

DIAGONAL

Zum Thema: Fehler

Zeitschrift der Universität Siegen

Diagonal. Zeitschrift der Universität Siegen

Redaktion

Diagonal. Zeitschrift der Universität Siegen, Ansprechpartner: Univ.-Prof. Dr. Volker Stein
c/o Universität Siegen, Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Personalmanagement und
Organisation, Unteres Schloß 3, D-57072 Siegen

E-Mail: volker.stein@uni-siegen.de Internet: <http://www.pmg.uni-siegen.de>

Verantw. i. S. des niedersächs. Pressegesetzes: Univ.-Prof. Dr. Gero Hoch, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hildegard
Schröteler-von Brandt, Univ.-Prof. Dr. Angela Schwarz, Univ.-Prof. Dr. Volker Stein

Bezugsbedingungen

Erscheinungsweise: einmal jährlich

Abo print: Jahrgang € 8 [D] / € 9 [A]; e-only: Jahrgang Institutionenpreis ab € 36 [D] / € 37,10 [A]

Einzelheft: € 15 [D] / € 16 [A]; E-Heft: € 11,99

Erhältlich in Ihrer Buchhandlung oder bei Brockhaus Commission, Kreidlerstr. 9, D-70806 Kornwestheim,

Tel.: 0049 07154/1327-0, Fax: -13, v-r@brocom.de

Ein Abonnement verlängert sich automatisch um ein Jahr, wenn die Kündigung nicht zum 1. Oktober
erfolgt ist.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

© 2019, V&R unipress GmbH, Robert-Bosch-Breite 6, D-37079 Göttingen

Tel.: 0049 551 5084-308, Fax: -333, www.vandenhoeck-ruprecht-verlage.com, info-unipress@v-r.de

Alle Rechte vorbehalten. Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt.

Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen
schriftlichen Einwilligung des Verlages.

Druck und Bindung: CPI books GmbH, Birkstraße 10, D-25917 Leck

Printed in the EU.

ISSN 0938-7161

ISBN 978-3-8471-0998-3

ISBN 978-3-8470-0998-6 (E-Book)

ISBN 978-3-7370-0998-0 (E-Library)



unipress

DIAGONAL
Zeitschrift der Universität Siegen

Jahrgang 2019

Herausgegeben vom Rektor der Universität Siegen

Gero Hoch / Hildegard Schröteler-von Brandt /
Angela Schwarz / Volker Stein (Hg.)

Fehler

Mit 21 Abbildungen

V&R unipress

Inhalt

Gero Hoch / Hildegard Schröteler-von Brandt / Angela Schwarz / Volker Stein Keine Angst vor Fehlern! Eine Einführung	7
Ulrich Seidenberg Fehler, Fehlerkulturen und Qualität	11
Nicolas Mues / Karoline Braun / Carolin Uebach / Lisa Völkel Der Umgang mit Fehlern in Organisationen – eine fallbasierte Analyse .	37
Arnd Wiedemann / Patrick Hertrampf Fehler im Anlegerschutz – Der Fall »Wolf of Wall Street« im Spiegel unserer Zeit	61
Marius Albers Lügen als Fehler in der (sprachlichen) Kommunikation?	79
Jannik Müller Fingierte Fehler. Simulierte Wirklichkeiten, technische Störungen und inszenierte Outtakes in den Computeranimationsfilmen von Pixar	93
Jörg M. Wills Leonardo da Vinci: Fehler oder Absicht?	107
Thorsten Raasch Numerische Fehleranalyse	115
Markus Kötter Fremdsprachliche Fehler in Schule und Hochschule am Beispiel des Englischen	125

Sonja Hensel	
Der Rechtschreibfehler – zwischen »Deppenapostroph« und konstruktiver Fehlschreibung	143
Pia Winkel	
»Es heißt <i>gegenüber dem Rathaus</i> , nicht <i>gegenüber des Rathauses</i> « – Der Genitiv nach <i>gegenüber</i> : Fehler oder Fortschritt?	155
Carolyn Baumann / Viktória Dabóczy	
Kein Fehler! – Grammatische Zweifelsfälle als Ausdruck sprachlicher Kompetenz	169
Gustav Bergmann	
Fähler. Ein Versuch über Fehler, Irrwege, Makel und Scheitern – und was mensch daraus lernen kann	191
Astrid Bremer	
Neue urbane Quartiere – Ausdruck einer verfehlten Wachstumspolitik?	211
Jörg Potthast	
Fehlermeldungen und Elitenversagen am Beispiel des Öffentlichen Verkehrs	221
Monika Jarosch	
Vom Fehler zur Abweichung – zum Generationenwechsel in der Beschreibung der Genauigkeit	245

Keine Angst vor Fehlern! Eine Einführung

Fehlern kommt eine auch aus wissenschaftlicher Perspektive herausragende Rolle im menschlichen Schaffen zu, denn wie würden wir ohne Fehler wissen, woran wir zu arbeiten haben oder was verbessert werden muss (George 2007, S. 154). Fehler sind daher als Auslöser von Lernprozessen erwünscht. Andererseits markieren sie eine Zielverfehlung und können unerwünscht oder gar gefährlich sein.

Insofern kann der Fehlerbegriff vielseitig interpretiert und bewertet werden: von der falschen Handlung in Bezug auf das angestrebte Ziel bis zum erwünschten Effekt zur schrittweisen Erreichung desselben im Sinne eines Lernens aus Fehlern. Das eine gilt als eher negativ und zufällig im Sinne eines Fehlgriffs oder Lapsus und ist unter Umständen mit einer Dummheit konnotiert, das andere eher als positiv und systematisch, idealerweise als ein Lernprozess im Sinne von Versuch und Irrtum.

Die Vernunft gebietet, Fehler klein zu halten, also sogenannte kapitale Fehler mit entsprechenden Folgen zu vermeiden, mindestens aber aus Fehlern zu lernen, an ihnen zu wachsen, sich weiterzuentwickeln. Fehler gehören offensichtlich zum Leben – und damit auch zum Forschungsleben. Forschung kann von Fehlern nicht nur betroffen sein, sondern sie macht Fehlerarten, Fehleranalyse, Fehlervermeidung und Fehlerbereinigung in ihren Fachgebieten aktiv zum Forschungsgegenstand und nutzt auftretende Fehler kreativ zur Innovation.

* Univ.-Prof. Dr. Gero Hoch, Universität Siegen, Fakultät III (Wirtschaftswissenschaften – Wirtschaftsinformatik – Wirtschaftsrecht), vormals Lehrstuhl für Unternehmensrechnung.
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hildegard Schröteler-von Brandt, Universität Siegen, Fakultät II (Bildung – Architektur – Künste), Department Architektur, Stadtplanung und Planungsgeschichte.
Univ.-Prof. Dr. Angela Schwarz, Universität Siegen, Fakultät I (Philosophische Fakultät), Geschichte – Neuere und Neueste Geschichte.
Univ.-Prof. Dr. Volker Stein, Universität Siegen, Fakultät III (Wirtschaftswissenschaften – Wirtschaftsinformatik – Wirtschaftsrecht), Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre, insb. Personalmanagement und Organisation.

Greift man sich exemplarisch ein Gebiet kapitaler Fehler heraus, so landet man in der Betriebswirtschaftslehre schnell bei der Insolvenz: Unternehmen können scheitern, nicht selten nach langem, erfolgreichem Wirken am Markt. Interessant und lehrreich wird die Suche nach den Gründen hierfür. Aus tausenden von Insolvenzakten lassen sich empirisch Erkenntnisse ableiten. Ein wichtiges Ergebnis dabei ist – und das gilt sicher nicht nur in der Insolvenzforschung –, dass es (fast) immer mehrere Fehler sind, die ein Scheitern bedingen: Man identifiziert drei bis vier Ursachen (Heuer/Hils/Richter 2006, S. 11). Als besonders häufige Insolvenzgründe wurden starke strategische, führungsbezogene Mängel wie das starre Festhalten an veralteten Konzepten sowie das Fehlen von Controlling, Kostenrechnung und Unternehmensplanung ermittelt, zudem Finanzierungsfehler wie mangelndes Eigenkapital und fehlende Rücklagen sowie ein autoritärer Führungsstil nebst Kommunikationsfehlern (Staab 2015). Was man hieraus lernt? Sicherlich zunächst, dass Fehler, so bekannt sie auch sein mögen, immer wieder begangen werden. Dies geschieht in der Regel nicht aus Fahrlässigkeit, sondern mit der Eigenwahrnehmung der Handelnden, alles richtig machen zu wollen und dann auch richtig zu machen. Darüber hinaus aber auch, dass man aus eigenen sowie von anderen begangenen Fehlern lernen kann (z. B. Mandl 2017) – hoffentlich!

Dies führt zum einen zu der Frage, warum eine systematische Fehlersuche in Bezug auf das eigene Verhalten so schwierig ist, dass es häufig ganz unterbleibt. Zum anderen sensibilisiert dies für die Tatsache, dass der subjektiven Einschätzung von »falsch« und »richtig« eine enorme Bedeutung zukommt. Denn der Definition des Fehlerhaften wird stets ein Normenkatalog zugrunde gelegt, der allerdings keineswegs statisch ist, nicht einmal in der Ethik. Was in einer historischen Situation als falsch galt, konnte in einer anderen als richtig aufgefasst werden: Fehler haben also eine zeitliche Dimension. So können sich zum Beispiel Planungsprojekte, die mit einem großen Enthusiasmus und entsprechend den herrschenden gesellschaftlichen Leitbildern entwickelt wurden, im Nachhinein als Fehler erweisen. Ein Beispiel hierfür ist die im 20. Jahrhundert im Zuge des Fordismus propagierte rationalisierte und industrialisierte Wohnungsbauerstellung (Ronneburger 1999; Bernhardt/Vonau 2009): Im historischen Kontext wurden die Projekte als eine Antwort auf die drängende Lösung der Wohnungsfrage angesehen, heutzutage stellen sie sich als Fehler mit entsprechenden Vermarktungsproblemen dar.

In der historischen Betrachtung liegt daher in dem Bemühen um Rekonstruktion und Verständnis einer vergangenen Sachlage ein Schwerpunkt auf der jeweiligen Definition von Fehler und damit auf den Wertmaßstäben der historischen Akteurinnen und Akteure in ihrer jeweiligen Situation, während die Beurteilung des Geschehens aus Sicht späterer Historikergenerationen und ihrer aktuellen Zuordnungen von falsch und richtig in der wissenschaftlichen Analyse

keine Rolle spielen sollte. In der populären Betrachtung, wie aktuelle Rankingshows und Webseiten mit den größten Irrtümern zeigen, kommt es in erster Line darauf an, die folgenschwersten und sensationellsten Fehler zum Gegenstand zu machen (z. B. Romanillos 2015). Demungeachtet war und ist bis heute in der Geschichte und der Geschichtsschreibung von Fehlern als diskursleitender Kategorie praktisch zu jeder Zeit und überall die Rede. So fassten im späten 15. Jahrhundert die meisten Menschen die Existenz eines amerikanischen Kontinents als eine fehlerhafte Annahme auf, bis Christoph Kolumbus, unter der fehlerhaften Annahme übrigens, ein völlig anderes Land zu erreichen, mit seinen drei Schiffen auf die dem Doppelkontinent vorgelagerten Inseln stieß und die systematische Erforschung und Aneignung der Region initiierte. Ganz nebenbei: Die bis heute verbreitete Behauptung, die Menschen jener Epoche hätten sich die Erde irrigerweise noch als eine Scheibe vorgestellt, zählt zu den hartnäckigsten Irrtümern der Geschichte.

An dieser Stelle wird offensichtlich, dass man in das sprichwörtliche Wespennest »Fehler« nur an wenigen Stellen und ganz harmlos hineinstecken muss, um bereits eine Vielzahl von Fragen zu provozieren, von denen einige für die Betroffenen durchaus schmerzhaft werden können – sowohl, wenn sie gestellt werden, als auch, wenn sie beantwortet werden.

Es liegt daher nahe, dem Umgang mit Fehlern in diesem Band aus vielen unterschiedlichen Fachdisziplinen und individuellen Perspektiven heraus Aufmerksamkeit zu widmen. Es wäre verwunderlich, wenn man nicht über die Fächergrenzen hinweg voneinander lernen könnte, welche Risiken und welche Potenziale Fehler aufweisen, vielleicht sogar mehr noch, wann etwas aus welchen Gründen als Fehler definiert wurde und wird und wann eben nicht. Und es ist gerade der Anspruch der Siegener Universitäts-Jahreszeitschrift DIAGONAL, den interdisziplinären Wissenstransfer anzuregen. Sie kann hierfür auf den reichhaltigen Erfahrungsschatz ihrer Forscherinnen und Forscher unterschiedlicher Couleur zurückgreifen.

Das sich ergebende Spektrum des Fehlerbegriffs sowie der Erkenntnisinteressen bezüglich Fehlern ist breit. So haben Fehler in Kunst und Ästhetik aufgrund schwer objektivierbarer Urteile einen besonderen forschungsbezogenen Reiz. Im Miteinander von Individuen, Gruppen und Gesellschaften mit ihren verbundenen Eigendynamiken stellen Fehler eine Herausforderung für damit Befasste dar. Dynamische Kontexte werfen in den Wirtschaftswissenschaften Fragen zu Fehlentscheidungen oder der Sinnhaftigkeit von Null-Fehler-Strategien auf, ebenso in den Ingenieurwissenschaften in Bezug auf Konstruktionsfehler und in den Politikwissenschaften im Hinblick auf politische Fehlurteile. In den Rechtswissenschaften sind Verfahrensfehler schon eindeutiger identifizierbar, und in der Mathematik können Rundungsfehler tolerierte Abweichungen darstellen.

Als weites Feld erscheint die Fehleranalyse, bei der man nicht nur im Rahmen einer Abweichungsanalyse mögliche Fehler erster und zweiter Art unterscheiden kann, sondern auch Planungs-, Realisations- und Auswertungsfehler kennt. Besonders konfrontiert wird die Öffentlichkeit mit wenig reversiblen Planungs- und Baufehlern, die über lange Zeiträume hinweg ihre umweltprägende Wirkung zeigen.

Überall da, wo es um menschliches Handeln geht, spielt auch immer der Irrtum, das Fehlerhafte eine Rolle. Unter den vielfältigen literarischen Umsetzungen findet sich etwa die augenzwinkernde Bemerkung von Oscar Wilde, dass Erfahrung der Name sei, den man seinen Fehlern gebe. Lernen aus Fehlern scheint also eine zentrale Rolle zu spielen. Henry Ford formulierte in diesem Sinne »Suche nicht nach Fehlern, suche nach Lösungen« (aus George 2007, S. 83). Der römische Philosoph Seneca hat es auf den Punkt gebracht: »Irren ist menschlich, im Fehler aber beharren teuflisch«.

Den Herausgeberinnen und Herausgebern ist bewusst, dass sich dieser 40. Band von DIAGONAL in der Tradition der Publikation nur auf ausgewählte Problemfelder der Thematik beschränken kann. Dennoch bieten die Beiträge Anregungen vielerlei Art und insofern erscheint das Versprechen von Lesegegnuss nicht übertrieben.

Literatur

- Bernhardt, Christoph/Vonau, Elsa (2009): Zwischen Fordismus und Sozialreform. Rationalisierungsstrategien im deutschen und französischen Wohnungsbau 1900–1933. *Zeithistorische Forschungen/Studies in Contemporary History* 6 (2), S. 230–254.
- George, Norman (2007): Die perfekten englischen Zitate von Jane Austen bis Oscar Wilde. Wiesbaden.
- Heuer, Jan/Hils, Sylvia/Richter, Anika (2006): Insolvenzzursachen und Insolvenzprophylaxe. Ergebnisse einer Befragung von Geschäftsführern insolventer Unternehmen im Auftrag der Seghorn Inkasso GmbH. https://www.seghorn.de/fileadmin/img/Publikationen/Studie_Insolvenzzursachen_01.pdf (zuletzt abgerufen am 05.08.2019).
- Mandl, Christoph (2017): Vom Fehler zum Erfolg. Effektives Failure Management für Innovation und Corporate Entrepreneurship. Wiesbaden.
- Prause, Gerhard (1998): Niemand hat Kolumbus ausgelacht. Populäre Irrtümer der Geschichte richtiggestellt. München.
- Romanillos, Pere (2015): Die großen Irrtümer der Menschheit. Darmstadt.
- Ronneburger, Klaus (1999): Biomacht und Hygiene. Normalisierung im fordistischen Wohnungsbau. In: Prigge, Walter (Hrsg.), Ernst Neufert. Normierte Baukultur im 20. Jahrhundert. Frankfurt am Main, S. 432–465.
- Staab, Jürgen (2015): Die 7 häufigsten Insolvenzgründe erkennen und vermeiden. Wiesbaden.

Fehler, Fehlerkulturen und Qualität

1. Intuitive Annäherung an den Fehlerbegriff

Menschen *machen* oder *begehen* Fehler. Insofern wird mit dem Begriff »Fehler« das Ergebnis eines Tuns oder dieses Tun selbst bezeichnet, wobei ein Unterlassen als Fehlen eines adäquaten Tuns (z. B. Vergessen) eingeschlossen ist. Der Ausdruck »begehen« ist hier, worauf auch seine Verwendung im Zusammenhang mit Straftaten hindeutet, negativ konnotiert. Menschliche Fehler scheinen demnach an negativ zu bewertende Handlungen oder Entscheidungen gebunden zu sein. Da das Merkmal der »Negativität« andere menschliche Handlungen, wie Fälschungen oder Sabotage, ebenfalls aufweisen, muss das Fehlermachen noch etwas anderes auszeichnen: die fehlende Absicht (so schon Weimer 1925, S. 1), den negativ bewerteten Effekt herbeizuführen.

Objekte materieller Art, zum Beispiel technische Geräte und ihre Bestandteile, und immaterieller Art wie etwa Software können Fehler *haben*, *besitzen* oder *aufweisen*. (Die Unterscheidung zwischen *Fehler machen* und *Fehler haben* ist bereits bei Weimer 1925, S. 1, zu finden.) Der Sprachgebrauch bildet ab, dass sich der Fehler vom handelnden Subjekt und den Begleitumständen gelöst hat und zu einer Eigenschaft des Objekts wird. »Fehlerhaft« oder »fehlerbehaftet« können somit zwar eine menschliche Leistung und der davon beeinträchtigte Gegenstand sein, nicht jedoch die Person, die die Fehlleistung erbracht und dadurch den Objektfehler verursacht hat.

Dass die Zuordnung eines Fehlers zu den beiden Kategorien »machen« und »haben« nicht immer eindeutig ist, demonstriert der Fehlercode »Error 404 Not Found«, den jede Internet-Nutzerin und jeder Internet-Nutzer kennt. Habe ich selbst etwas falsch gemacht, mich etwa beim manuellen Eingeben der URL-Zeile vertippt, oder ist die angeforderte Seite nach dem letzten Update nicht wieder

* Univ.-Prof. Dr. Ulrich Seidenberg, Universität Siegen, Fakultät III (Wirtschaftswissenschaften – Wirtschaftsinformatik – Wirtschaftsrecht), Professur für Betriebswirtschaftslehre, insb. Produktions- und Logistikmanagement.

veröffentlicht worden (hat die Website einen Fehler)? Im Einzelfall, etwa bei Flugzeugunfällen, kann die Identifikation der Fehlerursache(n) – Crew (»machen«), Technik (»haben«), Kombination (»machen und haben«) – aufgrund der Komplexität der Situation extrem schwierig sein. Dekker (2014, S. 73, 75) hält die Unterscheidung von menschlichem und technischen Versagen grundsätzlich für nicht haltbar, da die Grenzen zwischen beiden Kategorien bei intensiver Ursachenanalyse seiner Meinung nach verschwimmen.

Im Zusammenhang mit Krankheiten oder negativ bewerteten Charaktereigenschaften von Menschen wird ebenfalls von Fehlern gesprochen. Jemand *hat* zum Beispiel einen angeborenen Herzfehler oder einen »Charakterfehler«. In diesen Fällen stehen von normativen Vorstellungen abweichende Eigenschaften des Menschen im Vordergrund, das heißt der Mensch wird hier nicht als Fehlersubjekt, sondern -objekt gesehen. Einem Arzt hingegen mag ein »Kunstfehler« *unterlaufen*, wobei dieser Begriff insinuiert, dass der Fehler sich quasi verselbständigt hat (was wohl zugleich die Verantwortung des Arztes für den Fehler relativiert).

Von Fehlern, die unterlaufen, ist es nicht weit zu Fehlern, die *auftreten* oder einfach *passieren*. Handelnde und verantwortliche Menschen oder Institutionen sind scheinbar nicht identifizierbar, der Fehler selbst scheint die Rolle des handelnden Subjekts eingenommen zu haben. Die metaphorische Sprechweise vom Fehler, der passiert, verstellt allerdings leicht den Blick dafür, dass ein Fehler eine oder mehrere Ursachen haben muss, die, verfolgt man sie zurück bis zum Beginn der Ursache-Wirkungs-Kette, in der Regel auf einer Kombination menschlicher Unzulänglichkeiten basieren (zumeist nicht einer einzigen Person und auch nicht unbedingt in Form eines Fehlers).

Lassen sich Fehler *abstellen* oder *korrigieren*, verlieren sie ihren negativen Charakter, indem sie neutralisiert werden. Darüber hinaus eröffnen Fehler auf der Basis von Ursachenforschung die Chance zu Lern- und Verbesserungsprozessen und erweisen sich damit sogar als Motor des Fortschritts, indem Fehler nachhaltig *vermieden* werden können.

Mit dem Fehler eng verwandt ist der Irrtum, in dem sich ein Mensch befinden kann (Weimer 1925, S. 2). Dabei handelt es sich um einen mentalen *Zustand*, »ein Fürwahrhalten des Falschen, das bedingt ist durch die Unkenntnis gewisser Tatsachen, die für die richtige Erkenntnis von wesentlicher Bedeutung sind« (Weimer 1925, S. 5). Nicht nur *fehlendes* Wissen (auf fehlende Informationen stellt z. B. auch Wehner 2018, S. 51, ab), sondern auch – in Bezug auf einen Zweck, etwa eine Aufgabenstellung – inadäquates Fakten- oder Methodenwissen bilden die Grundlage für Irrtümer (Grams 2001, S. 135, 137). Allgemein liegen Irrtümern Informationsmängel zugrunde: »Irrtümer drohen, wenn mentales Modell und Wirklichkeit nicht zusammenpassen« (Grams 2001, S. 102).

Aus einem Irrtum resultieren nicht zwingend Fehler, sondern nur dann, wenn der Irrtum handlungsleitend wirkt. Daraus folgt, dass die Existenz von Irrtümern keine hinreichende Bedingung für das Begehen von Fehlern ist. So kann jemand an die Realisierbarkeit eines Perpetuum mobile glauben, ohne dass dies irgendwelche negativen Konsequenzen hätte. Sollte sich diese Person jedoch entscheiden, finanzielle Mittel für ein Projekt zu opfern mit dem Ziel, die Funktionsfähigkeit eines Perpetuum mobile nachzuweisen, dann führt der Irrtum zu einer Fehlentscheidung. In einem solchen Fall geht der Irrtum dem Fehler nicht nur zeitlich voraus, sondern verursacht diesen oder begünstigt ihn zumindest (fehlerbewirkender oder vorlaufender Irrtum).

Da Fehler auch andere Ursachen als Irrtümer haben können, stellt ein Irrtum keine notwendige Bedingung für das Auftreten von Fehlern dar. Blinkt beispielsweise ein Autofahrer oder eine Autofahrerin links und biegt nach rechts ab, so kann die Fehlhandlung auf Unachtsamkeit, Überforderung, Ablenkung oder Ähnlichem beruhen. Es kommt vor, dass wir uns in Bezug auf einen begangenen Fehler irren und absolut davon überzeugt sind, alles richtig gemacht zu haben. In diesen Fällen folgt ein Irrtum zeitlich dem Fehler und beinhaltet eine unzutreffende Information über den Fehler, zum Beispiel eine kontrafaktische, unser Handeln nicht selten rechtfertigende Interpretation (fehlerexplizierender oder nachlaufender Irrtum).

Gelingt es uns selbst und auch mit der Hilfe anderer nicht, einen fehlerbewirkenden Irrtum aufzuklären, stellt dieser eine systematische Fehlerquelle dar, und die Wahrscheinlichkeit für Fehlerwiederholungen ist hoch. Umgekehrt eröffnet die Analyse wiederholt auftretender gleicher oder gleichartiger Fehler die Möglichkeit, den zugrunde liegenden Irrtum zu beseitigen.

2. Fehlerdefinition und -klassifikation im Unternehmenskontext

Im Folgenden wird der Fehlerbegriff für die Anwendung in Unternehmen präzisiert und operationalisiert, wobei der Schwerpunkt auf der Entwicklung und Herstellung materieller und immaterieller Produkte liegt. Ein einheitliches Begriffsverständnis kann in diesem Zusammenhang nicht erwartet werden, da in Bezug auf Produktionsprozesse verschiedene Sichtweisen auf Fehler von Bedeutung sind. Es gehört zu den Managementaufgaben, technische, ergonomische, statistische, betriebswirtschaftliche, juristische und psychologische Fehlerperspektiven zu integrieren.

Drei fehlerbezogene Themenkreise stehen in den folgenden Ausführungen im Vordergrund: erstens handlungsbezogene Fehler, das heißt Fehlhandlungen des arbeitenden Menschen, zweitens objektbezogene Fehler und drittens der Einfluss handlungs- und objektbezogener Fehler auf die Produktqualität. Da Fehl-

handlungen im Unternehmen in einem organisatorischen und sozio-technischen Umfeld stattfinden, müsste eine Betrachtung, die auf die Ebene des handelnden Mitarbeiters beschränkt bleibt, zu kurz greifen. Insbesondere die fehlerbegünstigenden Bedingungen im Zusammenwirken von Mensch und Maschine (Mensch-Maschine-Interaktion) stehen hier im Fokus.

2.1 Handlungsbezogene Fehler: Fehlhandlungen des arbeitenden Menschen

Produktionsprozesse vollziehen sich in Produktionssystemen (z. B. Blohm et al. 2016, S. 27). Arbeitssysteme, auch als Mensch-Maschine-Systeme oder soziotechnische Systeme bezeichnet, sind Produktionssysteme, die dadurch gekennzeichnet sind, dass neben den erforderlichen Betriebsmitteln mindestens ein arbeitender Mensch als Element vorhanden ist (z. B. Blohm et al. 2016, S. 117–118). Zum Input eines Arbeitssystems gehören neben den Arbeitsobjekten insbesondere Informationen über die Arbeitsaufgabe, die deren Inhalt (»Was?«), die Hilfsmittel (»Womit?«), den Ablauf (»Wie?«) und den zeitlichen Rahmen (»Wann?« und »Wie lange?«) definieren. Der erforderliche Umfang, Detaillierungs- und Konkretisierungsgrad einer Aufgabenbeschreibung können in Abhängigkeit von der Art der Aufgabe und dem Qualifikationsniveau stark variieren. Die materiellen und/oder immateriellen Arbeitsergebnisse bilden den erwünschten Output und damit auch das Sachziel des Arbeitssystems. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Transformation des Inputs in Output fehlerlos abläuft, ist stets kleiner als 1.

Lfd. Nr.	Definition	Quelle
1	Arbeitsfehler: »Menschliche Handlung, die eine gesetzte Akzeptanzgrenze überschreitet.«	VDI 4006-1 2015, S. 3
2	»Fehler sind eine Abweichung von einem als richtig angesehenen Verhalten oder von einem gewünschten Handlungsziel, das der Handelnde eigentlich hätte ausführen bzw. erreichen können.«	Hofinger 2012, S. 37
3	»Ein Fehler in unserem Sinne ist wertfrei definiert als eine nicht beabsichtigte, oft auch nicht erwartete negative Reaktion auf eine bewusst, [sic] oder unbewusst ausgeführte, [sic] oder unterlassene Maßnahme.«	Rall et al. 2001, S. 324
4	»Errors in the execution of prescribed instructions are analysed in terms of deviations between the operator's action logic and the action logic of the designer of the instructions.«	Herry 1988, S. 239

Tab. 1: Fehlerdefinitionen im Zusammenhang mit menschlicher Arbeit

Auf der Basis der in Tab. 1 vorgestellten Fehlerdefinitionen soll unter einem *Arbeitsfehler ein Verhalten (Handeln, Entscheiden, Unterlassen) des arbeitenden Menschen* verstanden werden, *das die Erreichung der Ziele, die mit dem Arbeitssystem verfolgt werden, unbeabsichtigt beeinträchtigt.*

Zu der hier verwendeten Fehlerdefinition seien folgende Erläuterungen gegeben:

- Ohne die implizite oder explizite Festlegung eines Ziels, anhand dessen die menschlichen Handlungen bewertet werden können, kann nicht von einem Fehler gesprochen werden. Dem arbeitenden Menschen muss mit Beginn der Arbeitsausführung bekannt sein, was (als Arbeitsergebnis und/oder -ablauf etwa in Form einer Vorgabe) von ihm erwartet wird. Nur eine *normative Festlegung*, das heißt eine Definition des »Richtigen« ex ante als Referenz, erlaubt die Feststellung von etwas Falschem ex post. Fehlerdefinitionen, die auf eine Abweichung rekurren (siehe stellvertretend Nr. 2 und 4 in Tab. 1), beinhalten zumindest implizit eine normative Setzung: das »Wovon« der Abweichung.
- Nicht ausdrücklich in der hier verwendeten Definition erwähnt, weil für selbstverständlich erachtet, ist folgende Voraussetzung für das Vorliegen eines Fehlers: Die gesetzten *Ziele* müssen unter den gegebenen Umständen (Qualifikation der Arbeitsperson, verfügbare Hilfsmittel etc.) *erreichbar* sein. Im Fall einer nicht ausführbaren Aufgabe (beispielsweise aufgrund einer zu geringen Vorgabezeit) kann nicht von einem Fehler gesprochen werden: »Sollen impliziert Können« (zur Diskussion dieses Satzes vgl. Albert 1991, S. 91–92).
- Stehen einzelne Ziele des Arbeitssystems in einem *Konkurrenzverhältnis*, existiert etwa ein Trade-off zwischen Schnelligkeit und Sicherheit, so bedarf es einer klaren Anweisung, wie ein solcher Zielkonflikt von der Arbeitsperson aufzulösen ist. Anderenfalls ist jede von der ausführenden Person gewählte Lösung gleich richtig oder gleich falsch. Eine nachträgliche Interpretation als »Fehler«, die unter Verwendung zusätzlicher Informationen zustande kommt, die dem Arbeitenden in der betrachteten Situation nicht zur Verfügung standen, ist weder fair noch sachgerecht (Dekker 2014, S. 30–31).
- Bei komplexen, innovativen Aufgaben, das heißt *schlecht strukturierten Problemen* (z. B. Klein/Scholl 2011, S. 54–56), kann bereits die Zieldefinition unscharf sein, Lösungswege müssen möglicherweise erst gesucht werden und das Resultat ist im Einzelnen nicht prognostizierbar, sodass die Formulierung des »Richtigen« Schwierigkeiten bereitet (ähnlich Hofinger 2012, S. 54). Dieses »Soll« stellt jedoch eine logische Voraussetzung für die Qualifizierung des »Ist« als »Fehler« oder »kein Fehler« dar.

- Eingeschlossen sind nur Handlungen, die in *unbeabsichtigter* Weise die Erreichung der dem Arbeitssystem vorgegebenen Ziele beeinträchtigen, sei es, dass die Handlung unbewusst fehlerhaft ist (bei der Maschinenbedienung dreht die Arbeitsperson ein Stellrad versehentlich nach rechts, obwohl ihr klar war, dass es nach links hätte gedreht werden müssen), sei es, dass die Handlung aufgrund eines fehlerhaften mentalen Modells bewusst so vorgenommen wurde, wie sie vorgenommen wurde (die Arbeitsperson dreht das Stellrad nach rechts, weil sie irrtümlich glaubt, rechts sei die richtige Richtung). Kriminelle Handlungen (Sabotage, Diebstahl, Unterschlagung etc.) und absichtliche Regelverstöße (von 10 Checklistenpunkten werden bewusst nur 8 abgearbeitet) stellen keine Fehler dar (Hagen 2016, S. 316), sondern Probleme, denen mit anderen Maßnahmen als den hier zu besprechenden begegnet werden muss (Rall et al. 2001, S. 324).

Mit Abb. 1 wird ein deskriptives Überblicksmodell der Fehlerentstehung und -wirkung vorgestellt. Es besteht aus den vier Elementen (I) *Fehlerbeeinflussende Faktoren*, (II) der aus den Einflussfaktoren resultierenden *Fehlerhäufigkeit/-wahrscheinlichkeit*, (III) den *tatsächlich aufgetretenen Fehlern* (Fehlerklassifikation) und (IV) den sich ergebenden *Fehlerfolgen*, von denen hier die Auswirkungen auf das Arbeitsergebnis, insbesondere die Produktqualität, interessieren.



Abb. 1: Deskriptives Modell der Fehlerentstehung und -wirkung

2.1.1 Fehlerbeeinflussende Faktoren

Die Kenntnis der Faktoren, die menschliche Fehler begünstigen, ist eine wesentliche Voraussetzung für die Fehlerprophylaxe. Entsprechend den Elementen Mensch und Betriebsmittel (Maschine) des Arbeitssystems lassen sich (1) menschen- und (2) maschinenbezogene Einflussfaktoren unterscheiden. Die Beziehungen (3) zwischen (3.1) Mensch und Maschine einerseits und (3.2) zwischen den involvierten Menschen andererseits (soziale Beziehungen wie die Kommunikation innerhalb des Arbeitssystems sowie über die Systemgrenzen hinweg) bilden eine weitere Gruppe von Einflussfaktoren. Des Weiteren können (4) von der Arbeitsaufgabe und (5) von der Umgebung des Arbeitssystems fehlerbeeinflussende Wirkungen ausgehen. Im Folgenden werden zu den genannten Gruppen von Einflussfaktoren exemplarisch Faktoren aufgezählt, die

die Wahrscheinlichkeit für menschliche Fehler erhöhen (vgl. hierzu etwa Hofinger 2012, S. 55–56; VDI 4006–3 2013, S. 18). Alle Aussagen gelten tendenziell und *ceteris paribus*.

- (1) Menschenbezogene Einflussfaktoren: Aus psychologischer Sicht diskutieren Rascher/Schröder (2017, S. 181–188) fehlerhafte Wahrnehmung (inadäquate Informationsselektion), falsche Schlussfolgerungen (Denkfehler, siehe hierzu auch Dobelli 2011), sozialen Druck (Groupthink), Selbstüberschätzung, Sorglosigkeit und Unterschätzung von Komplexität (»Patentlösungen«) als personenbedingte Gründe für Fehler. Zu den Einflussfaktoren aus der Sphäre des arbeitenden Menschen zählen ferner Ermüdung, negative Lerneffekte (»Entübung«), erhöhte Arbeitsbeanspruchung, geringe Motivation, aus dem Privat- in das Berufsleben hineinwirkende Probleme, Drogen-, Alkohol- und Medikamenteneinfluss, Krankheiten, ein schlechter Ernährungszustand, Zielverschiebung zu persönlichen Zielen, die in Konkurrenz zu den Zielen des Arbeitssystems treten (z. B. »Abkürzungen«, um die gewonnene Zeit als Pause zu nutzen). Insbesondere das letztgenannte Beispiel deutet an, dass im Bereich der personenbezogenen Einflüsse eine Grauzone existiert, die eine scharfe Trennung zwischen Regelverstoß und Fehler erschwert oder sogar verhindert (Rascher/Schröder 2017, S. 189).
- (2) Maschinenbezogene Einflussfaktoren: Beispiele für betriebsmittelbedingte fehlerbegünstigende Faktoren sind veraltete Maschinen oder solche, die sich in einem schlechten Wartungszustand befinden. Daraus resultieren eine geringe Zuverlässigkeit, die Zeitdruck erzeugt, sowie die Schwierigkeit, maschinelle Parameter korrekt einzustellen und konstant zu halten. Hohe Komplexität von Anlagen infolge Verkettung begünstigt die Ausbreitung von Fehlern. Für die Arbeitsaufgabe unzureichendes oder ungeeignetes Werkzeug beeinträchtigt die Qualität des Arbeitsergebnisses unmittelbar.
- (3) Beziehungen:
 - (3.1) Mensch-Maschine-Beziehung: Im Zusammenspiel zwischen Mensch und Maschine wirken eine eingeschränkte Handhabbarkeit, Zugänglichkeit und Bedienbarkeit fehlertreibend. Sind die physischen (Bedien- und Stellteile) und informationellen Schnittstellen (Anzeigen) nicht menschengerecht gestaltet und angeordnet, so sind Bedien- und Ablesefehler programmiert. Ein Overload an Informationen und die Vernachlässigung der Softwareergonomie begünstigen Fehler direkt und indirekt über eine verstärkte Ermüdung (siehe Punkt 1). Fehlende Hilfen und Warnungen im Fall sich abzeichnender Fehlbildungen wirken ebenfalls fehlerbegünstigend. Im Zuge der Digitalisierung und des verstärkten Einsatzes von Assistenzsystemen und cyber-physischen Produktionssystemen muss die Aufgaben- und Rollenverteilung zwischen Mensch und Maschine eindeutig geklärt

sein (Ansari/Seidenberg 2016; Ansari et al. 2018). Ist ein Mensch-Maschine-System beispielsweise so konzipiert, dass dem Menschen eine Überwachungsfunktion in der Weise zukommt, dass er eingreifen muss, wenn die Maschine in außergewöhnlichen Situationen ihre normale, automatisierte Funktion nicht erfüllen kann, der Mensch dem automatisierten Ablauf aber bedingungslos vertraut und möglicherweise bereits verlernt hat, adäquat zu reagieren, dann ist das Versagen des Mensch-Maschine-Systems wahrscheinlich (Sträter 2019, S. 165).

- (3.2) Mensch-Mensch-Beziehung: Im Bereich der sozialen Interaktionen spielen etwa Unklarheiten in der Auftragserteilung, nicht-adressatengerechte Anweisungen oder Kommunikationskanäle (z. B. Pflicht zur Verschriftlichung, obwohl Personen damit Schwierigkeiten haben), mangelnde Arbeitsplanung oder fehlende Kommunikationswege für Rückfragen eine fehlerbegünstigende Rolle.
- (4) Arbeitsaufgabe: Je komplexer und schwieriger eine Aufgabe ist, desto größer ist die Fehleranfälligkeit. Besonders fehlerträchtig ist ein knappes Zeitbudget, womit das Verhältnis von benötigter und zur Verfügung stehender Zeit bezeichnet wird (VDI 4006–1 2015, S. 20). Um eine signifikante Reduktion der Fehlerwahrscheinlichkeit zu erreichen, sollte das Zeitbudget den Wert 0,5 nicht überschreiten (VDI 4006–1 2015, S. 15, 20). Monotonie bei Überwachungsaufgaben stellt wegen der eingeschränkten Vigilanz eine weitere Fehlerquelle dar. Das Tragen von Schutzkleidung kann die Arbeitsschwierigkeit und somit die Fehlerhäufigkeit erhöhen (VDI 4006–1 2015, S. 25). Angaben für Fehlerwahrscheinlichkeiten bei der Aufgabenerfüllung bewegen sich in einem Bereich von einem Promille (für einfache und routinemäßig durchgeführte Aufgaben bei geringem Stress, ausreichender Zeit in gewohnten Situationen ohne Zielkonflikte) bis zu annähernd 1 bei Vorliegen von Kombinationen besonders ungünstiger Bedingungen (VDI 4006–2 2017, S. 30).
- (5) Umgebung des Arbeitssystems: Zu den Fehlertreibern in der Arbeitsumgebung gehören hohe Temperaturen und eine hohe Luftfeuchtigkeit sowie Lärm, die einzeln, aber insbesondere auch in Kombination die Konzentration der Arbeitenden herabsetzen. Eine für die Arbeitsaufgabe unzureichende Beleuchtung, Arbeitszeiten in den Minima des Tageszyklus der physiologischen Leistungsbereitschaft und die mangelnde Umsetzung anthropometrischer Erkenntnisse bei der Arbeitsplatzgestaltung wirken ebenfalls fehlertreibend.

2.1.2 Fehlerwahrscheinlichkeit

Zur Quantifizierung der Wahrscheinlichkeit einer menschlichen Fehlhandlung dient die Größe HEP (Human Error Probability), die als Verhältnis der beobachteten Fehleranzahl n zur Gesamtzahl N an Fehlermöglichkeiten definiert ist: $HEP = n/N$ (VDI 4006–1 2015, S. 10; VDI 4006–2 2017, S. 28). Die menschliche Zuverlässigkeit HRP (Human Reliability Probability) ergibt sich als Komplement der Fehlerwahrscheinlichkeit zu 1: $HRP = 1 - HEP$ (Hofinger 2012, S. 57; VDI 4006–1 2015, S. 11). Problematisch an diesen Kennzahlen ist die unvollständige Kenntnis der Fehlermöglichkeiten. Zur Abschätzung der Größen steht ein umfangreiches Methodenrepertoire zur Verfügung (VDI 4006–2 2017, S. 31–38).

2.1.3 Fehlerklassifikation

Fehlerklassifikationen dienen dazu, eine Antwort auf die Frage zu geben, *welche* Fehler, die sich gedanklich jeweils einer Fehlerkategorie zuordnen lassen, auftreten können oder tatsächlich aufgetreten sind. Damit unterstützen sie sowohl die Fehlerprophylaxe als auch die Fehlerdiagnose. Tab. 2 präsentiert ein (nicht überschneidungsfreies) Klassifikationsschema mit kurzen Erläuterungen.

Fehlermerkmal	Fehlerausprägungen	
<i>Wiederholungscharakteristik</i> (Unterscheidung setzt ein vom Einzelfall abstrahierendes Fehlerverständnis voraus, d. h. die Beantwortung der Frage, wann zwei Fehler als »gleich« anzusehen sind.)	<i>Erstmalig auftretender Fehler</i>	<i>Wiederholungsfehler</i> sollten bei erfolgreichem Lernen aus Fehlern vermieden werden können.
<i>Verfügbarkeit eines Erklärungsmodells</i> (Bubb 2005, S. 361)	<i>Systematische Fehler</i> sind Fehler, für die ein Erklärungsmodell existiert; sie stellen eine Art programmiertes Versagen dar, basieren auf einer nicht als fehlerhaft erkannten Voraussetzung, z. B. einem Irrtum oder einer fehlerhaften Anweisung, Regel etc., sind tendenziell gut prognostizier- und korrigierbar (z. B. Rall et al. 2001, S. 324)	<i>Unsystematische Fehler</i> sind Fehler, für die aktuell kein Erklärungsmodell existiert; sie sind oder erscheinen zufallsbestimmt, kaum prognostizierbar und kaum vermeidbar. Gegenmaßnahmen setzen an der Abschwächung der Fehlerfolgen (Bubb 2005, S. 361; Hofinger 2012, S. 49) an (Redundanzen, fehlertolerante Techniken, Poka Yoke etc.).

(Fortsetzung)

Fehlermerkmal	Fehlerausprägungen		
<i>Organisatorische Ebene der Fehlerentstehung</i> (Reason 2000, S. 769; 2008, S. 173)	<i>Latente Fehler/Fehlerbedingungen</i> (Systemebene) resultieren aus Entscheidungen und Festlegungen des Managements (z. B. Anreiz- und Organisationssystem) und erzeugen fehlerprovozierende Bedingungen am Arbeitsplatz (etwa durch Zeitdruck, ungeeignete Betriebsmittel, unzureichende Arbeitsunterweisung) oder bewirken anhaltende Lücken in der Fehlerabwehr (etwa durch nicht ausführbare Abläufe).		<i>Aktive Fehler</i> (Individual-ebene) sind Handlungen oder Unterlassungen der ausführend Tätigen, die am Ende der Entstehungskette als Konsequenz und in Kombination mit latenten Fehlern auftreten und einen unmittelbaren nicht erwünschten Effekt erzeugen. (Beispiel: Werker an einer Maschine spannt ein Werkstück falsch ein.)
<i>Mentale Ebene der Fehlerentstehung</i> entsprechend dem GEMS (Generic Error Modelling System) (Reason 2008, S. 61–68)	<i>Skill-based Level:</i> Flüchtigkeitsfehler, Schnitzer, Ausrutscher wie Wahrnehmungs-, Erinnerungs-, Aufmerksamkeitsfehler bei der Ausführung von Automatismen und Routinen	<i>Rule-based Level:</i> Fehler (z. B. Vertauschen einer Reihenfolge, Auslassen eines Schritts) beim Abarbeiten von regelbasierten Abläufen, Algorithmen etc.	<i>Knowledge-based Level:</i> Irrtumsbasierte Fehler, Fehler aufgrund von Wissensdefiziten, Denkfehler, Fehler bei der Bildung von Modellen und der Interpretation von Daten ...

Tab. 2: Klassifikation handlungsbezogener Fehler

Das in Tab. 2 erwähnte Generic Error Modelling System (GEMS) von Reason (2008, S. 61–68) verknüpft die drei Ebenen Skill-based, Rule-based und Knowledge-based zu einem dynamischen Modell (Abb. 2). Im Folgenden sei das Modell kurz erläutert, jedoch, um Wiederholungen zu vermeiden, ohne die bereits in Tab. 2 dargestellten ebenbezogenen Fehler.

Auf der fähigkeitsbasierten Ebene (Skill-based Level) erledigen Menschen Routineaufgaben in eingeübter Art und Weise, gegebenenfalls begleitet von

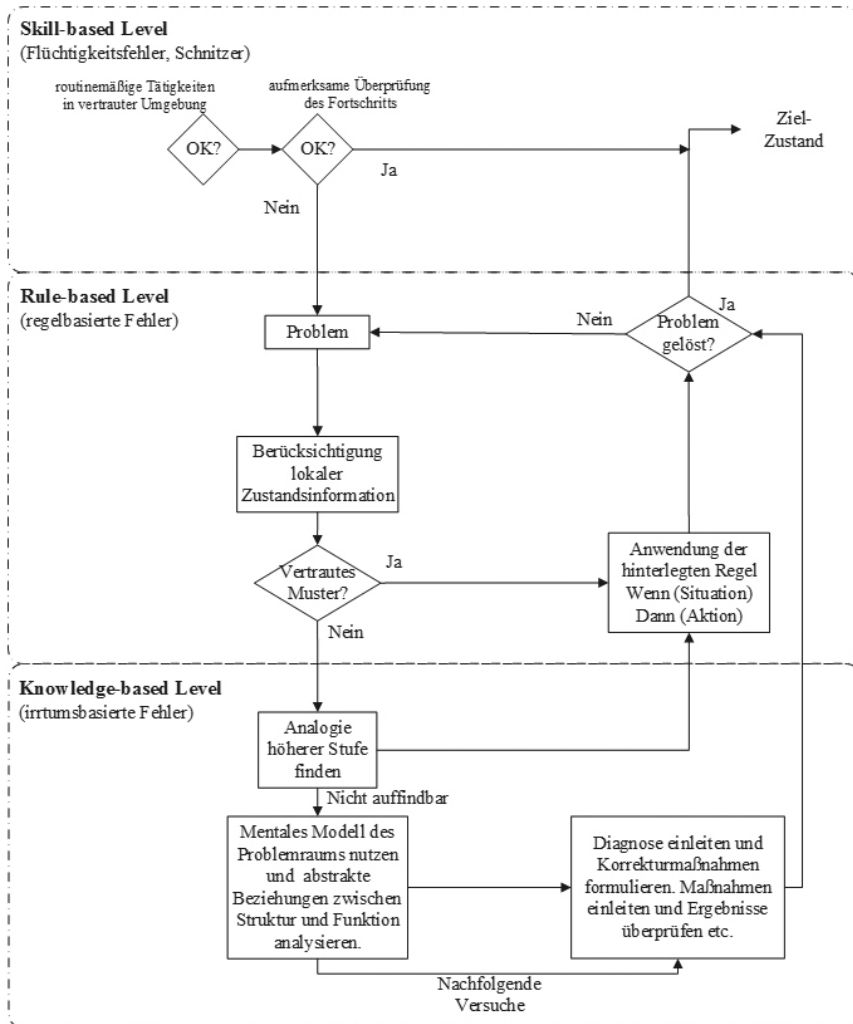


Abb. 2: Generic Error Modelling System (GEMS) von Reason (2008, S. 64, aus dem Englischen übersetzt)

gelegentlichen Prüfungen, »ob alles nach Plan läuft.« Die Maschinenbedienung in einer industriellen Fertigung etwa kann auf diese Weise in großer Wiederholhäufigkeit erfolgreich ablaufen, bis eine Störung (z. B. ein Werkzeugbruch) auftritt und damit die Aufmerksamkeit der Arbeitsperson gefordert ist. Gewissermaßen wird jetzt ein Problem in das Bewusstsein gehoben und damit die regelbasierte Ebene (Rule-based Level) erreicht, um eine Lösung entsprechend einem bekannten Muster zu suchen, zu implementieren (Austausch des defekten

Werkzeugs) und den Erfolg der Maßnahme zu überprüfen. Lässt sich das Problem nicht auf Anhieb lösen, können weitere regelbasierte Versuche unternommen werden, sodass sich eine unter Umständen mehrfach zu durchlaufende Rückkopplungsschleife ergibt (Reason 2008, S. 66–67). Der Übergang zur wissensbasierten Ebene (Knowledge-based Level) erfolgt, wenn die Arbeitsperson erkennt, dass für das Problem keine Standardlösung verfügbar ist (z. B. weil kein gewöhnlicher Werkzeugbruch aufgetreten ist, sondern ein umfangreicher Schaden an der Maschine). In diesem Fall ist ein anspruchsvolleres methodisches Vorgehen unter Verwendung von Analogien, Modellen und Hypothesen gefordert (Reason 2008, S. 67).

2.2 Objektbezogene Fehler

Während in Abschnitt 2.1 menschliche Fehlhandlungen und ihre Entstehungsbedingungen (das »Fehlermachen«) im Vordergrund standen, liegt der Fokus der folgenden Ausführungen auf Fehlern, die Objekte aufweisen können (das »Fehlerhaben«). Zu den Objekten gehören die Betriebsmittel (z. B. Maschinen) als Elemente des Produktionssystems, dessen Input (von dem hier nur die Materialien angesprochen werden), die Prozesse innerhalb des Produktionssystems sowie dessen Output, das heißt die Produktbestandteile und Produkte.

Mit Bezug auf *Betriebsmittel* kann ein Fehler als »Zustand eines Objekts, in dem es unfähig ist, eine geforderte Funktion zu erfüllen« (DIN EN 13306 2018, S. 31), verstanden werden (planmäßige Maßnahmen wie Wartungen ausgenommen). Damit stellt wie schon der handlungsbezogene Fehlerbegriff auch dieser auf eine normative Festlegung (»geforderte Funktion«) ab, unterscheidet sich jedoch durch sein statisches Verständnis (»Zustand«) von jenem. Ein latenter (verdeckter) Fehler ist ein »Fehler, der noch nicht offensichtlich geworden ist« (DIN EN 13306 2018, S. 31). Maßnahmen zur Fehlererkennung, -ortung und Ursachenfeststellung werden in diesem Zusammenhang unter dem Begriff »Fehlerdiagnose« subsumiert (DIN EN 13306 2018, S. 43). Zentral für das Betriebsmittelmanagement, insbesondere das Instandhaltungsmanagement, ist der zum Fehler komplementäre Begriff der Zuverlässigkeit, unter dem die »Fähigkeit eines Objekts, eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen für eine gegebene Zeitspanne zu erfüllen« (DIN EN 13306 2018, S. 15) verstanden wird. Diese Auffassung war auch grundlegend für den unter 2.1 erläuterten, per Analogiebildung entstandenen handlungsbezogenen Zuverlässigkeitsbegriff.

Betriebsmittelfehler können durch menschliche Fehlhandlungen wie Konstruktions- und Herstellungsfehler oder Bedienungsfehler (mit-)verursacht sein. Der Versuch, menschliche Fehler durch Automatisierung zu eliminieren, verlagert zwar den Einfluss des Menschen auf vorgelagerte Wertschöpfungs-

stufen oder ein höheres Qualifikationsniveau (z. B. in Richtung Software-Programmierung oder Überwachung), kann ihn aber nicht ausschalten (Sträter 2019, S. 146). »By taking away the easy parts of his task, automation can make the difficult parts of a human operator's task more difficult.« (Bainbridge 1988, S. 271) Zu ergänzen ist, dass sich seit der Entstehung des Zitats das, was als wenig anspruchsvoller Teil der Aufgabe gilt, infolge immer leistungsfähigerer lernfähiger Algorithmen zunehmend in Richtung »schwierig« verschiebt, sodass Fragen der optimalen Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine (Ansari/Seidenberg 2016; Ansari et al. 2018) unter Fehler- und Zuverlässigkeitsgesichtspunkten eine steigende Bedeutung erhalten.

Auf den Inputfaktor *Material* lässt sich die Fehlerdefinition des internationalen Normenwerks ISO 9000/9001 zum Qualitätsmanagement anwenden. Dort wird ein Fehler als *Nichterfüllung einer Anforderung* (Nichtkonformität) verstanden (DIN EN ISO 9000 2015, S. 40), wobei Nichtkonformität als »die bevorzugte Benennung« und Fehler als »zulässige Benennung« (DIN EN ISO 9001 2015, S. 2) deklariert werden. Auch Nichtkonformität und Konformität erfordern eine normative Setzung, die explizit mit der »Anforderung« gegeben ist. Selbst bei primitiven Zukaufteilen wie einer Unterlegscheibe sind in der Regel mehrere Anforderungen von Bedeutung, die einzeln spezifiziert sein müssen (z. B. Dicke, Innen- und Außendurchmesser innerhalb ebenfalls festzulegender Toleranzen). Normalerweise ist eine Scheibe fehlerhaft, wenn mindestens eine Anforderung nicht erfüllt ist. Ein einzelnes fehlerhaftes Teil macht jedoch nicht unbedingt ein ganzes Beschaffungslos fehlerhaft; für dieses sind ebenfalls Anforderungen zu vereinbaren, etwa eine Obergrenze für den Anteil nichtkonformer Scheiben in dem Los. Mit anderen Worten: Anforderungen an das Material sind spezifisch in Abhängigkeit von den gewählten Systemgrenzen (hier: Einzelteil vs. Los) zu formulieren. Fehlerhaftes Material kann im Wege von Sonderfreigaben noch zugelassen werden oder ist – insbesondere im Fall von geringwertigem Material – vom Empfänger zu entsorgen oder an den Lieferanten zurückzusenden.

Prozesse nehmen im Input-Output-Modell der Produktion eine Brückenfunktion wahr. Sie werden durch handlungsbezogene menschliche Fehler sowie objektbezogene Fehler von Material und Maschine beeinträchtigt und beeinflussen ihrerseits das Prozessergebnis, das heißt die Produkte im Fall der direkt wertschöpfenden Prozesse. Fehler können darüber hinaus in den indirekt zur Wertschöpfung beitragenden Dienstleistungsprozessen, etwa der Logistik (Beschaffung, Lagerung, Transport) oder des Qualitätswesens (Prüfen und Messen), auftreten. Die Fehlerquote bei fehlerentdeckenden Prüfprozessen wird mit der Größe $\text{Durchschlupf} = 1 - \text{Kontrollwirkungsgrad}$ abgebildet, wobei der Kontrollwirkungsgrad als das prozentuale Verhältnis von ausgelesenen fehlerhaften

Einheiten zu vorhandenen fehlerhaften Einheiten definiert ist (z. B. Kamiske/Brauer 2011, S. 117).

Fehlerhafte Produktionsprozesse sind durch nicht eingehaltene Prozessparameter gekennzeichnet, in den verfahrenstechnischen Industrien insbesondere die Größen Druck und Temperatur. In der Massen- und Großserienproduktion der fertigungstechnischen Industrien findet die *statistische Prozesskontrolle* (besser: Prozessregelung) Anwendung (zu Details z. B. Kamiske/Brauer 2011, S. 281–290; die folgenden Ausführungen sind eng an Blohm et al. 2016, S. 228–231 angelehnt). Prozessparameter und/oder qualitätsbeeinflussende Produktparameter, die in detaillierten Prüfvorschriften festgelegt sind, werden laufend, das heißt in definierten Zeitabständen, – möglichst automatisch – erfasst. Ergibt der Vergleich mit entsprechenden Sollwerten Abweichungen, die ein tolerables Maß überschreiten, sind Maßnahmen einzuleiten (z. B. eine Neujustierung des Prozesses), um die Konformität des Produktionsprozesses durch Angleichung der Ist- an die Vorgabewerte zu wahren. Wichtige Eigenschaften von Produktionsprozessen sind deren *Stabilität* und *Fähigkeit*. Ein Prozess wird als *stabil* (beherrscht) bezeichnet, wenn sich seine Parameter im Zeitablauf nur in zulässigen Grenzen ändern. Für einen der Normalverteilung unterliegenden Prozess bedeutet dies, dass sich Mittelwert und Streuungsmaß (Standardabweichung) jeweils in einer definierten Bandbreite bewegen müssen. Ein Prozess ist *fähig*, wenn die Messwerte des relevanten Parameters mit einer festzulegenden Wahrscheinlichkeit innerhalb der Toleranzgrenzen schwanken. Die Prozessfähigkeit (process capability) eines beherrschten Prozesses lässt sich mit Hilfe des Prozessfähigkeitsindex c_p quantifizieren. Der c_p -Wert setzt die Toleranz zur Prozessstreuung ins Verhältnis, wobei für letztere üblicherweise das Sechsfache der Standardabweichung herangezogen wird.

Produktfehler werden im folgenden Abschnitt im Zusammenhang mit ihrer Wirkung auf die Qualität diskutiert.

3. Fehlereinfluss auf die Qualität

Die bereits zitierte internationale Norm EN ISO 9000 definiert den Begriff Qualität als »Grad, indem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt« (DIN EN ISO 9000 2015, S. 39). Zum Verständnis des Inhalts dieser Definition seien die nachfolgenden Erläuterungen gegeben (Blohm et al. 2016, S. 224–225; Seidenberg/Ansari 2017, S. 162–163).

Das Adjektiv »*inhärent*« soll klarstellen, dass die Merkmale *nicht als dem betreffenden Objekt zugeordnet*, wie etwa der Preis eines Produkts, sondern als diesem innewohnend aufgefasst werden. Die Merkmalsausprägungen können je nach Art des Merkmals objektiv messbar oder subjektiv beurteilbar sein. Qua-

lität ist ferner eine *mehrdimensionale Größe* (Satz von Merkmalen); selbst einfachste Massenprodukte wie Unterlegscheiben (s. o.) weisen mehr als nur ein qualitätsbestimmendes Merkmal auf. Eine Aussage über die Qualität eines Objekts bezieht sich stets auf Anforderungen, was erstens die große inhaltliche Nähe zur Fehler- und Zuverlässigkeitsdefinition (s. o. [Nicht-]Konformität) demonstriert und zweitens auch hier die Bezugnahme auf ein *normatives Element* erfordert. Drittens ist Qualität *nichts Absolutes*, sondern »ein relationaler Begriff« (Zollondz 2011, S. 174). Da der Grad der Übereinstimmung zwischen vorhandenen und geforderten Merkmalsausprägungen die Qualität bestimmt, ist Qualität *keine Eigenschaft des betreffenden Objekts an sich*, sondern eine *Relation zwischen dem Objekt und den gestellten Anforderungen*. Während ein Objekt in dichotomer Weise einen Fehler hat oder nicht hat, ist Qualität regelmäßig *kein bivalentes Phänomen* (mit den Ausprägungen »vorhanden« oder »nicht vorhanden«), sondern eher ein *stetiges, zumindest aber Abstufungen zulassendes Phänomen* (Grad der Übereinstimmung). Bei Fehlern handelt es sich um eine Feststellung hinsichtlich der Nichtkonformität bezüglich einzelner Anforderungen, möglicherweise einer einzigen Anforderung, die unmittelbar für das gesamte Objekt gilt: Mindestens ein Fehler macht das gesamte Objekt fehlerhaft. Demgegenüber wird mit einer Aussage zur Qualität ein über die einzelnen Anforderungen aggregiertes Urteil über das Objekt abgegeben. Dabei wird zum einen berücksichtigt, dass Anforderungen hinsichtlich einzelner Merkmale oder hinsichtlich der Gesamtheit der interessierenden Merkmale mehr oder weniger gut erfüllt sein können und zum anderen, dass den einzelnen Merkmalen eine unterschiedliche Bedeutung (Gewichtung) für das gesamte Objekt zukommt. Die Merkmalerfüllung kann sich auf sehr verschiedenartige Objekte (Material, Betriebsmittel, Prozesse, Produkte) beziehen; hier stehen Produkte im Fokus.

Mit Bezug auf Produkte können Entwurfs- (Konzept-, Design-) Qualität einerseits und Ausführungs- (Fertigungs-) Qualität andererseits unterschieden werden (z. B. Blohm et al. 2016, S. 225–226). Je besser die Konzeption eines Produkts den Markt- respektive Kundenanforderungen entspricht, desto höher ist dessen *Entwurfsqualität*. Handlungsbezogene Fehler, die die Designqualität beeinträchtigen, können in der Fehleinschätzung von Kundenbedürfnissen, -wünschen und -erwartungen, aber auch in der Nichtbeachtung gesetzlicher Vorgaben oder technischer Normen bestehen. Daraus resultierende Objektfehler sind mangelhafte Produktentwürfe, die ein nicht-marktkonformes Produkt definieren (etwa infolge von Under- oder Overengineering) bis hin zu Konstruktionsfehlern, die die Produktsicherheit gefährden können. Bewährte Instrumente, mit denen der Tendenz, nicht »die richtigen Produkte« zu entwickeln (Effektivitätsaspekt der Qualität), entgegengewirkt werden kann, sind das *Quality Function Deployment* (QFD) und die *Fehlermöglichkeiten- und Einfluss-*