmenden Konstrukteure haben mindestens acht Jahre Arbeitserfahrung im Konstruieren. Sie arbeiten alle im Bereich Antriebstechnik.

Zwei der Studierenden und ein Konstrukteur konnten nicht in der Auswertung der Studie berücksichtigt werden, da sie die Aufgabe unmotiviert bearbeiteten oder Probleme mit dem Concurrent Think-Aloud hatten. In Summe wurden 20 Probanden für die Studie berücksichtigt. Die Gruppe der Studierenden war im Schnitt im Fachsemester 6,8 ($s = 2,0$). Die mittlere Erfahrung der Konstrukteure lag bei 15,6 Jahren ($s = 7,2$). In Tabelle 5.5 und Tabelle 5.6 sind die Daten der Probanden zusammengestellt.

Tabelle 5.5: Übersicht zu den studentischen Probanden der Laborstudie zum Auftreten des Confirmation Bias

Probandenmerkmale				Erfahrung in ... (Selbsteinschätzung auf einer Skala von 1 – niedrig bis 5 – hoch)		
Proband	Alter	Geschlecht	Semester	Entwicklungs- methoden	Theoretischer Maschinenbau	Schadenskunde
Student 1	24	m	9	3	3	3
Student 2	27	m	5	2	3	2
Student 3	21	m	5	3	2	1
Student 4	22	m	7	2	2	3
Student 5	21	m	5	2	2	1
Student 6	23	m	9	2	2	2
Student 7	21	w	7	3	2	2
Student 8	23	m	5	2	2	2
Student 9	27	m	11	3	3	2
Student 10	21	w	7	2	2	2
Student 11	24	m	5	2	2	2
Student 12	23	m	7	2	3	3

Tabelle 5.6: Übersicht zu den erfahrenen Probanden der Laborstudie zum Auftreten des Confirmation Bias

Probandenmerkmale				Erfahrung in ... (Selbsteinschätzung auf einer Skala von 1 – niedrig bis 5 – hoch)		
Studienteilnehmer	Alter	Geschlecht	Berufserfahrung (Jahre)	Entwicklungs- methoden	Theoretischer Maschinenbau	Schadenskunde
Konstrukteur 1	37	m	8	4	4	3
Konstrukteur 2	44	m	26	2	3	1
Konstrukteur 3	34	m	9	5	4	3
Konstrukteur 4	55	m	28	4	4	3
Konstrukteur 5	38	m	16	4	4	4
Konstrukteur 6	34	m	14	5	5	5
Konstrukteur 7	40	m	15	4	5	5
Konstrukteur 8	31	m	9	4	3	3

5.2.1.2 Studienaufbau, Datenaufnahme und Datenauswertung

Die Aufgabenstellung und der Ablauf der Studie wurden aus der Vorstudie übernommen. Sie ist in Kapitel 5.1.1 ausführlich beschrieben. Die Systemvorstellung in der Studieneinführung wurde etwas ausführlicher gestaltet, da die Probanden in der Vorstudie die Funktionsweise teilweise nicht ausreichend verstanden hatten.

Datenaufnahme

Die Methoden der Datenaufnahme – Concurrent Think-Aloud, Eye-Tracking, Abschlussinterview zur identifizierten Problemursache und Bewertung der konstruktiven Lösung – wurden bereits in der Vorstudie eingesetzt und als zweckmäßig evaluiert.

Datenauswertung

Als Interpretation von Informationen wird in dieser Arbeit die Deutung von Informationen in Bezug auf eine vermutete Problemursache bezeichnet. Hierbei muss der Proband entscheiden, ob identifizierte Informationen einen Bezug zu seiner Vermutung haben und ob eine Information die Vermutung bestätigt oder widerlegt.

Operationalisierung der Interpretation von Informationen (Teilforschungsfrage 1.1)

Die *Interpretation der Informationen* wurde durch die Think-Aloud Protokolle erfasst (siehe Beispielkodierung in Tabelle 5.7). Hierzu wurden die Aussagen der Probanden transkribiert. Die Kodierung erfolgte in zwei Schritten. Zuerst wurden die vermuteten Fehlerursachen identifiziert. Da Vermutungen zumeist sequenziell und nicht parallel verfolgt werden (Mynatt et al., 1977; Stacy & MacMillan, 1995), wurde für die Auswertung angenommen, dass die Probanden stets nur eine Vermutung verfolgen. Das Verfolgen einer Vermutung beginnt mit der ersten Nennung einer Ursache und endet mit der Nennung einer anderen Ursache. Das Wiederaufnehmen einer bereits verworfenen Vermutung wurde nur selten beobachtet und wird daher nicht extra gekennzeichnet. Der exakte Zeitpunkt, wann eine Vermutung verworfen wurde, ließ sich nicht identifizieren. Daher wurde das Aufstellen einer neuen Vermutung als Verwerfen der bisherigen Vermutung gedeutet.

Der zweite Schritt der Kodierung beinhaltete die Identifizierung der genutzten Indizien. Letztere sind Informationen, die die Probanden nutzten, um ihre Vermutung zu bestätigen oder zu widerlegen (mittlere Spalte in Abbildung 5.7). Neben der Probandensicht wurde ebenso berücksichtigt, ob die Information aus Sicht der Auswerter bestätigend, neutral (ohne Bezug zur Vermutung) oder widerlegend ist (linke Spalte in Abbildung 5.7). Die Auswerter kannten die tatsächliche Fehlerursache und hatten umfangreiches Wissen über das System.

Lehner et al. (2008) bezeichnen die Fehlinterpretation von widerlegenden Informationen als bestätigende Indizien als Interpretation Error. Die Fehlinterpretation von neutralen Informationen als bestätigende Indizien wird Projection Error genannt.

Beim Weighting Error, der dritten Fehlerart, wird zwar die Richtung des Indizes korrekt erkannt, jedoch wird die Stärke der Aussagekraft in Richtung Bestätigung der eigenen Ansicht verschoben. Zur genauen Erfassung des Weighting Errors muss die Stärke der Indizien aus Probandensicht mit der Sicht des Auswerter verglichen werden. Aus den Transkripten konnte jedoch nur der Anteil des Weighting Errors bestimmt werden, bei dem aus objektiver Sicht stark widerlegende Indizien als schwach widerlegend fehlinterpretiert wurden. Dieser Anteil wurde erfasst, wenn trotz der aus objektiver Sicht stark widerlegenden Indizien eine Vermutung beibehalten wurde. Die Kodierung wurde von einem zweiten Auswerter überprüft. Bei Unstimmigkeiten diskutierten die Auswerter diese Fälle, bis ein Konsens erreicht wurde.

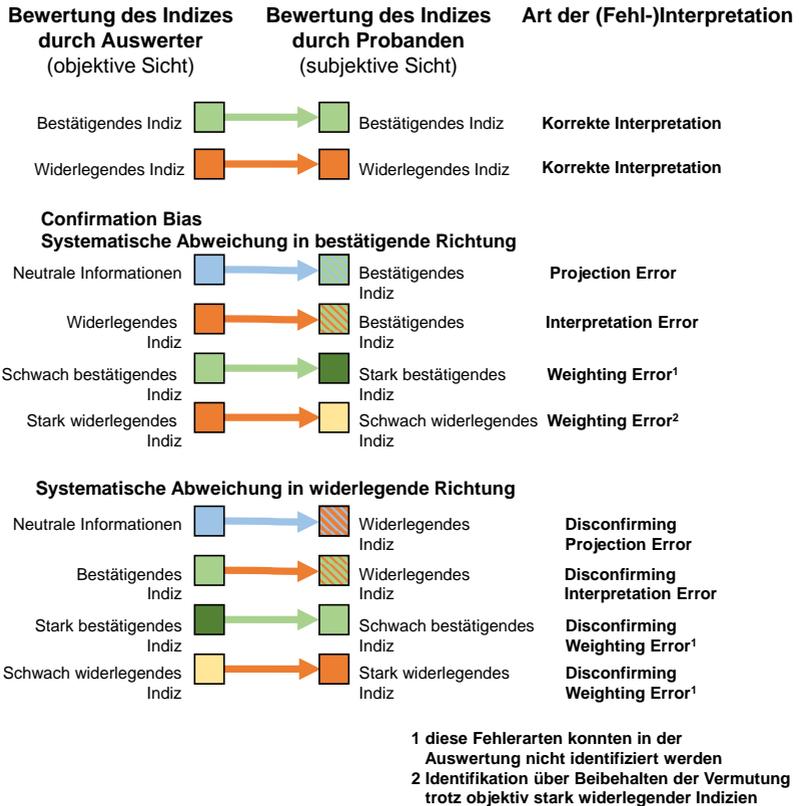


Abbildung 5.7: Arten der Fehlinterpretationen von Indizien

Tabelle 5.7: Auszug aus dem Concurrent-Think-Aloud-Protokoll mit Kodierung (Student 3)

Zeitpunkt	Probandenaussagen	Probandensicht	Auswerter-sicht	Verfolgte Vermutung	Auswirkung auf die Vermutung
04:30	„Ja im Grunde genommen wird das [Nageldetektion] jedes Mal gebogen, wenn das Magazin [Nagelstreifen] reingeschoben wird oder rauskommt, weil man eben einen Nagel gesetzt hat.“	-	-	Biegung durch Nägel	Aufstellen neuer Vermutung
05:20	„Gut, ähm, wenn man sich das kaputte Teil anschaut [Nageldetektion], sieht man eben, dass genau diese dünne Stelle, ähm, gebrochen ist [schaut auf die Bruchfläche] [...]“	bestätigend	widerlegend	Biegung durch Nägel	Beibehalten falscher Vermutung
06:00	„[...] das [Nageldetektion] hat anscheinend auch schon 'n bisschen was mitgemacht. Zumindest sieht's 'n bisschen so aus. Weil hier bildet sich auch schon wieder irgendwie 'ne Art Riss oder keine Ahnung. Zumindest verfärbt der sich [...]“	bestätigend	neutral	Biegung durch Nägel	Beibehalten falscher Vermutung
07:50	„[...] Dann ist das Problem auch, dass wir hier 'ne keine so gute Kerbe haben. Ähm, unten ist das abgerundet, aber oben ist es ne richtig kleine Kerbe. Äh genau, an der Stelle ist es ja auch gebrochen. [...]“	bestätigend	bestätigend	Biegung durch Nägel	Beibehalten falscher Vermutung
12:30	„Noch 'ne Belastung für das Teil [...] ist, wenn es tatsächlich mal verklemmt und versucht wird 'n Nagel zu setzen. Ähm, dann ist das Teil [Nageldetektion] hier zurück und hat ja auch die Biegung und hier wird versucht das reinzudrücken. Wahrscheinlich mit aller Gewalt, was dann nicht gehen wird.“	-	-	Anpressbolzen drückt auf Nageldetektion	Aufstellen neuer Vermutung
13:35	„Ähm, allerdings ist das halb so wild, weil wir hier vorne das Gegenstück haben und wenn das jetzt reingedrückt ist, haben wir da nur 'ne Druckbelastung, das heißt, das geht gar nicht über die enge Stelle.“	widerlegend	widerlegend	Anpressbolzen drückt auf Nageldetektion	Verwerfen falscher Vermutung

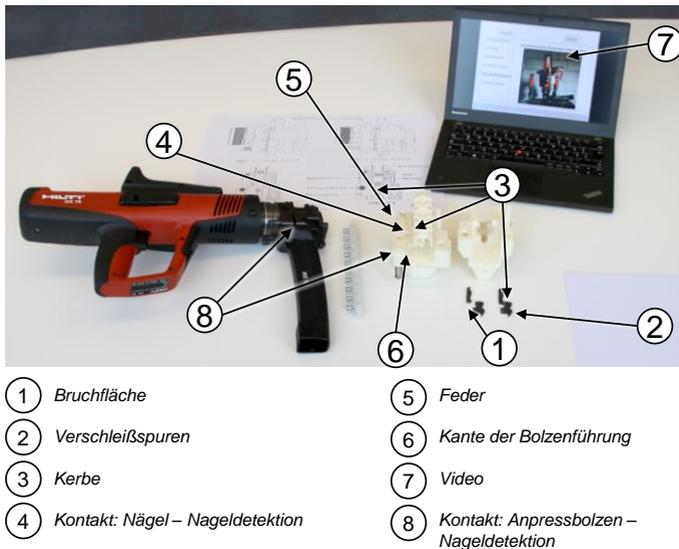


Abbildung 5.8: Lage der AOIs im Studienaufbau

Operationalisierung der visuellen Informationssuche (Teilforschungsfrage 1.2):

Um die *visuelle Informationssuche* zu operationalisieren, wurden die Eye-Tracking-Aufnahmen der Probanden genutzt. Sie wurden gesichtet und Aufnahmen mit niedriger Qualität wurden von der Auswertung ausgeschlossen. Für die quantitative Auswertung der Eye-Tracking-Daten wurden AOIs definiert, die relevante Informationen für die Fehleranalyse beinhalten. Anhand der Think-Aloud-Protokolle wurden im Rahmen einer Co-betreuten Masterarbeit von Zimmerer (2019) Bereiche identifiziert, die besonders häufig von den Probanden als Indizien genutzt wurden (siehe Abbildung 5.8, Detaildarstellung Abbildung 5.9). Einige Informationen sind mehrfach im Studienaufbau abgebildet. Die Kerbe der Nageldetektion ist beispielsweise am Originalbauteil, der technischen Zeichnung und dem vergrößerten 3-D-Modell zu sehen. Für die Auswertung wurden Fixationen auf einer dieser Stellen demselben AOI *Kerbe* zugeordnet.

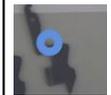
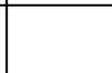
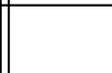
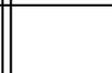
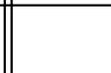
Die Zuweisung der Fixationen zu den AOIs wurde manuell mit der Funktion Semantic Gaze Mapping der Software SMI's BeGaze durchgeführt. Hierfür wurde die in

Abbildung 5.9 dargestellte Referenzansicht genutzt. Der Blickpfad wurde hierzu in Segmente eingeteilt, in denen der Proband eine Vermutung verfolgte (Zeilen in Abbildung 5.9). Zudem wurde jede Fixation einem AOI auf dem Stimulus zugewiesen (Spalten in Abbildung 5.9). Hierdurch ließ sich, in Abhängigkeit von der verfolgten Vermutung, unterscheiden, ob die Fixation auf einem bestätigenden, neutralen oder widerlegenden AOI lag.

Nach Holmqvist et al. (2011) ist eine lange Betrachtungsdauer auf einem AOI ein Maß für die Bedeutung und den erwarteten Informationsgehalt aus Sicht des Probanden. Für die Operationalisierung der *visuellen Informationssuche* wurde daher die Total Fixation Duration (Summe der Dauer aller Fixationen auf einem AOI) für bestätigende, neutrale und widerlegende Informationen für jede Vermutung der Probanden bestimmt.

Operationalisierung der Güte von konstruktiven Lösungen (Teilforschungsfrage 1.3)

Zur Untersuchung des Einflusses des Confirmation Bias auf die *Entwicklung konstruktiver Lösungen* wurde die identifizierte Problemursache über ein Abschlussgespräch am Ende der Studie abgefragt und die entwickelte Lösung bewertet. Die Problemursache wurde nach der Studie über ein Abschlussgespräch erhoben. Hierbei sollten die Probanden den Schadenshergang und ihr Vorgehen beschreiben. Als korrekt wurden Erklärungen gewertet, die beinhalteten, dass der Rückstoß beim Setzen die Nageldetektion um die Kante der Bolzenführung biegt. Die alleinige Nennung des Rückstoßes wurde, wie alle anderen genannten Ursachen, als falsche Ursache gewertet. Die funktionale Eignung der konstruktiven Lösungen wurde nach dem in Kapitel 5.2.1.2 vorgestellten Schema bewertet.

		Visuelle Aufmerksamkeit auf AOIs, identifiziert durch Eye-Tracking							
		<i>Bruchfläche</i>	<i>Verschleißspuren</i>	<i>Kerbe</i>	<i>Kontakt: Nägel – Nagel-detektion</i>	<i>Feder</i>	<i>Kante Bolzenführung</i>	<i>Video</i>	<i>Kontakt: Anpressbolzen – Nagel-detektion</i>
		Bruchrichtung lässt auf Kraft in Setzrichtung schließen 	Verschleiß lässt auf Belastung in Setzrichtung schließen 	Spannungsüberhöhung durch Kerbe 	Kontakt: Nägel – Nagel-detektion Belastung durch Kontakt 	Feder sehr geringe Kraft durch schwache Feder 	Kante Bolzenführung Biegekante in der Nähe der Bruchfläche 	Video Starke Beschleunigung beim Setzvorgang 	Kontakt: Anpressbolzen – Nagel-detektion Belastung durch den Bolzen 
Aktuelle Vermutung, identifiziert durch Think-Aloud	Vermutung 1: Rückstoß durch Setzvorgang								
	Vermutung 2: Biegung durch Nägel								
	Vermutung 3: Kraft durch Anpressbolzen								

	AOI mit bestätigenden Informationen zur Vermutung		AOI mit widerlegenden Informationen zur Vermutung		AOI ohne relevante Informationen zur Vermutung
---	---	---	---	---	--

Abbildung 5.9: Referenzansicht für die Auswertung der Eye-Tracking-Daten

5.2.2 Ergebnisse

In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse der Laborstudie zum Auftreten des Confirmation Bias dargestellt. In Kapitel 5.2.2.1 werden zunächst die von den Probanden vermuteten Problemursachen beschrieben, da die darauffolgenden Kapitel auf diesen aufbauen. Anschließend wird der Einfluss des Confirmation Bias auf die *Interpretation von Informationen* (5.2.2.2), die *visuelle Informationssuche* (5.2.2.3) und die *Entwicklung konstruktiver Lösungen* präsentiert (5.2.2.4).

5.2.2.1 Vermutete Problemursachen

Während der Studie untersuchten die Probanden zumeist mehrere Problemursachen. Um den Confirmation Bias zu analysieren, mussten die verfolgten Problemursachen über die gesamte Studiendauer erfasst werden. Nur so konnte der Einfluss der aktuellen Vermutung auf die Interpretation und die visuelle Aufmerksamkeit erfasst werden. Insgesamt wurden 32 Vermutungen von den 20 Probanden während der Aufgabenbearbeitung genannt und in der Auswertung berücksichtigt. 25 der Vermutungen konnten drei Problemursachen zugeordnet werden. Jede dieser Problemursachen wurde mindestens sechsmal angesprochen. Die nächsthäufigere Problemursache wurde nur drei Mal erwähnt. Auf Basis der Probandenaussagen wurden für die Vermutungen bestätigende und widerlegende Indizien zusammengestellt (siehe Abbildung 5.9).

1. Vermutete Problemursache: Rückstoß beim Setzvorgang

Die korrekte Ursache für das Versagen der Nageldetektion ist eine Biegebelastung durch den Rückstoß beim Setzvorgang. Durch die Trägheit des Bauteils wird die Nageldetektion um eine Kante der Bolzenführung gebogen. Diese Belastung wurde in der Auslegung der Nageldetektion nicht ausreichend berücksichtigt.

Die korrekte Ursache wurde von sechs Probanden angesprochen, dreimal von Studierenden und dreimal von Konstrukteuren. Für diese Problemursache gab es keine Gegenindizien (siehe Abbildung 5.9). Mehrere Indizien in den AOs deuteten auf diese Problemursache hin. Aus der *Bruchfläche* und den *Verschleißspuren* konnte auf die Bruchrichtung geschlossen und die *Kerbe* an der Bruchfläche konnte als bestätigendes Indiz verstanden werden. Die *Kante der Bolzenführung* stützte diese Problemursache, da sie eine Biegekante darstellt und mit den Verschleißspuren übereinstimmt. In dem *Video* wurde der Rückstoß dargestellt.

2. Vermutete Problemursache: Biegung durch Nägel

Bei dieser vermuteten Problemursache gingen die Probanden davon aus, dass die Anpresskraft der *Feder* die Nageldetektion stark genug an die Nägel drückt, dass diese nach mehreren Nachladevorgängen versagt. Die Vermutung ist insofern naheliegend, da sie das Versagen mit der Funktion der Nageldetektion erklärt. Letztere ist jedoch ausreichend dimensioniert, um dieser Belastung standzuhalten. Die hierzu angenommene Bruchrichtung stimmt nicht mit der tatsächlichen Bruchrichtung überein.

Die Vermutung wurde zwölfmal genannt, siebenmal von Studierenden und fünfmal von Konstrukteuren. Für diese Problemursache sprachen Informationen in den AOs *Kerbe* und *Kontakt zwischen Nägeln und Nageldetektion*. Die geringe Kraft der *Feder* und die Bruchrichtung (*Bruchfläche*) widerlegten diese Vermutung und waren als Gegenindizien zu sehen.

3. Vermutete Problemursache: Kraft durch Anpressbolzen

In einem deutlichen Abstand zur Bruchfläche kann der *Anpressbolzen* auf die Nageldetektion drücken. Hierdurch wird bei einem falsch positionierten Nagel der Setzvorgang verhindert. Die Probanden gingen bei dieser Vermutung davon aus, dass der Anpressbolzen zu einer Biegebelastung und damit zum Bruch der Nageldetektion führt. Die Kraft tritt im Betrieb jedoch nur sehr selten auf und wird vom Anpressbolzen direkt als Druckkraft über die Nageldetektion in die Bolzenführung weitergeleitet. Der Anpressbolzen verursacht daher keine Belastung der Nageldetektion an der Bruchstelle. Die Beschreibung der Problemursache durch die Probanden war zumeist ungenau und die Einleitung der Kraft in die Bolzenführung wurde meist nicht beschrieben.

Die Problemursache wurde von acht Studierenden, aber keinem Konstrukteur genannt. Die Vermutung wurde durch die Bruchrichtung bestätigt, die anhand der *Bruchfläche* identifiziert werden konnte. Der *Kontakt zwischen Anpressbolzen und Nageldetektion*, der zu einer Belastung der Nageldetektion führt, und die *Kerbe*, die eine Spannungsüberhöhung zur Folge hat, waren weitere bestätigende Indizien. Die *Verschleißspuren* und die Abstützung der Nageldetektion an der Bolzenführung stellten Gegenindizien zu dieser Vermutung dar.

Ausgewählte Problemursache am Ende der Studie

Nach der Bearbeitungszeit wurden die Probanden nach der Problemursache befragt. 18 Probanden waren davon überzeugt, die korrekte Problemursache identifiziert zu haben. Sechs von ihnen lagen diesbezüglich richtig, während die übrigen zwölf Probanden eine falsche Problemursache identifiziert hatten. Außerdem gaben zwei Probanden an, dass sie die richtige Problemursache nicht identifiziert hatten.

Die Gruppe der erfolgreichen Probanden, die die korrekte Problemursache nannten, bestand aus drei Studierenden und drei Konstrukteuren. Die Gruppe der nicht erfolgreichen Probanden umfasste neun Studierende und fünf Konstrukteure. Es besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Erfolg der Analyse und der Erfahrung der Probanden (zweiseitiger exakter Test nach Fisher, $p = 0,642$, $\alpha = 0,05$).

5.2.2.2 Einfluss des Confirmation Bias auf die Interpretation von Informationen

Bei der Interpretation von Informationen mussten die Probanden in ihrer Analyse erkennen, ob diese genutzt werden können, um ihre Vermutungen zu bestätigen oder zu widerlegen. Hierbei wurden über alle Probanden hinweg subjektiv bestätigende signifikant häufiger als widerlegende Indizien genutzt (siehe Tabelle 5.8).

Tabelle 5.8: Anzahl an bestätigenden, widerlegenden und fehlinterpretierten Indizien der Studienteilnehmer

	Probanden	Wert	Statistischer Test
Mittelwert Anzahl subjektiv bestätigender Indizien	Alle	3,0 (s = 1,8)	Signifikant, zweiseitiger Binomialtest, $p < 0.001$, $n = 73$, $\alpha = 0,05$
Mittelwert Anzahl subjektiv widerlegender Indizien	Alle	0,7 (s = 0,7)	
Median Anzahl subjektiv bestätigender Indizien	Studierende	2,5	Nicht signifikant, zweiseitiger Mann-Whitney-U-Test, U = 44,5, $p = 0,78$, $\alpha = 0,05$
Median Anzahl subjektiv bestätigender Indizien	Konstrukteure	3,5	
Median Anzahl subjektiv widerlegender Indizien	Studierende	0,5	Nicht signifikant, zweiseitiger Mann-Whitney-U-Test, U = 42,0, $p = 0,61$, $\alpha = 0,05$
Median Anzahl subjektiv widerlegender Indizien	Konstrukteure	0,5	
Median Anzahl fehlinterpretierter Informationen	Studierende	1	Nicht signifikant, zweiseitiger Mann-Whitney-U-Test, U = 45,0, $p = 0,81$, $\alpha = 0,05$
Median Anzahl fehlinterpretierter Informationen	Konstrukteure	1	

Da keine Unterschiede bezüglich der Anzahl an genutzten Indizien und Fehlinterpretationen zwischen Konstrukteuren und Studierenden beobachtet wurden (siehe

Tabelle 5.8), werden im Folgenden beide Probandengruppen gemeinsam betrachtet. Im Anhang sind die Ergebnisse dieses Kapitels nach Studierenden und Konstrukteuren getrennt dargestellt.

Der Einfluss des Confirmation Bias auf die Interpretation von Informationen kann an der Fehlinterpretation von Informationen gezeigt werden. Fehlinterpretationen wurden erkannt, wenn Probanden die Richtung von Informationen (bestätigend, neutral, widerlegend) anders interpretierten als der Auswerter. Die Interpretation von Informationen ist in Abbildung 5.10 dargestellt. Die linke Säule stellt dabei die Indizien aus der objektiven Sicht des Auswerters dar (bestätigend, neutral, widerlegend), während die rechte Säule visualisiert, wie diese Indizien von den Probanden interpretiert wurden und welche Fehlinterpretationen hierbei stattfanden (schraffierte Flächen).

Die Probanden werteten neutrale und widerlegende Informationen häufig als bestätigende Indizien. In elf Fällen (15 %) wurden widerlegende Informationen als bestätigende Indizien fehlinterpretiert (Interpretation Error). Es wurde jedoch nur ein objektiv bestätigendes Indiz als widerlegendes Indiz fehlinterpretiert. Der *Projection Error*, bei dem neutrale Informationen als bestätigende Indizien interpretiert werden (Lehner et al., 2008), trat neunmal auf (12 %). Es wurde kein Fall beobachtet, in dem eine neutrale Information als widerlegendes Indiz fehlinterpretiert wurde. Informationen, mit denen die Probanden ihre Vermutungen bestätigten, wurden häufiger fehlinterpretiert als Informationen, mit denen sie ihre Vermutungen widerlegten. Der Unterschied ist statistisch jedoch knapp nicht signifikant (einseitiger exakter Test nach Fisher, $p = 0,058$, $\alpha = 0,05$).

Darüber hinaus wurde nur ein Fall beobachtet, bei dem ein Teilnehmer ein bestätigendes Indiz als widerlegend fehlinterpretierte. Der Proband verfolgte zu dem Zeitpunkt die Vermutung, dass der Anpressbolzen auf die Nageldetektion drückt und hierdurch eine Biegung der Nageldetektion hervorruft, die zum Versagen führt. Er fehlinterpretierte, dass der Anpressbolzen nie auf die Nageldetektion drückt. Den fehlenden Kontakt interpretierte er als Gegenindiz und verwarf daraufhin korrekterweise seine falsche Vermutung. Da der Kontakt (Anpressbolzen – Nageldetektion) auftreten kann, liegt hier eine Fehlinterpretation in widerlegender Richtung vor.

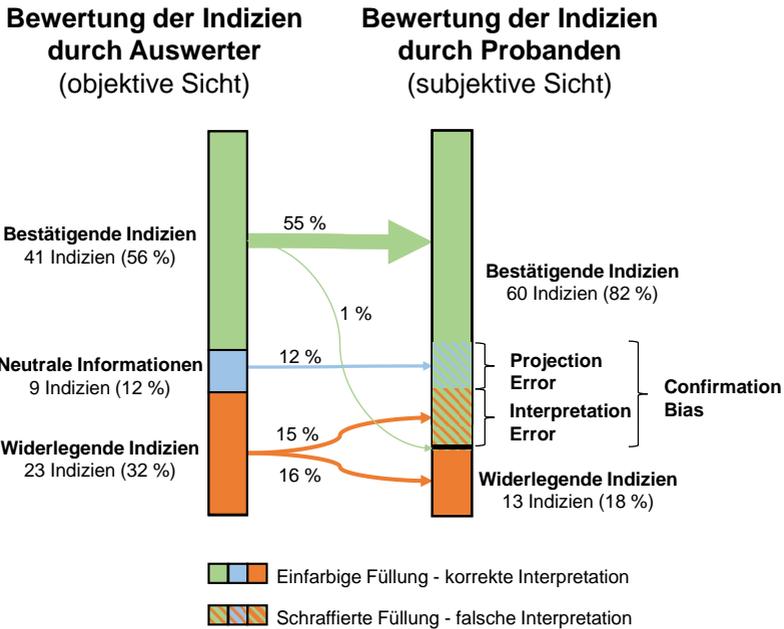


Abbildung 5.10: Identifikation des Confirmation Bias durch den Vergleich von objektiver und subjektiver Sicht auf die Indizien: Die systematische Fehlinterpretation in bestätigender Richtung wird als Confirmation Bias gewertet (zusammengeführte Darstellung der Indizien, die von allen Studienteilnehmern geäußert wurden)

In Abbildung 5.11 ist die Auswirkung der identifizierten Indizien auf die verfolgte Vermutung der Probanden dargestellt. In der linken Säule sind die von den Probanden identifizierten Indizien dargestellt. In der rechten Säule sind die Auswirkungen auf ihre Vermutungen visualisiert. Nachdem die Probanden Informationen als bestätigende Indizien interpretiert hatten, behielten sie zumeist ihre aktuelle Vermutung bei (73%). In 9% der Fälle wurde eine neue Vermutung aufgestellt, da bestätigende Informationen häufig auch Indizien für andere Vermutungen waren. 15% aller Vermutungen wurden aufgrund eines widerlegenden Indizes verworfen, wohingegen 3% der Vermutungen trotz subjektiv widerlegender Indizien beibehalten wurden. Da es sich in diesen Fällen um objektiv stark widerlegende Indizien handelte, wurde die Richtung der Indizien korrekt erkannt, die Aussagekraft jedoch unterschätzt. Dieser

Anteil entspricht dem Teil des *Weighting Errors*, bei dem die Aussagekraft von widerlegenden Indizien unterschätzt wird. Jener Teil des *Weighting Errors*, bei dem die Aussagekraft von bestätigenden Indizien überschätzt wird, konnte mit dem Studiendesign nicht erfasst werden.

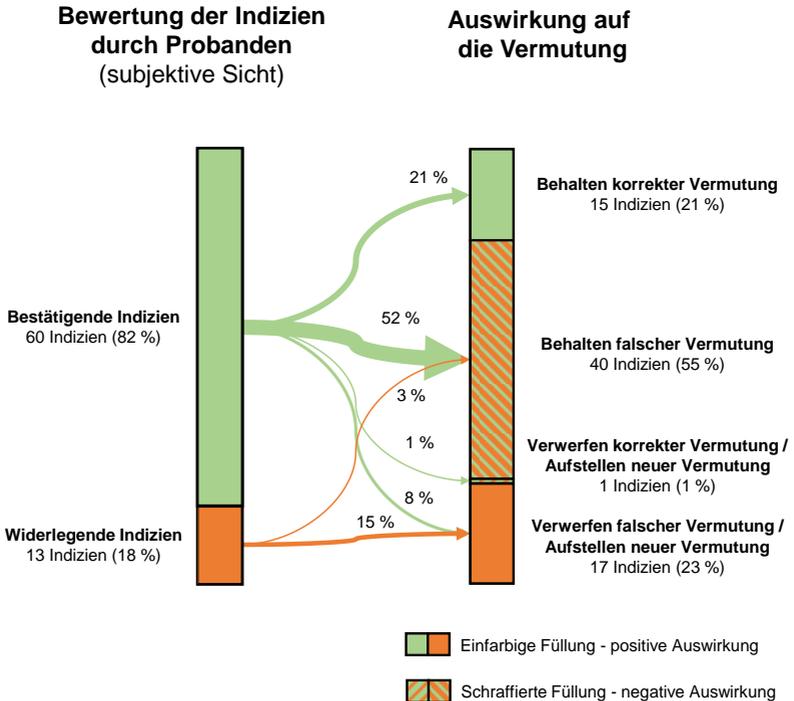


Abbildung 5.11: Auswirkung der identifizierten Indizien auf die verfolgte Vermutung für alle Studienteilnehmer konsolidiert

Die Teilforschungsfrage 1.1 nach dem Einfluss des Confirmation Bias auf die Interpretation von Informationen kann mit den vorliegenden Ergebnissen eindeutig beantwortet werden: Der Confirmation Bias hat einen Einfluss auf die Interpretation von Informationen. Aus Probandensicht bestätigende Indizien wurden deutlich häufiger fehlinterpretiert als widerlegende Indizien, die fast vollständig korrekt interpretiert wurden. Die Gegenindizien führten außerdem in einem hohen Maße zu einer

Verbesserung der Analyse, da hierdurch häufig falsche Vermutungen verworfen wurden.

5.2.2.3 Einfluss des Confirmation Bias auf die Informationsaufnahme

Die Informationsaufnahme wurde zunächst unabhängig von der aktuellen Vermutung ausgewertet. Hierzu wurde analysiert, auf welche AOIs die Probanden während der gesamten Studie schauten. Die Total Fixation Duration unterschied sich zwischen Studierenden und Konstrukteuren nur bei einem AOI signifikant. Studierende schauten länger auf die *Feder* (Median = 9,8 s), die die Nageldetektion an die Nägel presst, als Konstrukteure (Median = 4,0 s) (einseitiger Mann-Whitney-U-Test: $U = 14,0$, $p < 0,001$, starker Effekt nach Cohen $r = 0,59$). Diese Feder ist bei Vermutung 2 (siehe Kapitel 5.2.2.1) am Schadenshergang beteiligt.

Zwischen erfolgreichen und nicht erfolgreichen Probanden gab es bezüglich der Total Fixation Duration nur einen signifikanten Unterschied. So schauten erfolgreiche Probanden (Median = 35,67 s) signifikant länger (einseitiger Mann-Whitney-U-Test, $U = 16,0$, $p = 0,016$, $\alpha = 0,05$, mittlerer Effekt nach Cohen $r = 0,48$) auf die *Kante der Bolzenführung* als nicht erfolgreiche Probanden (Median = 22,03 s). Diese Kante ist für die Problemursache in Vermutung 1 ein relevantes Indiz. Des Weiteren beinhaltete die *Bruchfläche* der Nageldetektion hochrelevante Informationen für diese Problemursache, da aus ihr die Bruchrichtung identifiziert werden konnte. Nur einer der sechs erfolgreichen Probanden schaute sich die Bruchfläche nicht an, während 5 der 14 nicht erfolgreichen Probanden die Bruchfläche nicht betrachteten.

Um den Einfluss des Confirmation Bias auf die visuelle Informationsaufnahme zu untersuchen, wurde für jedes genannte Indiz die Total Fixation Duration auf dem zugehörigen AOI bestimmt (vgl. Abbildung 5.9). Hierdurch konnte unterschieden werden, ob die Fixation auf einem AOI mit bestätigenden, neutralen oder widerlegenden Informationen lag und wie die Probanden diese Information (bestätigend/widerlegend) interpretierten.

Während aus Sicht der Probanden die mittlere Total Fixation Duration sich pro Indiz nahezu gleichmäßig auf bestätigende (15,23 s; $s = 15,84$ s) und widerlegende Informationen (12,16 s; $s = 16,84$ s) verteilte (rechte Seite in Abbildung 5.12), wurde die Aufmerksamkeit der Probanden aus Sicht des Auswerters (objektive Sicht) stärker auf die bestätigenden Informationen (19,17 s; $s = 18,1$ s) als auf die neutralen (12,82 s; $s = 14,16$ s) und die widerlegenden Informationen (7,41 s; $s = 8,18$ s) gerichtet (linke Seite in Abbildung 5.12).

AOIs mit objektiv widerlegenden Informationen (Median = 5,52 s) wurden kürzer angeschaut als AOIs mit objektiv bestätigenden Informationen (Median = 15,74 s) (einseitiger Mann-Whitney-U-Test: $U = 288,0$, $p = 0,05$, $\alpha = 0,05$). Die kürzere Total Fixation Duration trat bei Indizien auf, die besonders häufig fehlinterpretiert wurden. AOIs, deren Inhalt korrekt interpretiert wurde, wurden im Mittel länger betrachtet (18,57 s; $s = 15,73$ s) als AOIs, deren Inhalt fehlinterpretiert wurde (14,97 s; $s = 16,65$ s). Der Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant (zweiseitiger Mann-Whitney-U-Test: $U = 451$, $p = 0,22$, $\alpha = 0,05$).

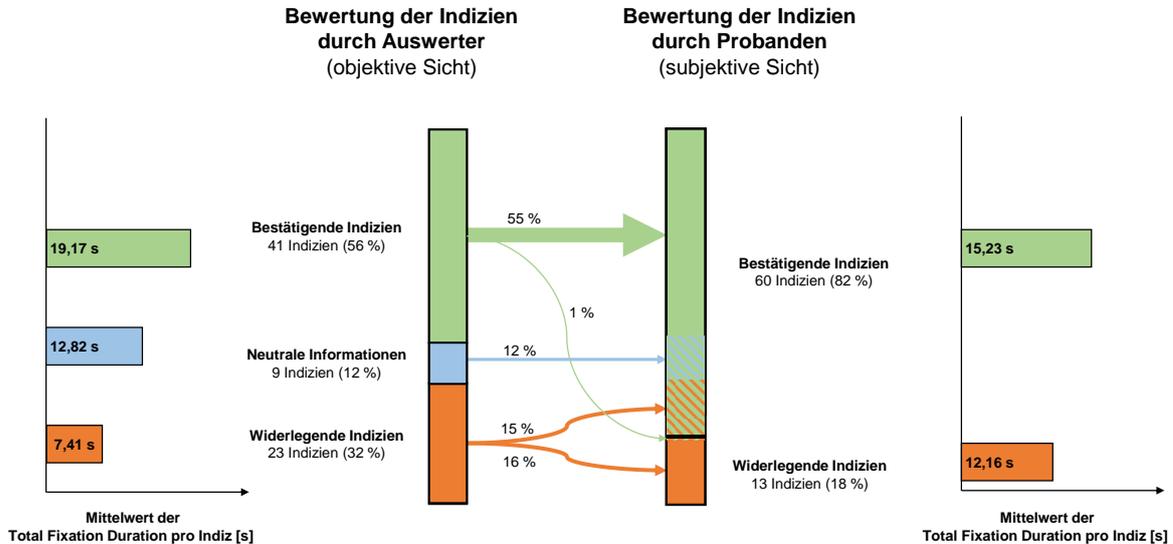


Abbildung 5.12: Identifikation von Auswirkungen des Confirmation Bias auf die visuelle Informationsaufnahme durch den Vergleich der mittleren Total Fixation Duration auf die Indizien aus objektiver und subjektiver Sicht

Teilforschungsfrage 1.2 adressiert den Einfluss des Confirmation Bias auf die visuelle Informationssuche. Die Ergebnisse zeigen, dass die visuelle Aufmerksamkeit länger auf objektiv bestätigenden als auf objektiv widerlegenden Informationen lag. Durch Fehlinterpretationen in bestätigende Richtung war die Aufmerksamkeit aus Sicht der Probanden jedoch vergleichbar lange auf bestätigenden und widerlegenden Informationen gerichtet. Bezüglich der Aufmerksamkeit aus subjektiver Sicht ist kein Einfluss des Confirmation Bias auf die visuelle Informationssuche beobachtet worden. Die teilweise geringe visuelle Aufmerksamkeit (mangelnde Betrachtung der Bruchfläche) ist daher nicht direkt auf den Confirmation Bias zurückzuführen, lässt sich aber mit schlechten Analyseergebnissen in Verbindung bringen.

5.2.2.4 Einfluss des Confirmation Bias auf die Entwicklung konstruktiver Lösungen

In Kapitel 5.2.2.2 wurde gezeigt, dass der Confirmation Bias die Annahme von falschen Problemursachen verstärkt. Um die Auswirkungen falsch erkannter Problemursachen durch den Confirmation Bias auf konstruktive Lösungen zu untersuchen, wurden die entwickelten Lösungen hinsichtlich ihrer funktionalen Eignung bewertet.

Abbildung 5.13 zeigt, wie die identifizierte Problemursache und die entwickelte Lösung zusammenhängen. Zwei Drittel der Probanden, die die korrekte Problemursache identifiziert hatten, entwickelten eine Lösung mit guter funktionaler Eignung²³. Ohne korrektes Problemverständnis konnte kein Proband eine Lösung mit guter funktionaler Eignung entwickeln. Zehn Probanden entwickelten auf Basis einer falschen Problemursache eine Lösung mit neutraler oder schlechter funktionaler Eignung.

²³ Die Bewertung der funktionalen Eignung ist in Kapitel 5.1.1.2 beschrieben.

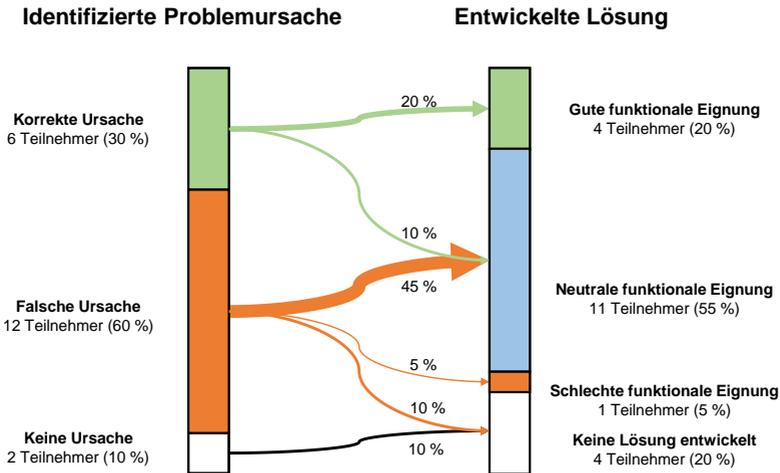


Abbildung 5.13: Zusammenhang zwischen identifizierter Problemursache und entwickelter Lösung

Teilforschungsfrage 1.3 adressiert den Einfluss des Confirmation Bias auf die Entwicklung konstruktiver Lösungen. In Kombination mit Teilforschungsfrage 1.1 zeigen die Ergebnisse, dass der Confirmation Bias zur Entwicklung von funktional wenig geeigneten Lösungen führen kann, da Lösungen für falsche Problemursachen entwickelt werden.

5.2.3 Diskussion

Im ersten Teil dieses Kapitels wird Teilforschungsfrage 1.1 diskutiert, indem die aus den Concurrent-Think-Aloud-Protokollen ermittelten Interpretationen der Probanden analysiert werden. Dazu wird auf die angegebenen Vermutungen zur Problemursache, die verwendeten Indizien und die Auswirkungen des Confirmation Bias (Kapitel 5.2.2.1 und 5.2.2.2) zurückgegriffen. Der zweite Teil befasst sich mit Teilforschungsfrage 1.2, die sich mit der visuellen Suche nach Informationen befasst, indem die Ergebnisse der Eye-Tracking-Auswertung (Kapitel 5.2.2.3) diskutiert werden. Im dritten Teil wird Teilforschungsfrage 1.3 besprochen, indem der Einfluss des Confirmation Bias auf die Entwicklung konstruktiver Lösungen (siehe Kapitel 5.2.2.4) beschrieben wird. Im letzten Abschnitt werden die Einschränkungen der Studie vorgestellt.

5.2.3.1 Einfluss des Confirmation Bias auf die Interpretation von Informationen

Während der Analyse hatten die Probanden keine Möglichkeit, die Richtigkeit ihrer Annahmen objektiv zu überprüfen. Sie waren auf ihre Interpretation der verfügbaren Informationen angewiesen. Dies führte dazu, dass über zwei Drittel von ihnen keine oder eine falsche Problemursache annahmen. Die Annahme einer falschen Ursache hätte im verwendeten Praxisbeispiel des Bolzensetzgerätes eine langwierige und kostenintensive Iteration zur Folge gehabt. Insbesondere die Studierenden verfolgten häufig schlecht begründete Problemursachen (z. B. die vermutete Problemursache 3 ‚Kraft durch Anpressbolzen‘, siehe Kapitel 5.2.2.1). So bildeten die Aussagen der Teilnehmer zu den Wirkzusammenhängen den vorliegenden Kraftfluss nicht vollständig ab. Statt diesen Fehler zu erkennen, fanden sie bestätigende Informationen und hielten so weiter an den falschen und unvollständigen Modellvorstellungen fest. Diese Vorgehensweisen decken sich mit den Auswirkungen des Confirmation Bias.

Die aufgestellten Vermutungen deuten, neben dem Confirmation Bias, auf weitere systematische Denkfehler hin, die sich gegenseitig beeinflussen können. Diese unvollständigen Modellvorstellungen (Problemursache 3 ‚Kraft durch Anpressbolzen‘, siehe Kapitel 5.2.2.1) der Studierenden stimmen mit den Ergebnissen von Björklund (2013) überein, wonach mentale Modelle erfahrener Produktentwickler umfassender und detaillierter sind als die von unerfahrenen. Ein detaillierteres mentales Modell hätte den Studierenden helfen können, ihre Fehler zu identifizieren. Zumindest hat kein Teilnehmer, der den Kraftfluss des Anpressbolzens vollständig erkannt hat, die Problemursache 3 als Ursache angenommen.

Indem sie die Schwächen ihrer Annahme ignorierten, schufen die Studierenden eine für sie schlüssige und leicht zu verarbeitende, aber falsche Erklärung. Eine wahrgenommene Konsistenz einer Vorstellung, die zudem leicht zu verstehen ist, führt zu einer starken subjektiven Selbstsicherheit, eine korrekte Vorstellung zu verfolgen (Kahneman, 2011). Einstellungseffekt (Bilalić et al., 2008) und Satisficing (Simon, 1990) können diesen Effekt noch verstärken. Der unbewusste Denkfehler *Einstellungseffekt* verhindert das Finden einer besseren Lösung, nachdem bereits eine Lösung gefunden wurde (Bilalić et al., 2008). Bei der vorgestellten Studie könnte das Finden einer ersten falschen Ursache das Finden der tatsächlichen Ursache verhindern. Satisficing beschreibt die aktive Strategie, dass Personen aufhören, nach einer besseren Lösung zu suchen, wenn sie eine Lösung gefunden haben, die den subjektiven Anspruch erfüllt (Simon, 1990). Die Anforderung an eine befriedigende Lösung könnte für Studierende geringer sein als bei den Konstrukteuren, sodass sie

sie ihre Analyse mit einem schlechteren Ergebnis beendeten. Neben dem Confirmation Bias können also auch weitere systematische Denkfehler die Fehleranalyse beeinflussen.

In den meisten Studien wird die häufigere Nennung von bestätigenden Indizien als Nachweis für den Confirmation Bias gesehen (Hallihan et al., 2012; Mynatt et al., 1977). Auch bei der präsentierten Studie wurden mehr bestätigende als widerlegende Indizien beobachtet. Das Verhältnis zwischen bestätigenden und widerlegenden Indizien wird in der Literatur häufig allein mit dem Confirmation Bias begründet. Dieser Schlussfolgerung liegt, zumindest implizit, die Annahme zugrunde, dass bestätigende und widerlegende Informationen vergleichbar in der Problemstellung zu finden sind. Sowohl die Anzahl als auch die Schwierigkeit, Indizien erfassen und korrekt zu interpretieren, müsste hierzu vergleichbar sein. Diese Vergleichbarkeit ist jedoch nur dann gegeben, wenn Informationen für eine Studie aufbereitet und vorgegeben werden. Bei einer realistischen Aufgabenstellung, wie sie in der hier vorgestellten Studie verwendet wurde, ist es schwierig, dieses Verhältnis allein auf den Confirmation Bias zurückzuführen. Das liegt daran, dass in realistischen Aufgaben sowohl die Verteilung als auch die Zugänglichkeit von bestätigenden und widerlegenden Indizien nicht homogen ist. Hinzu kommt, dass bestätigende Indizien erforderlich sind, um Vermutungen aufzustellen. Daher besteht von Beginn der Vermutung an ein Ungleichgewicht zwischen bestätigenden und widerlegenden Indizien. Die häufigere Nennung bestätigender Indizien kann zwar als Hinweis auf den Confirmation Bias angesehen, sollte aber nicht allein auf diesen zurückgeführt werden.

Der Anteil an falsch interpretierten Indizien kann jedoch als deutliches Indiz für das Auftreten des Confirmation Bias betrachtet werden. Lehner et al. (2008) beschreiben drei Fehler, die Ausprägungen des Confirmation Bias darstellen. Zwei dieser Fehler, der Interpretation Error und der Projection Error, wurden in dieser Studie mehrfach beobachtet, wohingegen der Weighting Error nur zweimal (3 %) auftrat. In der Studie von Lehner et al. (2008) wurde der Confirmation Bias vor allem in der Ausprägung des Weighting Errors beobachtet. Die Autoren gaben in ihrer Studie Hypothesen und formulierte Indizien vor. Jedes Indiz hatte dabei nur bezüglich einer Hypothese eine Aussagekraft. Die vorgegebenen Indizien könnten dazu führen, dass die Richtung der Indizien häufiger korrekt erkannt und nur die Aussagekraft fehlinterpretiert wird (Weighting Error). In der vorliegenden Studie mussten die Probanden die Hypothesen und die Indizien hingegen selbstständig identifizieren. Diese Schritte scheinen zu deutlich mehr Fehlern bei der Identifikation der Richtung eines Indizes zu führen (Projection Error und Interpretation Error).

Des Weiteren konnte nur ein Fall beobachtet werden, in dem ein widerlegendes Indiz als bestätigend fehlinterpretiert wurde. Die Fehlinterpretationen betreffen somit

fast ausschließlich das Bestätigen und nicht das Widerlegen von Annahmen. In realistischen und komplexen Problemstellungen ist die Richtung von Interpretationsfehlern daher der bessere Indikator für das Auftreten des Confirmation Bias als das Verhältnis zwischen bestätigenden und widerlegenden Indizien.

Die verzerrte Fehlinterpretation von Informationen zugunsten der verfolgten Annahme wird von Lehner et al. (2008) beschrieben. In ihrer Untersuchung wurden objektiv neutrale Informationen etwas häufiger als bestätigende fehlinterpretiert (etwa 60 %). Die Fehlinterpretation in widerlegender Richtung trat mit 40 % jedoch ebenfalls häufig auf. In der vorliegenden Studie dagegen wurden Fehlinterpretationen in widerlegender Richtung nur sehr selten beobachtet (1 % aller Indizien). Somit wurden die subjektiv als widerlegend erkannten Indizien nahezu vollständig korrekt interpretiert. Der große Anteil an korrekt interpretierten widerlegenden Indizien in der Konstruktion ist daher ein unerwartetes Ergebnis.

Darüber hinaus konnten keine Unterschiede zwischen Studierenden und Konstrukteuren hinsichtlich der Häufigkeit oder der Ausprägung des Confirmation Bias festgestellt werden. Qualitativ unterscheiden sich jedoch die verfolgten Vermutungen. Die Studierenden stellten Vermutungen auf, die auf lückenhafte mentale Modelle schließen lassen. Eine detailliertere Betrachtung des Kraftflusses hätte auch bei den Studierenden dazu führen sollen, diese Fehler zu erkennen. Dass unerfahrene Entwickler weniger detailliertere mentale Modelle nutzen, wird in der Literatur auch von Björklund (2013) beschrieben.

Indizien, die aus Sicht der Probanden Annahmen widerlegten, wurden nicht nur seltener fehlinterpretiert, sondern sind grundsätzlich in der Analyse besonders hilfreich. In dieser Studie verwarfen die Probanden nach dem Identifizieren von widerlegenden Indizien zumeist ihre falsche Annahme zur Problemursache und formulierten eine neue Vermutung.

Andere Studien zeigten, dass Probanden auch nach dem Identifizieren von widerlegenden Indizien Vermutungen beibehielten. So wurden in einer Studie von Mynatt et al. (1978) Studierende gebeten, die Gesetzmäßigkeiten eines dynamischen Systems in einem bildschirmbasierten Experiment zu identifizieren. Nur in 30 % der Fälle führten widerlegende Indizien hierbei zum Verwerfen der aktuellen Vermutung. In der hier vorgestellten Studie führten widerlegende Indizien, die von den Probanden als solche erkannt wurden, dagegen in 70 % der Fälle zum dauerhaften Verwerfen der Vermutung. Dieses häufigere Verwerfen der Vermutung könnte auf die realistischere Aufgabenstellung zurückgeführt werden. Denn nach Stacy und MacMillan (1995) führen zu abstrakte Aufgaben zu einer Verstärkung des Confirmation Bias. Überdies sollten Konstrukteure bei der Fehleranalyse insbesondere nach

widerlegenden Indizien für ihre Vermutungen suchen. Das Erkennen von widerlegenden Indizien führte in der vorliegenden Studie deutlich häufiger zum Verwerfen falscher Vermutungen als das Finden von bestätigenden Indizien für neue Vermutungen.

Widerlegende Indizien sind bei der Analyse technischer Probleme hinsichtlich zweier Aspekte bestätigenden Indizien überlegen: (1.) Informationen, die als widerlegende Indizien erkannt wurden, wurden meist richtig interpretiert, und (2.) widerlegende Indizien führten sehr oft zum Verwerfen falscher Annahmen. Im Vergleich zu bestätigenden Indizien ist der diagnostische Wert von widerlegenden Indizien damit deutlich größer.

Während das Prinzip der Falsifizierung von Hypothesen in der Wissenschaft weit verbreitet ist, handeln Konstrukteure und Studierende selten aktiv danach. Diese Denkweise sollte in Lehre, Weiterbildung und der Methodenentwicklung intensiver berücksichtigt werden.

5.2.3.2 Einfluss des Confirmation Bias auf die Informationsaufnahme

Die Analyse der AOIs unter Berücksichtigung der aktuellen Vermutung zeigt, dass Bereiche mit objektiv bestätigenden Informationen deutlich länger betrachtet wurden als Bereiche mit objektiv widerlegenden Informationen. Informationen, die fälschlicherweise als bestätigend interpretiert wurden, wurden kürzer angesehen als korrekt interpretierte Informationen. Es ist daher möglich, dass die geringe visuelle Aufmerksamkeit der Probanden das Auftreten des Interpretationsfehlers verstärkt hat. Jedoch unterscheidet sich die Fixationsdauer auf AOIs mit subjektiv bestätigenden und widerlegenden Indizien nicht signifikant. Daher konnte kein Einfluss des Confirmation Bias auf die Informationssuche beobachtet werden.

Bilalić et al. (2010) schreiben, dass das Verfolgen einer Vermutung den Blick zu bestätigenden Informationen und weg von widerlegenden Informationen lenkt. In der vorliegenden Studie konnte beobachtet werden, dass Probanden beim Verfolgen einer Vermutung länger auf AOIs mit bestätigenden Informationen schauten (bspw. schauten erfolgreiche Probanden länger auf die *Kante der Bolzenführung*). Es konnte jedoch nicht beobachtet werden, dass AOIs mit subjektiv widerlegenden Informationen kürzer betrachtet wurden. Die Ergebnisse von Bilalić et al. (2010) konnten daher nur teilweise bestätigt werden.

Die *Bruchfläche* ist ein besonders relevantes AOI, da über die Bruchrichtung einige Vermutungen eindeutig widerlegt werden konnten. Während nahezu alle erfolgreichen Probanden die Bruchfläche analysierten, haben 36 % der erfolglosen Probanden die Bruchfläche überhaupt nicht betrachtet. Das Übersehen dieser zentralen

Informationen kann auf zwei mögliche Ursachen zurückgeführt werden: (1.) Es ist möglich, dass einige Probanden keine Erfahrung mit der Analyse von Bruchflächen haben und daher kein Vertrauen in ihre Fähigkeiten hatten, zuverlässige Informationen aus der Bruchfläche zu gewinnen; (2.) darüber hinaus könnte die Illusion of Explanatory Depth (Rozenblit & Keil, 2002) eine mögliche Erklärung sein. Diese besagt, dass das eigene Wissen über Systeme meist überschätzt wird. Aufgrund dieser Überschätzung könnte es den Probanden unnötig erschienen sein, ihre Annahmen sorgfältig zu überprüfen. Der Confirmation Bias kann die Nichtberücksichtigung der Bruchfläche nicht erklären, da die Probanden nicht im Vorhinein wissen konnten, ob die Bruchfläche ein bestätigendes oder widerlegendes Indiz für ihre Vermutung ist.

Die Eye-Tracking Ergebnisse zeigen, dass Konstrukteure dem Confirmation Bias und der detaillierten Analyse mehr Aufmerksamkeit widmen sollten. Die Probanden haben Indizien, die ihre Annahmen widerlegen, nicht nur übersehen, sondern auch falsch interpretiert. Beide Fehler lassen sich auf eine ungenügende visuelle Informationsaufnahme zurückführen. Die Anwendung von Methoden, die eine systematische und detaillierte Analyse und Modellbildung unterstützen, kann zur Überwindung dieser Fehler beitragen. Dies könnte durch explizite Modellierung realisiert werden, bei der funktionsrelevante Kontakte und Eigenschaften abgebildet werden, z. B. durch den C&C²-Ansatz (Grauberger et al., 2019; Matthiesen, 2021).

5.2.3.3 Einfluss des Confirmation Bias auf die Entwicklung konstruktiver Lösungen

Durch die Tendenz zur Bestätigung sind sich die Probanden sicher, die tatsächliche Problemursache identifiziert zu haben. Die Lösungen, die auf Basis dieser falschen Problemursachen entwickelt wurden, waren hinsichtlich ihrer funktionalen Eignung allerdings weit von einer optimalen Lösung entfernt.

Da sich die Probanden sicher waren, die korrekte Ursache identifiziert zu haben, ist davon auszugehen, dass sie ihre mangelhaften Lösungen in der Praxis trotzdem umgesetzt hätten. In der hier genutzten Problemstellung hätten die entwickelten Lösungen zumeist einen hohen wirtschaftlichen Aufwand bedeutet (z. B. Änderung der bestellten Fertigungswerkzeuge). Bei anderen Problemstellungen hätten die entwickelten Lösungen zusätzlich zu langwierigen Iterationen führen können, da sie Problemursachen adressierten, die nicht vorlagen. Solche Fehler werden häufig erst im Testing der auskonstruierten und gefertigten Systeme sichtbar und führen zu Verzögerungen im Entwicklungsprojekt.

Die Ergebnisse dieser Laborstudie bestätigen die Ergebnisse zahlreicher Studien, die die Bedeutung der Analysephasen in der Konstruktion beschreiben (Badke-

Schaub & Frankenberger, 1999; Dylla, 1990; Kokotovich, 2008; Wynn & Eckert, 2017). So ist ein korrektes Problemverständnis für die zielführende Problemlösung notwendig, jedoch nicht hinreichend. Denn Konstrukteure müssen für die korrekt identifizierte Problemursache auch geeignete Lösungen entwickeln können.

5.2.3.4 Einschränkungen

In dieser Studie wurde Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren untersucht. Um die Analyse realistisch darzustellen, wurden den Probanden wenige Randbedingungen für die Aufgabenbearbeitung vorgegeben. Dies machte die Auswertung der Studie sehr zeitaufwendig und begrenzte daher die Anzahl der Probanden.

Des Weiteren wurden die Fehlinterpretationen der Probanden in der Studie auf den Confirmation Bias zurückgeführt. Neben letzterem können allerdings auch andere Konzepte die beobachteten Effekte erklären. Statt einer systematischen Fehlinterpretation in bestätigender Richtung (Confirmation Bias) könnten auch vorwiegend unsystematische Fehlinterpretationen aufgetreten sein. Da fast keine Fehlinterpretationen in widerlegender Richtung beobachtet wurden, spricht dies jedoch gegen eine unsystematische Fehlinterpretation.

Eine weitere alternative Erklärung könnte sein, dass widerlegende Informationen seltener auftreten oder schwieriger zu erkennen sind. Um diese Erklärung auszuschießen, ist eine Laboruntersuchung notwendig, bei der die Anzahl und die Schwierigkeit von bestätigenden und widerlegenden Indizien gleichgehalten werden. Hierzu müssten Hypothesen und Indizien konstruiert und vorgegeben werden. Dies war im Rahmen der realitätsnahen Problemstellung nicht möglich.

Ferner wurde bei der Bearbeitung der Aufgabe Concurrent Think-Aloud für die Datenerfassung verwendet. Die Aussagen wurden transkribiert und die verwendeten Indizien sowie das weitere Vorgehen (Beibehalten/Verwerfen von Vermutungen) erfasst. Concurrent Think-Aloud spaltet die Design-Forschungsgemeinschaft. Einige Autoren schätzen den Nutzen dieser Methode und vermuten nur einen geringen Einfluss auf die Probanden (Ericsson & Simon, 1993; Gero & Tang, 2001). Andere Autoren schreiben hingegen, dass Concurrent Think-Aloud die mentale Arbeitsbelastung erhöht und deshalb eine übermäßig schwierige Aufgaben vermieden werden sollte (Davies, 1995; van Someren et al., 1994) oder dass das verbalisierte vom tatsächlichen Vorgehen abweicht (Davies, 1995; Lloyd et al., 1995). Der Autor teilt diesbezüglich die Meinung von Eckert und Stacey (2003):

„First, that concurrent verbalization provides valid information about aspects of design thinking that are otherwise inaccessible; and second, that concurrent protocols show that retrospective accounts of behavior are often inaccurate, and so should be treated with great caution. Any distorting influence of verbalization, though possibly significant, is less important than the insight provided by the protocols.“ (Eckert & Stacey, 2003, S. 367)

Um den Einfluss von Concurrent Think-Aloud auf den Confirmation Bias und dessen Folgen zu analysieren, sind weitere Untersuchungen mit alternativen Datenerfassungsmethoden erforderlich.

Für die Bearbeitung der Aufgabe wurde außerdem ein Zeitlimit gesetzt, was zu Zeitdruck für die Probanden führen kann. In einer Vorstudie und den Vorarbeiten von Ruckpaul (2017) wurde das Zeitlimit an den Umfang der Aufgabe angepasst, jedoch könnten die Probanden trotzdem vom Zeitdruck beeinflusst worden sein. Zeitdruck führt zu einem geringeren Qualitätsstandard (Badke-Schaub & Frankenberger, 1999), was wiederum schlechtere Analyseergebnisse zur Folge haben kann. Im Rahmen der vorliegenden Studie ergaben sich für die Teilnehmer zudem keine Konsequenzen, wenn sie eine schlechte Lösung entwickelten. Auch dies kann zu einem geringeren Qualitätsanspruch bei den Studienteilnehmern geführt haben.

Weiter wurde für die Studie zwar ein realer Fall aus der Industrie adaptiert und als Aufgabe verwendet, es bleibt jedoch noch zu klären, inwieweit die Ergebnisse dieser Laborstudie übertragbar sind. Denn obwohl Cash, Hicks und Culley (2013) schreiben, dass die Informationssuche im Labor mit der im Feld vergleichbar ist, ist der Einfluss auf den Confirmation Bias und die Analyse unbekannt. Dies erfordert Studien in einer industriellen Umgebung.

5.3 Zwischenfazit zum Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse

In diesem Kapitel wurde der Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren untersucht. Zunächst wurde der Einfluss des Confirmation Bias auf die Interpretation von Informationen dargestellt. Hierbei konnte gezeigt werden, dass der Confirmation Bias dazu führt, dass neutrale und widerlegende Informationen von den Konstrukteuren als bestätigende Indizien fehlinterpretiert werden. Als widerlegend erkannte Indizien wurden zumeist korrekt interpretiert. Zudem sind widerlegende Indizien für die Fehleranalyse besonders hilfreich, da hiermit häufig falsche Vermutungen widerlegt werden konnten. Bestätigende Indizien wurden im Gegensatz hierzu oft fehlerhaft interpretiert und führten häufiger zum Beibehalten

falscher Vermutungen. Für die Entwicklung von Methoden zur Fehleranalyse sollten daher Gegenindizien und das Falsifizieren von Vermutungen eine zentrale Rolle einnehmen.

Ein Einfluss des Confirmation Bias auf die visuelle Informationsaufnahme konnte nicht beobachtet werden. Die Probanden schauten zwar länger auf objektiv bestätigende Informationen als auf widerlegende. Jedoch wurde kein Unterschied bei der Fixationsdauer auf AOIs mit subjektiv bestätigenden und widerlegenden Indizien beobachtet. Objektiv neutrale und widerlegende Informationen wurden kürzer betrachtet und häufiger fehlinterpretiert. Durch die Untersuchung mit Eye-Tracking konnte erstmalig die geringe visuelle Aufmerksamkeit als mögliche Ursache von Fehlinterpretationen beobachtet werden. Eine Methode für die Unterstützung der Fehleranalyse soll daher eine intensivere Analyse der Indizien fördern. Zudem soll die Interpretation, ob Informationen eine Vermutung bestätigen oder widerlegen, möglichst bewusst getroffen werden.

Da der Confirmation Bias bei der Mehrzahl der Probanden dazu führte, dass falsche Problemursachen angenommen wurden, hatte er einen Einfluss auf die entwickelten konstruktiven Lösungen. Von den Probanden, die falsche Problemursachen annahmen, hatte keiner eine optimale Lösung entwickelt. Viele der Studienteilnehmer waren in hohem Maße von ihrer ungeeigneten Lösung überzeugt und hätten diese weiterverfolgt. Hiermit konnte gezeigt werden, dass der Confirmation Bias eine Ursache der Herausforderungen *Eingrenzung auf die tatsächliche Problemursache* und *Problemlösung ohne ausreichende Fehleranalyse* ist. In der Praxis können hieraus zeit- und kostenintensive Iterationen entstehen. Um diese zu verhindern, soll eine Methode entwickelt werden, die Konstrukteure bei der Fehleranalyse darin unterstützt, falsche Problemursachen zu erkennen und diese zu falsifizieren.

Des Weiteren zeigte sich der Confirmation Bias in der Fehleranalyse von Konstrukteuren in der Fehlinterpretation von Informationen in bestätigende Richtung. Diese Fehlinterpretation kann teilweise auf eine kurze visuelle Aufmerksamkeit zurückgeführt werden. Von den Probanden als Gegenindizien interpretierte Informationen waren zumeist korrekt und unterstützten sie dabei, ihr Problemverständnis zu verbessern.

Somit konnten die negativen Auswirkungen des Confirmation Bias auf die Eignung konstruktiver Lösungen gezeigt werden. Ein signifikanter Einfluss der Erfahrung konnte hingegen nicht identifiziert werden. Mit den vorgestellten Ergebnissen konnte die Teilforschungsfrage 1 „Welchen Einfluss hat der Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren?“ beantwortet werden.

6 Entwicklung einer methodischen Unterstützung für die Fehleranalyse

In diesem Kapitel wird die Entwicklung der Design-ACH vorgestellt und damit Teilforschungsfrage 2 beantwortet. Die Design-ACH ist eine Methode zur Unterstützung der Fehleranalyse von Konstrukteuren.

Teilforschungsfrage 2

Wie kann der Confirmation Bias bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren methodisch verringert werden?

Wie in Kapitel 2.1.2.2 beschrieben, adressieren Methoden der Fehleranalyse die Aspekte zur Reduktion des Confirmation Bias nicht umfassend. In Kapitel 5 wurden Erkenntnisse zum Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse gewonnen. Zu dessen Reduktion wird auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 5 die Methode Design-ACH entwickelt. Diese soll dabei unterstützen, die *fehlerhaften Modellvorstellungen* zu verringern und die *Nutzung falscher Modellvorstellung* zu verhindern.

6.1 Methodenentwicklung Design-ACH

Die erste deskriptive Studie (Kapitel 5) hat gezeigt, dass es schwierig ist, falsche Modellvorstellungen zu erkennen. Aus diesen Studienergebnissen wird die Zielstellung der Methode abgeleitet.

Ziel der Methode ist die Identifikation von falschen Modellvorstellungen, um die Entwicklung ungeeigneter konstruktiver Lösungen zu verhindern.

Die Ergebnisse der ersten deskriptiven Studie (Kapitel 5) zeigen, dass der Confirmation Bias zu einer ungenügenden Fehleranalyse führt. Dies hat zur Folge, dass fehlerhafte Modellvorstellungen beibehalten und für die Synthese genutzt werden. Daher soll die Falsifizierung falscher Problemursachen methodisch unterstützt werden.

Zudem sollen folgende Aspekte zur Überwindung des Confirmation Bias berücksichtigt werden (siehe Kapitel 2.3.6):

- Aufstellen mehrerer Hypothesen,
- Eingrenzung durch Falsifikation,
- Verknüpfung mit vorliegenden Daten,
- Berücksichtigung des diagnostischen Wertes vorliegender Daten,
- Definition von Folgeuntersuchungen zur Falsifikation sowie
- Dokumentation/Nachvollziehbarkeit der Analyse.

Die Ergebnisse der ersten deskriptiven Studie (Kapitel 5) verdeutlichen, dass insbesondere folgende Aspekte bei der Methodenentwicklung fokussiert werden sollten:

- Intensive Analyse von Indizien:
Die Ergebnisse der Eye-Tracking-Analyse haben gezeigt, dass fehlinterpretierte Informationen häufig mit AOs verknüpft sind, die nur kurz oder überhaupt nicht betrachtet wurden (siehe Kapitel 5.2.3.2). Eine intensivere visuelle Analyse könnte daher zu weniger Fehlinterpretationen führen.
- Fokus auf widerlegende Indizien:
Von den Probanden als widerlegende Indizien interpretierte Informationen waren auch aus objektiver Sicht zumeist widerlegend. Ein Drittel, der als subjektiv bestätigend identifizierten Indizien, waren fehlinterpretierte neutrale oder widerlegende Informationen (siehe Kapitel 5.2.3.1). Durch einen Fokus auf widerlegende Indizien kann die Häufigkeit von Fehlinterpretationen reduziert werden.
- Falsifizieren von Vermutungen mit Gegenindizien:
Subjektive Gegenindizien führten zum Falsifizieren von falschen und zum Aufstellen von weiteren Vermutungen. Subjektiv bestätigende Indizien führten zumeist zum Beibehalten der aktuellen Vermutung (siehe Kapitel 5.2.3.1). Durch eine Konzentration auf die Falsifizierung von Vermutungen durch Gegenindizien kann dem Verfolgen falscher Vermutungen direkt entgegengewirkt werden.

Die Analysis of Competing Hypotheses (ACH) ist eine von Heuer (1999) für die Intelligence Analysis entwickelte Methode. Ihr Ziel ist die objektive Evaluation mehrerer Hypothesen für beobachtete Daten. Die ACH-Methode wurde unter Berücksichtigung von Erkenntnissen aus der Kognitionspsychologie, der Entscheidungstheorie und der Wissenschaftstheorie entwickelt. Hierdurch sollen Schwierigkeiten und Denkfehler der Analysten überwunden oder zumindest minimiert werden (Heuer, 1999).

Das Ziel der ACH-Methode deckt den identifizierten methodischen Unterstützungsbedarf für Konstrukteure bei der Fehleranalyse in großen Teilen ab (vgl. Tabelle 2.1). Bei dieser Methode wird jedoch die Definition von Untersuchungen zur Hypothesenprüfung nicht unterstützt, da dies bei den untersuchten Zusammenhängen der Intelligence Analysis nicht möglich ist. Die ACH-Methode wurde daher in Zusammenarbeit mit Hergl (2019) für die Anwendung von Konstrukteuren zur Design-ACH weiterentwickelt. Hierzu wurden die acht Schritte der ACH auf drei Schritte zusammengefasst (Hergl, 2019) und es wurde ein weiterer Schritt zur Definition effizienter Hypothesenprüfungen entwickelt (siehe Abbildung 6.1). Letzteres ist ein bedeutender Schritt, da in der Konstruktion die Problemursache häufig nicht mit den vorhandenen Informationen identifiziert werden kann.

6.2 Vorstellung der Design-ACH

Die Design-ACH kann in die Phase Problemeingrenzung der SPALTEN Methode eingeordnet werden. Hier soll sie zur Identifikation der tatsächlichen Problemursache genutzt werden. Eine umfangreiche Situationsanalyse wird daher vorausgesetzt. Die Anwendung der Design-ACH ist in Einzel- und Gruppenarbeit möglich. Die Anwendung in einer Gruppe bietet den Vorteil, dass das Wissen von mehreren Personen und Bereichen (Konstruktion, Versuch, Fertigung) genutzt werden kann.

Dieses Kapitel basiert auf der Veröffentlichung „Tatort Technik – Unterstützung bei der Problemanalyse in der Konstruktion mit der Design-ACH Methode“ (Nellius, Eisenmann, Grauberger & Matthiesen, 2021b). Teile des folgenden Textes sind ohne Veränderung aus der Veröffentlichung übernommen.

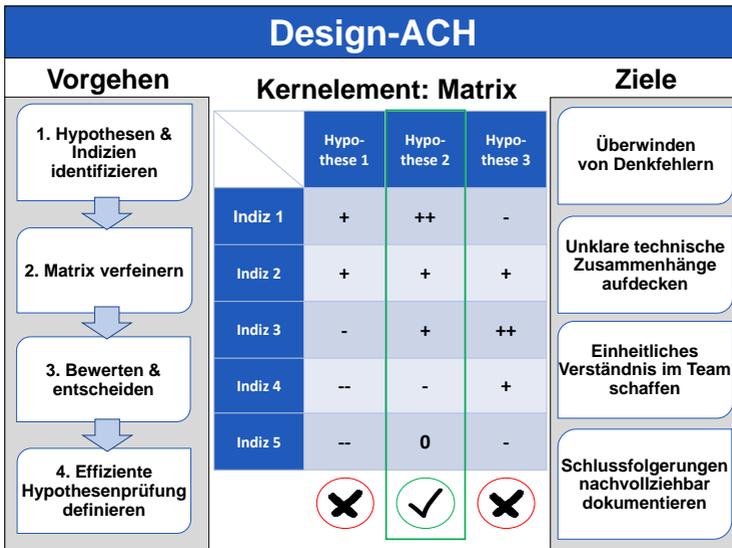


Abbildung 6.1: Überblick zur Design-ACH (Nelius et al., 2021b)

1. Hypothesen und Indizien identifizieren²⁴

Zuerst werden Hypothesen zu möglichen Problemursachen generiert. Eine Gruppe von Mitarbeitern aus unterschiedlichen Abteilungen und mit unterschiedlichem Fachwissen kann die Generierung von verschiedenen Problemursachen unterstützen. Die Hypothesen werden in einer Kreativsitzung ohne Wertung in möglichst hoher Zahl generiert und visualisiert. Zum Ende dieser Phase kann eine erste Auswahl stattfinden. Hypothesen, die nicht weiterverfolgt werden, werden als ungeprüft gekennzeichnet und dokumentiert. Auf diese Hypothesen kann zurückgegriffen werden, falls die weiterverfolgten Hypothesen später verworfen werden. Ähnliche Hypothesen können für eine bessere Übersichtlichkeit geclustert werden. Für die weitere Methodenanwendung sollten nicht mehr als sieben Hypothesen verwendet

²⁴ Dieser Schritt fasst die Schritte 1–3 der ACH-Methode nach Heuer (1999) zusammen (siehe auch Kapitel 2.3.6).

werden. Heuer begründet diese Anzahl mit der Beschränktheit des Arbeitsgedächtnisses.²⁵ Die Hypothesen sollten für ein einheitliches Verständnis in der Gruppe detailliert beschrieben und visualisiert werden.

Zu jeder Hypothese werden Indizien gesucht, die diese bestätigen oder widerlegen. Zudem kann jeweils ein Szenario durchgespielt werden, bei dem der Anwender sich vorstellt, die Hypothese sei zutreffend. Hieraus lässt sich ableiten, welche Effekte beim Zutreffen der Hypothese beobachtet werden müssten. Das Nichtvorhandensein dieser Effekte kann häufig als Gegenindiz genutzt werden.

Die Hypothesen und die Indizien werden in einer Matrix gegenübergestellt (siehe Abbildung 6.1). In den Zellen der Matrix wird festgehalten, ob das Indiz die Hypothese stark bestätigt (++), bestätigt (+), keine Aussage über sie zulässt (0), sie widerlegt (-) oder stark widerlegt (--). Die Bewertung der Zellen erfolgt zeilenweise. Dabei wird der Fokus auf die Indizien gerichtet, was zu einer objektiveren Bewertung der Hypothesen führen soll. Hierdurch soll das Auftreten des Confirmation Bias verringert werden. Denn das zeilenweise Bewerten führt dazu, dass ständig zwischen den Hypothesen gewechselt und eine Fixierung auf eine einzelne Hypothese verringert wird.

2. Matrix verfeinern²⁶

Beim Verfeinern der Matrix werden zunächst die Hypothesen erneut betrachtet. Die intensive Analyse der Indizien und alternativen Hypothesen kann Erkenntnissen hervorbringen, die zur Definition weiterer oder zur Detaillierung bestehender Hypothesen führen. Ähnliche Hypothesen können zusammengeführt werden.

Ebenso können weitere Indizien durch neue Erkenntnisse ergänzt oder detaillierter beschrieben werden. In diesem Schritt wird auch bewertet, welche Indizien eine Entscheidung zwischen den Hypothesen ermöglichen. Indizien, bei denen dies der Fall ist, haben einen hohen diagnostischen Wert. Indizien, die alle Hypothesen bestätigen oder keine Aussage über ihre Wahrscheinlichkeit ermöglichen, haben einen niedrigen diagnostischen Wert und können aus der Matrix gestrichen werden. Die Letztere wird hierdurch übersichtlicher und zur Bewertung der Hypothesen werden nur Indizien mit diagnostischem Wert verwendet.

²⁵ Nach Miller (1956) werden Informationen in sogenannten Chunks (dt. Einheiten) gespeichert. Die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses ist dabei auf ca. sieben Chunks beschränkt.

²⁶ Dieser Schritt beschreibt Schritt 4 der ACH-Methode nach Heuer (1999) (siehe auch Kapitel 2.3.6).

3. Bewerten und Entscheiden²⁷

Für jede Hypothese werden spaltenweise die Indizien evaluiert, um die Wahrscheinlichkeit der Hypothesen zu bewerten. Hierbei soll stets versucht werden, die Hypothesen zu falsifizieren oder zumindest nachzuweisen, dass sie unwahrscheinlich sind. Hypothesen, für die eine Falsifizierung nicht möglich ist, werden beibehalten.

Durch die Bewertung der Matrix kann allerdings nicht nachgewiesen werden, dass eine Hypothese sicher zutrifft. Es werden stattdessen nichtzutreffende und unwahrscheinliche Hypothesen erkannt. In diesem Schritt liegt der Fokus auf den Gegenindizien, um Hypothesen zu verwerfen. Die Hypothesen können nach der Anzahl an Gegenindizien sortiert werden, um einfacher zwischen wahrscheinlichen und unwahrscheinlichen Hypothesen unterscheiden zu können.

Die Rangfolge der Hypothesen nach ihrer Wahrscheinlichkeit wird häufig durch wenige Indizien mit hohen diagnostischen Werten bestimmt. Diese Indizien sollten erneut auf ihre Korrektheit und ihre Aussage in Bezug auf die Hypothesen überprüft werden. Die Kernindizien sollten nicht auf Basis ungenauer Messmittel, einzelner Beobachtungen oder Annahmen beruhen. Bei Unsicherheit sollte Schritt 4 der Design-ACH durchgeführt und es sollten weitere Untersuchungen definiert werden.

Die Auswahl der wahrscheinlichsten Hypothese erfolgt aufgrund einer gesamtheitlichen Betrachtung der nach Wahrscheinlichkeit sortierten Hypothesen und der Kernindizien. Die Entscheidung soll hierbei bewusst getroffen werden. Es soll nicht blind auf die Hypothese mit den wenigsten Gegenindizien vertraut werden, da die Bewertung der Indizien selbst mit einer Unsicherheit behaftet sein kann.

Im Sinne einer Fehlervermeidung können konstruktive Maßnahmen auch für weniger wahrscheinliche Hypothesen geprüft werden. Lassen sich die Maßnahmen einfach umsetzen, können auch präventive Maßnahmen für kommende Produktgenerationen, unter Berücksichtigung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses, umgesetzt werden.

Die visualisierten Hypothesen, Indizien und die Bewertungen in der Matrix dienen neben der Analyse auch der strukturierten Dokumentation der Fehleranalyse. Die Informationen und Schlussfolgerungen können durch diese einheitliche Dokumentation von Mitarbeitern überprüft werden, die nicht an der Fehleranalyse beteiligt waren.

²⁷ Dieser Schritt beschreibt die Schritte 5–8 der ACH-Methode nach Heuer (1999) (siehe auch Kapitel 2.3.6).

Sollten für alle Hypothesen stark widerlegende Indizien vorliegen, muss Schritt 1 der Methode wiederholt und es müssen neue Hypothesen aufgestellt werden. Liegen nicht ausreichend Daten mit diagnostischem Wert zur Bewertung der vorhandenen Hypothesen vor, müssen im nächsten Schritt effiziente Untersuchungen zur Hypothesenprüfung definiert werden.

4. Effiziente Hypothesenprüfung definieren

In der Konstruktion können, im Gegensatz zur Intelligence Analysis, Experimente durchgeführt werden, um vermutete Zusammenhänge zu prüfen. Für die Nutzung der ACH-Methode in der Konstruktion wurde daher der vierte Schritt zur Definition effizienter Hypothesenprüfung ergänzt. Konnte anhand der vorhandenen Informationen keine Hypothese ausgewählt werden, werden in diesem Methodenschritt Untersuchungen definiert.

Zur Analyse der Wirkzusammenhänge können meist verschiedene Untersuchungen durchgeführt werden. Damit die ausgewählte Untersuchung Ergebnisse mit möglichst hohem diagnostischem Wert liefert, werden die Resultate der verschiedenen Untersuchungen in diesem Schritt vorgedacht und in eine Matrix eingetragen. Die möglichen Ergebnisse werden in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit der Hypothesen bewertet. Besonders effizient sind Hypothesenprüfungen, mit denen viele Hypothesen falsifiziert werden können. Daher sind für die weitere Analyse Untersuchungen zu definieren, die in vielen Fällen Ergebnisse mit hohem diagnostischem Wert liefern. Das Vordenken der Untersuchungsergebnisse verringert die Wahrscheinlichkeit, Untersuchungen durchzuführen, deren Ergebnisse nicht zur Priorisierung von Hypothesen beitragen.

Auch konstruktive Änderungen am System können zur Untersuchung genutzt werden. Konstruktive Lösungen sind häufig nur geeignet, um eine Teilmenge der Problemursachen zu beheben. Hieraus ergibt sich ein diagnostischer Wert in Bezug auf die Problemursachen. Denn durch die Bewertung der konstruktiven Lösungen in der Matrix kann beurteilt werden, ob eine technische Lösung mehrere Problemursachen adressiert oder einen hohen diagnostischen Wert bietet. Behebt eine technische Lösung mehrere Problemursachen, kann das Problem wahrscheinlich schnell gelöst werden. Durch den geringen diagnostischen Wert kann jedoch die Problemursache nicht weiter eingegrenzt werden. Die Abwägung zwischen einer schnellen Problemlösung und einer Identifikation der Problemursache ist von vielen Faktoren abhängig und für Probleme individuell zu treffen.

Durch die Bewertung der Matrix können Untersuchungen ausgewählt werden, die wahrscheinlich Ergebnisse mit hohem diagnostischem Wert liefern. Hiermit steht neben anderen Bewertungskriterien, wie Dauer und Kosten der Untersuchung, ein

relevantes Kriterium für die Auswahl effizienter Hypothesenprüfungen zur Verfügung. Die Definition letzterer kann auch angewendet werden, wenn durch die bisherigen Schritte alle Hypothesen bis auf eine widerlegt wurden und für die verbleibende Hypothese zusätzliche Sicherheit geschaffen werden soll. In diesem Fall werden für die verbleibende Hypothese Untersuchungen definiert, die sie widerlegen können. Nachdem die Untersuchungsergebnisse vorliegen, werden diese in der Matrix ergänzt. Die Schritte 2 bis 4 der Design-ACH werden iterativ wiederholt, bis eine Problemursache mit ausreichender Sicherheit identifiziert werden kann.

Die Matrix stellt die Analyseergebnisse und Schlussfolgerungen übersichtlich und standardisiert dar. Sie eignet sich daher zur Überprüfung der Schlussfolgerungen, als Entscheidungsvorlage für Folgeuntersuchungen und Dokumentation der Fehleranalyse.

Die Design-ACH ist eine Methode zur Fehleranalyse, die die Anforderungen aus dem Stand der Forschung zur Reduktion des Confirmation Bias (siehe Kapitel 2.3.6) sowie die Erkenntnisse der ersten deskriptiven Studie berücksichtigt. Mit dem Fokus auf Falsifikation und die Definition einer effizienten Hypothesenprüfung steht eine Methode zur Verfügung, die den Confirmation Bias bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren verringern kann.

Mit der entwickelten Design-ACH konnte somit die Teilforschungsfrage 2 „Wie kann der Confirmation Bias bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren methodisch verringert werden?“ beantwortet werden.

6.3 Beispielhafte Anwendung der Design-ACH

Im Folgenden wird die Anwendung der Design-ACH an einem Beispiel verdeutlicht. Bei letzterem handelt es sich um die versagende Nageldetektion am Bolzensetzgerät (siehe Kapitel 5.1.1.1 für die Beschreibung des Fehlerfalles), die bereits in der ersten deskriptiven Studie genutzt wurde.

1. Hypothesen und Indizien identifizieren

Vor Anwendung der Design-ACH wird eine ausführliche Situationsanalyse durchgeführt. Hierbei werden Informationen zusammengetragen, die mit dem Bruch der Nageldetektion bei den Prototypenversuchen mit dem Bolzensetzgerät in Verbindung stehen: Die Prototypen sollten sichergestellt werden und der Schaden oder Fehlerfall genau analysiert werden. Die beteiligten Versuchingenieure und Anwender sollten über besondere Vorkommnisse und den Fehlerfall befragt werden. Auch konstruktive Änderungen zu Referenzprodukten oder Besonderheiten in der Produktion sollten erfasst werden.

Nach der Situationsanalyse beginnt die Anwendung der Design-ACH mit dem Aufstellen möglicher Hypothesen zur Schadensursache²⁸:

- H1: Rückstoß beim Setzvorgang
Durch den starken Rückstoß beim Setzvorgang wird die Nageldetektion um eine Kante der Bolzenführung gebogen.
- H2: Biegung durch die Nägel
Durch eine Feder wird die Nageldetektion an die magazinierten Nägel gedrückt. Das häufige Auslenken der Nageldetektion führt zu einer zyklischen Belastung und zum Versagen der Nageldetektion.
- H3: Kraft durch Anpressbolzen
Der Anpressbolzen, der bei falsch positioniertem Nagel den Setzvorgang verhindert, belastet die Nageldetektion.
- H4: Biegung durch konische Nägel
Die konische Form der Nägel und der Anpressdruck über die Feder führen zu einer Biegung der Nägel um die Bolzenführung.

²⁸ Bei den hier formulierten Hypothesen zur Schadensursache handelt es sich um Vermutungen, die Probanden in der ersten deskriptiven Studie (Kapitel 5) geäußert haben.

- H5: Nageldetektion schlägt an Bolzenführung
Nachdem der letzte Nagel eines Nagelstreifens gesetzt wurde, schlägt die Nageldetektion an die Bolzenführung. Durch die stoßartige Belastung wird die Nageldetektion zyklisch beansprucht und versagt.
- H6: Verschmutzung
Eine Verschmutzung des Bolzensetzgerätes führt zu einer höheren Kraft auf die Nageldetektion.

Die Verschmutzung (H6) wird als Hypothese nicht weiterverfolgt. Denn eine Verschmutzung würde zum Verklemmen des Bauteils führen, wodurch sich das Gerät nicht mehr auslösen ließe. Dies wurde nicht beobachtet. Überdies ergibt eine genauere Betrachtung der Hypothese H3, dass die Kraft durch den Anpressbolzen direkt durch die Nageldetektion an die Bolzenführung übertragen wird. Dieser Kraftverlauf würde nicht zum Versagen an der beobachteten Bruchstelle führen. Da beide Hypothesen dadurch als sehr unwahrscheinlich eingestuft werden, werden sie nicht weiter in der Methodenanwendung berücksichtigt und als ungeprüft dokumentiert.

Als Indizien werden folgende Informationen gesammelt:

- I1: Bruchfläche deutet auf Bruchrichtung in Setzrichtung hin.
- I2: Verschleiß an der Nageldetektion deutet auf Kontakt zwischen Nageldetektion und Bolzenführung hin.
- I3: Bruch liegt in der Kerbe des Bauteils.
- I4: Nageldetektion schlägt bei leerem Magazin an Bolzenführung an (Kontakt Nageldetektion-Bolzenführung (ND-BF)).
- I5: Anpressbolzen drückt bei falsch positioniertem Nagel auf die Nageldetektion (Kontakt Nageldetektion-Anpressbolzen (ND-AB)).
- I6: Starke Beschleunigung führt zu Belastungen.

Die verbleibenden Hypothesen und die gesammelten Indizien werden in einer Matrix (siehe Tabelle 6.1) gegenübergestellt und in jeder Zelle der Matrix wird zeilenweise bewertet, inwiefern Indiz und Hypothese gleichzeitig auftreten können.

Tabelle 6.1: Beispielhafte Anwendung der Design-ACH (Schritt 1: Hypothesen und Indizien identifizieren, zeilenweise Bewertung)

	H1: Rückstoß beim Setzvorgang	H2: Biegung durch Nägel	H4: Biegung durch konische Nägel	H5: Nageldetektion schlägt an Bolzenführung
I1: Bruchfläche	+	--	+	--
I2: Verschleiß	+	0	+	0
I3: Kerbe	+	+	+	+
I4: Kontakt ND-BF	0	0	0	++
I5: Kontakt ND-AB	0	0	0	0
I6: Starke Beschleunigung	++	0	0	0

2. Matrix verfeinern

Im zweiten Schritt der Methode werden die Hypothesen überprüft. In dem Beispiel wurden keine Änderungen der Hypothesen vorgenommen.

Die folgenden Indizien werden aus der Matrix entfernt, da sie in dem betrachteten Fall keinen diagnostischen Wert haben. Die Information, dass der Bruch in der Kerbe des Bauteils liegt (I3) und der Kontakt zwischen Bolzenführung und Anpressbolzen (I5), sprechen gleichmäßig für alle/keine Hypothesen.

Bei einer hohen Anzahl an Indizien können Indizien mit geringem diagnostischem Wert (bspw. I2 und I6) ebenfalls aus der Matrix entfernt werden. Da die Anzahl an Indizien noch überschaubar ist, werden die Indizien weiterhin aufgeführt. Als zusätzliches Indiz wird die geringe Federkraft (I7) aufgenommen (siehe Tabelle 6.2), die die Feder gegen die Nägel drückt.

Tabelle 6.2: Beispielhafte Anwendung der Design-ACH (Schritt 2: Matrix verfeinern)

	H1: Rückstoß beim Setzvorgang	H2: Biegung durch Nägel	H4: Biegung durch konische Nägel	H5: Nageldetektion schlägt an Bolzenführung
I1: Bruchfläche	+	--	+	--
I2: Verschleiß	+	0	+	0
I4: Kontakt ND-BF	0	0	0	++
I6: Starke Beschleunigung	++	0	0	0
I7: Geringe Federkraft	0	-	-	0

3. Bewerten und Entscheiden

Durch eine spaltenweise Evaluation der Matrix wird jede Hypothese hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit bewertet. Indiz I1 – die Bruchrichtung, die aus der Bruchfläche geschlussfolgert wurde – falsifiziert zwei Hypothesen (H2, H4). Aufgrund des hohen diagnostischen Wertes sollte die Bruchfläche von einem Experten analysiert werden. Würde sie falsch identifiziert, würden ansonsten Hypothesen fälschlicherweise falsifiziert werden.

Mit den vorliegenden Informationen erscheint H1 aufgrund fehlender Gegenindizien als plausibelste Problemursache. Die Hypothese H4, die Biegung der Nageldetektion aufgrund der konischen Nägel, erscheint weniger wahrscheinlich. Als Gegenindiz liegt hier Indiz I7, die geringe Federkraft, vor. In Abhängigkeit der geforderten Sicherheit bei der Problemeingrenzung kann die Definition weiterer Untersuchungen (Schritt 4 *Effiziente Hypothesenprüfung definieren* der Design-ACH) sinnvoll sein.

4. Effiziente Hypothesenprüfung definieren

Um mit einer hohen Sicherheit zwischen den beiden möglichen Problemursachen (H1 und H4) zu unterscheiden, sollen weiterführende Untersuchungen definiert werden.

Als mögliche Untersuchungen werden folgende Schritte festgelegt:

- U1: Belastung durch Rückstoß
Mit einem Prüfstand soll die Belastung durch den Rückstoß auf die Nageldetektion untersucht werden. Hierzu lässt sich beispielsweise ein Bolzensetzgerät durch Schläge eines Fallhammers und Anbindung über ein Feder-Dämpfer-System realistisch und reproduzierbar abbilden. Da die zyklische Belastung durch die konischen Nägel hierbei ausgeschlossen werden kann, lässt sich sicher zwischen den Ursachen unterscheiden.
- U2: Belastung durch konische Nägel
Bei der Belastung durch konische Nägel soll die Bewegung der magazinierten Nägel zu einer zyklischen Belastung führen. Diese Belastung kann durch Einsetzen und Herausnehmen des Nagelstreifens abgebildet werden. Somit kann ohne Prüfstand die durch die Nägel verursachte Belastung der Nageldetektion überprüft werden. Da keine Nägel gesetzt werden, tritt kein Rückstoß auf.
- U3: konstruktive Änderung der Bolzenführung
Die Bolzenführung könnte konstruktiv abgeändert werden, sodass die Nageldetektion nicht an der Kerbe um die Bolzenführung gebogen werden kann. In weiteren Handversuchen soll überprüft werden, ob hierdurch eine höhere Lebensdauer erreicht wird.
- U4: konstruktive Änderung der Nageldetektion
Bei der Hypothese H1 führt die Masse der Nageldetektion in Verbindung mit dem Rückstoß zum Versagen. Die Masse kann durch eine gefräste Aussparung für weitere Versuche schnell verringert werden. In weiteren Handversuchen soll überprüft werden, ob hierdurch eine höhere Lebensdauer erreicht wird.

Die möglichen Ergebnisse der Hypothesenprüfungen werden vorgedacht und in die Matrix der Design-ACH eingetragen. Im vorgestellten Beispiel wird hierzu die Lebensdauer der Nageldetektion in den definierten Untersuchungen mit den Resultaten der ersten Handversuche verglichen.²⁹ Bei den in diesem Beispiel vorgestellten

²⁹ In dem vorgestellten Beispiel, wird vereinfachend davon ausgegangen, dass dasselbe Schadensbild auftritt. Deutlich abweichende Schadensbilder sind in dem Beispiel als widerlegende Indizien zu werten.

Untersuchungen ergeben sich jeweils nur zwei mögliche Ergebnisse. Bei anderen Untersuchungen kann eine höhere Anzahl an möglichen Ergebnissen auftreten.

Bei den Untersuchungen U1 und U2 handelt es sich um Experimente, bei denen die vermuteten Problemursachen (Rückstoß und Kontakt zu den Nägeln) isoliert betrachtet werden. Durch beide Untersuchungen kann jeweils eine der genannten Problemursachen sicher falsifiziert werden.

Die Untersuchungen U3 und U4 beinhalten bereits konstruktive Lösungen, mit denen der Ausfall behoben werden könnte. Durch die konstruktive Änderung der Bolzenführung (U3) sollen beide Problemursachen (H1 und H4) gelöst werden. Durch Auswahl von U3 wird das Problem wahrscheinlich gelöst, eine Unterscheidung zwischen den Hypothesen H1 und H3 kann jedoch nicht vorgenommen werden.

Die konstruktive Änderung der Nageldetektion (U4) führt jedoch nicht zur Behebung des Problems, wenn H4 zutrifft. Über die Untersuchung U4 kann daher das Problem in einem Fall (Zutreffen von H1) gelöst und die Problemursache weiter eingegrenzt werden.

Die Auswahl der geeigneten Untersuchung wird auf Basis des möglichen Erkenntnisgewinns und weiterer Randbedingungen, wie Kosten und Dauer der Untersuchungen, getroffen. So ist der Aufbau eines Prüfstandes zur Abbildung des Rückstoßes (U1) zeit- und ressourcenintensiv. Bei den Untersuchungen U1 und U2 sind jedoch nach der Problemidentifikation weitere Versuche zur Validierung der Lösung notwendig. Soll die Problemursache weiter eingegrenzt werden, sollte eine Falsifizierung der wahrscheinlichsten Hypothese (H1) mit der Untersuchung U1 angestrebt werden. Untersuchung U4 ermöglicht zwar einen Erkenntnisgewinn, löst das Problem jedoch nur bei Zutreffen von Hypothese H1. Die konstruktive Änderung der Bolzenführung (U3) löst wahrscheinlich das Problem bei Auftreten von H1 und H4. Durch diese konstruktive Änderung wird aber keine weitere Eingrenzung der Problemursache ermöglicht. Da die konstruktive Änderung (U3) wahrscheinlich das Problem löst und eine Validierungsaktivität für die entwickelte Lösung darstellt, entspricht U3 wahrscheinlich der wirtschaftlichsten Vorgehensweise.

Tabelle 6.3: Beispielhafte Anwendung der Design-ACH (Schritt 4: Effiziente Hypothesenprüfung definieren)

		H1: Rückstoß beim Setzvorgang	H4: Biegung durch konische Nägel
I6: Starke Beschleunigung		++	0
I7: Geringe Federkraft		0	-
U1: Belastung durch Rückstoß	Gleiche oder kürzere Lebensdauer	++	--
	Längere Lebensdauer	-- ³⁰	0
U2: Belastung durch konische Nägel	Gleiche oder kürzere Lebensdauer	--	++
	Längere Lebensdauer	0	--
U3: Konstruktive Änderung der Bolzenführung	Gleiche oder kürzere Lebensdauer	-	-
	Längere Lebensdauer	+	+
U4: konstruktive Änderung der Nageldetektion	Gleiche oder kürzere Lebensdauer	-	0
	Längere Lebensdauer	+	--

³⁰ Die Falsifizierung am Prüfstand ist nur dann möglich, wenn sichergestellt wurde, dass die Belastung durch den Rückstoß vergleichbar mit den Handversuchen ist.

7 Evaluation der Design-ACH

Das Ziel der Evaluation besteht darin, die entwickelte Methode hinsichtlich des Nutzens, der Akzeptanz und der Anwendbarkeit zu untersuchen. Der Nutzen der Methode wird daran gemessen, inwiefern die *Eingrenzung auf die tatsächliche Problemursache* unterstützt und die *Nutzung von falschen Modellvorstellungen* verringert wird. Die Akzeptanz beschreibt die subjektiv empfundene Eignung der Methode. Hierzu zählen die subjektive Einschätzung des Verhältnisses von Aufwand und Nutzen, die Eignung für eigene Problemstellungen und die Motivation, die Methode im Alltag anzuwenden. Die Fähigkeit der Probanden, die Methode nach einer Schulung formal korrekt anzuwenden, wird durch die Anwendbarkeit beschrieben. Die Evaluation soll sowohl in einer reproduzierbaren Laborumgebung als auch im realen Unternehmensumfeld stattfinden, hierdurch wird Teilforschungsfrage 3 beantwortet.

Teilforschungsfrage 3

Welchen Einfluss hat die Design-ACH auf den Confirmation Bias und die Fehleranalyse von Konstrukteuren?

7.1 Laborevaluation der Design-ACH

In diesem Kapitel wird eine vereinfachte Version der Design-ACH in einer Laborstudie evaluiert. Erste Studien im Rahmen einer Bachelorarbeit zu vereinfachten Versionen der Design-ACH haben gezeigt, dass die Probanden mit umfangreichen Methoden ohne Moderation beim Studienaufbau ‚Nageldetektion‘ Probleme bei der korrekten Methodenanwendung hatten (Maul, 2017). Die Design-ACH besteht aus zahlreichen Teilschritten, die für eine Durchführung ohne Moderation in der Laborevaluation zu umfangreich wären. Daher wurde die Methode auf die Kernaspekte *Fokus auf widerlegende Indizien*, *intensive Analyse von Indizien* und *Falsifizieren von Vermutungen mit Gegenindizien* vereinfacht (siehe Kapitel 6.1). Zur Evaluation wurden der Nutzen, die Akzeptanz und die Anwendbarkeit dieser Methodenaspekte untersucht.

Dieses Kapitel basiert auf den Veröffentlichungen „Experimental Evaluation of a Debiasing Method for Analysis in Engineering Design“ (Nelius & Matthiesen, 2019) und „Teaching debiasing approaches – motivating engineering students with reflection“ (Nelius, Eisenmann, Doellken, Hergl & Matthiesen, 2019). Teile des folgenden Textes sind ohne Veränderung aus den Veröffentlichungen in deutscher Übersetzung übernommen.

7.1.1 Studienaufbau

Zur Evaluation der Methode wurden Konstrukteure und Studierende in der Anwendung der vereinfachten Design-ACH geschult und es wurde eine Laborevaluation durchgeführt. Die Probanden bearbeiteten die in Kapitel 5 erläuterte Studienaufgabe. Die Ergebnisse der geschulten Teilnehmer in der Laborevaluation werden mit den Ergebnissen der ersten deskriptiven Studie (Kapitel 5.2.2) verglichen. Hierdurch kann der Nutzen der Methode erfasst werden.

7.1.1.1 Probanden

Um die Ergebnisse der Laborevaluation mit denen der ersten deskriptiven Studie (Kapitel 5) vergleichen zu können, wurden ebenfalls Studierende und Konstrukteure als Probanden akquiriert. Da in der ersten deskriptiven Studie kein Einfluss der Erfahrung beobachtet wurde, nahmen an der Laborevaluation auch Konstrukteure mit geringer Erfahrung (1–2 Jahre) teil. In der Studie partizipierten sieben Studierende und sechs Konstrukteure. Ein Konstrukteur konnte aufgrund von Problemen bei der Anwendung von Concurrent Think-Aloud nicht in der Auswertung berücksichtigt werden.

Die Gruppe der Studierenden bestand aus einer Frau und sechs Männern (siehe Tabelle 7.1). Die Studierenden waren mindestens in ihrem fünften Fachsemester im Studiengang Maschinenbau. Im Schnitt waren sie im neunten Fachsemester ($s = 2,6$). Die Teilnehmer mussten zudem das Fach ‚Maschinenkonstruktionslehre‘ (4. Semester, 18 ECTS, Kombination aus Vorlesung, Übung und Projektarbeit (Fakultät für Maschinenbau, 2016)) erfolgreich abgeschlossen haben. Die teilnehmenden Konstrukteure waren alle männlich und hatten mindestens ein Jahr Arbeitserfahrung als Konstrukteur (siehe Tabelle 7.2). Die durchschnittliche Arbeitserfahrung lag bei 14,4 Jahren ($s = 13,1$). Die Konstrukteure waren im Bereich Sondermaschinenbau tätig.

Tabelle 7.1: Übersicht zu den studentischen Teilnehmern der Laborevaluation

Probandenmerkmale				Erfahrung in ... (Selbsteinschätzung auf einer Skala von 1 – niedrig bis 5 – hoch)		
Probanden	Alter	Geschlecht	Semester	Entwicklungs- methoden	Theoretischer Maschinenbau	Schadenskunde
Student 1	25	m	7	1	2	2
Student 2	22	m	8	2	3	2
Student 3	24	m	12	3	2	2
Student 4	22	m	9	2	2	2
Student 5	23	m	12	2	3	2
Student 6	21	w	5	2	2	2
Student 7	25	m	12	3	2	2

Tabelle 7.2: Übersicht zu den erfahrenen Teilnehmern der Laborevaluation

Probandenmerkmale				Erfahrung in ... (Selbsteinschätzung auf einer Skala von 1 – niedrig bis 5 – hoch)		
Probanden	Alter	Geschlecht	Berufserfahrung (Jahre)	Entwicklungs- methoden	Theoretischer Maschinenbau	Schadenskunde
Konstrukteur 1	22	m	2	3	3	2
Konstrukteur 2	43	m	25	2	4	2
Konstrukteur 3	28	m	1	2	2	2
Konstrukteur 4	44	m	14	5	5	4
Konstrukteur 5	55	m	30	2	2	2

7.1.1.2 Schulung der Teilnehmer

Die Schulung der Teilnehmer erfolgte in Kleingruppen (3–6 Teilnehmer), da Schulung und Studie am selben Tag stattfinden sollten. Die Schulung bestand aus einem theoretischen Teil (ca. 20 min) und einer praktischen Übung der Methode (ca. 30 min).

Im Theorieteil wurden den Probanden zunächst typische Herausforderungen und Denkfehler bei der Fehleranalyse vermittelt (*fehlerhafte Modellvorstellung* und *Nutzung falscher Modellvorstellungen*, vgl. Kapitel 3.1). Zudem wurden auch erfolgreiche Vorgehensweisen bei der Fehleranalyse vorgestellt (*Fokus auf widerlegende Indizien*, *intensive Analyse von Indizien* und *Falsifizieren von Vermutungen mit Gegenindizien*). Zur Unterstützung der Methodenanwendung wurde eine Tabelle als Formblatt zur Verfügung gestellt (siehe Tabelle 7.3). Folgende Methodenschritte wurden den Probanden bei der Schulung der verkürzten Design-ACH vermittelt:

1. Formulieren der Problemstellung

Zur Fokussierung der Analyse wird die Problemstellung möglichst präzise formuliert.

2. Aufstellen von möglichen Problemursachen

Zur Überwindung des Confirmation Bias sollten möglichst viele unterschiedliche Problemursachen aufgestellt werden, um die Bindung an eine einzelne Problemursache zu verringern. Die Problemursachen werden in die Zeilen der Tabelle eingetragen. Zudem soll jede Problemursache detailliert beschrieben werden.

3. Suchen von bestätigenden und widerlegenden Indizien

Zu jeder Vermutung sollen bestätigende und widerlegende Indizien gesammelt werden. Der Fokus liegt hierbei auf letzteren, um Vermutungen zu falsifizieren.

4. Entscheiden

Unter Berücksichtigung der gesammelten Informationen soll eine bewusste Auswahl zwischen den Vermutungen getroffen werden. Hierbei können auch weitere Untersuchungen definiert werden, wenn eine Auswahl einer Problemursache nicht möglich ist.

Zur Verfeinerung der Tabelle können Schritt 2 und 3 mehrfach durchgeführt werden.

Anwendung der vereinfachten Design-ACH an einem Praxisbeispiel

Zur Einübung der Methode wurde eine weitere Problemstellung als Praxisbeispiel aufbereitet. Dabei handelte es sich um einen Trockenbauschrauber mit magazinieren Schrauben. Die Zuführung der Schrauben funktioniert nur sehr unzuverlässig. Die Aufgabe für den Probanden war es, unter Anwendung der geschulten Methode das Problem zu analysieren und die Ursache zu identifizieren. Hierzu wurde zunächst sichergestellt, dass die Teilnehmer die Soll-Funktion der Schraubenförderung verstanden hatten.

Die Schulungsteilnehmer bekamen ein Formblatt (siehe Tabelle 7.3), den Trockenbauschrauber und Werkzeug zum Zerlegen des Magazin Aufsatzes. Je nach Gruppengröße arbeiteten sie allein oder zu zweit. Der Schulungsleiter stand dabei für Fragen bereit und stellte die korrekte Anwendung der Methode sicher. Die Problemursache liegt in zu großen Toleranzen zwischen dem Mitnehmer und der Bandführung (siehe Abbildung 7.1). Der Mitnehmer, der das Band fördert, hat durch die Toleranzen nur unzuverlässig Kontakt zum Schraubenband. Bei Schwierigkeiten unterstützte der Schulungsleiter die Teilnehmer, bis sie die Problemursache erkannten.

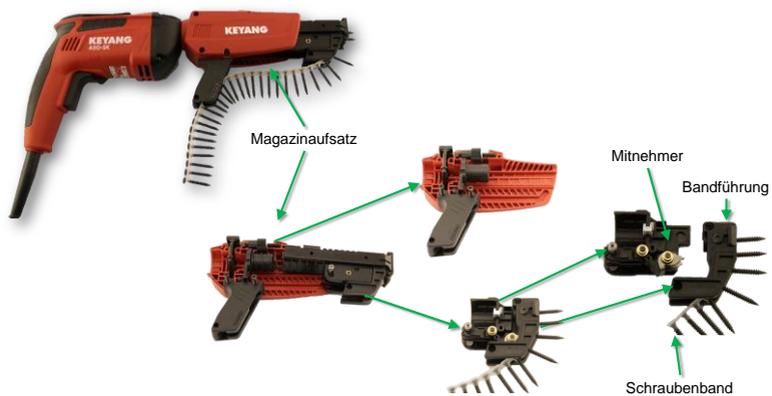


Abbildung 7.1: Aufbau des Trockenbauschraubers im Praxisbeispiel

Tabelle 7.3: Formblatt zur Unterstützung der vereinfachten Design-ACH in der Laborevaluation – beispielhaft ausgefüllt für die Übungsaufgabe

Problem	<i>Förderung der Schrauben funktioniert nicht zuverlässig</i>			
Problem-ursache	Vermutung 1	Vermutung 2	Vermutung 3	Vermutung 4
Beschreibung der Problem-ursache	<i>Stift fährt aus der Schaltkulisse</i>	<i>Zweiter Hebel verhindert das Zurückfördern nicht</i>	<i>Spiel zwischen Mitnehmer und Bandführung zu groß</i>	<i>Zu starke Reibung zwischen Band und Bandführung</i>
Bestätigende Indizien	<i>Stift kann aus der Schaltkulisse bewegt werden</i>		<i>Fehler kann durch Druck auf Bandführung verhindert werden; Fehler kann durch Zug an der Bandführung provoziert werden</i>	
Widerlegende Indizien	<i>Problem tritt auch auf, wenn der Stift in der Schaltkulisse ist</i>	<i>Zurückfördern wurde nie beobachtet</i>		<i>Mechanismus kann sehr große Kräfte aufbringen</i>
Entscheidung	<i>Verwerfen</i>	<i>Verwerfen</i>	<i>Annehmen</i>	<i>Verwerfen</i>

7.1.1.3 Aufgabe und Ablauf der Studie

Um die Ergebnisse der Laborevaluation mit denen der ersten deskriptiven Studie vergleichen zu können, wurde der gleiche Studienaufbau verwendet. Die Aufgabenstellung ist in Kapitel 5.1 beschrieben.

In der hier vorgestellten Laborevaluation standen den Probanden mehrere Formblätter der vereinfachten Design-ACH zur Verfügung (vgl. Tabelle 7.3). Nach der Bearbeitung der Aufgabe fragte der Studienleiter, wie in der ersten deskriptiven Studie, in einem Abschlussgespräch nach der identifizierten Problemursache und dem Vorgehen der Teilnehmer. Im Anschluss füllten letztere einen Fragebogen zu ihren Erkenntnissen in der Analyse sowie zur Erfassung von Probandenmerkmalen aus. Zum Abschluss unterschrieben die Teilnehmer eine Datenschutzerklärung, mit der sie einwilligten, dass ihre Daten pseudonymisiert für Forschungszwecke verwendet und veröffentlicht werden dürfen.

7.1.1.4 Datenaufnahme und Datenauswertung

Zur Datenaufnahme wurden Concurrent Think-Aloud, ein Abschlussinterview zur identifizierten Problemursache und die Bewertung der konstruktiven Lösung eingesetzt. Zur Erfassung der Kriterien Anwendbarkeit, Nutzen und Akzeptanz der Methode wurden die im Folgenden aufgeführten Methoden der Datenaufnahme und -auswertung genutzt.

Anwendbarkeit

Bei der Anwendung der Design-ACH sollten mehrere Vermutungen aufgestellt und viele Indizien genutzt werden. Zur Erfassung der Anwendbarkeit der Methode wurde anhand der Think-Aloud-Protokolle überprüft, ob die Teilnehmer die Methode formal korrekt anwenden, mehr Hypothesen aufstellen und mehr Indizien nutzen. Um den Einfluss der Methode erfassen zu können, wurde in der Laborevaluation die gleiche Methodik zur Datenaufnahme und -auswertung wie in der ersten deskriptiven Studie angewendet. So lassen sich die intuitiven Vorgehen (Kapitel 5.2) mit den Vorgehen mit methodischer Unterstützung vergleichen.

Zur Erfassung der Anzahl an Vermutungen wurden die Aussagen der Teilnehmer beim Concurrent Think-Aloud transkribiert und kodiert. Das Verfolgen einer Vermutung beginnt mit der ersten Nennung einer Ursache und endet mit der Nennung einer anderen Ursache. Die Auswertung der Vermutungen entspricht dem Vorgehen in der ersten deskriptiven Studie (siehe Kapitel 5.2.1.2). In einem zweiten Schritt der Kodierung wurde die Anzahl der Indizien erfasst, mit denen die Teilnehmer ihre Vermutungen bestätigten oder widerlegten. Die Kodierung wurde von einem zweiten

Auswerter überprüft. Bei Unstimmigkeiten wurden diese diskutiert, bis ein Konsens erreicht wurde.

Nutzen

Durch die Anwendung der Design-ACH sollen Konstrukteure *falsche Modellvorstellungen* erkennen, bevor sie konstruktive Lösungen für die falschen Problemursachen entwickeln. Durch die intensive Analyse unter Nutzung von Indizien sollen zudem Fehlinterpretationen von Informationen verringert werden.

Die Problemursache, die die Teilnehmer am Ende der Studie nutzten, um ihre Lösung zu entwickeln, wurde in einem Abschlussinterview abgefragt. Hierbei sollten sie die identifizierte Problemursache beschreiben. Zwei Auswerter wiesen den Antworten die Kategorien *korrekte Problemursache* (Rückstoß führt zur Biegung der Nageldetektion um die Kante der Bolzenführung), *falsche Problemursache* (jede andere Vermutung) und *keine Problemursache erkannt* (der Proband gibt an, die Problemursache nicht gefunden zu haben) zu.

Während der Analyse konnte die Herausforderung *falsche Modellvorstellung* identifiziert werden, wenn nach dem Identifizieren von Indizien falsche Vermutungen beibehalten wurden. Hierzu wurde überprüft, ob ein Teilnehmer nach dem Identifizieren von Indizien seine aktuelle Vermutung beibehielt oder eine neue Vermutung aufstellte. Letzteres kann als Verwerfen der bisherigen Vermutung gedeutet werden, da Vermutungen meist sequenziell verfolgt werden (Mynatt et al., 1977; Stacy & MacMillan, 1995).

Fehlinterpretationen wurden über eine Kodierung der Think-Aloud-Aussagen erfasst. Für die subjektiv bestätigenden und widerlegenden Indizien (siehe Abschnitt Anwendbarkeit) wurde zusätzlich kodiert, ob diese aus objektiver Sicht bestätigend, widerlegend oder neutral (Informationen ohne Bezug zur Vermutung) sind. Die Kodierung wurde durch einen Auswerter vorgenommen und durch einen zweiten Auswerter überprüft. Beide Auswerter kannten die tatsächliche Schadensursache und hatten umfangreiches Wissen über das System. Als Fehlinterpretation wurde es gewertet, wenn sich die objektive Einschätzung der Auswerter und die subjektive Einschätzung der Teilnehmer unterschieden.

Zur Operationalisierung der Herausforderung *Nutzung von falschen Modellvorstellungen* wurden die entwickelten konstruktiven Lösungen wie in der ersten deskriptiven Studie (vgl. Kapitel 5.1.1.2) bezüglich ihrer funktionalen Eignung bewertet. Die Herausforderung tritt auf, wenn auf Basis falscher Problemursachen konstruktive Lösungen entwickelt werden.

Akzeptanz

Die Akzeptanz beschreibt die subjektiv empfundene Eignung der Methode. Hierzu zählen die subjektive Einschätzung des Verhältnisses von Aufwand und Nutzen, die Eignung für eigene Problemstellungen und die Motivation, die Methode im Alltag anzuwenden. Zur Erfassung der Akzeptanz wurden die Teilnehmer durch den Studienleiter nach der empfundenen Eignung der Methode gefragt:

Wie sehr hat die Design-ACH Ihnen bei der Fehleranalyse geholfen?

Hierzu wurde eine Skala von 1 (nicht hilfreich) bis 7 (sehr hilfreich) als Antwortmöglichkeit vorgegeben.

7.1.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Laborevaluation hinsichtlich Anwendbarkeit, Nutzen und Akzeptanz der Design-ACH dargestellt.

Anwendbarkeit

In Tabelle 7.4 ist die Anzahl der Vermutungen und der genutzten Indizien für die erste deskriptive Studie und die Laborevaluation dargestellt. Studierende stellten im Mittel eine Vermutung mehr auf als Konstrukteure. Die Anzahl an bestätigenden Indizien war für beide Gruppen in der Laborevaluation etwa anderthalbmal höher als in der ersten deskriptiven Studie. Die Anzahl an widerlegenden Indizien bei Studierenden verdreifachte sich, während sie bei Konstrukteuren in etwa gleich blieb.

Tabelle 7.4: Mittlere Anzahl an aufgestellten Vermutungen und genutzten Indizien pro Proband

	Erste deskriptive Studie		Laborevaluation mit Anwendung der Design-ACH	
	Studierende	Konstrukteure	Studierende	Konstrukteure
Aufgestellte Vermutungen	2,4	1,8	3,4	2,4
Bestätigende Indizien	2,9	3,1	6,1	4,8
Widerlegende Indizien	0,8	0,5	2,4	0,8

Nutzen

In der ersten deskriptiven Studie wurden 29 % und in der Laborevaluation 22 % der genutzten Indizien falsch interpretiert (siehe Abbildung 7.4). Dies stellt einen Rückgang der Fehlinterpretationen um 24,1 % dar. In der Laborevaluation wurden 8 % der genutzten Informationen als bestätigend statt neutral (Projection Error), 5 % als widerlegend statt neutral und 8 % als bestätigend statt widerlegend (Interpretation Error) interpretiert (siehe Abbildung 7.2). Die Häufigkeit des Projection Errors und des Interpretation Errors war damit geringer als in der ersten deskriptiven Studie (siehe Abbildung 7.3).

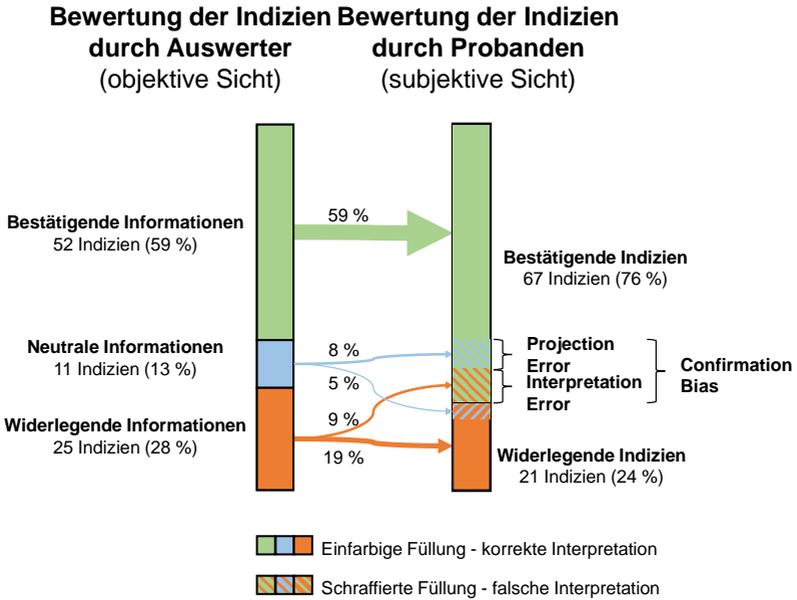


Abbildung 7.2: Interpretation von Indizien durch die Probanden bei der Anwendung der Design-ACH

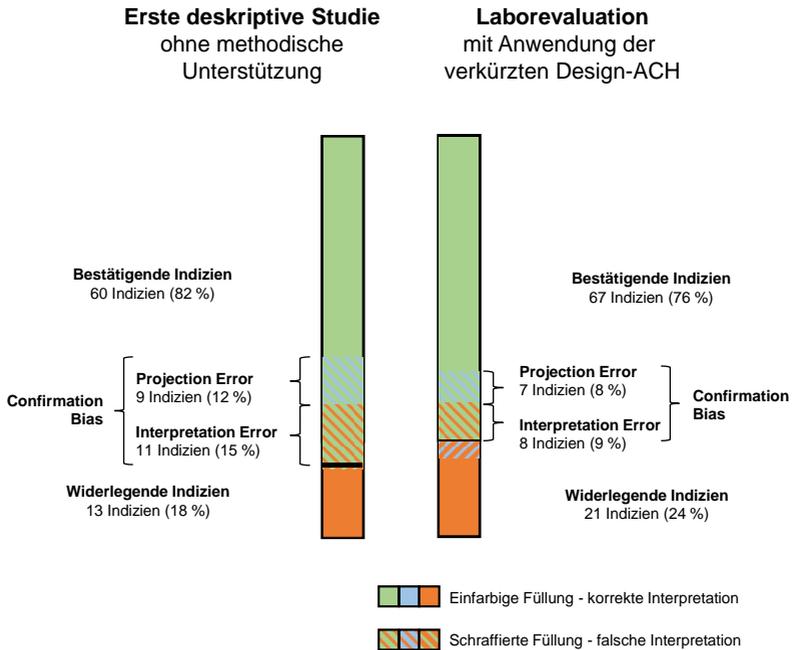


Abbildung 7.3: Verringerung des Confirmation Bias sichtbar in der Reduzierung von Fehlinterpretationen in bestätigender Richtung bei der Anwendung der verkürzten Design-ACH im Vergleich zur ersten deskriptiven Studie ohne methodische Unterstützung

In Abbildung 7.4 sind die Auswirkungen der identifizierten Indizien auf die verfolgte Vermutung in der Laborevaluation dargestellt. Bei der Anwendung der Design-ACH wurden häufiger Indizien genutzt, um falsche Vermutungen zu verwerfen (36 % der genutzten Indizien), als in der ersten deskriptiven Studie (23 % der genutzten Indizien).

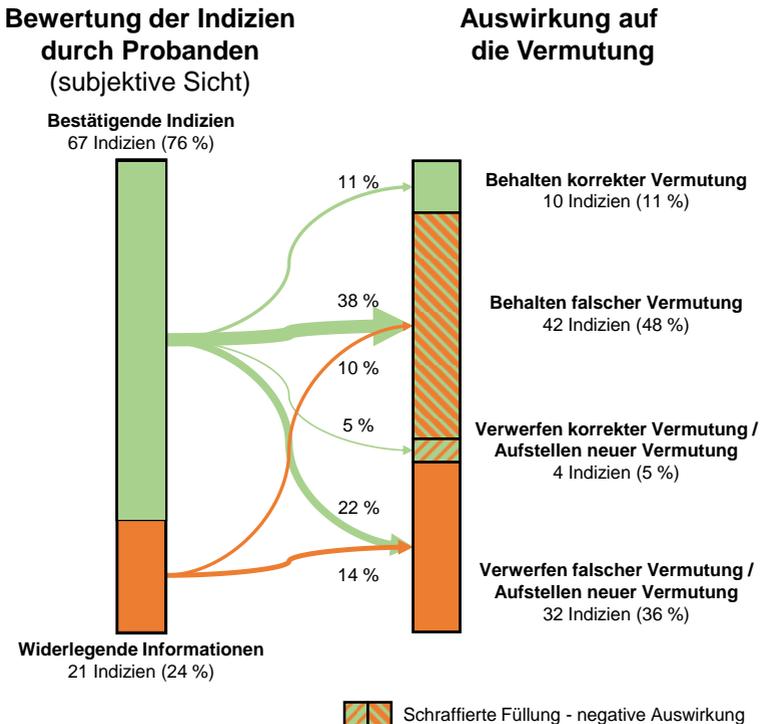


Abbildung 7.4: Auswirkung der identifizierten Indizien auf die verfolgte Vermutung bei der Anwendung der Design-ACH

In Abbildung 7.5 ist der Zusammenhang zwischen identifizierter Problemursache und der entwickelten Lösung in der Laborevaluation beschrieben. In letzterer wurden häufiger Lösungen mit guter oder neutraler funktionaler Eignung (+ 17 Prozentpunkte) und es wurde keine Lösung mit schlechter funktionaler Eignung entwickelt. Zudem erkannte ein größerer Anteil der Probanden (+7 Prozentpunkte), dass sie keine korrekte Problemursache erkannt hatten. In der Laborevaluation wurden zudem häufiger falsche Vermutungen beibehalten, obwohl widerlegende Indizien erkannt wurden (10 %), als dies in der ersten deskriptiven Studie der Fall war (3 %); dieser Fehler kann als Weighting Error (Lehner et al., 2008) bezeichnet werden.

Identifizierte Problemursache

Entwickelte Lösung

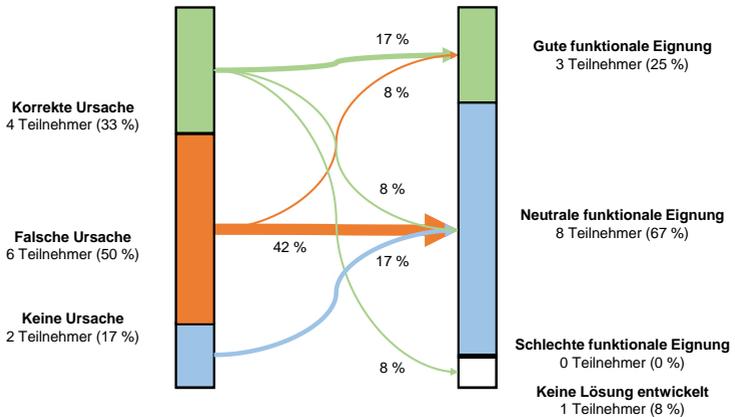


Abbildung 7.5: Zusammenhang zwischen identifizierter Problemursache und entwickelter Lösung in der Laborevaluation

Akzeptanz

Nach der Studie bewerteten die Teilnehmer den Nutzen der Methode auf einer Skala von 1 (nicht hilfreich) bis 7 (sehr hilfreich). Die mittlere Bewertung der Studierenden lag mit 4,9 ($s = 1,4$) niedriger als die mittlere Bewertung von 5,8 ($s = 1,1$) der Konstrukteure.

Darüber hinaus machten die Teilnehmer Anmerkungen zur Methodenanwendung. Als Nachteil betrachteten sie es, dass das Ausfüllen der Matrix Zeit gekostet hatte, die ihnen zur Bearbeitung der Aufgabe gefehlt hatte. Zudem war ihnen die Formulierung von Indizien schwergefallen. Positive Rückmeldungen beinhalteten, dass das Aufschreiben der Informationen zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit den Indizien geführt hatte.

7.1.3 Diskussion

Die Evaluation der Methode wird nachfolgend an den Kriterien Anwendbarkeit, Nutzen und Akzeptanz diskutiert.

Anwendbarkeit

Durch die Anwendung der Methode stellten die Teilnehmer mehr Vermutungen zu möglichen Problemursachen auf und nutzten häufiger Indizien. Bei den Studierenden ist die Veränderung deutlich stärker ausgeprägt als bei den Konstrukteuren. Sie wendeten die Methode also ausgiebiger an als die Konstrukteure. Dies führte bei den Studierenden zu einer intensiven Fehleranalyse. Die Ergebnisse decken sich mit Untersuchungen von Lehner et al. (2008) aus dem Bereich der Intelligence Analysis. In ihrer Untersuchung zeigten sie, dass vor allem unerfahrene Anwender von der ACH-Methode profitieren (Lehner et al., 2008).

Durch die Erfahrung und Routine der Konstrukteure könnte es diesen schwerer gefallen sein, neue Vorgehensweisen anzunehmen. Eine einzelne Methodenschulung reicht daher eventuell nicht aus, um über Jahre eingeübte Vorgehensweisen zu ändern. Hierzu könnte eine längere Schulung oder ein begleitendes Coaching notwendig sein.

Während die Anzahl an subjektiv widerlegenden Indizien bei Studierenden gestiegen ist, hat der Anteil an subjektiv widerlegenden Indizien zwischen der ersten deskriptiven Studie (18 %) und der Laborevaluation (24 %) nur wenig zugenommen. Die Teilnehmer hätten daher noch mehr Zeit in die Suche nach widerlegenden Indizien investieren und dadurch weitere falsche Vermutungen verwerfen können.

Ein Kernelement der Design-ACH ist das Verwerfen von Vermutungen, für die widerlegende Indizien vorhanden sind. In Abbildung 7.4 ist dargestellt, dass 10 % der genutzten Indizien als widerlegend erkannt wurden, die verfolgte Vermutung jedoch beibehalten wurde. In vielen dieser Fälle hatten diese Indizien die Vermutung objektiv eindeutig falsifiziert. Die Teilnehmer hätten diese Vermutung daher verwerfen sollen. In diesen Fällen wurde die Richtung der Indizien zwar korrekt als widerlegend erkannt, jedoch wurde deren Stärke zu schwach gewertet.

In der Studie von Lehner et al. (2008) konnte durch die Anwendung der ACH-Methode der Weighting Error von unerfahrenen Intelligence-Analysten reduziert werden. In der vorgestellten Laborevaluation erhöhte sich jedoch mit der Anwendung der Design-ACH die Häufigkeit des Fehlers. So wurden durch die Anwendung der vereinfachten dieser Methode deutlich mehr Indizien und Gegenindizien aufgestellt.

Die hohe Anzahl an Indizien könnte zu einer Nachlässigkeit bei der Bewertung der Aussagekraft geführt haben.

Darüber hinaus wurde durch die Vereinfachung der Design-ACH in der Laborevaluation ein Teilschritt nicht geschult, bei dem jedes Indiz den Hypothesen gegenübergestellt wird. Dieser Teilschritt könnte zur Reduzierung des Weighting Errors beitragen. Die Fokussierung auf jedes Indiz könnte hierbei zu einer objektiveren Einschätzung der Stärke von Indizien führen. In weiteren Untersuchungen der Design-ACH sollte daher die zeilenweise Bewertung untersucht werden.

Nutzen

Durch die Anwendung der Methode reduzierte sich der Anteil an falsch interpretierten Informationen. Die *fehlerhaften Modellvorstellungen* (Herausforderung 1) wurden daher durch die Schulung und Anwendung der Methode reduziert. Zudem wurden bei der Aufgabenbearbeitung mehr Indizien genutzt, um falsche Vermutungen zu falsifizieren. In der ersten deskriptiven Studie wählten viele Teilnehmer unbenutzt eine falsche Problemursache aus. In der Laborevaluation hingegen stieg der Anteil an Teilnehmern, die erkannten, dass sie die korrekte Problemursache noch nicht identifiziert hatten. Der Confirmation Bias trat bei den Teilnehmern allerdings auch bei der Anwendung der Design-ACH auf. Zur weiteren Reduzierung von systematischen Denkfehlern wird in anderen Fachdisziplinen ein personalisiertes Feedback und intensives Coaching empfohlen (Arnott, 2006).

Durch die Anwendung der Design-ACH erhöhte sich jedoch auch der Anteil an Fehlinterpretationen in widerlegender Richtung von 1 % in der ersten deskriptiven Studie auf 5 % in der Laborevaluation. Hierdurch steigt die Gefahr, dass korrekte Hypothesen fälschlicherweise verworfen werden. In der Laborevaluation wurde dieser Fall aber nicht beobachtet.

Bei der *Nutzung von falschen Modellvorstellungen* (Herausforderung 4) konnte keine Veränderung im Vergleich zur ersten deskriptiven Studie beobachtet werden. Zwei Teilnehmer entwickelten konstruktive Lösungen, obwohl sie keine Problemursache erkannt hatten. In diesen Fällen könnte die Aufgabenstellung dazu geführt haben, dass die Teilnehmer Lösungen entwickelten, obwohl sie wussten, dass sie die Problemursache nicht ausreichend verstanden hatten. Hierbei handelt es sich um Einschränkungen der vorgestellten Studie.

Hinsichtlich des Aspekts der Anwendbarkeit wurden zwei Schritte erkannt, die zur weiteren Optimierung des Nutzens der Methode beitragen können. Zum einen sollte auch die Situationsanalyse methodisch unterstützt werden, um die Identifizierung von mehr Informationen und damit mehr widerlegenden Indizien zu ermöglichen. In

der Laborevaluation wurden die Teilnehmer bezüglich der vereinfachten Design-ACH geschult und durch ein Formblatt wurde deren Anwendung unterstützt. Die Teilnehmer könnten dadurch die Situationsanalyse vernachlässigt haben und sich zu sehr auf die Problemeingrenzung fokussiert haben. Strukturierende Modellbildungsansätze und Strategien zur Systemanalyse³¹ können dabei unterstützen, eine ausreichend vollständige Modellvorstellung zu erreichen. Zum anderen sollte der Weighting Error reduziert werden, indem beim Erkennen von widerlegenden Indizien strikter geprüft wird, ob die aktuelle Vermutung verworfen werden soll. Die zeilenweise Bewertung der Design-ACH sollte diesen Schritt unterstützen. Inwiefern diese methodischen Empfehlungen den Nutzen der Methode verbessern, sollte in weiteren Laborstudien überprüft werden.

Akzeptanz

Den empfundenen Nutzen der Methode schätzten die Konstrukteure höher ein als die Studierenden. Dabei hatten letztere deutlich stärker von der Design-ACH profitiert. Dass Konstrukteure den empfundenen Nutzen höher einschätzen, könnte darauf zurückzuführen sein, dass sie mit den Herausforderungen in der Fehleranalyse vertraut sind und daher den Bedarf einer Unterstützung eher erkennen.

7.1.4 Zwischenfazit zur Methodenevaluation

In der Laborevaluation konnte der Nutzen der vereinfachten Design-ACH in der Fehleranalyse gezeigt werden. Die Anwendung der Design-ACH führte zur Reduzierung *fehlerhafter Modellvorstellungen* während der Analyse. Es wurden häufiger falsche Vermutungen verworfen. Zudem konnte bei den genutzten Indizien eine geringere Fehlerquote beobachtet werden. Durch ein begleitendes Coaching oder den Einsatz von entsprechend geschulten Moderatoren könnte die Herausforderung weiter reduziert werden. Zudem sollte jedes Indiz den Hypothesen gegenübergestellt werden (siehe zeilenweise Bewertung in Abbildung 6.1).

Es wurden jedoch noch Schwierigkeiten in der Anwendung der Methode beobachtet. So ist der Anteil an widerlegenden Indizien nur leicht gestiegen. Zudem wurde beobachtet, dass trotz subjektiv widerlegender Indizien einige Vermutungen nicht verworfen wurden (Weighting Error). Beide Schwierigkeiten sollen bei der weiteren

³¹ Zur Systemanalyse können die Strategien Top-down, Bottom-up oder eine Analyse entlang des Leistungsflusses eingesetzt werden (siehe Booth, Reid, Eckert und Ramani (2015)). Zudem kann eine Aufteilung in die funktionalen und zeitlichen Sequenzen des Systems zur umfassenden Situationsanalyse beitragen (siehe Matthiesen, Grauberger und Schrempp (2019)).

Evaluation der Design-ACH durch eine Moderation, eine umfangreiche Situationsanalyse und die Anwendung der vollständigen Design-ACH reduziert werden. Hierdurch soll auch die *Nutzung falscher Modellvorstellungen* verringert werden.

7.2 Feldevaluation der Design-ACH

Zur Evaluation wurde die Design-ACH in einer Feldstudie an einer realen Problemstellung aus einem Unternehmen untersucht. In einer Schulung wurde die Design-ACH mit bestehenden Methoden kombiniert, um die Fehleranalyse möglichst umfassend zu unterstützen. Hierzu wurden die Design-ACH, die Problemlösemethode SPALTEN und die Modellbildung mit dem C&C²-Ansatz im Rahmen einer Schulung einer Gruppe von Produktentwicklern vermittelt. Die gelernten Methoden wurden anschließend an einem aktuellen technischen Praxisproblem der Teilnehmer angewendet. Der Fokus der Evaluation lag auf der entwickelten Design-ACH sowie qualitativen Erkenntnissen zur Anwendbarkeit, der Akzeptanz und dem Nutzen der Methode in einem industriellen Umfeld.

Dieses Kapitel basiert auf der Veröffentlichung „Tatort Technik – Unterstützung bei der Problemanalyse in der Konstruktion mit der Design-ACH Methode“ (Nellius et al., 2021b). Teile des folgenden Textes sind ohne Veränderung aus der Veröffentlichung übernommen.

7.2.1 Studienaufbau

Zur Überwindung der Herausforderungen in der Fehleranalyse (siehe Kapitel 3.1) wurde eine dreitägige Schulung entwickelt und durchgeführt. Die Ergebnisse der Laborevaluation (Kapitel 7.1) legen nahe, dass zur korrekten Anwendung eine umfangreichere Schulung notwendig ist, als dies in der Laborevaluation möglich war. Die Schulung der Design-ACH wurde daher überarbeitet und erweitert. Die Erfassung des Methodennutzens erfordert eine formal korrekte Anwendung der Methode und daher eine wirksame Schulung. Zur Evaluation der Design-ACH wurde die Schulung mit 13 Teilnehmern aus der Konstruktionsabteilung eines Unternehmens durchgeführt und anschließend bewertet. Die Methode wurde durch einen Fragebogen, Beobachtung und Feedback der Teilnehmer evaluiert.

Die Methode unterstützt vor allem die Problemeingrenzung im Problemlöseprozess. Damit auch die weiteren Aktivitäten der Problemlösung methodisch unterstützt werden, wurden zwei weitere Methoden geschult und angewendet. Die Problemlösemethode SPALTEN ermöglicht eine Strukturierung des gesamten Problemlöseprozesses. Zur Unterstützung der Modellbildung wurde außerdem der C&C²-Ansatz genutzt.

Ablauf der Schulung

Die Schulung ist als dreitägiger Workshop für 7 bis 15 Teilnehmer konzipiert. An den ersten zwei Tagen werden die drei erwähnten Methoden zur Fehleranalyse vermittelt und an Anwendungsbeispielen eingeübt. Die Schulung der Methoden folgt dabei immer den Schritten Vermittlung der Theorie, Anwendung an einem praxisnahen Beispiel und Transfer auf eine unternehmenseigene Problemstellung. Bei der Anwendung und dem Transfer der Methode stellt ein Moderator die korrekte Methodennutzung sicher.

1. Problemlösungsmethode SPALTEN

Zur Strukturierung der Problemlösung wurde für die Schulung die Problemlösungsmethode SPALTEN (Albers et al., 2016) ausgewählt. Der Fokus der hier vorgestellten Schulung liegt auf der Analyse des Problems, die in SPALTEN durch die ersten beiden Schritte Situationsanalyse und Problemeingrenzung abgebildet wird (siehe Abbildung 7.6).

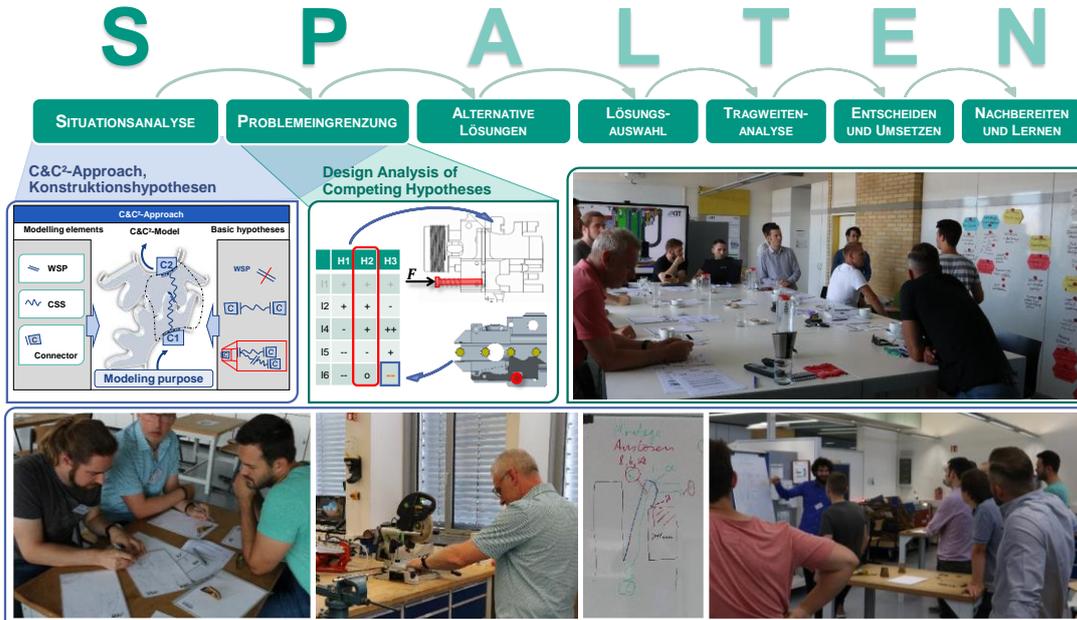


Abbildung 7.6: Ablauf der Problemlösungsmethode SPALTEN und Einordnung der vorgestellten Schulung in die Problemlösung

2. Modellbildungsansatz Contact and Channel Approach (C&C²-A)

Der Contact and Channel Approach (C&C²-Ansatz) ist ein Modellbildungsansatz, um Denkprozesse beim Konstruieren zu unterstützen (Albers & Matthiesen, 2002; Matthiesen, 2002). Dadurch sollen die *strukturierte Modellbildung* und eine gemeinsame Modellbildungssprache adressiert werden. Der Ansatz beinhaltet eine an die reale Systemgestalt angelehnte Visualisierung sowie Elemente zur Verbindung von Gestalt und Funktion, die das Durchdenken des Systems erleichtern sollen. Abbildung 7.7 gibt eine Übersicht über den C&C²-Ansatz.

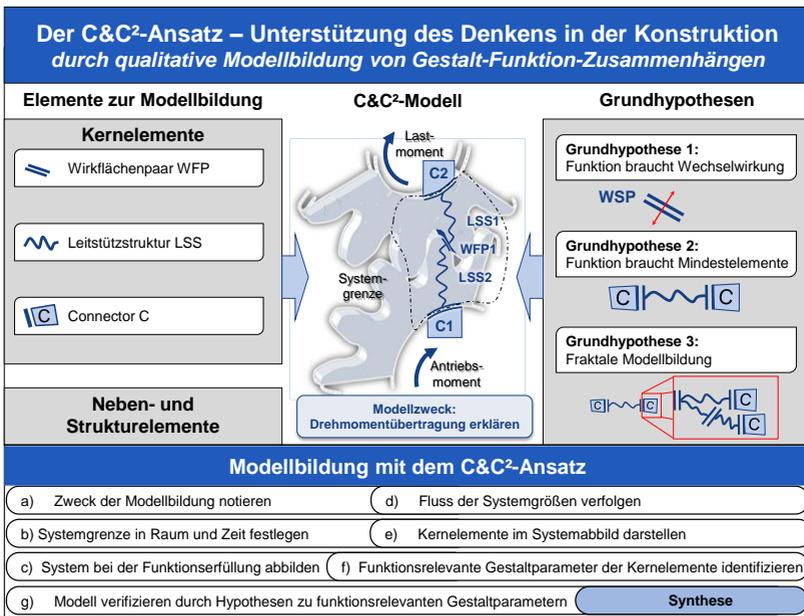


Abbildung 7.7: Der C&C²-Ansatz mit Elementen, Grundhypothesen und Schritten zur Modellbildung nach Matthiesen, Grauberger, Sturm und Steck (2018)

In dieser Abbildung ist zentral ein C&C²-Modell dargestellt, das aus den Kernelementen (links) unter Beachtung der Grundhypothesen (rechts) aufgebaut ist. Die Kernelemente werden in eine frei wählbare Visualisierung des Systems integriert, indem die Schritte a) bis g) zur Modellbildung (unten) durchlaufen werden. Mit einem

C&C²-Modell wird ein statischer Zustand modelliert. Ist zum Verständnis des technischen Systems eine zustandsübergreifende Analyse notwendig, können diese Modelle in einem C&C²-Sequenzmodell verknüpft werden, um so auch quasistatische und dynamische Vorgänge abzubilden (Matthiesen, Grauberger & Schrempp, 2019).

3. Hypothesenprüfung Design Analysis of Competing Hypotheses (Design-ACH)

Als dritte Methode wurden die Schulungsteilnehmer in der Design-ACH geschult (siehe Kapitel 6.2). Durch die gezielte Formulierung und Prüfung von Hypothesen zu Problemursachen im System sollte die Herausforderung *fehlerhafte Modellvorstellung* adressiert werden.

Ablauf der Schulung

In den Theorieeinheiten zu den Methoden werden den Teilnehmern das Anwendungsfeld sowie die Anwendung und die Randbedingungen der Methoden vermittelt. Anschließend werden die Methoden an realitätsnahen Aufgaben angewendet. Der Schulungsleiter stellt hierbei eine korrekte Anwendung sicher.

Durch den Einsatz von Rapid-Prototyping können in der Schulung Konstruktionsaufgaben gestellt werden, die von der Anforderungsanalyse über die Konstruktion und Fertigung bis zum Test der entwickelten Lösung reichen. Die schnelle Fertigung mit einem Laser-Cutter ermöglicht es, innerhalb von 2,5 Stunden 7–10 Iterationen durchzuführen, um auftretende Probleme in der Konstruktion zu identifizieren und zu beheben. Der Einsatz der Methoden wird nach der Anwendung unter Anleitung reflektiert, um etwaige Unklarheiten zu beseitigen und den Lernfortschritt zu festigen.

Um die Übertragung der Methodenanwendung in den Berufsalltag zur erleichtern, werden die Methoden am dritten Tag an einem aktuellen Unternehmensproblem angewendet. In Abstimmung mit dem Unternehmen wird hierzu ein aktuelles technisches Problem aus der Entwicklung ausgewählt und es werden zugehörige Informationen (Bauteile, Zeichnungen, Schadensberichte) zur Schulung aufbereitet. Unterstützt durch die Moderation des Schulungsleiters werden die vermittelten Methoden am unternehmenseigenen Problem angewendet.

Evaluation der Design-ACH

Die Evaluation wurde in zwei Schritten durchgeführt. Nach der Schulung und Anwendung der Methoden am Anwendungsbeispiel wurde deren empfundenener Nutzen mittels eines Fragebogens durch die Schulungsteilnehmer bewertet. Die relevanten

Fragen für die Design-ACH sind in Abbildung 7.8 dargestellt. Zur Evaluation der Methoden am aktuellen Unternehmensproblem wurden die Schulungsteilnehmer bei der Anwendung beobachtet und im Anschluss daran fand eine Diskussion zur Reflexion statt.

Methodenanwendung am Unternehmensbeispiel – Reflexion der Teilnehmer

Das beteiligte Unternehmen ist Hersteller von Gleitschleifanlagen, in denen metallische Werkstücke in einem Behälter mit Schleifkörpern bewegt werden. Durch die Relativbewegung wird die Oberfläche der Werkstücke geschliffen. Bei einem Anlagentyp trat ein übermäßiger Verschleiß an einer Zahnstange auf, die die Werkstücke vertikal in den Schleifbehälter einführt. Dieser Verschleiß kam jedoch nur bei einem von mehreren Kunden mit einer solchen Anlage vor. Durch die Methodenanwendung sollte die Problemursache eingegrenzt werden.

Zu Beginn des Workshops war etwa die Hälfte der Teilnehmer davon überzeugt, dass Schleifmittel aus dem Prozess in den Schmierstoff gelangte und zum übermäßigen Verschleiß der Zahnstange führte. Von den übrigen Teilnehmern wurden weitere Vermutungen genannt. Die meisten Probanden waren davon überzeugt, dass ihre Vermutung die korrekte Schadensursache darstellt. Alternative Schadensursachen wurden von den einzelnen Teilnehmern kaum in Betracht gezogen.

Zu Beginn der Design-ACH-Anwendung wurden vorhandene Informationen zusammengetragen. Hierbei wurde deutlich, dass selbst an der Problemlösung beteiligten Mitarbeitern nicht alle Informationen bekannt waren. Auch widersprüchliche Informationen wurden identifiziert. So war unklar, ob überhaupt Schleifmittel im Schmierstoff war.

Aus den vorhandenen Vermutungen wurden vier prüfbare Hypothesen abgeleitet und die gesammelten Informationen wurden in aussagekräftige Indizien überführt, die eine Aussage zur Wahrscheinlichkeit der Hypothesen ermöglichen. Die formulierten Hypothesen beschrieben ein Versagen des Schmierfilms (H1), eine hohe Schwingbeanspruchung (H2), ein zu hohes Gewicht der Werkstücke (H3) und eine Verschmutzung des Schmierstoffs (H4) als Problemursache.

Der Kunde, bei dem die Anlagen ausfielen, bearbeitet sehr schwere Werkstücke, die eine starke Unwucht bei der Bearbeitung hervorrufen. Diese Information (I1) stützt aus Sicht der Teilnehmer Hypothese H2 Schwingbelastung und H3 hohes Gewicht der Werkstücke. Jedoch konnten auf Basis dieser Information keine Hypothesen falsifiziert werden. Durch den Fokus auf widerlegende Indizien konnten jedoch zwei andere Hypothesen falsifiziert werden. So wurde im Schmiermittel des Kunden Schleifmittel festgestellt, was zunächst als Indiz für Hypothese H4 gedeutet wurde. Da bei Anlagen anderer Kunden jedoch ähnlich viel Schleifmittel im Schmierstoff vorhanden war, wurde H4 falsifiziert. Auch H3 konnte durch mehrere Gegenindizien ausgeschlossen werden.

Auf Basis der im Workshop vorliegenden Informationen konnten zwei Hypothesen (H3 und H4) falsifiziert werden. Um die übrigen Hypothesen zu widerlegen, mussten weitere Untersuchungen zur Hypothesenprüfung definiert werden (Schritt 4). Zur Überprüfung von H1 sollte im Anschluss an den Workshop das verwendete Schmiermittel variiert werden. Die Schwingbelastung (H2) war bei den betroffenen Anlagen höher als bei vergleichbaren Anlagen. Es sollte daher überprüft werden, ob die Anlagen fachgerecht befestigt wurden, um die Schwingungen zu reduzieren. Tritt der Fehler auch bei reduzierten Schwingungen auf, wäre H2 damit falsifiziert. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollten nach dem Workshop in der Matrix ergänzt werden, um so die Problemursache einzugrenzen. Werden durch die Untersuchung beide Hypothesen widerlegt, muss mit der Identifikation weiterer Hypothesen die Design-ACH wiederholt werden.

Das Sammeln und Diskutieren vorhandener Informationen wurde von den Teilnehmern als wichtiger Schritt beschrieben, da hierdurch ein einheitliches Verständnis des vorliegenden Problems erreicht werden konnte. Hinzu kam die Verdichtung der Fülle an Informationen auf ein handhabbares Maß, indem diese durch eine Bewertung in Bezug auf die Hypothesen eingegrenzt wurden. Außerdem sahen die Teilnehmer die Formulierung von prüfbaren Hypothesen als besonders hilfreich für die Definition von Folgemaßnahmen an. Die intensive Diskussion der Hypothesen bei Anwendung der Design-ACH führte dazu, dass die ursprüngliche Fixierung auf einzelne Problemursachen deutlich reduziert wurde. Einige Informationen wurden zu Beginn des Workshops als Bestätigung für eine einzelne Hypothese gesehen. Die zeilenweise Bewertung der Informationen zeigte jedoch, dass diese Informationen häufig mehrere Hypothesen bestätigen. Dies reduzierte die Fokussierung auf einzelne Hypothesen und führte zu einer objektiveren Bewertung.

Durch die strukturierte Bewertung im Rahmen der Design-ACH konnten schließlich zwei von vier Hypothesen zur Problemursache durch die Identifikation von eindeutigen Gegenindizien ausgeschlossen werden. Zur weiteren Eingrenzung der Problemursache konnten durch den Einsatz der Design-ACH präzise Folgeuntersuchungen definiert werden. Zur Strukturierung der Problemlösung wurden die Teilnehmer in der Methode SPALTEN geschult. Die Probanden waren sich durch diese Methode bewusster, in welcher Phase der Problemlösung sie sich befanden. Der Modellbildungsansatz C&C²-A wurde ebenfalls intensiv genutzt, um ein detailliertes und einheitliches Verständnis der Problemstellung zu erreichen. Die visualisierte Modellbildung mit dem C&C²-Ansatz wurde als positiv bewertet.

7.2.3 Diskussion

Im Folgenden wird die Methodenevaluation in den Kontext der in Kapitel 3.1 beschriebenen Herausforderungen gesetzt.

1. Fehlerhafte Modellvorstellung – Eingrenzung auf die tatsächliche Problemursache

In der Fallstudie wurde beobachtet, dass es bei der Problemlösung schwierig war, vermutete Ursachen zu widerlegen und klar zwischen Fakten und Annahmen zu unterscheiden (siehe Kapitel 3.1). Systematische Denkfehler, wie der Confirmation Bias, können diese Herausforderung zusätzlich verstärken. Mit der Design-ACH wurden die Studienteilnehmer in einer Methode geschult, die dabei unterstützt, Vermutungen durch Überlegungen zu überprüfen und die Schlussfolgerungen nachvollziehbar und unvoreingenommen zu treffen. Die Design-ACH wurde als gut bis sehr gut von den Teilnehmern evaluiert.

Außerdem zeigte sich an einem realen Problem, dass die Methode durch Überprüfung von getroffenen Annahmen bei der Fehleranalyse unterstützen kann. Die positiven Ergebnisse, die mit der ACH-Methode bereits in der Laborevaluation erzielt wurden, haben sich in dieser realen Problemlösung bestätigt. Wie in Laborstudien (Nelius et al., 2019) zeigte sich jedoch auch an realen Problemstellungen, dass die korrekte Interpretation von Informationen bezüglich ihrer Aussagekraft zu Hypothesen oft schwierig ist. Diese Form des logischen Denkens sollte in Lehre und Weiterbildung stärker adressiert werden.

Durch die Anwendung der Design-ACH beschäftigten sich die Teilnehmer intensiv mit alternativen Schadensursachen und waren nicht mehr so stark auf eine Problemursache festgelegt. Die Betrachtung von alternativen Erklärungen ist nach Heuer (1999) eine Voraussetzung, um den diagnostischen Wert von Indizien einschätzen zu können. Zudem ist die Berücksichtigung von Alternativen ein bedeutendes Element, um den Confirmation Bias zu überwinden (Heuer, 1999).

2. Unterschiedliche Modellvorstellungen – unbemerkte Fehlinterpretation diskutierter Zusammenhänge

In der vorangegangenen Fallstudie (Kapitel 3.1) wurde beobachtet, dass bei den Teilnehmern häufig ein unterschiedliches Verständnis der diskutierten Zusammenhänge vorlag. Detailreiche Visualisierungen an technischen Zeichnungen, Simulationen und Handskizzen unterstützten den Aufbau eines gemeinsamen Verständnisses. Die strukturierte Sichtung vorhandener Informationen während der Situationsanalyse wurde von den Teammitgliedern als äußerst hilfreich eingeschätzt.

Durch die Anwendung der Design-ACH wurden sämtliche Informationen bezüglich ihrer Aussagekraft zu den Hypothesen von den Schulungsteilnehmern gemeinsam bewertet. Unterschiedliche Interpretationen der Teilnehmer wurden in der Anwendung der Design-ACH erkannt und diskutiert. Konnte in der Diskussion kein Konsens über die diskutierten Zusammenhänge erreicht werden, können Untersuchungen zur Klärung definiert werden. Heuer (1999) berichtet zwar von den positiven Effekten der Teamarbeit beim Brainstormen für Hypothesen und Indizien, die positiven Auswirkung auf ein homogenes Verständnis beim Verfeinern der Matrix werden von ihm jedoch nicht beschrieben. Die Effekte der Design-ACH auf die Problemlösung in Teams sollte daher weiter untersucht werden.

3. Lückenhafte Modellvorstellung – Übersehen von möglichen Problemursachen und Indizien

Die Design-ACH unterstützt eine umfassende Fehleranalyse, indem die Anwender es erkennen, wenn sie nicht ausreichend Problemursachen oder Indizien identifiziert haben. Werden alle Problemursachen sicher falsifiziert, erkennen die Anwender, dass weitere Hypothesen notwendig sind. Können mehrere Problemursachen nicht falsifiziert werden, müssen weitere Indizien gefunden werden.

Bei der Suche nach weiteren Problemursachen und Indizien können Methoden der strukturierten Modellbildung wie der C&C²-Ansatz genutzt werden, der eine strukturierte Modellbildung entlang des Kraftflusses unterstützt.

4. Nutzung falscher Modellvorstellungen – Problemlösung ohne ausreichende Fehleranalyse

Die Schulung der Problemlösungsmethode SPALTEN strukturierte den gesamten Problemlöseprozess für die Schulungsteilnehmer. Das Hinzuziehen eines Moderators unterstützte die Einhaltung des strukturierten Prozesses. Die Analyseschritte der Problemlösung konnten durch den C&C²-Ansatz und die Design-ACH weiter strukturiert werden. Die Design-ACH unterstützte die Teilnehmer dabei, sich von festgelegten Vermutungen zu lösen und Alternativen in Betracht zu ziehen. Zudem konnten durch die Methodenanwendung Problemursachen falsifiziert werden. Die Design-ACH unterstützte die Konstrukteure daher dabei, den Confirmation Bias zu überwinden und effiziente Hypothesenprüfungen zu definieren. Auf Basis dieser Untersuchungen kann anschließend die Entwicklung von konstruktiven Lösungen für die wahrscheinlichste Problemursache beginnen.

In der Laborevaluation (Kapitel 7.1) wurde eine vereinfachte Version der Design-ACH vermittelt und noch immer nutzten viele Teilnehmer falsche Modellvorstellungen für die Synthese konstruktiver Lösungen. Durch die Schulung und die moderierte Anwendung der gesamten Design-ACH wurde diese Herausforderung reduziert.

Da viele Arbeitsschritte in der Konstruktion in Einzelarbeit stattfinden, besteht ein Bedarf an Methoden und Denkweisen, die sowohl von einzelnen Konstrukteuren als auch in Gruppenarbeit, auch mit Moderation, angewendet werden können. In weiteren Studien sollte daher erforscht werden, ob die Anwendung der Design-ACH in Einzelarbeit ähnlich erfolgreich verläuft wie die moderierte Anwendung in einer Gruppe.

7.3 Fazit zur Methodenevaluation

Die entwickelte Design-ACH wurde erfolgreich sowohl in einer Labor- als auch in einer Feldstudie evaluiert. In der Laborevaluation konnte gezeigt werden, dass durch die Anwendung der Methode mehr Vermutungen aufgestellt und mehr Indizien zur Analyse genutzt werden. Hierdurch konnten die Teilnehmer mehr falsche Vermutungen falsifizieren. Die in Kapitel 3.1 beschriebene Herausforderung der *falschen Modellvorstellung* konnte hierdurch deutlich reduziert werden.

Darüber hinaus sind bei der eigenständigen Anwendung der Design-ACH bezüglich der Anwendbarkeit zwei Aspekte beobachtet worden: (1) das Auftreten des *Weighting Errors*, der zur Fehlinterpretation von stark widerlegenden Indizien als schwach widerlegend führt; hierdurch werden falsche Vermutungen weiterhin beibehalten; (2) der Anteil an widerlegenden Indizien an der Gesamtanzahl genutzter Indizien ist nur leicht erhöht. Hieraus lässt sich folgern, dass die eigenständige Anwendung der Design-ACH einer längeren Lernphase bedarf. Im Idealfall werden die ersten Anwendungen der Design-ACH mit einem Moderator durchgeführt.

In der Laborevaluation wurde des Weiteren eine vereinfachte Version der Design-ACH in Einzelarbeit untersucht, während die Teilnehmer in der Feldevaluation in der gesamten Design-ACH geschult wurden und letztere moderiert zur Anwendung kam. In der Feldevaluation konnte eine stärkere Unterstützung bei der Überwindung der Herausforderung *Nutzung falscher Modellvorstellungen* beobachtet werden. Weitere Studien sollten den Einfluss der Gruppenarbeit, der Moderation und der zusätzlichen Methodenschritte auf die Überwindung der Herausforderungen in der Fehleranalyse untersuchen.

Die moderierte Anwendung der Design-ACH in der Feldevaluation wurde als sehr gut evaluiert. Durch die Anwendung der Methode wurde ein einheitliches Problemverständnis bei den Teilnehmern gefördert. Die bisher unstrukturiert vorliegenden Informationen wurden in eine handhabbare Menge an Indizien überführt. Durch die Bündelung der Fehleranalyse in Form einer Matrix wurden zudem die Informationen und Schlussfolgerungen in strukturierter Form für das Unternehmen dokumentiert.

Durch die Anwendung der Design-ACH konnten zwei Vermutungen verworfen werden und zur Priorisierung der zwei verbleibenden Vermutungen wurden Folgeuntersuchungen mit hohem diagnostischen Wert definiert.

Überdies wurde zur methodischen Unterstützung der Fehleranalyse ein Schulungskonzept aufgebaut. Hierbei werden die Methoden SPALTEN, C&C²-Ansatz und Design-ACH vermittelt. Die entwickelte Design-ACH ließ sich hierbei erfolgreich mit den etablierten Methoden kombinieren. Durch die Kombination der vorgestellten Methoden konnte der Confirmation Bias reduziert und die Fehleranalyse erfolgreich unterstützt werden. Mit der Entwicklung der Design-ACH und deren Evaluation in einer Labor- und Fallstudie konnte die dritte Teilforschungsfrage beantwortet werden:

Welchen Einfluss hat die Design-ACH auf den Confirmation Bias und die Fehleranalyse von Konstrukteuren?

8 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Ergebnisse der Forschungsarbeit zusammengefasst und anhand der Forschungsfragen aus Kapitel 4 diskutiert. Im Ausblick werden weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen vorgestellt.

8.1 Zusammenfassung

In dieser Forschungsarbeit wurde der Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse untersucht. Der Confirmation Bias beschreibt die menschliche Neigung, Informationen so zu suchen und zu interpretieren, dass sie die eigenen Ansichten bestätigen. Arbeiten aus anderen Disziplinen legen nahe, dass der Confirmation Bias auch bei der Fehleranalyse durch Konstrukteure auftritt. Welche Auswirkungen der Confirmation Bias auf die Fehleranalyse hat ist jedoch nicht bekannt. Empfehlungen zur Reduktion des Confirmation Bias werden durch aktuelle Methoden der Fehleranalyse nicht ausreichend berücksichtigt. Daher stehen Konstrukteuren keine Methoden zur Verfügung, um den Confirmation Bias bei der Fehleranalyse zu reduzieren.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurde daher die folgende übergeordnete Forschungsfrage gestellt und durch drei Teilforschungsfragen beantwortet:

Wie können negative Aspekte des Confirmation Bias bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren methodisch verringert werden?

1. Welchen Einfluss hat der Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren?
2. Wie kann der Confirmation Bias bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren methodisch verringert werden?
3. Welchen Einfluss hat die Design-ACH auf den Confirmation Bias und die Fehleranalyse von Konstrukteuren?

Für eine valide Untersuchung wurde eine Laborstudie aufgebaut, in der die Herausforderungen der Fehleranalyse in der Praxis (Kapitel 3.1) reproduzierbar untersucht werden konnten. Als Aufgabe wurde hierbei ein Bauteilversagen gewählt, das die Probanden analysieren und konstruktiv verhindern sollten. Dieser Studienaufbau wurde bei der Beantwortung der Teilforschungsfragen 1 und 3 eingesetzt.

Die erste Teilforschungsfrage wurde in Kapitel 5 beantwortet. Mit der ersten deskriptiven Studie konnte der Einfluss des Confirmation Bias auf die Fehleranalyse von Konstrukteuren und Studierenden quantifiziert werden. Der Confirmation Bias beeinflusste die Interpretation von Informationen so, dass widerlegende und neutrale Informationen als bestätigende Indizien fehlinterpretiert wurden. Widerlegende Informationen wurden hingegen zumeist korrekt interpretiert. Ein Einfluss des Confirmation Bias auf die visuelle Informationsaufnahme konnte nicht beobachtet werden. Dadurch, dass viele Teilnehmer durch den Confirmation Bias eine falsche Problemursache annahmen, wurden häufig ungeeignete Lösungen für das vorliegende Problem entwickelt.

Die Beantwortung der zweiten Teilforschungsfrage erfolgte in Kapitel 6 mit der Entwicklung der Methode Design-ACH. Hierzu wurde zunächst auf Basis der vorangegangenen Erkenntnisse die ACH-Methode von Heuer (1999) für die Anwendung in der Konstruktion erweitert und angepasst. Mit der Design-ACH wurde das wissenschaftliche Konzept der Falsifizierung in die Fehleranalyse eingeführt. Die methodische Unterstützung beim Falsifizieren von Vermutungen soll dabei den Confirmation Bias zu verringern. Mit dem Methodenschritt *effiziente Hypothesenprüfung definieren* kann zudem festgelegt werden, welche Daten zur Prüfung von Hypothesen benötigt werden und wie diese erhoben werden können.

Die dritte Teilforschungsfrage wurde in Kapitel 7 beantwortet. Die entwickelte Design-ACH wurde zunächst in einer vereinfachten Form in einer Laborstudie evaluiert. Die vereinfachte Design-ACH führte dazu, dass die Teilnehmer deutlich mehr Indizien bei ihrer Analyse nutzten und falsche Vermutungen häufiger widerlegten. Da der Weighting Error weiterhin auftrat, wurden die Probanden für die weitere Evaluation jedoch in der vollumfänglichen Design-ACH geschult und letztere wurde moderiert angewendet. Die Anwendung in der Fallstudie zur Methodenevaluation an einem aktuellen Unternehmensproblem wurde als gut evaluiert. Der Methodeneinsatz ermöglichte es, die bisher unstrukturiert vorliegenden Informationen in eine handhabbare Menge an Indizien zu überführen. Zwei von vier Vermutungen konnten durch die Anwendung der Design-ACH auf Basis von Gegenindizien falsifiziert werden. Für die weitere Auswahl der Problemursachen wurden Untersuchungen mit hohem diagnostischen Wert definiert. Die Design-ACH ließ sich zudem gut mit etablierten Methoden kombinieren.

Durch die Beantwortung der drei Teilforschungsfragen konnte die übergeordnete Forschungsfrage beantwortet werden. Der Beitrag zur Konstruktionsforschung liegt in der erstmaligen Untersuchung des Confirmation Bias bei der Fehleranalyse von Konstrukteuren. Die Erkenntnisse zum Confirmation Bias in der Konstruktion führten

darüber hinaus zur Entwicklung der Design-ACH, die eine Reduktion des Confirmation Bias bei der Fehleranalyse ermöglicht.

8.2 **Ausblick**

Die Erkenntnisse der vorliegenden Forschungsarbeit legen weiterführende wissenschaftliche Fragestellungen nahe.

Die Design-ACH wurde im Rahmen einer Fallstudie evaluiert. Die Schulung weiterer Konstrukteure aus der Industrie könnte nicht nur zur Verbreitung der Methode, sondern auch für eine kontinuierliche Evaluation und Weiterentwicklung genutzt werden. Die Anwendung der Methode an weiteren Problemstellungen würde außerdem dazu beitragen, die Mechanismen der Methode besser zu verstehen und gegebenenfalls weiter zu optimieren. Hierdurch könnten zudem einzelne Teilschritte der Methode eingekürzt werden, um das Erlernen der Methode zu vereinfachen. Der größte Nutzen konnte bei der moderierten Anwendung der Methode festgestellt werden. Eine mögliche Vereinfachung des Vorgehens könnte überdies zu einer weiteren Steigerung der Akzeptanz beitragen und die selbstständige Anwendung der Methode erleichtern.

Ferner wurde in der Evaluation der Design-ACH die korrekte Interpretation von Informationen bezüglich der Richtung und Stärke ihrer Aussagekraft als eine Herausforderung bei der Anwendung identifiziert. Für diese Aufgabe sind Kenntnisse des logischen Schlussfolgerns und der Statistik sowie kontextspezifisches Wissen (bspw. Schadenskunde) notwendig. Disziplinen wie die Intelligence Analysis schulen und unterstützen Analysten für diese Aufgaben. In Zukunft werden Konstrukteure durch datengetriebene Produktentwicklung (engl. data driven design) mehr Daten erheben und auf deren Basis Entscheidungen in der Konstruktion treffen. Konstrukteure müssen daher vorhandene Daten auswerten und Sensoren so auswählen und positionieren können, dass die generierten Daten einen möglichst hohen diagnostischen Wert haben. Weiterführende Forschungsarbeiten sollten daher untersuchen, welche konkreten Ausprägungen von Fähigkeiten für Konstrukteure und Validierungsingenieure notwendig sind und wie diese effizient vermittelt werden können.

Darüber hinaus stellt die Untersuchung weiterer systematischer Denkfehler in der Konstruktion einen notwendigen Schritt dar, um diese zu reduzieren. So kann die Heureka-Heuristik zu einer ähnlichen Fehleinschätzung wie der Confirmation Bias führen. Wird eine Erkenntnis durch einen Aha-Moment begleitet, führt dies zu einer

verstärkten subjektiven Sicherheit, eine korrekte Lösung gefunden zu haben. Laborstudien zeigten, dass in vielen Fällen die Lösung auch objektiv korrekt war (Laukkonen et al., 2020; Zimmerer, Nelius & Matthiesen, 2021). Künftige Untersuchungen dieser Heuristiken und systematischen Denkfehler können zu einer weiteren Verbesserung von Entscheidungen in der Konstruktion führen.

Des Weiteren benötigt die Auswertung von Studien in der Konstruktionsforschung viele Ressourcen. Bei Protokollanalysen müssen Probandenaussagen transkribiert, kodiert und überprüft werden. Diese Art der Auswertung beschränkt zum einen die Anzahl an Probanden und zum anderen besteht die Gefahr einer subjektiven Beeinflussung bei der Auswertung der Daten. Weiterführende Untersuchungen sollten daher Untersuchungsmethoden für die Konstruktionsforschung erforschen, die eine objektive Datenerhebung und -auswertung bei geringem Aufwand ermöglichen. Als Beispiel sei hier die automatisierte Erfassung von Unterstützungsbedarf durch die Messung des Cognitive Loads über Eye-Tracking genannt. Eine (teil-)automatisierte Auswertung von Studien in der Konstruktionsforschung würde die Objektivität weiterer Untersuchungen erhöhen und zur Vergleichbarkeit von Studien beitragen.

Literaturverzeichnis

- Ahmed, S. (2007). Empirical research in engineering practice. *Journal of Design Research*, 6(3), 359–380. <https://doi.org/10.1504/JDR.2007.016389>
- Ahmed, S., Wallace, K. M. & Blessing, L. T. (2003). Understanding the differences between how novice and experienced designers approach design tasks. *Research in Engineering Design*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s00163-002-0023-z>
- Albers, A. & Matthiesen, S. (2002). Konstruktionsmethodisches Grundmodell zum Zusammenhang von Gestalt und Funktion technischer Systeme. *Konstruktion - Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe*, 54(7/8), 55–60.
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N. & Breitschuh, J. (2016). 15 Years of SPALTEN Problem Solving Methodology in Product Development. In C. Boks, J. Sigurjonsson, M. Steinert, C. Vis & A. Wulvik (Hrsg.), *DS 85-1: Proceedings of NordDesign 2016* (S. 411–420). Bristol: The Design Society.
- Albers, A., Saak, M. & Burkardt, N. (2002). Gezielte Problemlösung bei der Produktentwicklung mit Hilfe der SPALTEN-Methode. In Rektor der TU Ilmenau (Hrsg.), *Tagungsunterlagen 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium* (S. 83–84). o.O.: o.V.
- Ariely, D. (2008). *Predictably irrational. The hidden forces that shape our decisions*. New York: HarperCollins.
- Arnott, D. (2006). Cognitive biases and decision support systems development: a design science approach. *Information Systems Journal*, 16(1), 55–78. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2575.2006.00208.x>
- Ashok Sarkar, S., Ranjan Mukhopadhyay, A. & Ghosh, S. K. (2013). Root cause analysis, Lean Six Sigma and test of hypothesis. *The TQM Journal*, 25(2), 170–185. <https://doi.org/10.1108/17542731311299609>
- Badke-Schaub, P. & Frankenberger, E. (1999). Analysis of design projects. *Design Studies*, 20(5), 465–480. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(99\)00017-4](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(99)00017-4)

- Bielefeld, O. (2021). *Entwicklung einer Methodik für eine modellbasierte und ganzheitliche Fehleranalyse*. Dissertation. Bergische Universität Wuppertal. <https://doi.org/10.25926/S3NE-NC15>
- Bilalić, M., McLeod, P. & Gobet, F. (2008). Why good thoughts block better ones: the mechanism of the pernicious Einstellung (set) effect. *Cognition*, 108(3), 652–661. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.05.005>
- Bilalić, M., McLeod, P. & Gobet, F. (2010). The Mechanism of the Einstellung (Set) Effect. A Pervasive Source of Cognitive Bias. *Current Directions in Psychological Science*, 19(2), 111–115. <https://doi.org/10.1177/0963721410363571>
- Björklund, T. A. (2013). Initial mental representations of design problems: Differences between experts and novices. *Design Studies*, 34(2), 135–160. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2012.08.005>
- Blessing, L. T.M. & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a Design Research Methodology*. London: Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-587-1>
- Boer, R. J. (2012). *Seneca's error. An affective model of cognitive resistance*. Dissertation. TU Delft, Delft.
- Booth, J. W., Reid, T. N., Eckert, C. & Ramani, K. (2015). Comparing Functional Analysis Methods for Product Dissection Tasks. *Journal of Mechanical Design*, 137(8), 081101. <https://doi.org/10.1115/1.4030232>
- Borgianni, Y. & Maccioni, L. (2020). Review of the use of neurophysiological and biometric measures in experimental design research. *AI EDAM*, 6, 1–38. <https://doi.org/10.1017/S0890060420000062>
- Bühler, K. (1907). Tatsachen und Probleme zu einer Psychologie der Denkvorgänge. I Über Gedanken. *Archiv für die gesamte Psychologie*, 9, 297–365.
- Bursac, N., Rapp, S., Albers, A., Breitschuh, J. & Tanaiutchawoot, N. (2017). Entscheidungsheuristiken in der PGE - Produktgenerationsentwicklung. In D. Krause, K. Paetzold & S. Wartzack (Hrsg.), *DFX 2017: Proceedings of the 28th Symposium Design for X, Bamberg, 4.-5.10.2017* (o.S.). Hamburg: Tutech Verlag.
- Bursac, N., Tanaiutchawoot, N., Rapp, S., Albers, A., Breitschuh, J. & Eckert, C. (2018). Decision heuristics in PGE - Product Generation Engineering. In I.

- Horváth, J. P. Suárez Rivero & P. M. Hernández Castellano (Hrsg.), *Proceedings of TMCE 2018, Las Palmas de Gran Canaria, 7.-11.05.2018* (S. 385–394). Delft: TU Delft.
- Cash, P. J., Hicks, B. J. & Culley, S. J. (2013). A comparison of designer activity using core design situations in the laboratory and practice. *Design Studies*, 34(5), 575–611. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2013.03.002>
- Chapman, G. B. (2004). The Psychology of Medical Decision Making. In D. J. Koehler & N. Harvey (Hrsg.), *Blackwell handbook of judgment and decision making* (S. 585–603). Oxford: Blackwell Pub. <https://doi.org/10.1002/9780470752937.ch29>
- Coley, F., Houseman, O. & Roy, R. (2007). An introduction to capturing and understanding the cognitive behaviour of design engineers. *Journal of Engineering Design*, 18(4), 311–325. <https://doi.org/10.1080/09544820600963412>
- Cook, M. B. & Smallman, H. S. (2008). Human factors of the confirmation bias in intelligence analysis: decision support from graphical evidence landscapes. *Human Factors*, 50(5), 745–754. <https://doi.org/10.1518/001872008X354183>
- Cox, J. R. & Griggs, R. A. (1982). The effects of experience on performance in Wason's selection task. *Memory & Cognition*, 10(5), 496–502. <https://doi.org/10.3758/BF03197653>
- Crilly, N. (2019). Methodological diversity and theoretical integration: Research in design fixation as an example of fixation in research design? *Design Studies*, 65(4), 78–106. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2019.10.006>
- Crilly, N. & Cardoso, C. (2017). Where next for research on fixation, inspiration and creativity in design? *Design Studies*, 50, 1–38. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.02.001>
- Davies, S. P. (1995). Effects of concurrent verbalization on design problem solving. *Design Studies*, 16(1), 102–116. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(95\)90649-Z](https://doi.org/10.1016/0142-694X(95)90649-Z)
- Dinar, M., Shah, J. J., Cagan, J., Leifer, L., Linsey, J., Smith, S. M. et al. (2015). Empirical studies of Designer Thinking: Past, Present, and Future. *Journal of Mechanical Design*, 137(2), 021101-1-13. <https://doi.org/10.1115/1.4029025>

- Doggett, A. M. (2005). Root Cause Analysis: A Framework for Tool Selection. *Quality Management Journal*, 12(4), 34–45.
<https://doi.org/10.1080/10686967.2005.11919269>
- Duncker, K. (1974). *Zur Psychologie des produktiven Denkens*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-88750-5>
- Dylla, N. (1990). *Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren*. Dissertation. TU München, München.
- Eckert, C., Ruckpaul, A., Alink, T. & Albers, A. (2012). Variations in functional decomposition for an existing product: Experimental results. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 26(2), 107–128.
<https://doi.org/10.1017/S0890060412000029>
- Eckert, C. & Stacey, M. (2003). Adaptation of sources of inspiration in knitwear design. *Creativity Research Journal*, 15(4), 355–384.
https://doi.org/10.1207/S15326934CRJ1504_5
- Ehrlenspiel, K. (2020). Das Wechselspiel zwischen Unbewusstem und Rationalität in der Produktentwicklung. In B. Corves, K. Gericke, K.-H. Grote, A. Lohrengel, M. Löwer, A. Nagarajah et al. (Hrsg.), 18. *Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2020: Nachhaltige Produktentwicklung: KT 2020, Duisburg, 01.-02.10.2020* (S. 1–26). Essen: DuEPublico, University of Duisburg-Essen, Germany.
- Ehrlenspiel, K. & Meerkamm, H. (2013). *Integrierte Produktentwicklung: Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit* (5. Aufl.). München: Carl Hanser Verlag.
- Ellis, G. (2018). So, What Are Cognitive Biases? In G. Ellis (Hrsg.), *Cognitive Biases in Visualizations* (S. 1–10). Cham: Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-95831-6>
- Ericsson, K. A. & Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis. Verbal reports as data* (3. Aufl.). Cambridge: MIT Press.
- Fakultät für Maschinenbau. (2016). *Modulhandbuch BSc Maschinenbau (B.Sc.)* (Fakultät für Maschinenbau, Hrsg.). Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Zugriff am 21.06.2020. Verfügbar unter: https://www.mach.kit.edu/download/BSc-Maschinenbau-Modulhandbuch_SPO_2008_guel-tig_ab_20161001.pdf

- French, A., Taylor, L. K. & Lemke, M. R. (2019). Task analysis. In *Applied Human Factors in Medical Device Design* (Bd. 16, S. 63–81). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816163-0.00006-2>
- Gano, D. L. (2007). *Apollo root cause analysis. A new way of thinking* (3. ed.). Richland Wash.: Apollonian Publ.
- Gericke, K., Bender, B., Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (2021). Grundlagen methodischen Vorgehens in der Produktentwicklung. In B. Bender & K. Gericke (Hrsg.), *Pahl/Beitz Konstruktionslehre* (9. Aufl., Bd. 37, S. 27–55). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57303-7_3
- Gero, J. S. (1990). Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design. *AI Magazine*, 11(4), 26–36. <https://doi.org/10.1609/aimag.v11i4.854>
- Gero, J. S. & Kannengiesser, U. (2004). The situated function–behaviour–structure framework. *Design Studies*, 25(4), 373–391. <https://doi.org/10.1016/j.des-tud.2003.10.010>
- Gero, J. S. & Tang, H.-H. (2001). The differences between retrospective and concurrent protocols in revealing the process-oriented aspects of the design process. *Design Studies*, 22(3), 283–295. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(00\)00030-2](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(00)00030-2)
- Gigerenzer, G. (2018). The Bias Bias in Behavioral Economics. *Review of Behavioral Economics*, 5(3-4), 303–336. <https://doi.org/10.1561/105.00000092>
- Grauberger, P., Wessels, H., Gladysz, B., Bursac, N., Matthiesen, S. & Albers, A. (2019). The contact and channel approach – 20 years of application experience in product engineering. *Journal of Engineering Design*, 81(1), 1–25. <https://doi.org/10.1080/09544828.2019.1699035>
- Günther, J. (1998). *Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozeß. Eine empirische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung von Konstrukteuren aus der Praxis*. Dissertation. Technische Universität München, München.
- Hallihan, G. M., Cheong, H. & Shu, L. H. (2012). Confirmation and Cognitive Bias in Design Cognition. In o.H. (Hrsg.), *Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference* (S. 913–924). o.O.: ASME.

- Hallihan, G. M. & Shu, L. H. (2013). Considering Confirmation Bias in Design and Design Research. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 17(4), 19–35. <https://doi.org/10.3233/jid-2013-0019>
- Haselton, M. G., Nettle, D. & Murray, D. R. (2015). The Evolution of Cognitive Bias. In D. M. Buss (Hrsg.), *The Handbook of Evolutionary Psychology* (2. Aufl., S. 968–987). Hoboken, New Jersey: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119125563.evpsych241>
- Haugen, N. C. (2006). An Empirical Study of Using Planning Poker for User Story Estimation. Proceedings 23-28 July, 2006, Minneapolis, Minnesota. In o.H. (Hrsg.), *Agile conference Proceedings* (S. 23–34). Washington, D.C.: IEEE Computer Society.
- Hess, S., Lohmeyer, Q. & Meboldt, M. (2018). Mobile Eye Tracking in Engineering Design Education. *Design and Technology Education: an International Journal*, 23(2), 86–98.
- Heuer, R. J. (1999). *Psychology of Intelligence Analysis*. Washington, D.C.: Center for the Study of Intelligence.
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H. & van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking. A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford: Oxford University Press.
- Hussin, H., Ahmed, U. & Muhammad, M. (2017). Critical Success Factors of Root Cause Failure Analysis. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(48). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i48/90706>
- IEC 61508-4 (2010). *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*.
- Ishikawa, K. (1997). *Introduction to quality control* (5. print). Tokyo: 3A Corporation.
- Jansson, D. G. & Smith, S. M. (1991). Design fixation. *Design Studies*, 12(1), 3–11. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(91\)90003-F](https://doi.org/10.1016/0142-694X(91)90003-F)
- Johnson-Laird, P. N., Legrenzi, P. & Legrenzi, M. S. (1972). Reasoning and a sense of reality. *British Journal of Psychology*, 63(3), 395–400. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1972.tb01287.x>

- Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and Slow*. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Kahneman, D., Slovic, P. & Tversky, A. (Hrsg.). (2013). *Judgment under Uncertainty*. Cambridge: Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511809477>
- Kaner, S. (2007). *Facilitator's guide to participatory decision-making* (2. Aufl.). San Francisco: Jossey-Bass.
- Kepner, C. H. & Tregoe, B. B. (1997). *The New Rational Manager. An Updated Edition for a New World*. Cork: BookBaby.
- Klayman, J. & Brown, K. (1993). Debias the environment instead of the judge: an alternative approach to reducing error in diagnostic (and other) judgment. *Cognition*, 49(1-2), 97–122. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(93\)90037-V](https://doi.org/10.1016/0010-0277(93)90037-V)
- Klayman, J. & Ha, Y.-w. (1987). Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis testing. *Psychological review*, 94(2), 211–228.
<https://doi.org/10.1037/0033-295X.94.2.211>
- Kokotovich, V. (2008). Problem analysis and thinking tools: an empirical study of non-hierarchical mind mapping. *Design Studies*, 29(1), 49–69.
<https://doi.org/10.1016/j.destud.2007.09.001>
- Krems, J. F. & Zierer, C. (1994). Are experts immune to cognitive bias? Dependence of "confirmation bias" on specialist knowledge. *Zeitschrift fur experimentelle und angewandte Psychologie*, 41(1), 98–115.
- Kruger, C. & Cross, N. (2006). Solution driven versus problem driven design: strategies and outcomes. *Design Studies*, 27(5), 527–548.
<https://doi.org/10.1016/j.destud.2006.01.001>
- Laukkonen, R. E., Kaveladze, B. T., Tangen, J. M. & Schooler, J. W. (2020). The dark side of Eureka: Artificially induced Aha moments make facts feel true. *Cognition*, 196, 104122. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2019.104122>
- Leary, M. R. (1982). Hindsight Distortion and the 1980 Presidential Election. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 8(2), 257–263.
<https://doi.org/10.1177/0146167282082012>

- Lehner, P. E., Adelman, L., Cheikes, B. A. & Brown, M. J. (2008). Confirmation Bias in Complex Analyses. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 38(3), 584–592. <https://doi.org/10.1109/TSMCA.2008.918634>
- Leventhal, L. M., Teasley, B. M., Rohlman, D. S. & Instone, K. (1993). Positive test bias in software testing among professionals: A review. In G. Goos, J. Hartmanis, L. J. Bass, J. Gornostaev & C. Unger (Hrsg.), *Human-Computer Interaction* (Bd. 753, S. 210–218). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Liikkanen, L. A. & Perttula, M. (2009). Exploring problem decomposition in conceptual design among novice designers. *Design Studies*, 30(1), 38–59. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2008.07.003>
- Lindemann, U. (2009). *Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden* (3. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-01423-9>
- Livingston, A. D., Jackson, G. & Priestly, K. (2001). *Root causes analysis: literature review* (WS Atkins Consultants Ltd, Hrsg.). Warrington.
- Lloyd, P., Lawson, B. & Scott, P. (1995). Can concurrent verbalization reveal design cognition? *Design Studies*, 16(2), 237–259. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(94\)00011-2](https://doi.org/10.1016/0142-694X(94)00011-2)
- Lohmeyer, Q. & Meboldt, M. (2016). The Integration of Quantitative Biometric Measures and Experimental Design Research. In P. Cash, T. Stanković & M. Štorga (Hrsg.), *Experimental Design Research* (S. 97–112). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-33781-4_6
- Luchins, A. S. (1942). Mechanization in problem solving: The effect of Einstellung. *Psychological Monographs*, 54(6), 1-95. <https://doi.org/10.1037/h0093502>
- Marewski, J. N., Gaissmaier, W. & Gigerenzer, G. (2010). Good judgments do not require complex cognition. *Cognitive Processing*, 11(2), 103–121. <https://doi.org/10.1007/s10339-009-0337-0>
- Matthiesen, S. (2002). *Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementmodells "Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen" zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer Systeme*. Dissertation. Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe.

- Matthiesen, S. (2021). Gestaltung – Prozess und Methoden. In B. Bender & K. Gericke (Hrsg.), *Pahl/Beitz Konstruktionslehre* (9. Aufl., Bd. 22, S. 397–465). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57303-7_13
- Matthiesen, S., Grauberger, P. & Schrempp, L. (2019). Extended Sequence Modelling in Design Engineering – Gaining and Documenting Knowledge about Embodiment Function Relations with the C&C 2 -Approach. In S. Wartzack, B. Schleich & Gon (Hrsg.), *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19), Delft, 5.-8.8.2019* (S. 1483–1492). Cambridge: Cambridge University Press.
- Matthiesen, S., Grauberger, P., Sturm, C. & Steck, M. (2018). From Reality to Simulation – Using the C&C2-Approach to Support the Modelling of a Dynamic System. In F. Laroche & A. Bernard (Hrsg.), *Procedia CIRP 70* (Bd. 70, S. 475–480). Amsterdam: Elsevier.
- Meboldt, M., Matthiesen, S. & Lohmeyer, Q. (2012). The Dilemma of Managing Iterations in Time-to-market Development Processes. In P. Heisig & J. Clarkson (Hrsg.), *DS 72: Modelling and Management of Engineering Processes - Concepts, Tools and Case Studies* (S. 127–140). Cambridge: University of Cambridge.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- Mohanani, R., Salman, I., Turhan, B., Rodriguez, P. & Ralph, P. (2018). Cognitive Biases in Software Engineering: A Systematic Mapping Study. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 46(12), 1318–1339. <https://doi.org/10.1109/TSE.2018.2877759>
- Morewedge, C. K., Yoon, H., Scopelliti, I., Symborski, C. W., Korris, J. H. & Kassam, K. S. (2015). Debiasing Decisions. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 2(1), 129–140. <https://doi.org/10.1177/2372732215600886>
- Mynatt, C. R., Doherty, M. E. & Tweney, R. D. (1977). Confirmation Bias in a Simulated Research Environment: An Experimental Study of Scientific Inference. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 29(1), 85–95. <https://doi.org/10.1080/00335557743000053>

- Mynatt, C. R., Doherty, M. E. & Tweney, R. D. (1978). Consequences of Confirmation and Disconfirmation in a Simulated Research Environment. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 30(3), 395–406.
<https://doi.org/10.1080/00335557843000007>
- Nickerson, R. S. (1998). Confirmation Bias: A Ubiquitous Phenomenon in Many Guises. *Review of general psychology*, 2(2), 175–220.
<https://doi.org/10.1037/1089-2680.2.2.175>
- Nordfeld, A. A. Z. (2013). The Aspect of the Human Bias in Decision Making within Quality Management Systems and LEAN Theory. *International Journal of Psychological and Behavioral Sciences*, 8(12), 2536–2541.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.2655671>
- Ōno, T. & Bodek, N. (2008). *Toyota production system. Beyond large-scale production* [Reprinted]. New York, NY: Productivity Press.
- Rajic, J., Wilson, D. E. & Pratt, J. (2015). Confirmation Bias in Visual Search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 41(5), 1353–1364. <https://doi.org/10.1037/xhp0000090>
- Reiß, N. (2018). Ansätze zur Steigerung der Methodenakzeptanz in agilen Prozessen der PGE -Produktgenerationsentwicklung. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK – Institut für Produktentwicklung* (Bd. 112). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
<https://doi.org/10.5445/IR/1000084762>
- Rozenblit, L. & Keil, F. (2002). The misunderstood limits of folk science: an illusion of explanatory depth. *Cognitive science*, 26(5), 521–562.
https://doi.org/10.1207/s15516709cog2605_1
- Ruckpaul, A. (2017). Synthese-getriebene Analyse technischer Systeme in der Produktentwicklung – Ein Beitrag zum Messen und Verstehen von Analyseprozessen während der Konstruktion unter Einsatz von Eye Tracking. In A. Albers & S. Matthiesen (Hrsg.), *Forschungsberichte des IPEK – Institut für Produktentwicklung* (Bd. 105). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT).
- Ruckpaul, A., Fürstenhöfer, T. & Matthiesen, S. (2014). Combination of Eye Tracking and Think-Aloud Methods in Engineering Design Research. In J. S. Gero & S. Hanna (Hrsg.), *Design Computing and Cognition '14, London*, 23.-24.04.2014 (S. 81–97). Cham: Springer International Publishing.

- Ruckpaul, A., Kriltz, A. & Matthiesen, S. (2014). Using Eye Tracking to Understand the Engineering Designers' Behaviour in Synthesis Driven Analyzing Processes - Experiences in Study Design. In M. Meboldt, S. Matthiesen, P. Badke-Schaub & Q. Lohmeyer (Hrsg.), *Analyzing Cognitive Processes During Design: Proceedings of the HBiD 2014, Ascona, 14.-17.10.2014 (74-81)*. Zürich: ETH Zürich.
- Ruckpaul, A., Nelius, T. & Matthiesen, S. (2015). Differences in analysis and interpretation of technical systems by expert and novice engineering designers. In C. Weber, S. Husung, M. Cantamessa, G. Cascini, D. Marjanović & M. Bordogni (Hrsg.), *Proceedings of the 20th International Conference on Engineering Design (ICED 15), Mailand, 27.-30.07.2015 (S. 339–348)*. Glasgow: Design Society.
- Schweizer, M. D. (2005). *Kognitive Täuschungen vor Gericht. Eine empirische Studie*. Dissertation. Universität Zürich, Zürich.
- Simon, H. A. (1990). Invariants of human behavior. *Annual Review of Psychology*, 41(1), 1–20. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.41.020190.000245>
- Smith, R. P. & Tjandra, P. (1998). Experimental observation of iteration in engineering design. *Research in Engineering Design*, 10(2), 107–117. <https://doi.org/10.1007/BF01616691>
- Soman, D., Ainslie, G., Frederick, S., Li, X., Lynch, J., Moreau, P. et al. (2005). The Psychology of Intertemporal Discounting: Why are Distant Events Valued Differently from Proximal Ones? *Marketing Letters*, 16(3-4), 347–360. <https://doi.org/10.1007/s11002-005-5897-x>
- Stacy, W. & MacMillan, J. (1995). Cognitive Bias in Software Engineering. *Communications of the ACM*, 38(6), 57–63. <https://doi.org/10.1145/203241.203256>
- Tanaiutchawoot, N., Bursac, N., Rapp, S. & Albers, A. (2019). Investigating the Influence of the Decoy Effect in Pairwise Comparison in Terms of Idea Selection in the Product Development Process. In S. Wartzack, B. Schleich & Gon (Hrsg.), *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19), Delft, 5.-8.8.2019 (Bd. 1, S. 1195–1204)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tanaiutchawoot, N., Bursac, N., Rapp, S., Albers, A. & Heimicke, J. (2019). NUDGES: an assisted strategy for improving heuristic decision in PGE-Product

- Generation Engineering. *Procedia CIRP*, 84, 820–825.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.294>
- Thaler, R. H. & Sunstein, C. R. (2009). *Nudge. Improving decisions about health, wealth, and happiness*. New York, NY: Penguin.
- Todd, P. M. & Gigerenzer, G. (2000). Précis of Simple heuristics that make us smart. *Behavioral and Brain Sciences*, 23(5), 727–741.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X00003447>
- Tversky, A. & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185(4157), 1124–1131.
- DOE-NE-STD-1004-92 (27.07.2005). *Root Cause Analysis Guidance Document*. Washington: United States. Department of Energy.
- Van den Eeden, C. A. J., Poot, C. J. de & van Koppen, P. J. (2019). The Forensic Confirmation Bias: A Comparison Between Experts and Novices. *Journal of forensic sciences*, 64(1), 120–126. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13817>
- Van Someren, M. W., Barnard, Y. F. & Sandberg, J. A. C. (1994). *The think aloud method. A practical guide to modelling cognitive processes*. London: Academic Press.
- VDI 2206 (2004-06). *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- VDI 3822 (2011-11). *Schadensanalyse - Grundlagen und Durchführung einer Schadensanalyse*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- VDI 2221 Blatt 1 (2019-11). *Entwicklung technischer Produkte und Systeme - Modell der Produktentwicklung*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Wason, P. C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12(3), 129–140.
<https://doi.org/10.1080/17470216008416717>
- Wason, P. C. (1968). Reasoning about a Rule. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20(3), 273–281. <https://doi.org/10.1080/14640746808400161>
- Werdich, M. (2011). *FMEA - Einführung und Moderation. Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld)*

(1. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-8348-9951-4>

Wolf, J., Hess, S., Meboldt, M., Lohmeyer, Q. & Bachmann, D. (2018). Automating areas of interest analysis in mobile eye tracking experiments based on machine learning. *Journal of Eye Movement Research*, 11(6), 1–11. <https://doi.org/10.16910/jemr.11.6.6>

Wynn, D. C. & Eckert, C. M. (2017). Perspectives on iteration in design and development. *Research in Engineering Design*, 28(2), 153–184. <https://doi.org/10.1007/s00163-016-0226-3>

Xing, L. & Amari, S. V. (2008). Fault Tree Analysis. In K. B. Misra (Hrsg.), *Handbook of Performability Engineering* (Bd. 49, S. 595–620). London: Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84800-131-2>

Zimmerer, C., Nelius, T. & Matthesen, S. (2021). Investigation on the influence of the Aha-effect on analysis. In o.H. (Hrsg.), *DS 109: Proceedings of the Design Society: 23rd International Conference on Engineering Design (ICED21)*. o.O.: o.V.

Studentische Abschlussarbeiten, die im Kontext dieser Dissertation am IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) vom Autor co-betreut wurden:

Garrelts, E. E. (2016). *Entwicklung und Messung von Zielgrößen der Gestaltanalyse von Ingenieuren bei Konstruktionsprozessen*. Unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Gutmann, T. (2016). *Aufbau und Durchführung einer Eye-Tracking-Studie zur Untersuchung der Vorgehensweise von Ingenieuren bei der Analyse technischer Systeme*. Unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Hergl, M. (2019). *Entwicklung eines methodischen Ansatzes zur Verminderung des Bestätigungsfehlers in der Produktentwicklung*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Maul, N. (2017). *Entwicklung eines methodischen Ansatzes zur Analyse technischer Systeme*. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Zimmerer, C. (2019). *Untersuchung der Vorgehensweise von Konstrukteuren an praxisnahen Aufgabenstellungen mittels Eye-Tracking*. Unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Des Weiteren wird auf nachfolgende studentische Arbeiten referenziert, die nicht durch den Autor dieser Arbeit co-betreut wurden:

Rader, S. (2014). *Untersuchungen zu Vorgehensweisen von Ingenieuren mit Eye-Tracking und weiteren empirischen Methoden*. Unveröffentlichte Masterarbeit. Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe.

Vorveröffentlichungen, die unter Mitautorenschaft des Autors dieser Arbeit entstanden sind:

Matthiesen, S. & Nelius, T. (2018a). Eye tracking study on successful micro-strategies by design engineers for the synthesis-driven analysis of technical systems. In I. Horváth, J. P. Suárez Rivero & P. M. Hernández Castellano (Hrsg.), *Proceedings of TMCE 2018, Las Palmas de Gran Canaria, 7.-11.05.2018* (295-303). Delft: TU Delft.

Matthiesen, S. & Nelius, T. (2018b). Managing Assumptions during Analysis - Study on successful Approaches of Design Engineers. In P. Ekströmer, S. Schütte & J. Ölvander (Hrsg.), *DS 91: Proceedings of NordDesign 2018, Linköping, Sweden, 14th - 17th August 2018* (o.S.). Glasgow: The Design Society.

Matthiesen, S., Nelius, T., Pflieger, B. & Gutmann, T. (2017). Studiendesign zur Untersuchung der synthesesgetriebenen Analyse von Konstrukteuren. In D. Krause, K. Paetzold & S. Wartzack (Hrsg.), *DFX 2017: Proceedings of the 28th Symposium Design for X, Bamberg, 4.-5.10.2017* (o.S.). Hamburg: Tutech Verlag.

Nelius, T., Doellken, M., Zimmerer, C. & Matthiesen, S. (2020). The impact of confirmation bias on reasoning and visual attention during analysis in engineering design: An eye tracking study. *Design Studies*, 71, 100963. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2020.100963>

- Nelius, T., Eisenmann, M., Doellken, M., Hergl, M. & Matthiesen, S. (2019). Teaching debiasing approaches - motivating engineering students with reflection. In Y. Eriksson & K. Paetzold (Hrsg.), *Human Behaviour in Design - Proceedings of the 2nd SIG conference April 2019, Tutzing* (S. 35–46). Neubiberg: Universitätsbibliothek der Universität der Bundeswehr München.
- Nelius, T., Eisenmann, M., Grauberger, P. & Matthiesen, S. (2021a). Tatort Technik (Teil 1) – Herausforderungen bei der Problemanalyse in der Konstruktion/Challenges in the Analysis of Problems in Engineering Design. *Konstruktion*, 73(03), 70–74. <https://doi.org/10.37544/0720-5953-2021-03-70>
- Nelius, T., Eisenmann, M., Grauberger, P. & Matthiesen, S. (2021b). Tatort Technik (Teil 2) – Unterstützung bei der Problemanalyse in der Konstruktion mit der Design-ACH-Methode/Support for Problem Analysis in Engineering Design – the Design-ACH Method. *Konstruktion*, 73(04), 70–74. <https://doi.org/10.37544/0720-5953-2021-04-70>
- Nelius, T. & Matthiesen, S. (2019). Experimental Evaluation of a Debiasing Method for Analysis in Engineering Design. In S. Wartzack, B. Schleich & Gon (Hrsg.), *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19), Delft, 5.-8.8.2019* (S. 489–498). Cambridge: Cambridge University Press.

Glossar

Begriff	Definition
Area of Interest (AOI)	AOIs beschreiben Bereiche auf dem Untersuchungsgegenstand, der von Forschern als interessant definiert wurde und für den eine Auswertung an Eye-Tracking Metriken stattfinden soll.
Confirmation Bias	Der Confirmation Bias beschreibt die menschliche Neigung Informationen zu suchen und so zu interpretieren, dass sie die eigene Ansicht bestätigen (Nickerson, 1998).
Diagnostischer Wert	Der diagnostische Wert (oder auch Beweiskraft) eines Indizes beschreibt, wie viel häufiger/seltener das Indiz beim Zutreffen einer Hypothese auftritt als beim Nichtzutreffen der Hypothese (Schweizer, 2005).
Fixation	Zeitraum, in dem das Auge zum betrachteten Objekt (Stimulus) nahezu stillsteht (Holmqvist et al., 2011).
Intelligence Analysis	Intelligence Analysis beschreibt im Englischen den Prozess, um aus vorhandenen Information Bedeutung zu entwickeln, wie dies bei Nachrichtendiensten und Polizeibehörden der Fall ist.
Interpretation Error	Objektiv widerlegende Indizien werden als bestätigende Indizien fehlinterpretiert (Lehner et al., 2008).
Projection Error	Informationen, die aus objektiver Sicht keine Aussage zur Vermutung zulassen, werden als bestätigende Indizien fehlinterpretiert (Lehner et al., 2008).
Sakkade	Eine Sakkade beschreibt die schnelle Bewegung des Auges (30-80 ms) zwischen zwei Fixationen. Während einer Sakkade können keine Informationen aufgenommen werden (Holmqvist et al., 2011).
Systematische Denkfehler (engl. Cognitive Bias)	Systematische Denkfehler sind Fehler des menschlichen Denkens, die zuverlässig auftreten und zu einem

verzerrten Abbild der Realität führen (Haselton et al., 2015).

Total Fixation Duration (TFD) Die TFD bezeichnet die aufsummierte Dauer der einzelnen Fixationen auf einem AOI.

Weighting Error Beim Weighting Error wird zwar die Richtung des Indizes korrekt erkannt, jedoch wird die Stärke der Aussagekraft in Richtung Bestätigung der eigenen Ansicht verschoben. Stark widerlegende Indizien werden als schwach widerlegend wahrgenommen und schwach bestätigende Indizien als stark bestätigend für die eigene Vermutung (Lehner et al., 2008).

Anhang

Einfluss des Confirmation Bias auf Studierende und Konstrukteure

In Kapitel 5.2.2.2 sind die Interpretationen von Indizien der Probanden für Studierende und Konstrukteure gemeinsam dargestellt. In Abbildung A.1 sind diese Ergebnisse für die Studierenden ($n=12$) dargestellt. In Abbildung A.2 sind die Ergebnisse für die Konstrukteure ($n=8$) dargestellt.

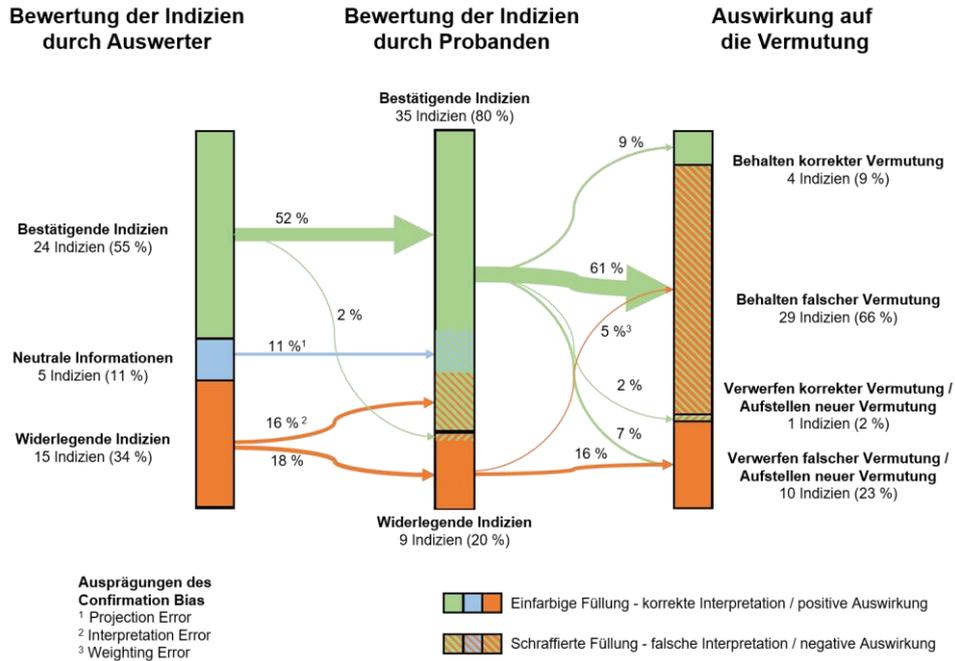


Abbildung A.1: Interpretation von Indizien durch die Probanden und die Auswirkung auf das Verfolgen von Vermutungen von Studierenden

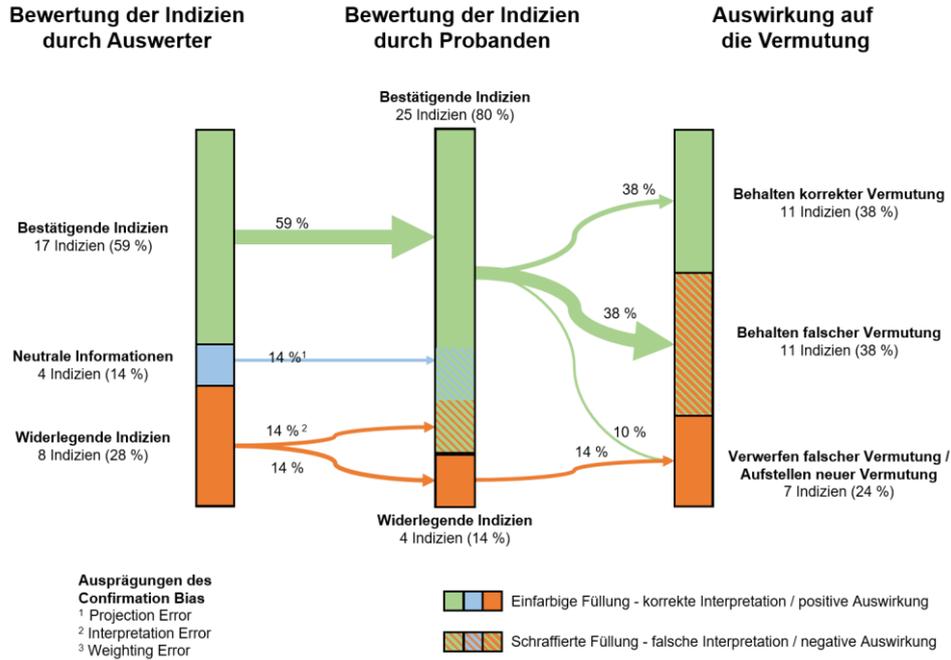


Abbildung A.2: Interpretation von Indizien durch die Probanden und die Auswirkung auf das Verfolgen von Vermutungen von Konstrukteuren