

## 4 Integrative Theorie der Verlässlichkeit (iTV) für soziotechnische Systeme (STS)

**Prof. Dr.-Ing. Bernd Bertsche**  
Institut für Maschinenelemente, Universität Stuttgart

**Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer**  
Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB  
Lehrstuhl Interaktive Echtzeitsysteme, Institut für Anthropomatik und Robotik, Fakultät für Informatik am KIT Karlsruhe

**Dr. phil. Claas Digmayer**  
Institut für Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Textlinguistik und Technikkommunikation, RWTH Aachen

**Dr. Rüdiger Goldschmidt**  
Zentrum für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung, Universität Stuttgart

**Prof. Dr. phil. Eva-Maria Jakobs**  
Institut für Sprach- und Kommunikationswissenschaft, Textlinguistik und Technikkommunikation, RWTH Aachen

**Prof. Dr. Dr. h.c. Ortwin Renn**  
Institut für Sozialwissenschaften, Abteilung für Technik- und Umweltsoziologie, Universität Stuttgart

**PD Dr.-Ing. habil. Nadine Schlüter**  
Fachgebiet Produktsicherheit und Qualitätswesen, Bergische Universität Wuppertal

**Prof. Dr.-Ing. habil. Petra Winzer**  
Fachgebiet Produktsicherheit und Qualitätswesen, Bergische Universität Wuppertal

**Prof. Dr. phil. habil. Johannes Weyer**  
Fachgebietsinhaber Techniksoziologie, Technische Universität Dortmund

### Zusammenfassung

Ausfälle und steigende Rückrufe durch Fehlfunktionen von Systemen verursachen große wirtschaftliche Schäden und können Menschenleben gefährden. Die Ursachen für nicht verlässliche Systeme sind vielfältig. Sie umfassen unter anderem Kommunikationsfehler zwischen den Akteuren, mangelnde Beherrschung von Komplexität sowie fehlende oder unzureichend ausgestaltete Schnittstellen zwischen Methoden und Modellen.

Was bislang fehlt, ist eine integrative Theorie der Verlässlichkeit (iTV) als Basis für die Gestaltung verlässlicher soziotechnischer Systeme (STS). Der Ausdruck Verlässlichkeit bezeichnet die Gesamtheit der vier Eigenschaften Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit für Schutz der Umwelt vor negativen Auswirkungen des Betrachtungssystems sowie für Schutz des Systems vor Fremdeinwirkungen.<sup>1</sup> Die iTV wird von den Autorinnen und Autoren als erweitertes Sicherheitsverständnis gesehen. Um verlässliche STS systematisch entwickeln und nachhaltig nutzen zu können, ist es notwendig, Elemente wie Mensch, technisches System, Organisationsstruktur sowie gesellschaftliche, soziale und politische Rahmenbedingungen in ihren gegenseitigen Wechselbeziehungen und Interaktionen synergetisch zu analysieren und zielgerichtet in den konzeptionellen Rahmen von STS zu integrieren. Mittels geeigneter Beschreibungen, Modelle und Methoden sind verlässliche STS gestaltbar. Die Entwicklung eines derartigen ganzheitlichen Ansatzes erfordert die Zusammenarbeit der Ingenieurwissenschaften mit anderen Disziplinen, wie der Informatik und den Sozial- beziehungsweise Geisteswissenschaften, sowie eine integrative Theorie, die verschiedene relevante Aspekte von Verlässlichkeit systematisch aufeinander bezieht.

Eine im Sommer 2015 durchgeführte Recherche von 239 nationalen und europäischen Forschungsprojekten in verschiedenen Sicherheitsbereichen zeigt, dass es keine systemische integrative Sichtweise auf Wechselwirkungen zwischen Technik, Organisation und soziokulturellem Kontext zur Gewährleistung von Verlässlichkeit gibt. Eine integrative Theorie der Verlässlichkeit soziotechnischer Systeme fehlt. Diese zu entwickelnde Querschnittstheorie hat ein großes Potenzial zur Sicherung der Verlässlichkeit von STS und könnte einen Paradigmenwechsel einleiten, der künftigen technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen, wie dem Autonomen Fahren, gerecht wird.

1 | Vgl. Schnieder 2013, S. 57.



# 1 Ausgangssituation

Unternehmen und ihr Umfeld unterliegen einem gravierenden Wandel. Während die Digitalisierung kontinuierlich Veränderungen bei Unternehmen fordert, führen neueste, zum Beispiel adaptive Technologien zu revolutionären, für die Unternehmen nicht absehbaren Veränderungen. Gleichzeitig steigt die Anzahl der Rückrufe in allen Branchen – etwa in der Luft- und Raumfahrt, der Automobil- oder der Investitionsgüterindustrie<sup>2</sup> –, und infolgedessen verstärken sich die Forderungen nach verbesserter Sicherheit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Zuverlässigkeit. Die Autorinnen und Autoren fassen diese Forderungen unter dem Begriff Gewährleistung der Verlässlichkeit von soziotechnischen Systemen (STS) zusammen.

Verlässlichkeit umfasst die Aspekte Zuverlässigkeit (Reliability), Verfügbarkeit (Availability), Instandhaltbarkeit (Maintainability) und Sicherheit (Safety und Security), kurz RAMSS. Security beschreibt eine intendierte Gefährdung, wohingegen Safety-Fälle bei stochastisch eintretenden Schadensereignissen vorliegen.<sup>3</sup> Das RAMSS-Konstrukt gilt als Ausgangspunkt der Forschung. Davon ausgehend ist zu prüfen, ob weitere Randbedingungen wie Risiko, Resilienz oder Kultur im weiteren Verlauf integriert werden müssen. Nur wenn die zuvor genannten Aspekte umfassend und gemeinsam in ihren Wechselwirkungen betrachtet werden, anstatt beispielsweise „nur“ Safety-Aspekte, ist eine anforderungsgerechte Gestaltung von soziotechnischen Systemen und ihren Outputs möglich.<sup>4</sup>

STS sind mentale Konstrukte, mit deren Hilfe die Interaktionen zwischen Menschen und technischen Artefakten verknüpft und ihre Wechselwirkungen (Organisieren von Regeln) sowie Rahmenbedingungen systemisch verstanden werden können. Ihre Maxima an funktionaler Leistung erzielen sie bei Systemelementen mit einer hohen sozialen und technischen Interaktion, wie es beispielsweise bei einem Bahnhof der Fall ist. Um Verlässlichkeit beobachten und analysieren zu können, bedarf es daher neben den Kompetenzen in Technik- und Geistes- beziehungsweise Sozialwissenschaften auch der Einsicht in deren Beziehungen

und die Kontextbedingungen, wie gesellschaftliche Lebens- und Produktionsverhältnisse, die sich in wirtschaftlichen Organisationsformen, politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen, ökonomischen Konstellationen, individuellen und sozialen Lebensstilen sowie ethischen Bewertungskriterien und Akzeptanzmustern niederschlagen. Wie dieser Forderung nach Verlässlichkeit entsprochen werden kann, ist unklar, und es muss Grundlagenforschung betrieben werden. So ist wissenschaftlich zu klären, wie

- verlässliche soziotechnische Systeme beschrieben, quantifiziert und modelliert werden können,
- verlässliche soziotechnische Systeme lebenslang garantiert werden können,
- Verlässlichkeit systemimmanenter Bestandteil von Organisationen werden kann,
- Verlässlichkeit für, mit und durch den Menschen zu gewährleisten ist.

Es gibt eine Vielzahl zum Teil stark unterschiedlicher Beschreibungen, Skalen, Modelle und Methoden diverser Fachdisziplinen (hauptsächlich Ingenieurwesen, Informatik und Sozial- beziehungsweise Geisteswissenschaften), die Teilaspekte von Verlässlichkeit wie Safety, Security, Reliability etc. prozess- oder produkt- und/oder organisationsbezogen für soziologische oder technische Systeme betrachten.<sup>5</sup> Aber was fehlt, ist eine Symbiose der Ansätze in abstrahierender Verdichtung.<sup>6</sup> Es existieren keine Untersuchungen zu organisationalen Beiträgen zur Sicherheitsgewährung<sup>7</sup> sowie zu systemtheoretischen Ansätzen, die Security-Systems Engineering<sup>8</sup> und Safety-Systems Engineering<sup>9</sup> vereinen. Es fehlt eine über die reine Numerik einzelner Branchen oder Domänen hinausgehende Quantifizierung, die sich an den Metriken der deskriptiven Statistik orientiert, anstatt fokussierter, nicht vereinbarter Spezialmethoden.<sup>10</sup> Auch der gemeinsame Aspekt menschlicher und technischer Verlässlichkeit sowie verlässliche Informations- und Kommunikationssysteme sind zu erforschen und in einem integrativen und ganzheitlichen Ansatz zu vereinen,<sup>11</sup> der durch eine einheitliche Begrifflichkeit auch der Divergenz und der Erosion in den Begriffsfeldern Sicherheit und Risiko entgegenwirkt.<sup>12</sup>

2 | Vgl. Baua 2015.

3 | Vgl. Beyerer/Geisler 2018.

4 | Vgl. Schlüter/Winzer 2016.

5 | Vgl. Schnieder/Schnieder 2018, Schlüter/Winzer 2018, Lichte/Wolf 2018.

6 | Vgl. Dhillon 2005.

7 | Vgl. Fahlruch 2000.

8 | Vgl. Beyerer 2008, Beyerer et al. 2009, Fischer et al. 2011, Kuwertz/Beyerer 2013a.

9 | Vgl. EN 954-1 1996.

10 | Vgl. Bertsche et al. 2009, Forschergruppe DFG 460, Lichte/Wolf 2018, Beyerer/Geisler 2018.

11 | Vgl. Thoma 2011, Winzer 2015, Beyerer/Geisler 2015, Fischer/Beyerer 2013, Ropohl 2012.

12 | Vgl. Schirmer 2008.

Eine im Sommer 2015 durchgeführte Recherche<sup>13</sup> belegt, dass es bislang an einer domänen- und technikübergreifenden Konzeptualisierung fehlt, die ein STS bezüglich der Verlässlichkeit betrachtet. Die Auswertung der Analyse erfolgte über ein Clustering der erfassten Forschungsprojekte nach ihrem Untersuchungsgegenstand, das heißt, inwieweit diese STS in der Makro- oder Mikroebene betrachten und ob sie Beschreibungen, Skalen, Modelle und Methoden für STS fachspezifisch oder integrativ mit dem Ziel entwickeln, Facetten der Verlässlichkeit von STS zu gewährleisten. Die analysierten ganzheitlichen Ansätze der Makroebene wie auch die interdisziplinären Konzepte der Mikroebene von STS lassen keine gemeinsamen Modelle, Methoden und Vorgehensweisen erkennen. Somit sind umfangreiche wissenschaftliche Teilergebnisse verfügbar, die noch nicht synergetisch verbunden und kohärent abgeglichen sind. Das könnte die Basis für die fehlende Systemtheorie der Verlässlichkeit sein. Ein integrativer Ansatz der Verlässlichkeit für STS auf der Makroebene ist nicht existent, wie Schlüter/Winzer 2016 nachgewiesen haben.<sup>14</sup>

Was insgesamt fehlt, ist eine die verschiedenen Perspektiven (Mensch, Technik, Kontext) verbindende, wissenschaftsdisziplinübergreifende Betrachtung der Verlässlichkeit von STS, das

heißt eine integrative Beschreibung und Modellierung der Verlässlichkeit für STS, zum Beispiel in Form einer Unternehmung, die Beschreibungen, Skalen, Methoden und Modelle thematisch relevanter Fachdisziplinen (Ingenieurwissenschaften, Informatik, Sozial- beziehungsweise Geisteswissenschaften) zusammenführt. Der fachliche Diskursraum, der alle genannten Punkte strukturiert, ist in Abbildung 1 visualisiert.

Im Folgenden wird zunächst der Bedarf der Verlässlichkeitsforschung aus dem Blickwinkel der drei Kernelemente der STS, das heißt Maschine, Mensch und Kontext, konkretisiert. Anschließend wird aufgezeigt, dass eine wissenschaftsspezifische Forschung nicht zielführend ist, um eine grundlagenbasierte und integrative Beschreibung und Modellierung der Verlässlichkeit für soziotechnische Systeme (STS) zu entwickeln. Insbesondere mit Blick auf den gewählten Untersuchungsgegenstand „Bahnhof“ müssen die drei STS-Kernelemente bezüglich des Forschungsstands analysiert und diese Erkenntnisse mit den genannten Wissenschaftsdisziplinen anschließend hinsichtlich des Handlungsbedarfes für die Entwicklung einer iTV für STS abgeglichen werden.

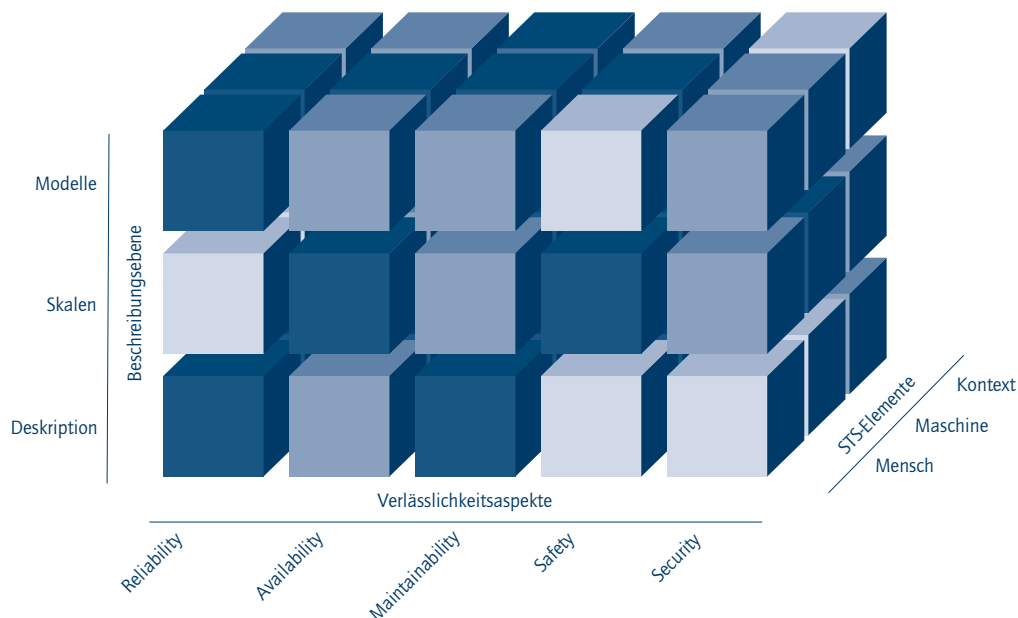


Abbildung 1: Visualisierung des fachlichen Diskursraums (Quelle: eigene Darstellung)

13 | Vgl. Schlüter/Winzer 2016.

14 | Vgl. Schlüter/Winzer 2016.



## 1.1 Verlässlichkeit aus der Perspektive der Maschine

Traditionsgemäß wird die technische Verlässlichkeit isoliert betrachtet. Dies bezieht sich aktuell unter anderem auf die technischen Domänen Mechanik, Elektronik und IT. Sicherheit wird ebenfalls separat als Eigenschaft der Verlässlichkeit sowohl im Bereich Safety als auch im Bereich Security untersucht.<sup>15</sup>

Schnieder/Schnieder 2013 beschreiben Sicherheit als emergente Eigenschaft komplexer technischer Systeme.<sup>16</sup> Sie leiten daraus eine Möglichkeit zur Modellierung von Verkehrssicherheit sowie Konzepte zur Risikobeherrschung ab. Bertsche/Lechner 2004 beschreiben grundlegende quantitative und qualitative Methoden zur Zuverlässigkeitsanalyse,<sup>17</sup> wie etwa FMEA und FTA; neben Test- und Erprobungsmethoden wird unter anderem die Modellierung reparierbarer Systeme beschrieben. Bertsche et al. 2009 zeigen Modelle und Methoden zur Zuverlässigkeitsanalyse mechatronischer Systeme, wobei auch die Zuverlässigkeitstestplanung in frühen Entwicklungsphasen betrachtet wird.

Einen Ansatz zur Anlagenmodellierung bietet Trost 2008;<sup>18</sup> sie nutzt Petrinetze zur Modellbildung und -analyse. Birolini 2014 beschreibt Instandhaltbarkeit und Zuverlässigkeitsplanung in Entwicklungsphasen.<sup>19</sup> Ergänzend werden Aspekte der Softwarezuverlässigkeit und entsprechende Modellierungsmethoden betrachtet.<sup>20</sup> Zuverlässigkeits- und Testplanungsmethoden werden in Meyna/Pauli 2010 vorgestellt.<sup>21</sup>

Kemmler/Bertsche 2014 beschreiben eine Methode zur Entwicklung zuverlässiger und gleichzeitig robuster Produkte. Der Zusammenhang zwischen Zuverlässigkeit und Robustheit wird für intralogistische Systeme betrachtet.<sup>22</sup> Gillespie 2015 beschreibt eine Möglichkeit, wie Logistik- und Instandhaltungsplanung die Verfügbarkeit verbessern kann.<sup>23</sup>

Im Bereich der adaptiven Zuverlässigkeitsplanung werden von Stohrer 2013 Methoden beschrieben, die durch Eingriff in die Betriebsstrategie eine Verlängerung der Lebensdauer ermöglichen.<sup>24</sup> Sondermann-Wölke 2014 erforscht selbstoptimierende Systeme, die durch Betriebsstrategieanpassung resilient gegenüber Komponentenausfällen sind.<sup>25</sup> Botzler et al. 2014 beschreiben ein Entscheidungstool zur Instandhaltungsplanung und Methoden, mit denen Zuverlässigkeitsprognosen durch Nutzungsdaten verbessert werden.<sup>26</sup>

Die bisherigen Arbeiten bieten nur Lösungsansätze für isolierte Problemstellungen. Es fehlen domänenübergreifende (Mechanik, Elektrotechnik, IT)<sup>27</sup> sowie einzelaspektübergreifende (R, A, M, Sa, Se) Beschreibungen und Modelle.<sup>28</sup> Derzeit ist zum Beispiel eine durchgängige Analyse und Gestaltung von verlässlichen technischen Systemen über alle Lebenszyklusphasen hinweg nicht möglich. Dass dieser Missstand zur Gefährdung von Menschenleben (und ebenso zur Gefährdung von Unternehmen) führen kann, zeigte beispielsweise die Explosion der Bohrplattform „Deepwater Horizon“ im Jahr 2010.

## 1.2 Verlässlichkeit aus der Perspektive des Menschen

Ein wesentliches Element von STS und ihrer Verlässlichkeit sind die darin agierenden Menschen. Ihr Handeln wird durch viele verschiedene Faktoren beeinflusst, zum Beispiel bildungsbiografisch, soziokulturell und professionell geprägte Wertesysteme, Grundannahmen, Motive sowie Persönlichkeitseigenschaften.

Die Arbeitswissenschaft befasst sich unter anderem mit der Arbeit des Menschen im Fertigungssystem und damit, wie die Kompetenzen der Beschäftigten durch eine geeignete Zuordnung zu Arbeitsvorgängen gefördert werden können.<sup>29</sup> Die Berufspädagogik betrachtet Kompetenzentwicklung bezogen auf die Weiterentwicklung

15 | Vgl. Schlüter/Winzer 2016.

16 | Vgl. Schnieder/Schnieder 2013.

17 | Vgl. Bertsche/Lechner 2004.

18 | Vgl. Trost 2008.

19 | Vgl. Birolini 2014.

20 | Vgl. Krasich 2015.

21 | Vgl. Meyna/Pauli 2010.

22 | Vgl. Wildner 2013.

23 | Vgl. Gillespie 2015.

24 | Vgl. Stohrer et al. 2013.

25 | Vgl. Sondermann-Wölke 2014.

26 | Vgl. Botzler et al. 2014.

27 | Vgl. Schlüter/Winzer 2018, Weyer et al. 2018.

28 | Vgl. Lichte/Wolf 2018, Beyerer/Geisler 2018.

29 | Vgl. Schlick et al. 2010.

der Angestellten wie auch den Unternehmenserfolg und konzentriert sich auf die Aneignung einer umfassenden beruflichen Handlungskompetenz.<sup>30</sup> Es wird nicht untersucht, inwieweit die Arbeitskräfte im Prozess der Arbeit verlässlich ihre Aufgaben erledigen und einen verlässlichen Prozessablauf garantieren. Vielfach wird die Notwendigkeit konstatiert, eigene Instrumente zur Erfassung von Kompetenzen in Unternehmen zu entwickeln.<sup>31</sup> Dafür wurden aktuelle Verfahren konzipiert. Fragen der Verlässlichkeit des Menschen im Arbeitsprozess werden in den genannten Disziplinen jedoch nicht betrachtet.

Für Sicherheit und Zuverlässigkeit ist es in den genannten Disziplinen essenziell, dass in Entscheidungssituationen die Option gewählt wird, bei der das Risiko eines Schadens minimiert und die Funktionsfähigkeit des Systems sichergestellt wird. Je komplexer Entscheidungssituationen ausfallen, desto schwieriger wird es für die Verantwortlichen, die vielfältigen Optionen zu überschauen und eine rational begründbare Auswahl zu treffen. Dabei wenden Individuen intuitive Heuristiken (Faustregeln) der Entscheidungsfindung an, die nur zum Teil der Komplexität der Materie angemessen sind.<sup>32</sup> Dies sind Heuristiken der Verfügbarkeit, Verankerung, Repräsentativität und affektiven Aufladung.<sup>33</sup> Die Heuristiken führen aber häufig auch in die Irre, weil sie komplexe Sachverhalte unsachgemäß vereinfachen und den Verantwortlichen eine Sicherheit des eigenen Urteils vorgaukeln, die nach bestem Wissen aller Expertinnen und Experten nicht gerechtfertigt ist.

Sensible Punkte der Verlässlichkeit betreffen insbesondere die Kooperations-, Schnittstellen- und Sicherheitskommunikation<sup>34</sup> sowie das Verhältnis formaler Kommunikation (die Kommunikationsflüsse offiziell regelt) zu informeller Kommunikation (in der berufliches Erfahrungswissen „unter der Hand“ weitergegeben wird<sup>35</sup>). Es gibt wenige Studien, die den Einfluss kommunikativer Praktiken auf Verlässlichkeit an sich und ihre Komponenten systematisch betrachten und modellieren. Vielversprechende Ansätze bieten unter anderem die Akteur-Netzwerk-Theorie.<sup>36</sup> Zu

Krisen-, Risiko-, Präventions- und Sicherheitskommunikation gibt es einige Forschungsprojekte, die den Begriff der Kommunikation jedoch oft sehr weit fassen und eher selten die Ebene konkreter sprachlich-diskursiver Praktiken erreichen.

Die systematische Verankerung und Erfassung „menschbezogener“ Größen in einer Theorie der Verlässlichkeit soziotechnischer Systeme bedarf somit entsprechender Grundlagenforschung, um Fehlentscheidungen zu reduzieren beziehungsweise zu vermeiden.<sup>37</sup>

### 1.3 Verlässlichkeit aus der Perspektive des Kontextes

Der Kontext von STS ist in den weiteren und den engeren Kontext gegliedert. Während sich der engere Kontext mit der Organisation und dem physischen Umfeld befasst, betrachtet der weitere Kontext das soziale Umfeld und die Regulierung.

Bezüglich des engeren Kontextes ist als Beispiel der VW-Abgasskandal zu nennen.<sup>38</sup> Dieser zeigt, dass die Regeln in Unternehmen (das heißt das Organisieren der Elemente und die Wechselbeziehungen eines STS) deren Verlässlichkeit bestimmen. Angeregt durch Perrow<sup>39</sup> sind Sozialforscherinnen und -forscher der empirischen Frage nachgegangen, welche Eigenschaften das Organisieren des STS als Instrument der Unternehmensführung<sup>40</sup> besitzen muss, um hochkomplexe und eng gekoppelte technische Systeme verlässlich steuern zu können.<sup>41</sup> In diesem Kontext wird Zuverlässigkeit als Leistung des Managements verstanden, um zu einem effektiven System der Intervention, Antizipation und Überwachung zu gelangen. Organisationen, die eine hohe Zuverlässigkeit anstreben, müssen folgende Probleme in ihren Managementplänen berücksichtigen:<sup>42</sup>

- Fehler und Irrtümer sind allgegenwärtig, heimtückisch und können überall auftauchen; der Preis des Erfolgs ist somit die immerwährende Wachsamkeit.

30 | Vgl. Denbostel 2007.

31 | Vgl. BiP 2008, Becker/Spöttel 2015, Denkena et al. 2013.

32 | Vgl. Kahneman 2011, S. 102, Silver 2012, S. 142 ff.

33 | Vgl. Jungermann et al. 2010, S. 169 ff., Renn 2014, S. 186 ff.

34 | Vgl. Jakobs 2008, Jakobs et al. 2011.

35 | Vgl. Brünner 2000.

36 | Vgl. Latour 2005, Rauer 2012, Villiger 2014.

37 | Vgl. Raabe 2018, Beyerer/Geisler 2018.

38 | Vgl. Spiegel 2015.

39 | Vgl. Perrow 1984, Perrow 1990, Perrow 1992.

40 | Vgl. Schulte-Zurhausen 2014.

41 | Vgl. Roberts 1989, Roberts/Gargano 1990, Schulman 1993, Rochlin 1993.

42 | Vgl. Rochlin 1993, Renn et al. 2007, S. 86 ff.



- Quellen von Fehlern und Irrtümern sind dynamisch und nicht statisch, sodass die Überwachungsmechanismen selbst stetig erneuert und wiederbelebt werden müssen.
- Permanente Gefahrenquelle ist die Betriebsumwelt, die eine ständige Wachsamkeit erfordert, gerade auch (und besonders) zu jenen Zeiten, in denen die Dinge gut zu laufen scheinen.
- Redundante Methoden zur Problemlösung müssen auf der operationalen Ebene aufrechterhalten werden. Dem Druck, Prozesse durch die Einführung einer einzigen, „besten“ Lösung festzuschreiben oder zu „rationalisieren“, sollte widerstanden werden.
- Vielfache gleichzeitige informelle Organisationsstrukturen müssen geschaffen, aufrechterhalten und angewendet werden, um sich Eventualitäten anpassen zu können (strukturelle Variationen gemäß der Natur der Probleme).
- Organisatorische Verpflichtungen zur Antizipation sowie reaktive Methoden, die sich mit realen und potenziellen Problemen beschäftigen, müssen vorhanden sein.
- Selbstverbesserung und Selbstregulierung sollten nicht beschränkt werden, solange organisatorische Ressourcen und Zeit zur Verfügung stehen, sodass zusätzliche Informationen als Mittel der Kontrolle und der Begrenzung von Ungewissheiten immer grenzkosteneffektiv sind.

Ein Höchstmaß an Sicherheit und Resilienz gegenüber Überraschungen zählt zu den Grundbedürfnissen des Menschen und somit zum organisationalen Bestandteil eines STS. Um hohe Verlässlichkeit zu erreichen, sind technische Systeme so auszurichten, dass die Komplexität der Steuerung der Steuerkapazität der Managementorganisation entspricht und eng gekoppelte Systeme durch Puffer und Redundanzen abgefedert werden.<sup>43</sup> Zudem sind innerhalb des STS klare Zuständigkeiten, ein offener Kommunikationsfluss, eine Kultur der Achtsamkeit und Wachsamkeit sowie ständige Mitarbeiterschulung und -betreuung essenziell.<sup>44</sup>

Bezüglich des weiteren Kontextes von STS ist dem Umstand Rechnung zu tragen, dass STS unter bekannten wie noch nicht bekannten Rahmenbedingungen operieren. Diese sind vielfältig; sie umfassen sozioökonomische, legale und kulturelle Umweltbedingungen (lokal, national, international), Regeln und Standards, die verfügbaren materiellen wie immateriellen Ressourcen, Klima- und Umweltbedingungen sowie weitere Punkte. Es gibt Studien und Projekte, die in unterschiedlicher Qualität und Quantität den Einfluss von Randbedingungen auf

Aspekte von Verlässlichkeit wie Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandsetzung und Sicherheit (Safety und Security) untersuchen; es existiert allerdings kein Ansatz, der diese Aspekte systematisch in ihrem Zusammenspiel und Einfluss auf STS erfasst, modelliert und bewertet. Es gibt jedoch vielversprechende Ansätze, die sich dafür eignen, Closed-World-Einschränkungen aufgrund des Systementwurfs unter der Annahme bestimmter Randbedingungen mittels Adaptions- und Lernmechanismen zur Systemlaufzeit zu überwinden. Das reicht von der Nachführung von Systemparametern bis hin zum Lernen neuer Objekt- und Relationskonzepte, die zur Entwurfszeit als Randbedingung noch nicht bekannt waren.<sup>45</sup>

Forschungsbedarf besteht in der Frage, wie die Rahmenbedingungen, unter denen sich Verlässlichkeit herausbildet, erfasst, modelliert und aufeinander bezogen werden können und welche Rahmenbedingungen gegeben sein müssen, damit die Verlässlichkeit eines STS auf dem gewünschten Niveau gewährleistet und aufrechterhalten werden kann.

## 2 Handlungsbedarfe für eine iTV aus Sicht der Fachdisziplinen

Im Folgenden werden Handlungsbedarfe aus Sicht der von den Autorinnen und Autoren repräsentierten Wissenschaftsdisziplinen dargestellt.

### 2.1 Ingenieurperspektive

Die Ingenieurwissenschaften, die für die Entwicklung einer Theorie der Verlässlichkeit die Basis bilden, setzen sich unter anderem mit technischen Systemen, deren Produktion, Fabrikorganisation und dem Zusammenspiel von Mensch und Technik auseinander, wobei kontinuierlich neue Erkenntnisse anderer Forschungsdisziplinen aufgegriffen und in Kooperation mit diesen weiterentwickelt werden.

Bezüglich der Verlässlichkeitsforschung bestehen unter anderem Handlungsbedarfe, die sich aus der Erweiterung klassischer Fragestellungen des Ingenieurwesens um soziotechnische Aspekte ergeben. Relevante Forschungsbereiche betreffen die Verbindung bestehender quantitativer und qualitativer RAMSS-Modelle mit sozialwissenschaftlichen Aspekten, die Erforschung von

43 | Vgl. Winzer et al. 2010.

44 | Vgl. Thoma 2011.

45 | Vgl. Kuwertz et al. 2015, Kuwertz/Beyerer 2013b, Kuwertz/Schneider 2013, Kuwertz 2012a, Kuwertz 2012b, Pfrommer et al. 2013.

Schnittstellen zwischen bewährten Modellen der Zuverlässigkeitstechnik zu neuen, technikfremden Modellen, die domänenübergreifende Modellverknüpfung sowie die Anwendbarkeit und Übertragbarkeit bestehender Modelle in weitere Domänen.

Dementsprechend ergeben sich folgende Handlungsbedarfe:

- Schaffung einer adäquaten integrativen Beschreibung (Deskription) relevanter Sachverhalte, Zusammenhänge und Wirkungsmechanismen inklusive qualitativer Merkmale und quantitativer Größen,
- Zusammenführung, Weiterentwicklung und Nutzung etablierter Beschreibungsmittel, Skalen, Modelle und Methoden für die Analyse von Systemen, die Ableitung von darauf basierenden Schlussfolgerungen (Inferenz) sowie die Optimierung bestehender und der Entwurf (Synthese) neuer Systeme im Hinblick auf deren Verlässlichkeit,
- Quantifizierung RAMSS-bezogener Aspekte.

## 2.2 Informatikperspektive

Im Zuge von Industrie 4.0 hat die Informatik ganz entscheidende Bedeutung für die Zukunftsfähigkeit von Unternehmen gewonnen. Diese Erkenntnisse sollen in die aktuelle Forschung einfließen und für die zu entwickelnde iTV abstrahiert und integriert werden.

Eine iTV für STS soll nicht nur eine Deskription, sondern auch Analyse, Inferenz, Synthese und Optimierung erlauben. Es muss ein Kalkül entworfen werden, der entscheidbar ist und mit dem gerechnet werden kann. Beschreibungssprache und Kalkül müssen geeignet sein, die Komplexität realer STS abzubilden und zu beherrschen.<sup>46</sup> Selbst einfache STS sind sehr komplex, sodass Risikoberechnung und -optimierung nicht mehr exakt durchgeführt werden können.<sup>47</sup> Dies erfordert geeignete Metriken sowie effiziente approximative Algorithmen, die eine ausreichend genaue und schnelle Risikoberechnung erlauben.

Unter anderem ergeben sich folgende Handlungsbedarfe:

- Formalismen für die verlässlichkeitsbezogene dynamische Interaktion der Akteure von STS sowie Modellierung von zufälligen, strategischen, rationalen und irrationalen Verhaltenskomponenten,
- Entwicklung von Algorithmen zur effizienten Risikoberechnung und verlässlichkeitsbezogenen Simulation von STS,

- Entwicklung verlässlichkeitsförderlicher Verfahren für die Mensch-Maschine-Interaktion,
- Verstehen der Verantwortlichkeit von Operateur und Computersteuerung, etwa bei autonomen Prozessen oder in der Zuordnung von Überwachungsfunktionen im Zusammenspiel von IT und Operateur.

## 2.3 Perspektive der Geistes- und Sozialwissenschaften

Es ergeben sich zahlreiche Forschungsbedarfe, wie zum Beispiel die folgenden:

- Konzepte zur produktiven Verarbeitung unbekannter Ereignisse, Sachverhalte und sich verändernder Rahmenbedingungen durch den Menschen,
- Bestimmung der Beschaffenheit individueller Handlungsweisen, die Risiken verstärken oder abschwächen (zum Beispiel für die Mensch-Maschine-Interaktion),
- frühzeitige Erkennung und Überwindung individueller Fehltritte und Heuristiken in komplexen Entscheidungssituationen,
- Bestimmung der Auswirkung von Kommunikation, Interaktion und Kultur auf die Verlässlichkeit von STS sowie Ableitung von Konzepten und Maßnahmen verlässlichkeitsfördernder Kommunikation und Interaktion.

# 3 Stand von Wissenschaft und Technik

Eine europaweite Recherche zu relevanten Forschungsprojekten ergab 239 themenbezogene Projekte diverser Forschungsprogramme und Institutionen (Horizon 2020, 7. EU-Rahmenprogramm, DFG, BMWI, BMBF, BA Sicherheit und Informationstechnik, AiF, VDI, VDE, acatech).<sup>48</sup> Sie behandeln aber jeweils nur Einzelaspekte der Verlässlichkeit.

Die umfangreichen Rechercheergebnisse bezogen auf EU-, DFG-, Ministeriums- und AiF-Forschungsprojekte wurden unter anderem dahingehend geprüft, inwieweit Anforderungen wie „integrativer Ansatz“, „ganzheitlicher Ansatz“ oder „fachdisziplinärer Ansatz bezüglich Modellen, Methoden oder Vorgehenskonzepten“ erfüllt werden (siehe Abbildung 2).

46 | Vgl. Schnieder 2012.

47 | Vgl. Schnieder/Schnieder 2013.

48 | Vgl. Schlüter/Winzer 2016.



Projekt	Typ	Titel des Forschungsprojekts	Quelle (Internetlink)	Integrativer Ansatz	Ganzheitlicher Ansatz	Fachdisziplinärer Ansatz			Transdisziplinäre Theorie der Verlässlichkeit
						Modelle	Methoden	Vorgehenskonzepte	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7EU Programm	Collaborative project (generic)	Security Impact Assessment Measure - A decision support system for security technology investments	<a href="http://cordis.europa.eu/project/rcn/97990_en.html">http://cordis.europa.eu/project/rcn/97990_en.html</a>	1	0	1	1	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
DFG	Forscherguppen	Entwicklung von Konzepten und Methoden zur Ermittlung der Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme in frühen Entwicklungsphasen	<a href="http://gepris.dfg.de/gepris/projekt/5354095">http://gepris.dfg.de/gepris/projekt/5354095</a>	1	1	1	1	1	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Abbildung 2: Ausschnitt aus den Rechercheergebnissen (Quelle: eigene Darstellung)

Dies wurde mit dem Ziel realisiert, den Grad der Anforderungserfüllung (1 = erfüllt, 0 = nicht erfüllt) als Maß für die Nutzbarkeit von Forschungsprojektergebnissen und für das Abstraktionspotenzial zu verwenden. Für Forscherinnen und Forscher dient dieses Rechercheergebnis somit auch als Kompass und Datenbasis bezüglich der Weiternutzung aktueller nationaler und internationaler Forschungsergebnisse für die Entwicklung einer iTV.

## 4 Ziele

Die Autorinnen und Autoren verstehen die integrative Verlässlichkeit von STS als ein Themenfeld, das sich von Reliability über Availability, Maintainability bis hin zu Security und Safety erstreckt sowie eine Vielzahl maschinen-, mensch- und kontextbezogener Aspekte umfasst. Bislang fehlt eine Theorie, die die genannten Aspekte ganzheitlich betrachtet.

Ziel zukünftiger Arbeiten ist die Überwindung des nachgewiesenen Forschungs- und Praxisdefizits durch die Entwicklung einer integrativen Theorie der Verlässlichkeit für soziotechnische Systeme (iTV für STS), die entlang der Beschreibungsebene von der Deskription über Skalen bis hin zu Modellen die ganzheitliche Abbildung eines STS bezüglich der Verlässlichkeit ermöglicht.

Die Autorinnen und Autoren sehen folgende Anforderungen an die Entwicklung einer iTV für STS: Es ist ein (I) ganzheitlicher und (II) integrativer Ansatz der Verlässlichkeit für STS zu entwickeln, der eine (III) einheitliche Deskription aufweist und auf Basis von untereinander abgestimmten (IV) Skalen miteinander vernetzbare (V) Modelle und Methoden zusammenführt, die eine verlässliche Auslegung von STS ermöglichen. Die im Sommer 2015

durchgeführte Recherche zu deutschen und europäischen Forschungsprojekten im Bereich Verlässlichkeit zeigt, dass die Anforderungen I) bis V) für eine iTV für STS nur ansatzweise erfüllt sind, sie jedoch ein reiches Repertoire an Einzelerkenntnissen für die Herleitung einer neuen Wissenschaftstheorie bieten. Hieraus kann ein integrativer Ansatz entwickelt werden. Die Geschichte der Wissenschaften zeigt, dass fachspezifische Betrachtungsweisen oft erst durch die additive Verbindung von Einzelaspekten oder durch Abstraktion und Verallgemeinerung zu einer übergeordneten theoretischen Integration führten. Dabei sind die folgenden grundlegenden Forschungsfragen zu klären:

- Können durch das integrative Betrachten verschiedener verlässlichkeitsrelevanter Forschungsfelder Zusammenhänge erkannt, Dopplungen vermieden und Synergien gestiftet werden?
- Gibt es Möglichkeiten, zukünftige Herausforderungen durch erstmalig fachdisziplinübergreifende Modellkonzepte und ihre einheitliche Formalisierung zu analysieren?
- Ist eine Änderung der Blickrichtung von einer reaktiven zu einer präventiven Sichtweise zur Gewährleistung der Verlässlichkeit von STS möglich?

Ein Screening der Fachbereiche zeigt für die iTV eine Vielzahl an Forschungsthemen, Zielen und Lösungsansätzen. Bezüglich der **Verlässlichkeit von Maschinen** ist zu erforschen, wie technische Systeme verlässlich über ihren Lebenszyklus hinweg funktionieren. Dies schließt folgende Schwerpunkte mit ein:

- Quantifizierung der Verlässlichkeit eines STS anhand einer formalen, probabilistischen Systembeschreibung,
- quantitative Bewertung der Vulnerabilität technischer Systeme und Infrastrukturen,



- Kopplung verschiedenartiger Verlässlichkeitsmethoden,
- Verlässlichkeit von digitalen Modellen (oder eingeschränkt: Simulationsmodellen) als STS in der Planung,
- verlässliche Instandhaltung von technischen Systemen,
- Predictive Maintenance oder im weiteren Sinne Prognostics and Health Management (PHM).
- Automatisierbarkeit von Sicherungsfunktionen,
- dynamische Konvergenz individueller Informationsstände durch adäquate Kommunikation sowie Gewährleistung von Verlässlichkeit durch ein ausreichend kohärentes Verständnis des Systemzustands.

Die **Verlässlichkeit von Menschen** ist hinsichtlich der Verlässlichkeitsmechanismen im menschlichen Arbeitskontext zu untersuchen, was folgende Aspekte beinhaltet:

- Modelle und Methoden zur Schätzung menschlicher Zuverlässigkeit und ihre Integration in die Methoden zur Gestaltung verlässlicher STS,
- subjektive Faktoren,
- Erweiterung von Zuverlässigkeitsmethoden um soziotechnische Aspekte.

Zudem ist der **Kontext** zu erforschen. Im engeren Kontext ist zu untersuchen, wie Organisationen verlässlich zu gestalten sind. Hierbei ist unter anderem die Gewährleistung von Verlässlichkeit bezüglich multikultureller Organisationen zu betrachten. Sozialpsychologische Mechanismen in STS mit mehr als einem Operateur sind zu verstehen und integrative Methoden zur Analyse und Beurteilung der Verlässlichkeit von Mensch-Maschinen-Interaktionen zu entwickeln. Ein weiteres Themenfeld ist IT-Sicherheit sowie die Sicherheit durch Organisationen im Sinne von Nachhaltigkeit. Die Bestimmung von Verlässlichkeitsanforderungen an Organisationen und relevanter, verlässlichkeitssensibler Organisationsmerkmale sowie deren Auswirkungen sind entlang der Organisationsprozesse zu bestimmen und mit den Kompetenzen der Menschen in diesen Organisationen zu koppeln.

Bezüglich des weiteren Kontextes der Verlässlichkeit ist das Erfassen, Verstehen und Systematisieren von Systemen im Kontext der Verlässlichkeit zu fokussieren. Hier sind folgende Themen-schwerpunkte zu nennen:

- domänenübergreifende Quantifizierung der Verlässlichkeit,
- Reduzierung der Komplexität umfassender soziotechnischer Aspekte,
- Entwicklung eines übergreifenden/allgemeinen Verlässlichkeitsmodells unter Einbeziehung unterschiedlicher Umweltfaktoren und Detailbetrachtung der Mensch-Maschinen-Interaktion,
- Compliance von STS,
- Interaktion Mensch-Maschine-soziale Umgebung,

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Überwindung des nachgewiesenen Forschungs- und Praxisdefizits durch die Entwicklung einer integrativen Theorie der Verlässlichkeit für soziotechnische Systeme (iTV für STS) einschließlich entsprechender Deskriptionen, Skalen und Modelle.

## 5 Fazit und Ausblick

Es ist festzustellen, dass Verlässlichkeit im allgemeinen und fachspezifischen Sprachgebrauch zahlreiche Aspekte aus allen Lebenslagen in Gesellschaft, Wirtschaft und Technik umfasst. Die Fülle an Aspekten zeigt, dass zur zielgerichteten Bearbeitung ein gemeinsamer Startpunkt festgelegt werden muss. Zur Beschreibung der Verlässlichkeit verständigen sich die Autorinnen und Autoren aus diesem Grund auf die Aspekte Reliability, Availability, Maintainability, Safety und Security als integrativem Startpunkt. Inwieweit diese Definition im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten anzupassen beziehungsweise zu ergänzen ist, ist bislang offen.

Eine ganzheitliche Betrachtung zur Gewährleistung der Verlässlichkeit von STS ist nicht existent. In der Fachliteratur gibt es eine Reihe von Forschungsansätzen, die sich mit Zuverlässigkeit von technischen Systemen aus Ingenieurperspektive, mit Resilienz aus sozial- und geisteswissenschaftlicher Sicht, mit Sicherheit aus Informatik- und Ingenieurperspektive, mit Bedrohung von Organisationen von innen und außen jeweils aus Ingenieur- und Informatik- oder geisteswissenschaftlicher Sichtweise auseinandersetzen. Gleiches trifft auf die Risiken innerhalb von STS zu. Es fehlt aber eine fachdisziplinübergreifende Betrachtung der Verlässlichkeit von STS. Im Rahmen einer Vielzahl von EU-, BMBF- und DFG-geförderten Projekten werden entweder fachspezifische Aspekte der Verlässlichkeit oder Teilaspekte der Verlässlichkeit modelliert beziehungsweise Methoden hierfür entwickelt. Diese zahlreichen Einzelerkenntnisse betrachten jeweils nur einzelne Facetten der Verlässlichkeit; eine synergetische Integration besteht nicht. Die Recherche verdeutlicht auch den Bedarf der Entwicklung einer integrativen Theorie für die Verlässlichkeit von STS.

Aus der Wissenschaftsgeschichte ist erkennbar, dass eine solche Situation nur durch einen Paradigmenwechsel beherrschbar ist. Beispiele hierfür sind die Maxwell'sche Theorie in der



Elektrodynamik oder die Wiener'sche Kybernetik. Folglich stellen die Autorinnen und Autoren die These auf, dass aufgrund der vielfältigen gegenwärtigen Forschungserkenntnisse der Zeitpunkt für die Entwicklung einer iTV für STS günstig ist. Diverse Einzelerkenntnisse aus Fachdisziplinen liegen bereits vor. Allerdings fehlt eine Verdichtung und Abstimmung zu einer disziplinübergreifenden Theorie.

Ziel ist die Entwicklung einer integrativen Beschreibung und Modellierung der Verlässlichkeit soziotechnischer Systeme, die Teilaspekte wie Safety, Security, Instandhaltbarkeit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit subsummiert und diese auf praktische Anwendungen wie zum Beispiel in Produktion und Dienstleistung überträgt. Insgesamt lassen die geplanten Forschungsaktivitäten wichtige Beiträge für ein erweitertes Sicherheitsverständnis erwarten.

## Literatur

### Baua 2015

Baua (2015): Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. URL: <http://www.baua.de/de/Produktsicherheit/Produktinformationen/Rueckrufe-2015/07-BICO.html> [Stand: 14.09.2015].

### Becker/Spöttel 2015

Becker, M./Spöttel, G.: „Berufliche (Handlungs-)Kompetenzen auf der Grundlage arbeitsprozessbasierter Standards messen“. In: *bwp@ Berufs- und Wirtschaftspädagogik – online*, Ausgabe 28, 1-19. URL: [http://www.bwpat.de/ausgabe28/becker\\_spoettel\\_bwpat28.pdf](http://www.bwpat.de/ausgabe28/becker_spoettel_bwpat28.pdf) [Stand: 15.09.2015].

### Bertsche/Lechner 2004

Bertsche, B./Lechner, G.: *Zuverlässigkeit im Fahrzeug- und Maschinenbau: Ermittlung von Bauteil- und System-Zuverlässigkeiten*, Berlin: Springer-Verlag 2004.

### Bertsche et al. 2009

Bertsche, B./Göhner, P./Jensen, U./Schinköthe, W./Wunderlich, H.-J.: *Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme: Grundlagen und Bewertung in frühen Entwicklungsphasen*, Berlin: Springer-Verlag 2009.

### Beyerer 2008

Beyerer, J.: „Sicherheitsforschung als umfassende Aufgabe“. In: *Jubiläumsausgabe Strategie und Technik*, 51. Jahrgang, Report Verlag Sulzbach/Ts, Februar/März 2008, S. 102–105.

### Beyerer et al. 2009

Beyerer, J./Geisler, J./Dahlem, A./Winzer, P.: „Sicherheit: Systemanalyse und -design“. In: Winzer, P./Schnieder, E./Bach, F. (Hrsg.): *Sicherheitsforschung – Chancen und Perspektiven*, Berlin: Springer 2010, S. 39–72.

### Beyerer/Geisler 2015

Beyerer, J./Geisler, J.: „A Quantitative Risk Model for a Uniform Description of Safety and Security“. In: Beyerer, J./Meissner, A./Geisler, J. (Hrsg.): *Proceedings of the Security Research Conference: 10<sup>th</sup> Future Security* (Berlin, 15th–17th September 2015), S. 317–324.

### Beyerer/Geisler 2018

Geisler, J./Beyerer, J.: „Formaler Rahmen für eine einheitliche quantitative Beschreibung des Risikos bezüglich Safety und Security“. In: Beyerer, J./Winzer, P. (Hrsg.): *Beiträge zu einer Systemtheorie Sicherheit* (acatech DISKUSSION), München: Herbert Utz Verlag 2018.

### BiP 2008

Bundesinstitut für Berufsbildung (Hrsg.): „Internationale Vergleichsstudie in der Berufsbildung („Large-Scale-Assessment“)“. In: *Berufsbildung in Wissenschaft und Praxis – BWP*, 2008, Beilage zu 1/2008.

### Biolini 2014

Biolini, A.: *Reliability Engineering: Theory and Practice*, Heidelberg: Springer 2014.

### Botzler et al. 2014

Botzler, M./Zeiler, P./Bertsche, B.: „Failure Prediction by Means of Advanced Usage Data Analysis“. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): *Annual Reliability and Maintainability Symposium: Proceedings*, Colorado Springs 2014.

### Brünner 2000

Brünner, G.: *Wirtschaftskommunikation*, Tübingen: Niemeyer 2000.

### Denbostel 2007

Denbostel, P.: *Lernen im Prozess der Arbeit*, Münster: Waxmann Verlag 2007.

### Denkena et al. 2013

Denkena, B./Scharin, F./Merwart, M.: *Concept Base Process Planning for the Workshop Production in Production Engineering Research and Development*, Vol. 7, Berlin: Springer 2013, S. 299–308.

### Dhillon 2005

Dhillon, J. S.: *Reliability, Quality, and Safety for Engineers*, CRC Press 2005.

### EN 954-1 1996

DIN EN 954-1:1996: *Sicherheit von Maschinen. Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen*, Beuth Verlag 1996.

### Fahlruch 2000

Fahlruch, B.: *Vom Unfall zu den Ursachen – Empirische Bewertung von Analyseverfahren* (Dissertation), Ruhr-Universität Bochum 2000.

### Fischer et al. 2011

Fischer, Y./Bauer, A./Beyerer, J.: „A Conceptual Framework for Automatic Situation Assessment“. In: *Proceedings of the Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support*, 2011, S. 234–239.



#### **Fischer/Beyerer 2013**

Fischer, Y./Beyerer, J.: „Ontologies for Probabilistic Situation Assessment in the Maritime Domain“. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support*, San Diego 2013, S. 105–108.

#### **Forscherguppe DFG 460**

DFG Forschergruppe 460: *Systemzuverlässigkeit – Entwicklung von Konzepten und Methoden zur Ermittlung der Zuverlässigkeit mechatronischer Systeme in frühen Entwicklungsphasen*. URL: [http://www.ima.uni-stuttgart.de/forschung/bereich\\_zuv/abgeschlossene/forscherguppe\\_460/](http://www.ima.uni-stuttgart.de/forschung/bereich_zuv/abgeschlossene/forscherguppe_460/) [Stand: 10.09.2015].

#### **Gillepsie 2015**

Gillepsie, A. M.: „Reliability & Maintainability Applications in Logistics & Supply Chain“. In: *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): Annual Reliability and Maintainability Symposium: Proceedings*, Palm Harbor 2015.

#### **Jakobs 2008**

Jakobs, E.-M.: „Unternehmenskommunikation. Arbeitsfelder, Trends und Defizite“. In: Niemeyer, S./Dieckmannshenke, H. (Hrsg.): *Profession und Kommunikation*, Frankfurt/M.: Lang 2008, S. 13–31.

#### **Jakobs et al. 2011**

Jakobs, E.-M./Fiehler, R./Eraßme, D./Kursten, A.: „Industrielle Prozessmodellierung als kommunikativer Prozess. Eine Typologie zentraler Probleme“. In: *Gesprächsforschung* 12, 2011, S. 223–264.

#### **Jungermann et al. 2010**

Jungermann, H./Pfister, H.-R./Fischer, K.: *Die Psychologie der Entscheidung – Eine Einführung*, Berlin, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2010.

#### **Kahneman 2011**

Kahneman, D.: *Thinking Fast and Slow*, London, New York: Penguin 2011.

#### **Kemmler/Bertsche 2014**

Kemmler, S./Bertsche, B.: *Systematic Method for Axiomatic Robustness-Testing (SMART). 1<sup>st</sup> International Symposium on Robust Design*, Kopenhagen 2014.

#### **Krasich 2015**

Krasich, M.: „Modeling of SW Reliability in Early Design with Planning and Measurement of Its Reliability Growth“. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): *Annual Reliability and Maintainability Symposium: Proceedings*, Palm Harbor 2015.

#### **Kuwertz 2012a**

Kuwertz, A.: „Extending Object-Oriented World Modeling for Adaptive Open-World Modeling“ (Technischer Bericht IES-2012-06). In: Beyerer, J./Pak, A.: *Proceedings of the 2012 Joint Workshop of Fraunhofer IOSB and Institute for Anthropomatics, Vision and Fusion Laboratory*, Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2012.

#### **Kuwertz 2012b**

Kuwertz, A.: „Towards Adaptive Open-World Modeling“ (Technischer Bericht IES-2011-10). In: Beyerer, J./Pak, A.: *Proceedings of the 2011 Joint Workshop of Fraunhofer IOSB and Institute for Anthropomatics, Vision and Fusion Laboratory*, Karlsruhe: KIT Scientific Publishing 2012.

#### **Kuwertz et al. 2015**

Kuwertz, A./Goldbeck, C./Hug, R./Beyerer, J.: „Towards Web-based Semantic Knowledge Completion for Adaptive World Modeling in Cognitive Systems“. In: *Proceedings of the UKSIM-AMSS 17<sup>th</sup> International Conference on Modelling and Simulation (UK-Sim2015)*, 2015, S. 165–170.

#### **Kuwertz/Beyerer 2013a**

Kuwertz, A./Beyerer, J.: „Quantitative Measures for Adaptive Object-Oriented World Modeling“. In: *Proceedings of 4<sup>th</sup> Workshop on Dynamics of Knowledge and Belief* (36<sup>th</sup> German Conference on Artificial Intelligence), Fernuniversität Hagen 2013, S. 89–104.

#### **Kuwertz/Beyerer 2013b**

Kuwertz, A./Beyerer, J.: *Knowledge Model Quantitative Evaluation for Adaptive World Modeling*. IEEE Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSI-MA 2013), San Diego 2013.

#### **Kuwertz/Schneider 2013**

Kuwertz, A./Schneider, G.: *Ontology-Based Meta Model in Object-Oriented World Modeling for Interoperable Information Access* (International Conference on Systems ICONS), Sevilla 2013.

#### **Latour 2005**

Latour, B.: *Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory*, New York 2005.

**Lichte/Wolf 2018**

Lichte, D./Wolf, K.-D.: „Quantitative Analyse der Vulnerabilität am Beispiel Verkehrsflughafen“. In: Beyerer, J./Winzer, P. (Hrsg.): *Beiträge zu einer Systemtheorie Sicherheit* (acatech DISKUSSION), München: Herbert Utz Verlag 2018.

**Meyna/Pauli 2010**

Meyna, A./Pauli, B.: *Zuverlässigkeitstechnik: Quantitative Bewertungsverfahren*, München: Hanser 2010.

**Perrow 1984**

Perrow, C.: *Normal Accidents – Living with High-Risk Technologies*, New York: Basic Books 1984.

**Perrow 1990**

Perrow, C.: *Normale Katastrophen: Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik*, Frankfurt am Main: Campus 1990.

**Perrow 1992**

Perrow, C.: „Unfälle und Katastrophen – ihre Systembedingungen“. In: *Journal für Sozialforschung* 1, 1992, S. 61–75.

**Pfrommer et al. 2013**

Pfrommer, J./Schleipen, M./Beyerer, J.: *Fähigkeiten adaptiver Produktionsanlagen*, Atp edition 55: 11, München: Deutscher Industrieverlag 2013, S. 42-49..

**Raabe 2018**

Raabe, O.: „Datenschutz- und IT-sicherheitsrechtliche Risikomodelle“. In: Beyerer, J./Winzer, P. (Hrsg.): *Beiträge zu einer Systemtheorie Sicherheit* (acatech DISKUSSION), München: Herbert Utz Verlag 2018.

**Rauer 2012**

Rauer, V.: „Interobjektivität: Sicherheitskultur aus Sicht der Akteur-Netzwerk-Theorie“. In: Daase, Chr./Offermann, Ph./Rauer, V. (Hrsg.): *Sicherheitskultur. Soziale und politische Praktiken der Gefahrenabwehr*, Frankfurt am Main/New York 2012, S. 69–91.

**Renn 2014**

Renn, O.: *Das Risikoparadox. Warum wir uns vor dem Falschen fürchten*, Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch 2014.

**Renn et al. 2007**

Renn, O./Schweizer, P.-J./Dreyer, M./Klinke, A.: *Risiko aus sozial-ökologischer Perspektive*, München: OEKOM Verlag 2007.

**Roberts 1989**

Roberts, K. H.: *New Challenges in Organizational Research: High Reliability Organizations. Industrial Crisis Quarterly*, 3, 1989, S. 111–125.

**Roberts/Gargano 1990**

Roberts, K. H./Gargano, G.: „Managing a High-Reliability Organization: A Case for Interdependence“. In: Glinow, M. A./Mohrman, S. A.: *Managing Complexity in High Technology Organizations*, New York, Oxford: Oxford University Press 1990, S. 146–159.

**Rochlin 1993**

Rochlin, G. I.: „Defining ‚High Reliability‘ Organizations in Practice: A Taxonomic Prologue“. In: Roberts, K. H.: *New Challenges to Understanding Organizations*, New York: Macmillan 1993, S. 11–32.

**Ropohl 2012**

Ropohl, G.: *Allgemeine Systemtheorie – Einführung in transdisziplinäres Denken*, Berlin: Edition Sigma 2012.

**Schirmer 2008**

Schirmer, W.: *Bedrohungskommunikation: Eine gesellschaftstheoretische Studie zu Sicherheit und Unsicherheit*, Vs Verlag 2008.

**Schlick et al. 2010**

Schlick, C. M./Buder, R./Luscher, H.: *Arbeitswissenschaft*, Heidelberg: Springer Verlag 2010.

**Schlüter/Winzer 2016**

Schlüter, N./Winzer, P.: „Qualitätswissenschaft als Bestandteil der geforderten Verlässlichkeitsforschung zu soziotechnischen Systemen“. In: Refflinghaus, R./Kern, C./Klute-Wenig, S. (Hrsg.): *Qualitätsmanagement 4.0 – Status Quo! Quo vadis?*, Bericht zur GQW-Jahrestagung 2016 in Kassel, Kasseler Schriftenreihe Qualitätsmanagement Band 6, Kassel University Press, Kassel, 2016, S. 207–226.

**Schlüter/Winzer 2018**

Schlüter, N./Winzer, P.: „Bedeutung des Systems Engineering für die Entwicklung einer Systemtheorie der Sicherheit“. In: Beyerer, J./Winzer, P. (Hrsg.): *Beiträge zu einer Systemtheorie Sicherheit* (acatech DISKUSSION), München: Herbert Utz Verlag 2018.

**Schnieder 2012**

Schnieder, E.: *Towards A Theory Of Safety*. 17<sup>th</sup> International Conference of the Society for Design and Process Science (SDPS), Berlin 2012.

**Schnieder 2013**

Schnieder, E.: *Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen Sicherheit und Zuverlässigkeit soziotechnischer Systeme*, 26. Fachtagung Technische Zuverlässigkeit 2013 (TTZ 2013), Leonberg.

**Schnieder/Schnieder 2013**

Schnieder, E./Schnieder, L.: *Verkehrssicherheit: Maße und Modelle, Methoden und Maßnahmen für den Straßen- und Schienenverkehr*, Berlin: Springer Vieweg 2013.

**Schnieder/Schnieder 2018**

Schnieder, E./Schnieder, L.: „Formalisierung von Begriffen der Sicherheit und Sicherheitsmetriken“. In: Beyerer, J./Winzer, P. (Hrsg.): *Beiträge zu einer Systemtheorie Sicherheit* (acatech DISKUSSION), München: Herbert Utz Verlag 2018.

**Schulman 1993**

Schulman, P. R.: „The Analysis of High Reliability Organizations, A Comparative Framework“. In: Roberts, K. H.: *New Challenges to Understand Organizations*, London, New York: Macmillan 1993, S. 33-54.

**Schulte-Zurhausen 2014**

Schulte-Zurhausen, M.: *Organisation*, München: Franz Vahlen 2014.

**Silver 2012**

Silver, N.: *The Signal and The Noise*, New York: Penguin 2012.

**Sondermann-Wölke 2014**

Sondermann-Wölke, C.: *Entwurf und Anwendung einer erweiterten Zustandsüberwachung zur Verlässlichkeitssteigerung selbstoptimierender Systeme*, Aachen: Shaker Verlag 2014.

**Spiegel 2015**

Spiegel (2015): *Abgasaffäre*. URL: <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/volkswagen-fuenf-millionen-autos-der-marke-vw-muessen-in-die-werkstatt-a-1055329.html> [Stand: 05.10.2015].

**Stohrer et al. 2013**

Stohrer, M./Kemmler, S./Koller, O./Bertsche, B.: *Zuverlässigkeitsorientierte Online-Optimierung von Betriebsstrategien mechatronischer Produkte*, Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung (SSP), Stuttgart 2013.

**Thoma 2011**

Thoma, K. (Hrsg.): *European Perspectives on Security Research*, Berlin: Springer 2011.

**Trost 2008**

Trost, M.: *Gesamtheitliche Anlagenmodellierung und -analyse auf Basis stochastischer Netzverfahren* (Dissertation), Stuttgart: Berichte aus dem Institut für Maschinenelemente, 128, 2008.

**Villiger 2014**

Villiger, C.: „Unsichtbare Gefahren. Risikokommunikation im Spannungsfeld von Technikvermittlung, Sicherheitskultur, Akzeptanz und Partizipation“. In: Banse, G./Rothkegel, A. (Hrsg.): *Neue Medien. Interdependenzen von Technik, Kultur und Kommunikation*, trafo 2014, S. 103-120.

**Weyer et al. 2018**

Weyer, J./Adelt, F./Konrad, J./Hoffmann, S.: „Agentenbasierte Simulation des Risikomanagements soziotechnischer Systeme mit dem Simulator SimCo“. In: Beyerer, J./Winzer, P. (Hrsg.): *Beiträge zu einer Systemtheorie Sicherheit* (acatech DISKUSSION), München: Herbert Utz Verlag 2018.

**Wildner 2013**

Wildner, C.: „Robustheit: Eine Anforderung an intralogistische Systeme“. In: *Logistics Journal*, 10, 2013, S. 1-11. URL: [http://www.logistics-journal.de/proceedings/2013/3770/wildner\\_2013wgtl.pdf](http://www.logistics-journal.de/proceedings/2013/3770/wildner_2013wgtl.pdf) [Stand: 15.09.2015].

**Winzer et al. 2010**

Winzer, P./Schnieder, E./Bach, F.-W. (Hrsg.): *Sicherheitsforschung: Chancen und Perspektiven* (acatech DISKUTIERT), Berlin: Springer 2010.

**Winzer 2015**

Winzer, P.: „Generic System Description and Problem Solving in Systems Engineering“. In: *IEEE Systems Journal*, Volume: PP, Issue: 99, 2015, S. 1-10.