

# Inhalt

---

## **Vorwort**

Hartmut Hirsch-Kreinsen | x

## **Einleitung**

Hartmut Hirsch-Kreinsen und Anemari Karačić | x

## **POTENZIALE UND GRENZEN DER ANWENDUNG AUTONOMER SYSTEME**

### **Autonome Systeme**

Potenziale und Herausforderungen  
Thomas Kuhn und Peter Liggesmeyer | xx

### **Künstliche Intelligenz in Bildungs- und Arbeitsräumen**

Internet der Dinge, Big Data,  
Personalisierung und adaptives Lernen  
Miloš Kravčik, Carsten Ullrich und Christoph Igel | xx

### **Grenzen und Widersprüche der Entwicklung und Anwendung Autonomer Systeme**

Peter Brödner | xx

## **AUTONOME SYSTEME UND DER WANDEL VON ARBEIT: KONZEPTIONELLE BEITRÄGE UND EMPIRISCHE FORSCHUNGSERGEBNISSE**

### **Autonome Systeme und Künstliche Intelligenz**

Herausforderungen für die Arbeitssystemgestaltung  
Detlef Gerst | xx

### **Assimilierende versus komplementäre Adaptivität**

Grenzen teil-autonomer Systeme

Nobert Huchler | xx

### **Die Autonomie instrumentell genutzter Technik**

Eine handlungstheoretische Analyse

Ingo Schulz-Schaeffer | xx

### **Herausforderungen der sozio-technischen Evaluation der Arbeit mit Autonomen Systemen**

Thomas Herrmann und Jan Nierhoff | xx

## **HISTORISCHE UND GESELLSCHAFTLICHE PERSPEKTIVEN**

### **Technik und Autonomie**

Kulturhistorische Bemerkungen zu einem komplexen Verhältnis

Martina Heßler | xx

### **Haben autonome Maschinen Verantwortung?**

Christoph Hubig | xx

### **Autorinnen und Autoren | xx**

# Herausforderungen der sozio-technischen Evaluation der Arbeit mit Autonomen Systemen

---

*Thomas Herrmann und Jan Nierhoff*

## 1. EINLEITUNG UND MOTIVATION EINES HEURISTIK-BASIERTEN ANSATZES

Arbeitsbedingungen, insbesondere im industriellen Kontext, sind maßgeblich durch die eingesetzten Technologien bestimmt. Wir erachten die Evaluation von Arbeitsbedingungen im Kontext Autonomer Systeme aus zwei Gründen als herausfordernd:

(1) Akteur/-innen in vielfältigen Rollen interagieren mit Technologie, die durch autonome, dezentralisierte cyberphysikalische Systeme gekennzeichnet ist. Die daraus entstehende reziproke Beeinflussung zwischen Mensch und Technik konstituiert ein komplexes sozio-technisches Szenario (vgl. Baxter/Sommerville 2011: 4-17). Es ist gekennzeichnet durch die Verzahnung technischer Komponenten mit organisationalen Maßnahmen zur Unterstützung von Kommunikation, Kollaboration und Koordination. Sozio-technische Systeme können nur unvollständig beschrieben bzw. dokumentiert werden (vgl. Suchman 1995: 56-64) und unterliegen ständiger Weiterentwicklung (vgl. Fischer/Herrmann 2011: 1-33).

(2) Autonome Systeme bedürfen einer kontinuierlichen Anpassung auf wechselnde Herausforderungen und zur Wahrnehmung von Optimierungspotenzialen. Diese Anpassung ist zum einen durch menschliche Akteur/-innen zu leisten und kann zum anderen durch maschinelles Lernen unterstützt werden, falls ein entsprechender Entwicklungsstand des Autonomen Systems vorliegt. Daraus resultiert eine besondere Dynamik.

Wir betrachten ein technisches System als umso autonomer, je eher es seine Leistung und seinen Nutzen ohne die Mitwirkung eines menschlichen Akteurs/einer menschlichen Akteurin erbringen kann (vgl. Schmidt/Herrmann 2017). Das bedeutet, dass keine feingranulare Interaktion und keine anhaltende Aufmerksamkeit im Verlauf der Leistungserbringung durch das Autonome System erforderlich sind. Im Unterschied zu einfachen Automaten (etwa einer herkömmlichen Kaffee- oder einer Waschmaschine) sind neuere Entwicklungen auf dem Gebiet Autonomer Systeme zum einen durch eine ständige Steuerung mittels Kontextauswertung gekennzeichnet, die den menschlichen Input kompensiert. Man spricht auch von impliziter Interaktion; hierfür ist eine geeignete Sensorik notwendig. Zum anderen passen neuere Autonome Systeme die ihnen initial vorgegeben Regeln als Teil ihres Leistungsspektrums selbst an bzw. unterstützen diese Anpassung auf Basis der Historie der Auswertung des Kontextes und des gelegentlichen menschlichen Systeminputs.

Die Aufgaben, die im Hinblick auf diese Anpassungsvorgänge und gelegentlichen Eingriffe beim Menschen verbleiben, sind keineswegs marginal oder beiläufig, wie unten (Kapitel 5) zu zeigen sein wird. Um der Komplexität und der Dynamik dieser Aufgaben beim sozio-technischen Design zu begegnen, schlagen wir den Einsatz von Heuristiken zur agilen Systemevaluation vor. Während der Heuristik-Begriff Domänen-übergreifend sehr allgemein als „Lehre, Wissenschaft von dem Verfahren, Probleme zu lösen [altgriechisch εὐρίσκειν (heuriskein): entdecken, finden, d.V.]“ definiert ist (Brockhaus Enzyklopädie 1995: ##), zeichnen sich als heuristisch benannte Vorgehensweisen meist dadurch aus, dass mit begrenztem Wissen eine ausreichend gute Lö-

sung gefunden werden soll. Im psychologischen Kontext definiert Zimbardo (2004: ##) Heuristiken als „kognitive Eilverfahren, die bei der Reduzierung des Bereichs möglicher Antworten oder Problemlösungen nützlich sind, indem sie Faustregeln als Strategien anwenden“. Im Gegensatz zu Algorithmen garantieren Heuristiken keine Lösungen (vgl. Wessels 1994) und sind fehleranfälliger (vgl. Stangl 2018). Während heuristische Ansätze also keine ‚100-Prozent-Lösungen‘ versprechen, bieten sie eine durch Pragmatik geprägte Vorgehensweise, um die kritischsten Probleme mithilfe eines überschaubaren Aufwands zu identifizieren. Das wohl bekannteste Beispiel eines solchen Ansatzes im Bereich der Mensch-Technik-Interaktion sind Nielsens Heuristiken zur Usability Evaluation von interaktiven Systemen (vgl. Nielsen 1994: 25-62). Im Rahmen des Forschungsprojekts *Heuristiken für die Industrie 4.0*<sup>1</sup> wird ein Heuristik-Set zur Evaluation sozio-technischer Systeme entwickelt.

Abbildung 1 zeigt, wie ein solches Heuristik-Set zur Unterstützung einer sozio-technischen Systemevaluation eingesetzt werden kann: Eine zentrale Rolle spielen die Personen, die sie durchführen. Ihre Erfahrung mit dem zu analysierenden System, ihre Expertise in einer spezifischen Domäne und auch ihre Vertrautheit mit dem Einsatz der Heuristiken haben Einfluss auf das Ergebnis der Evaluation. Zielgruppen der Heuristiken sind sowohl Planer/-innen, Designer/-innen, Manager/-innen und Ingenieur/-innen, die im Kontext von Industrie-4.0-Lösungen agieren, als auch die dabei tätigen operativen Kräfte, ihre Interessenvertretung sowie Berater/-innen und Ausbilder/-innen. Im Unterschied zu abstrakten Gestaltungsgrundsätzen (vgl. Grote 2015), haben Heuristiken den Anspruch, dass sie auch für die Betroffenen selbst anwendbar sind. Sie sind damit nicht in erster Linie für die Nutzung durch Expert/-innen für Arbeitsgestaltung und sozio-technisches De-

---

1 Gefördert durch das Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes NRW im Rahmen des Themenbereichs *Digitalisierung von Arbeit – Industrie 4.0* des Forschungsinstituts für gesellschaftliche Weiterentwicklung.

sign vorgesehen, sondern für diejenigen, die aus anderer Perspektive mit der Entwicklung und der Einführung eines Industrie-4.0-Konzeptes befasst sind.

Abbildung 1: Anwendungskonzept der Heuristiken zur sozio-technischen Systemevaluation



Quelle: eigene Darstellung

Die Analyse des Systems kann auf verschiedenen Grundlagen aufbauen, etwa auf Beobachtungen eines konkreten Settings (z.B. einer Fertigungsanlage), auf Basis von Modellen der Arbeitsprozesse oder indirekt auf Interviews mit Nutzer/-innen oder mit Planer/-innen des Systems. Die Heuristiken dienen als Impulse, das System unter Berücksichtigung der von ihnen adressierten Aspekte zu betrachten. Sie helfen, im Zusammenspiel mit dem eigenen Expertenwissen, kritische Aspekte des sozio-technischen Systemdesigns zu fokussieren. Die Konkretisierung, die durch die Verschriftlichung eher abstrakter Konzepte, wie z.B. Flexibilität, zu Heuristiken erfolgt, macht diesbezügliche Probleme im System benennbar und unterstützt die Kommunikation zwischen den verschiedenen Akteur/-innen. So werden potenziell übersehene Defizite und Verbesserungsanforderungen aufgezeigt und behandelbar gemacht. Erhebungen am Beispiel der Digitalisierung von

Industrieanlagen bzw. der dafür entwickelten Konzepte machen deutlich, dass über eine reine Problemidentifikation hinaus mithilfe der Heuristiken auch die Erhebung und das Verständnis der Lösungsansätze aus einer sozio-technischen Perspektive (vgl. Herrmann 2012) unterstützt wird.

Der vorliegende Beitrag stellt einen ersten Kandidaten für ein solches Heuristik-Set vor und gibt Hinweise zu dessen Einsatzmöglichkeiten. Die Vorgehensweise bei der Entwicklung der Heuristiken wird offengelegt und verdeutlicht, warum deren Anwendbarkeit auf sozio-technische Konzepte im Allgemeinen auch auf die Industrie-4.0-Konzepte unter Einbeziehung Autonomer Systeme zutrifft.

## 2. IDENTIFIKATION EINES INITIALEN HEURISTIK-SETS

Wir verstehen die Integration Autonomer Systeme in Arbeitsvorgänge als ein sozio-technisches System. Um die relevanten Aspekte für ein solches sozio-technisches Design möglichst umfassend zusammenzustellen, wurde Literatur aus den Bereichen Human-Computer Interaction, Computer Supported Cooperative Work, Process Redesign, Socio-Technical Design, Job-Design und Privacy gesichtet. Extrahiert wurden 174 einzelne Inhaltsaspekte, die auf gelungene Systemgestaltung und auf potenzielle Probleme hinweisen. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** listet die gesichtete Literatur und die Anzahl der extrahierten Inhaltsaspekte für die Heuristiken.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Streng genommen handelt es sich bei den in der Literatur gefundenen Items bereits um Heuristiken bzw. Richtlinien oder Prinzipien. Um Konfusion zu vermeiden, benutzen wir aber den Begriff *Inhaltsaspekte*. Es werden also diese *Inhaltsaspekte* zu neuen *Heuristiken* gruppiert. Die Gesamtmenge der neuen sozio-technischen *Heuristiken* ist ein *Heuristik-Set*.

Tabelle 1: Übersicht der betrachteten Literatur und extrahierter Items.

Domäne	Autor/-innen	Anzahl extrahierter Inhaltsaspekte
Socio-Technical Design	Clegg 2000	15
	Cherns 1987	11
	Eason 1988	10
Human-Computer Interaction	Nielsen 1994; Nielsen/Molich 1990	11
	Shneiderman et al. 2010	9
	Dix et al. 2004	14
	Schneider 2008; referenziert ISO 9241-110: 2006	7
Computer-Supported Cooperative Work	Greenberg et al. 1999	5
	Baker/Greenberg/ Gutwin 2001	7
	Herrmann/Wulf/Hartmann 1996	8
Socio-Technical Design; Job Re-Design	Mumford 1983	5
Job Re-Design	Hackman/Oldham 1975	7
	Dunckel 1989	10
	Grote et al. 2000; Grote 2015	17
Privacy	Rost/Bock 2011	6
	Clement 1993	5
Process Re-Design	Reijers/Mansar 2005	27
<b>Summe</b>		<b>174</b>

Exemplarisch zeigt die folgende Abbildung Untermengen der gefundenen Inhaltsaspekte aus der Literatur, die zu den Heuristiken (i.e. Clustern) *Autonomy* (Autonomie, auch Themen wie Flexibilität abdeckend)

und *Evolutionary Growth* (evolutionäre Weiterentwicklung, Adaption) verdichtet wurden.

*Abbildung 2: Auszug von Inhaltsaspekten, die zu den neuen Heuristiken Autonomie und Evolutionäre Weiterentwicklung gruppiert wurden*



### Autonomie

(Grote 2015) Kontrollierbarkeit der Technik durch Menschen  
 (Dix et al. 2004) Flexibility: Multithreading (ability of system to support user interaction for several tasks at a time, concurrent multimodality: simultaneous communication of information pertaining to separate tasks, interleaving multimodality: permits temporal overlap between separate tasks, dialog is restricted to a single task).  
 (Nielsen 1994) Flexibility and efficiency of use. Accelerators -- unseen by the novice user -- may often speed up the interaction for the expert user such that the system can cater to both inexperienced and experienced users. Allow users to tailor frequent actions.  
 (Rost/Bock 2011) Ability to intervene (contingency) – to operationalise especially data subject rights and the ability of information processing entities respective operators of systems to demonstrate verifiable that they actually have steering control over their systems and are not dominated by the system.  
 (Hackman/Oldham 1975) Autonomy. The degree to which the job provides substantial freedom, independence, and discretion to the employee in scheduling the work and in determining the procedures to be used in carrying it out.  
 (Dunckel 1989) Zeitspielraum. Möglichkeiten für den/die Arbeitende/n den Handlungsablauf selbständig zeitlich zu strukturieren [...] zu enge zeitliche Vorgaben [können] einen (ansonsten) recht großen Handlungsspielraum wieder zunichtemachen.



### Evolutionäre Weiterentwicklung

(Eason 1988) To serve the functional needs of the organization by serving the functional needs of individual users a major form of organizational and individual learning is required. A progressive, planned form of evolutionary growth complements existing design procedures and organization change practices  
 (Clegg 2000) Systems and their design should be owned by their managers and users. This amends Cherns' principle of compatibility and involves a change from his emphasis on user participation to user ownership.  
 (Eason 1988) The effective exploitation of socio-technical systems depends upon adoption of a planned process of change that meets the needs of people  
 (Hernami/Wulf/Hartmann 1996) Group-oriented Configurability – enables each group of users to specifically select the appropriate number of functions and their functional alternatives during a process of participative configuration.  
 (Cherns 1987) Transitional organization ... see the design team and its process as a vehicle of transition...  
 (Cherns 1987) Incompletion or the Forth Bridge Principle. We all know that the present period of transition is not between past and a future stable state but really between one period of transition and another.

Quelle: eigene Darstellung

Diese beiden Aspekte sind von besonderer Bedeutung im Kontext Autonomer Systeme, weil sich bei deren Einsatz die Frage ergibt, wie die Autonomie derjenigen beeinflusst wird, die die Systeme vorbereiten, nutzen und warten. Die Anpassungsfähigkeit Autonomer Systeme – etwa auf dem Weg des maschinellen Lernens, impliziert eine stetige Weiterentwicklung, von der menschliche Akteur/-innen betroffen sind und für die sich die Frage stellt, inwieweit sie von diesen Akteur/-innen beeinflussbar ist.

## **2.1 Vorgehensweise beim Clustering und methodische Herausforderungen**

Die Verdichtung der 174 Inhaltsaspekte zu neuen Heuristiken wurde in drei Runden von fünf Expert/-innen aus den Bereichen Informatik, Soziologie, Arbeitswissenschaften und Prozessmanagement durchgeführt. Da bei der Menge und Art (semantische Vagheit, zum Teil wenig Trennschärfe) der Inhaltsaspekte kein eindeutiges, ‚korrektes‘ Gruppierungsschema vorgegeben werden konnte, wurde ein erster Gruppierungsvorschlag unterbreitet, auf den in mehreren Iterationen Zuordnungsversuche durch die Expert/-innen aufbauten sowie eine anschließende Diskussion der Problemfälle. So konnten Diskrepanzen beim Verständnis der Inhaltsaspekte und der Beziehungen unter ihnen schrittweise aufgeklärt werden.

Im Verlauf der Zuordnungen und ihrer Erörterung wurde deutlich, dass die spätere Formulierung der Heuristiken eine weitere Herausforderung darstellt. Die Beschreibung einer Heuristik muss einerseits einen hohen Abstraktionsgrad haben, um den vielfältigen Inhaltsaspekten, die sie umfasst, gerecht zu werden. Andererseits muss sie konkret genug sein, um leicht verständlich und gut merkbar zu bleiben, damit die unterstellte Wirkungsweise der Heuristik (siehe Kapitel 4) zu Geltung kommen kann. Als Vorbereitung für den nächsten Arbeitsschritt – die formative Evaluation des Heuristik-Sets – wurden die Heuristiken zur Erleichterung des Verständnisses jeweils in *Sub-Heuristiken* untergliedert, welche spezifische Aspekte der Heuristik fokussieren.

## 2.2 Ergebnis der Literatur-basierten Identifikation von Heuristiken

Das Ergebnis der Literaturrecherche ist das in Abbildung 3 dargestellte Set von 13 Heuristiken (A-M). Zur Erhöhung ihrer Handhabbarkeit (z.B. wenn sie zur Strukturierung eines Interviews genutzt werden) wurden die Heuristiken in vier Themenfeldern organisiert.<sup>3</sup>

Abbildung 3: Auf Basis der Literaturrecherche identifiziertes Heuristik-Set



Quelle: eigene Darstellung

<sup>3</sup> Diese Zuordnung geschah intuitiv und wurde in neueren Iterationen des Heuristik-Sets aufgehoben.

Die Sub-Heuristiken zweier Heuristiken sind im Folgenden exemplarisch gelistet:

*Heuristik E: Unterstützung von Autonomie und Flexibilität*

E1: Minimierung von Auflagen, die Nutzer/-innen von frei, flexibel und individuell getroffenen Entscheidungen abhalten könnten (zu Arbeitsabläufen, einzusetzenden Mitteln und Vorgehensweisen, zu nutzenden Informationsräumen, Zeitmanagement etc.)

E2: Autonomie und Selbst-Regulierung in Bezug auf vielfältige Weisen der Aufgabenausführung sowie die Arbeitsaufteilung zwischen Mensch und Maschine und zu beherrschende Schwierigkeitsgrade.

E3: Nutzer/-innen haben ein Empfinden von Kontrolle; sie können ungewollte Belastung und Stress vermeiden, die Aufdeckung personenbezogener Daten verhindern und werden befähigt, bei unerwarteten, sie betreffenden Prozessen zu intervenieren.

E4: Die Koordination zwischen Teilnehmer/-innen kann flexibel verhandelt und durch sie selbst gesteuert werden, z.B. innerhalb autonomer Gruppen.

*Heuristik F: Unterstützung von Anpassung, Wandel und evolutionärer Weiterentwicklung*

F1: Unterstützung der kontinuierlichen Weiterentwicklung und der Anpassung des Systems durch alle Teilnehmer/-innen (insbesondere Nutzer/-innen) und Stakeholder. Systemische Interdependenzen, Unvollständigkeit und Kontingenz werden als inhärente Charakteristiken des sozio-technischen Systems anerkannt und erfordern kontinuierliche Evolution.

F2: Kontinuierlicher Wandel wird auf individuellem und auf organisationalem oder Gruppen-Level unterstützt. Die den Wandel formenden Entscheidungen, die die Kollaboration beeinflussen, müssen verhandelbar sein.

F3: Möglichkeiten des Wandels und der Evolution müssen von Anfang an geplant werden und ein inhärenter Bestandteil des sozio-technischen Systems sein. Die Zuordnung von Aufgaben muss die individuellen Unterschiede der Teilnehmer/-innen berücksichtigen.

F4: Vorgegebene Workflows müssen adaptierbar sein.

### **3. FORMATIVE EVALUATION DES HEURISTIK-SETS MITHILFE EINER DATENBANK SOZIO-TECHNISCHER PROBLEMBERICHTE**

Analog zur Vorgehensweise von Nielsen (vgl. 1994: 152-158) soll die Tauglichkeit des Heuristik-Sets mithilfe von Problemen, die bei tatsächlich implementierten sozio-technischen Lösungen erkannt wurden, geprüft werden. Dabei geht es vorrangig um drei Fragen:

- Können alle Probleme einer oder mehreren Heuristiken zugeordnet werden und kann es somit als wahrscheinlich gelten, dass jedes Problem erkannt wird?
- Lässt sich ein Ranking der Heuristiken erkennen, insbesondere im Hinblick auf die Zahl der Probleme, denen sie zugeordnet werden können?
- Welche Hinweise auf die Erweiterung der Heuristiken in Verbindung mit den Zuordnungsversuchen gibt es?

Die Beantwortung dieser Fragen zielt auch praktisch darauf, die Menge der Heuristiken neu zu strukturieren, um Überlappungen zu vermeiden, weniger wichtige Aspekte auszusortieren etc.

#### **3.1 Aufbau der Datenbank sozio-technischer Problembereichte**

Zur Untersuchung der Fragen wurde eine Datenbank aufgebaut, die zum Zeitpunkt der ersten Testung des Heuristik-Sets (März 2018) 223 Probleme aus den folgenden neun allgemeinen sozio-technischen Fällen (Tabelle 2) enthält:

Tabelle 2: Beschreibung der neun sozio-technischen Fälle

#	Fall
1	Koordination zwischen Zahnmedizin-Studierenden und Ausbilder/-innen während des Praktikums mittels Datenbrillen
2	Bestellung und Koordination von Dienstleistungen für ältere Menschen (vgl. Herrmann/Prilla/Nolte 2016)
3	KreativBarometer – kontinuierliche Erfassung relevanter Arbeitsbedingungen für das Kreativitätsklima am Arbeitsplatz (vgl. Nierhoff/Herrmann 2017)
4	Elektronische Systeme im Gesundheitswesen (Workshop zu zwölf Studien) (vgl. Herrmann et al. 2017)
5	Unterstützung der Reflexion von Gesprächen mit Angehörigen von Schlaganfallpatienten (vgl. Prilla/Herrmann 2017)
6	Elektronische Nutzung räumlich verteilter Laborexperimente für Ingenieur-Studierende
7	Aufbau einer Orientierungseinheit für Erstsemester mittels Augmented Reality
8	Kontinuierliche Aktualisierung von Webseiten kleinerer Organisationseinheiten
9	Elevated – strategische Verbesserungsplanung einer Schule anhand von Daten

Typische Einträge in der Problemdatenbank sind etwa:

„Dem Lehrer wurde es ermöglicht, auf Schüler-Anfragen mit Textbasierten Nachrichten zu antworten; dies wurde im Vergleich zu den favorisierten Sprachnachrichten als unangenehm wahrgenommen.“  
(Fall 9)

„Die Patienten – welche nur indirekt in das Training der Zahnmedizin-Studierenden involviert sind – mussten verstehen was passiert: Warum wurden Daten gesammelt oder Nachrichten geschrieben?“  
(Fall 1)

Diese Fälle waren aus der Zeit von 2010 bis 2017 dokumentiert. Parallel zur ersten Testung wurde die Problemdatenbank um Fälle er-

weitert, die sich speziell mit Industrie-relevanten Konzepten und dem Einsatz Autonomer Systeme befassen. Dies sind im Einzelnen:

- Self-Learning Manufacturing Workplace – digitale Lösungen in der Produktion von Komponenten für automatisierte Fertigungsstraßen; beinhaltet Wartungs-Koordination, Visualisierung unterstützender Daten und Trend-Analysen zu Defekten.
- Produktion von Zahnimplantatteilen – Erzeugung von Individuallösungen, aber auch Serienproduktion im Bereich der Dentaltechnik.
- Predictive Maintenance – vorausschauende Wartung in der Karosseriemontage eines Automobilherstellers.
- Assistenzsysteme – Mitarbeiterunterstützung bei der Ausführung von Fertigungsaufgaben durch die (unterschiedlich strikte) Vermittlung von Anleitungen zur Vorgehensweise.

Diese Erweiterung dient der Überprüfung der Frage, ob die Ergebnisse zu der Anwendbarkeit der Heuristiken, die aus der Betrachtung der allgemeinen, eher aus dem Dienstleistungsbereich stammenden Fälle entwickelt werden konnten, sich auch auf den Industriebereich übertragen lassen.

### **3.2 Softwaregestütztes Matchingexperiment zur Bewertung des initialen Heuristik-Sets**

In einem von sechs Expert/-innen durchgeführten Experiment wurden 223 Einträge aus der Problemdatenbank den (Sub-)Heuristiken zugeordnet. Bei diesem Experiment wurde jeweils eingeschätzt,

- wie gut das Verständnis eines Problems ist,
- wie schwerwiegend es ist,
- welche Heuristik sich am besten zuordnen lässt,
- wie sicher man sich bei dieser Zuordnung fühlt,
- welche Sub-Heuristiken, die zu der am besten passenden gehören, sich dem Problem zuordnen lassen,

- welche weiteren Heuristiken eventuell zu dem Problem passen können.

Sollte keine Heuristik als passend erscheinen, gab es die Möglichkeit, die Option ‚Zusätzliche Heuristik erforderlich‘ zu markieren; auch die Sicherheit bei dieser Entscheidung wird durch die Proband/-innen bewertet. Darüber hinaus hatten die Teilnehmer/-innen die Möglichkeit, zu allen Skalenabfragen Kommentare einzugeben.

### **3.3 Ergebnisse der Zuordnung zwischen Problemdatenbank und Heuristik-Set**

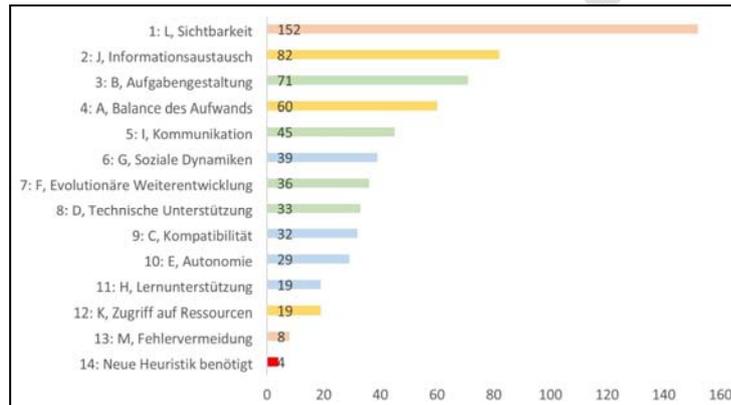
Von 223 Problemen wurde nur in einem Fall von vier Expert/-innen angegeben, dass hier eine zusätzliche Heuristik benötigt würde. Bei vier weiteren Problemen, waren jeweils zwei Expert/-innen dieser Ansicht. Bei weiteren 27 Problemen meinte jeweils ein Experte/eine Expertin, dass hier eine zusätzliche Heuristik benötigt wird.

Die weitere Auswertung betrachtet nur diejenigen Probleme (insgesamt 217), für die höchstens ein Experte/eine Expertin angibt, dass eine zusätzliche Heuristik notwendig sei. Bei den Sub-Heuristiken wurde bei 1718 Auswahlen 74-mal gefordert, dass eine neue Sub-Heuristik eingeführt werden sollte. Weiterhin werden diejenigen Probleme nicht weiter betrachtet (insgesamt 18), bei denen die durchschnittliche Verständnissicherheit hinsichtlich des Problems und die Zuordnungssicherheit zu den Heuristiken jeweils nicht größer ist als vier (auf einer Skala von eins bis sieben; sieben entspricht der höchsten Sicherheit). Daraus kann gefolgert werden, dass 199 von 223 Problemen (das entspricht 89 Prozent) mit relativer Sicherheit mit einer oder mehreren der getesteten Heuristiken identifizierbar sind.

Um zu beurteilen, welche Heuristiken in welchem Umfang zugeordnet wurden, konzentrieren wir uns auf 106 (der 199) Probleme, bei denen sich die Expert/-innen hinsichtlich der Zuordnung relativ einig sind. Anhand von Abbildung 4 wird deutlich, dass die Verwendung der Heuristiken sehr unterschiedlich verteilt ist. 152 Punkte entfallen auf

*Nachvollziehbarkeit* und nur acht Punkte auf *Fehlervermeidung*. Abbildung 4 zeigt eine Rangverteilung; die ersten vier und die letzten drei Plätze sind weitgehend unabhängig davon, wie viele Probleme man in Abhängigkeit von der Zuordnungssicherheit und der Homogenität zwischen den Expert/-innen auswählt, während die mittleren Plätze ihre Position dabei verändern.

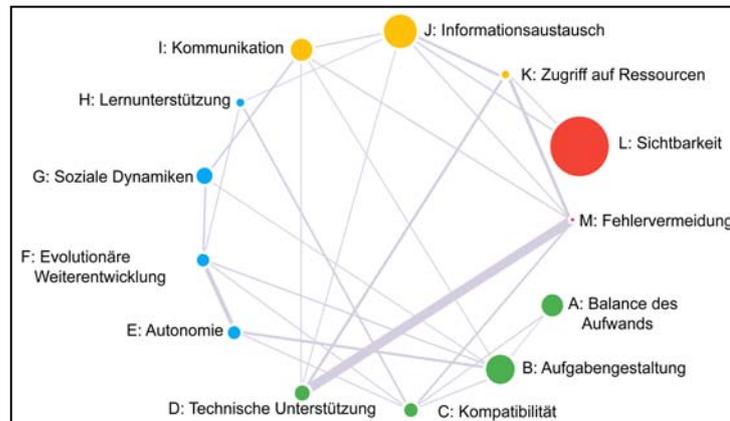
Abbildung 4: Ranking der Zuordnungshäufigkeit der Probleme zu Heuristiken<sup>4</sup>



Quelle: eigene Darstellung

Aufgrund der ungleichen Verteilung der Heuristikzuordnungen bietet es sich an, die Heuristiken zu bündeln, um eine etwas gleichmäßigere Verteilung in Verbindung mit der Reduktion der Anzahl der Heuristiken zu erreichen. Dazu wurde überprüft, welche Heuristiken häufig gemeinsam denselben Problemen zugeordnet werden. Daraus ergibt sich das in Abbildung 5 gezeigte Zusammenhangsdiagramm.

<sup>4</sup> Berücksichtigt wurden die Zuordnungen von 106 Problemen mit der relativ höchsten Zuordnungssicherheit durch sechs Expert/-innen.

Abbildung 5: Zusammenhangsdiagramm der Heuristiken<sup>5</sup>

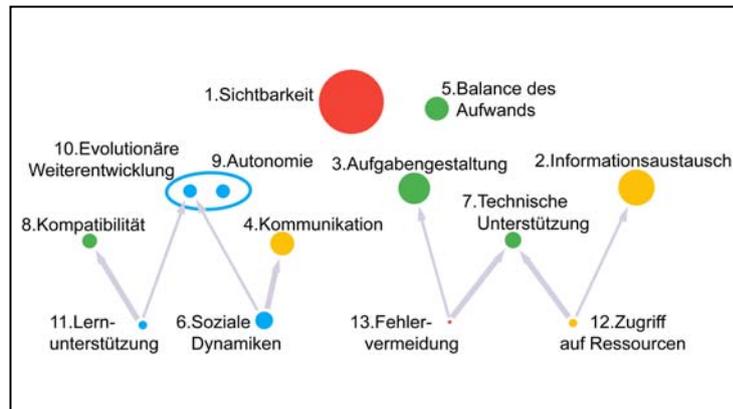
Quelle: eigene Darstellung

Aufgrund der gezeigten Zusammenhänge bietet es sich an, die inhaltlichen Aspekte der Heuristiken mit geringerer Zuordnungszahl zusammenzufassen bzw. anderen Heuristiken zuzuordnen. Ein solcher Zuordnungsvorschlag wird in Abbildung 6 dargestellt.

Dabei ist darauf zu achten, dass die Integration einer Heuristik in eine andere nicht immer vollständig gelingen kann. So kann *Fehlervermeidung* nur zum Teil im Zusammenhang mit *Technische Unterstützung* angesprochen werden, da sie auch im Zusammenhang mit *Aufgabengestaltung* relevant ist.

<sup>5</sup> Je stärker die Verbindungslinie, umso häufiger wurden Probleme beiden entsprechenden Heuristiken zugeordnet. Dargestellt sind die 27 stärksten Zusammenhänge (von 78 möglichen insgesamt).

Abbildung 6: Reorganisation der Heuristiken basierend auf dem Zuordnungsexperiment.



Quelle: eigene Darstellung

Basierend auf den erkannten Zusammenhängen wurden die 13 untersuchten Heuristiken zu acht neu formulierten Heuristiken zusammengefasst (vgl. Abbildung 7).

Dabei fällt im Kontext dieses Beitrages insbesondere auf, dass *Autonomie* und *Evolutionäre Weiterentwicklung* sich als Kandidaten für eine Zusammenfassung eignen (in der Neufassung Nr. 2, *Flexibilität*). Einerseits eröffnet die mit Autonomie verbundene Variierung von Vorgehensweisen sowie der flexible Einsatz von Technik Spielräume, um Veränderungen zu erproben. So bilden sich Kompetenzen und Erfahrungen, um sich an der Weiterentwicklung des gesamten sozio-technischen Systems zu beteiligen. Wie oben ausgeführt ist eine solche kontinuierliche Anpassung und Weiterentwicklung beim Einsatz Autonomer Systeme relevant. Sie sind durch Kontextauswertung und implizite Anpassung ihres Verhaltens an sich ändernde Umweltbedingungen geprägt. Umgekehrt setzt eine stetige Weiterentwicklung autonomer technischer Systeme im sozio-technischen Gesamtsystem voraus, dass die betroffenen menschlichen Akteur/-innen über ausreichend Handlungs-

spielraum verfügen, um mit den Anpassungen umzugehen oder sie auch proaktiv zu veranlassen.

Abbildung 7: Neu zusammengefasstes Heuristik-Set<sup>6</sup>



Quelle: eigene Darstellung

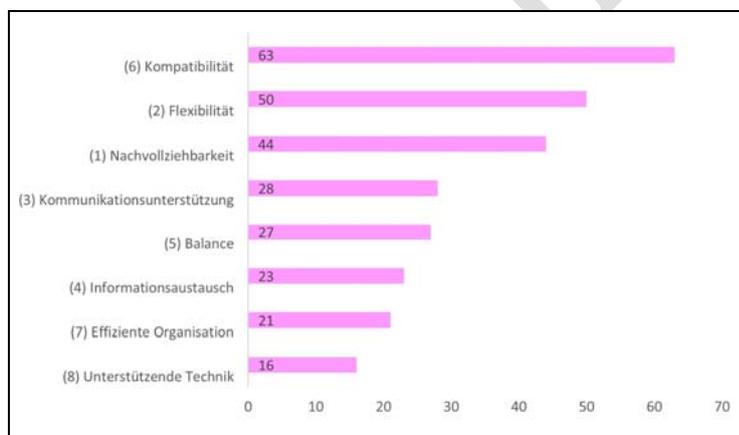
### 3.4 Passung der Heuristiken auf Industriekonstellationen mit Autonomen Systemen

Die acht zusammengefassten Heuristiken wurden in einem weiteren Zuordnungsexperiment auf die oben genannten Industriefälle angewendet. Dazu wurden fünf Personen gebeten, für 82 Probleme anzuge-

<sup>6</sup> Die Hervorhebungen kennzeichnen das Stichwort, unter dem auf die jeweilige neue Heuristik im Folgenden Bezug genommen wird.

ben, inwieweit jede der acht Heuristiken jeweils passend ist (Wert 7) oder nicht (Wert 1). Es zeigt sich, dass die Heuristiken auch in diesem Kontext anwendbar sind: Bei allen Problemen haben jeweils mindestens zwei Personen (bei 78 Problemen mindestens drei Personen) eine Heuristik mit dem Wert 6 oder 7 zugeordnet. Allerdings werden nicht immer die gleichen Heuristiken für ein Problem ausgewählt: In den elf heterogensten Fällen wurden fünf oder sechs verschiedene Heuristiken demselben Problem zugeordnet; in insgesamt 16 Fällen ist keine eindeutige Priorität für eine Heuristik erkennbar. In 66 Fällen ist jedoch eine deutliche Priorisierung der zugeordneten Heuristiken erkennbar.

Abbildung 8: Ranking der Zuordnungshäufigkeit der Probleme zu Heuristiken<sup>7</sup>



Quelle: eigene Darstellung

Auf der Basis dieser 66 Fälle ergibt sich eine Rangfolge, bei der *Kompatibilität* auf dem ersten, *Flexibilität* auf dem zweiten und *Nachvoll-*

7 Ranking von fünf Expert/-innen; Basis: Von 82 Problemfällen wurden 66 von mit relativ höchsten Zuordnungssicherheit ausgewählt.

*ziehbarkeit* auf dem dritten Platz stehen. Diese Rangfolge differiert deutlich zu der ursprünglichen Rangfolge (vgl. Abbildung 2), bei der *Kompatibilität* und die zu *Flexibilität* zusammengefasste *Autonomie* und *evolutionäre Entwicklung* deutlich schwächer abschneiden. Diese quantitative Veränderung der Rangfolge korrespondiert mit dem inhaltlichen Tatbestand, dass es bei Autonomen Systemen zum einen eine besondere Herausforderung ist, ob deren Verhalten mit den Anforderungen und den Erwartungen des Umfeldes kompatibel ist. Zum anderen ergibt sich ein Spannungsfeld zwischen der Autonomie technischer Systeme und der Autonomie (Flexibilität) der betroffenen Mitarbeiter/-innen, wobei auch die Frage nach dem verbleibenden Spielraum für eine Anpassung der Technik relevant ist. Insgesamt sind auch die anderen Heuristiken relevant, wie Abbildung 8 zeigt; die Unterschiede hinsichtlich der Zuordnungshäufigkeit sind deutlich geringer geworden im Vergleich zu dem ersten Zuordnungsexperiment.

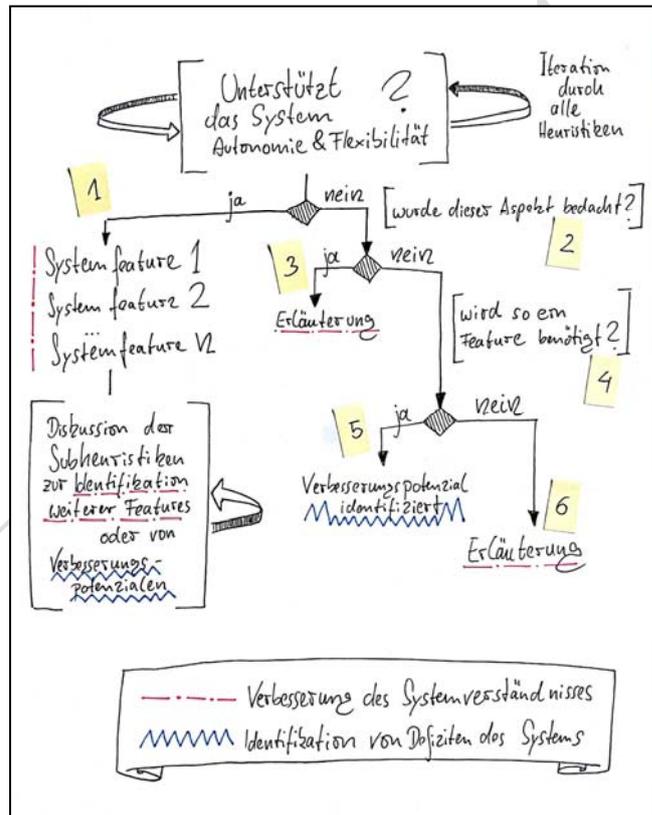
#### **4. ANWENDUNG DER HEURISTIKEN**

Dieser Abschnitt zeigt zwei Einsatzmöglichkeiten der Heuristiken auf. Während der Ablauf einer auf Heuristiken basierenden Systemexploration in Kapitel 4.1 schematisch beschrieben wird, wird in Kapitel 4.2 der konkrete Einsatz der Heuristiken zum Zwecke einer Systemanalyse erläutert. In beiden Vorgehensweisen werden die Analysen von mit den Heuristiken vertrauten Expert/-innen durchgeführt; es sei angemerkt, dass dies eine sinnvolle Vorgehensweise ist, die Heuristiken aber den Anspruch haben, auch durch ‚Heuristik-Laien‘, wie z.B. in dem System tätige Personen, verstehbar und handhabbar zu sein (vgl. Kapitel 1).

### 4.1 Heuristik-basierte Systemexploration

Beispielhaft sei ein Vorgehensmodell für die Exploration eines Systems auf Basis eines durch die Heuristiken semi-strukturierten Interviews mit einem Systemdesigner erläutert (siehe Abbildung 9):

Abbildung 9: Exploration eines Systemdesigns mithilfe der Heuristiken



Quelle: nach Schaffler et al. 2018, Übersetzung d.V.

Der Prozess iteriert durch die Heuristiken und überprüft für jede, ob das System entsprechende Eigenschaften aufweist oder nicht und ob letzteres ein Problem ist (z.B. ‚Unterstützt das System Autonomie & Flexibilität?’). Ist dies der Fall (1), können die Systemfeatures, die diese Heuristik unterstützen, ausführlicher erkundet werden. Eine Diskussion der zugehörigen Sub-Heuristiken kann weitere Features oder Verbesserungspotenziale aufdecken. Wird eine Heuristik nicht durch das System behandelt (2), muss überprüft werden, ob dies absichtlich so design wurde und wenn ja weshalb (3). Wurde der durch die Heuristik adressierte Aspekt lediglich übersehen (4), wird geklärt, ob ein entsprechendes Feature vonnöten ist und somit ein Verbesserungspotenzial erkannt wurde (5) oder ob die Heuristik in diesem System ignoriert werden kann (6).

Diese Vorgehensweise erzeugt Nutzen auf zwei Seiten: während die Expert/-innen, die das Interview führen, ein ganzheitliches Systemverständnis aufbauen, werden den befragten Gestalter/-innen des Systems potenzielle Defizite und somit Verbesserungsmaßnahmen aufgezeigt.

#### **4.2 Fallbeispiele für den Einsatz der Heuristik-basierten sozio-technischen Systemanalyse**

Um die Tauglichkeit der Heuristiken zur Systemevaluation zu testen, wurden unter anderem Industrie-4.0-Szenarien am Future Work Lab<sup>8</sup> des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO analysiert. Im Rahmen einer circa dreistündigen, durch systemkundige Mitarbeiter/-innen begleiteten, Begehung verschiedener Demonstratoren und Szenarien lernten die Autoren sechs Industrie-4.0-Lösungen kennen, die autonome Assistenz beinhalten. Die Heuristiken wurden während der Begehung genutzt, um gezielt Nachfragen zu stellen, um ein anschließendes Interview mit einem systemkundigen Mitarbeiter zu

---

8 <https://futureworklab.de/> vom 21.08.2018

strukturieren und um im Nachgang Fallbeschreibungen, die sich auf die Heuristiken beziehen, zu formulieren.

Die folgenden Absätze beinhalten drei dieser, teilweise verzahnten, Fallbeschreibungen. In Klammern wird jeweils ein Bezug zwischen den beschriebenen Erkenntnissen über das System und den Heuristiken hergestellt; an erster Stelle steht dabei das Stichwort, das die Heuristik kennzeichnet, an zweiter Stelle wird angegeben, ob das System den Aspekt ausreichend behandelt (+), ein diesbezügliches Defizit aufweist (-) oder keine genaue Aussage möglich ist (?).

Ein Maschinenbediener oder eine Instandhalterin ist im Szenario *Mobile Mehrmaschinenbedienung* für mehrere Maschinen zuständig, die Bearbeitungsschritte autonom ausführen, auch wenn der Maschinenführer nicht unmittelbar die Maschine überwacht. Über eine SmartWatch oder ein anderes mobiles Device wird er informiert, ob Ereignisse (reguläre, wie Beendigung eines Vorgangs oder Störungen) eingetreten sind, die seine Reaktion erfordern. Das kann ihn von monotoner Überwachungsarbeit entlasten (A, Balance, +) und die Arbeit für ihn interessanter machen. Der Einsatz eines einzelnen Maschinenbedieners wird dadurch effizienter (Effiziente Organisation, +). Potenziell kann es auch zu temporärer Überlastung (Balance, -) und Stress kommen, wenn mehrere Ereignisse, die eine Reaktion erfordern, gemeinsam auftreten. Die Meldungen können auch an mehrere Personen verteilt werden. Das Kommunikationskonzept dafür ist noch unklar (Kommunikationsmöglichkeiten, ?), also z.B., ob delegiert werden kann, dass jemand – und wer – sich um eine Störungsanzeige kümmern soll. Auch die Rollenaufteilung zwischen den Personen ist unklar (Kommunikationsmöglichkeiten, ?). Es ist nicht klar, ob im Fall einer Überlastung über die Smart Watch-Unterstützung angefordert werden kann (Kommunikationsmöglichkeiten, ?; Ressourcen, ?). Unklar ist auch, ob die Meldungen Hinweise zur Dringlichkeit geben (Nachvollziehbarkeit, ?; Information, ?). Es ist nicht klar, inwieweit die Daten für das Management zu Überprüfung der Leistung und der Rechtzeitigkeit der Reaktionen (Information, ?) herangezogen werden können. Über Lernmöglichkeiten ist nichts bekannt (Kompatibilität, -). Ebenso

wenig, ob es Feedback gibt oder ob man sich mit anderen Maschinenbediener/-innen vergleichen kann (Nachvollziehbarkeit, -), indem man sieht, auf wie viele Ereignisse andere im Durchschnitt reagieren müssen. Man kann über Regeln (einfache Wenn-dann-Bestimmungen) festlegen, wer welche Informationen bekommt (Flexibilität, +). Statt einer SmartWatch kann auch ein Smartphone genutzt werden (Flexibilität, +; Unterstützende Technik, +). Insgesamt ist es zur Verteilung potenzieller Belastungsspitzen sinnvoller, mehrere Maschinenbediener/-innen für ein – dann durchaus größeres – Anlagenfeld einzusetzen (Effiziente Organisation, ?). Wenn mehrere Maschinenbediener/-innen adressierbar sind, könnte die Koordination darüber hinaus erleichtert werden, indem nur die Bediener/-innen eine Nachricht erhalten, die sich zum einen räumlich am nächsten an der betroffenen Maschine aufhalten und zum anderen nicht gerade mit der Bearbeitung eines Auftrags befasst sind. Wenn jemand direkt mit der betroffenen Maschine zu Gange ist, muss in diesem Fall auch keine Nachricht verschickt werden (Kommunikationsunterstützung). Insgesamt ist dafür die Lokalisierbarkeit der Maschinenbediener/-innen zu unterstützen (Unterstützende Technik).

Die mobile Mehrmaschinenbedienung lässt sich mit dem Szenario *Nachvollziehbarkeit der Maschinenablaufhistorie* verzahnen. Angenommen der gerufene Maschinenarbeiter wendet sich einer Maschine zu, bei der eine Störung vorliegt. Er hat drei Informationsquellen, um die Störung zu analysieren: Ein Dashboard, das in erster Linie Maschinendaten im historischen Verlauf darstellt, Videos, die die Ereignisse an der Maschine, insbesondere das Werkstück zeigen, sowie eine virtuelle Repräsentation der Maschine, bei der die Teile, die mit der Störung in Verbindung stehen, besonders gekennzeichnet werden. Der Zustand der Maschine und der Weg zu diesem Zustand sind dadurch gut nachvollziehbar (Nachvollziehbarkeit, +). Dies ist insgesamt wichtig, um das Verhalten Autonomer Systeme rekonstruieren zu können, um es gegebenenfalls im Nachhinein zu verstehen.

Vorgänge können besser verstanden bzw. erlernt werden (Nachvollziehbarkeit, +; Kompatibilität, +) und Informationen zur Störungsbehebung werden bereitgestellt (Informationsaustausch, +). Zum Bei-

spiel können auch Explosionsdarstellungen bei der virtuellen Repräsentation angeboten werden. Der Maschinenbediener/die Maschinenbedienerin erhält Hinweise (Informationsaustausch, +), um zu entscheiden, was zu tun ist – also ob beispielsweise ein Ersatzteil einzuschleppen ist. Das Hinzuziehen einer weiteren Person an einem anderen Ort zu Zwecken der Erörterung der Vorgänge an der Maschine ist nicht vorgesehen (Kommunikationsunterstützung, -). Es ist unklar, wie man durch die Darstellungen navigieren kann, ob es also bestimmte Stellen gibt, die angesprungen werden können, um die verfügbaren Daten möglichst effizient zu sichten (Unterstützende Technik, ?; Nachvollziehbarkeit, ?). Es wäre von Interesse zu sehen, ob ein erfahrener Maschinenarbeiter/eine erfahrene Maschinenarbeiterin die Darstellungen benötigen würde (Balance, ?) bzw. nutzen will. Es kann von einer hohen Überdeckung zwischen tatsächlichen Maschinenabläufen und der technisch erzeugten Datenrepräsentation ausgegangen werden (Unterstützende Technik, +). Bei dem Szenario bleibt unklar, wie vermieden wird, dass die aufgezeichneten Daten auch zu Zwecken der Leistungs- oder Verhaltenskontrolle herangezogen werden können (Informationsaustausch, -). Es bleibt auch offen, inwieweit sich das Verhalten des Maschinenbedieners/der Maschinenbedienerin selbst in den aufgezeichneten Datenströmen widerspiegelt (Nachvollziehbarkeit, ?; Informationsaustausch, ?).

## **5. RELEVANZ DER HEURISTIK-GELEITETEN EXPLORATION FÜR DIE SOZIO-TECHNISCHE INTEGRATION AUTONOMER SYSTEME**

Der oben beschriebene Fall (Kapitel 4.2) kann genutzt werden, um die Eigenschaften Autonomer Systeme und die Rollen, die Menschen in diesem Kontext künftig spielen, zu erörtern. Auch für eine solche Erörterung helfen die Heuristiken als Reflexionsunterstützung.

Zunächst wird eine wichtige Charakteristik deutlich: Maschinen, wie etwa Drehautomaten, entsprechen umso eher der Vorstellung eines

Autonomen Systems, je mehr eine feingranulare Interaktion mit ihnen überflüssig wird. Autonome Systeme erbringen ihre Leistung und ihren Nutzen weitgehend ohne die Mitwirkung eines Bedieners und einer Nutzerin (vgl. Schmidt/Herrmann 2017). Nur in Ausnahmen (Störung) oder an bestimmten Punkten des Nutzungsverlaufs (Einrichten, Qualitätskontrolle) sind Interaktionen erforderlich, die man zum Teil als Intervention verstehen kann. Das Zusammenspiel zwischen Menschen und Autonomen Systemen lässt sich weniger als kontinuierliche Interaktion beschreiben, sondern eher unter dem Paradigma der Intervention. Solche Interventionen und dafür geeignete Nutzungsschnittstellen sind durch die in Abbildung 10 dargestellten Gesichtspunkte gekennzeichnet.

*Abbildung 10: Kennzeichnende Aspekte von Interventionen und entsprechenden Nutzerschnittstelle*

	1) Es gibt keinen vorher festgelegten Plan, wann und ob Intervention auftritt; sie geschieht ausnahmsweise.
	2) Eingriffe sind nur für einen begrenzten Zeitraum und für einen begrenzten Wirkungsbereich möglich.
	3) Interventionen unterstützen die explorative Erkundung der Auswirkungen von Variationen in der Vorgehensweise oder in der Konfiguration eines autonomen Systems.
	4) Menschen müssen in der Lage sein, Interventionen so schnell zu starten, indem sie technische Mittel oder Kommunikation anwenden, dass die gewünschten Wirkungen rechtzeitig eintreten.
	5) Situationen, die ein Eingreifen erfordern, sind emergent und kontingent und tragen zur Entstehung neuer Verhaltensmuster bei.
	6) Im Wechsel mit der Rekonfiguration hilft die Intervention zyklisch, das automatisierte oder routinierte Verhalten zu verbessern.

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schmidt/Herrmann 2017

Diese Eigenschaften lassen sich anhand des in Kapitel 4.2 beschriebenen Fallbeispiels verdeutlichen:

Ad 1) Während das Einrichten der Maschine oder die Entnahme eines gefertigten Teils vorhersehbar sind, gilt dies für Störungen oder für bestimmte Wartungsaufgaben, wie etwa dem Nachschleifen eines Werkzeuges, nicht. Hier entspricht es dann einer Erhöhung der Autonomie eines Systems, wenn es Störungen und absehbare Wartungsbedarfe selbst erkennt und melden kann. Dabei muss man davon ausgehen, dass es hier zu False-positive-Meldungen kommen kann. Daher muss ein Mensch im Nachgang an eine Meldung entscheiden, wie sie zu bewerten ist und welche Maßnahmen durchzuführen sind. Dazu gehört auch, dass zunächst die Historie, die zu einer Störung oder zur Meldung eines Wartungsbedarfes geführt hat, nachvollziehbar ist. Ohne Nachvollziehbarkeit (Heuristik 1) kann die Notwendigkeit oder die Art einer benötigten Intervention nicht eingeschätzt werden. Entsprechende Möglichkeiten werden in dem Fallbeispiel durch die Nachvollziehbarkeit der Maschinenhistorie angeboten. Insgesamt werden Menschen durch solche automatisch veranlassten Meldungen – sofern sie in der Mehrheit zutreffend sind (Heuristik 8, unterstützende Technik) – entlastet, da sie nicht aufgrund mangelnder Planbarkeit der eintretenden Ereignisse in eine permanente Monitoring-Aufgabe gezwungen werden (Heuristik 5, Balance). Da Interventionen jedoch seltener sind und weniger Aufmerksamkeit erfordern als kontinuierliche Interaktion oder kontinuierliches Monitoring, können einem Maschinenbediener/einer Maschinenbedienerin mehrere Maschinen zur Betreuung zugewiesen werden, was unter Umständen bei gehäuften Meldungen oder Störungen den Stress erhöhen kann (Heuristik 2, Balance)

Ad 2) Es entspricht dem Wesen der Intervention, dass sie zeitlich begrenzt ist. Sie findet nur so lange statt, wie etwa eine Reparatur dauert. Wenn z.B. ausprobiert wird, ob eine Erhöhung des Kühlmittelzuflusses bei der gemeldeten Überhitzung eines Werkstücks Abhilfe bietet, dann ist diese Maßnahme zeitlich zu begrenzen, etwa für die Dauer eines Erprobungszeitraums oder bis zum nächsten Werkzeugwechsel. Auch das Ausmaß der Erhöhung des Kühlmittelzuflusses wird innerhalb bestimmter Grenzen festgelegt sein.

Ad 3) Intervention beinhaltet die Möglichkeit der Erkundung aus der Perspektive einer Was-wäre-wenn-Frage. In dem obigen Beispiel wird also z.B. der Frage nachgegangen, ob es sich durch die Erhöhung des Kühlmittelzuflusses vermeiden lässt, ein Werkzeug sofort zu wechseln, was in Fällen sinnvoll ist, in denen für die Fertigstellung eines Teils, etwa in einem Drehautomaten, nur noch wenig Zeit benötigt wird. Dies entspricht jedoch immer einer experimentellen Vorgehensweise, über deren Angemessenheit ein Mensch entscheidet, der hierfür durch entsprechende organisatorische Regelungen über die entsprechende Autonomie bzw. Entscheidungsfreiheit verfügen muss (Heuristik 2, Flexibilität; Heuristik 6, Kompatibilität). Hier wird deutlich, dass die Erhöhung der Autonomie eines technischen Systems nicht notwendigerweise die Reduzierung der Autonomie der beteiligten menschlichen Akteur/-innen impliziert. Diese hängt vielmehr von den Interventionsmöglichkeiten und den organisatorischen Regelungen ab.

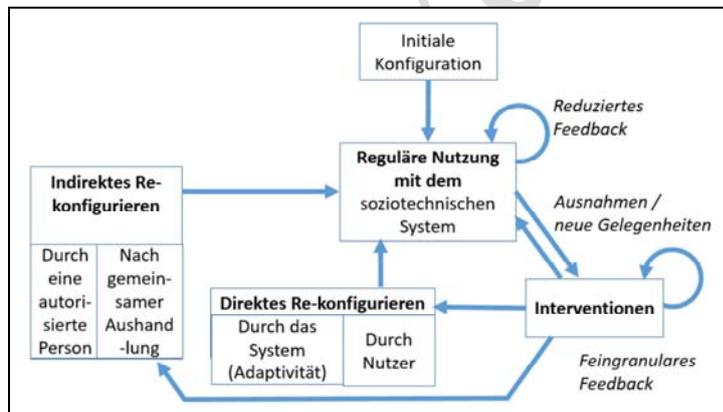
Ad 4) In dem obigen Fallbeispiel wird unterstellt, dass eine Benachrichtigung eines räumlich nicht unmittelbar an der Maschine tätigen Menschen ausreichend ist, auch wenn bis zum Eingriff dann noch Zeit vergeht. Dies trifft nicht auf alle Konstellationen zu, da gegebenenfalls eine sofortige Maßnahme erfolgen sollte, etwa durch eine Fernbedienung oder indem man jemanden informiert, der sich in der unmittelbaren Nähe befindet. Hier wird deutlich, dass die technische Ausgestaltung (Heuristik 8, unterstützende Technik) unmittelbare Eingriffsmöglichkeiten eröffnen muss oder dass - aus einem übergeordneten sozio-technischen Blickwinkel - die Zusammenarbeit mit anderen Mitarbeiter/-innen so koordiniert ist (Heuristik 3, Kommunikationsunterstützung), dass diese eine Intervention übernehmen können.

Ad 5) Das Angebot von Intervention berücksichtigt, dass es im Umgang mit technischen Systemen immer wieder zu emergenten bzw. kontingenten (vgl. Pedersen 2000) Zustandsveränderungen kommen kann, auf die reagiert werden muss. Autonome Systeme eröffnen selbst durch ihre Interaktion mit der Umwelt eine Erhöhung von Komplexität - im obigen Fallbeispiel etwa dadurch, dass ein Maschinenbediener/eine Maschinenbedienerin mehr Maschinen betreuen kann, als dies

vorher der Fall war. Das kann potenziell dazu führen, dass in nicht planbarer Weise so viele Meldungen eingehen, dass eine Prioritäten-setzung erforderlich ist. Der Umgang mit solchen emergenten Situationen fordert bzw. eröffnet Möglichkeiten der Kompetenzentwicklung auf Seiten der Mitarbeiter/-innen, die wiederum die Kompatibilität zwischen sozio-technischem System und der zu bewältigenden Anforderungen erhöht (Heuristik 6, Kompatibilität).

Ad 6) Wenn im Zuge der ermöglichten Lernprozesse deutlich wird, dass bestimmte Arten der Intervention wiederholt notwendig werden, dann gibt dies Anlass zur Weiterentwicklung (Heuristik 2, Flexibilität) des Systems, welche im Bereich der technischen und/oder organisatorischen Regelungen liegen kann. Abbildung 1 verdeutlicht, wie Intervention und Konfiguration zusammenspielen können.

Abbildung 1: Zyklus von Intervention und Re-Konfiguration



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Schmidt/Herrmann 2017: ##

Hier wird auch deutlich, dass es sinnvoll ist, einen engen Zusammenhang zwischen Autonomie und evolutionärer Weiterentwicklung zu unterstellen. Allerdings ist es zur Unterstützung der Autonomie nicht nur notwendig, den Hintergrund einer ad hoc eingetretenen Situation zu durchschauen, wie es in dem obigen Fallbeispiel vorgesehen ist,

sondern auch Informationen so bereitzustellen (Heuristik 4, Informationsaustausch), dass sie einen längeren Zeitraum abdecken, um anhand einer Vielzahl von Fällen zu beurteilen, ob eine Re-Konfiguration sinnvoll ist.

Im Hinblick auf die Rollenverteilung zwischen Mensch und Autonomem System wird deutlich, dass es von ausschlaggebender Bedeutung ist, ob die Anpassung des Autonomen Systems von Menschen vollzogen werden kann bzw. muss oder ob die Anpassung letztlich durch eine eigene Adaption der Systeme, etwa mithilfe von maschinellem Lernen stattfindet. Die Beantwortung der Frage, ob hier Anpassung durch maschinelles Lernen möglich ist, hängt davon ab, ob sich große Mengen von Daten zu ausreichend vergleichbaren Situationen gewinnen lassen. Maschinelles Lernen ist skalierbar; Daten, die an verschiedenen Instanzen desselben Maschinentyps gesammelt werden, lassen sich aggregieren und das aus diesen Daten erzeugte Wissen ist prinzipiell für alle Instanzen nutzbar. Je ausgeprägter aber eine Maschine als Autonomes System ihre eigenen Besonderheiten hat (etwa durch ihre Wartungsgeschichte), desto schwerer ist es, ausreichend skalierbare Trainingsdaten für das maschinelle Lernen zu generieren – und desto eher müssen menschliche Akteur/-innen im Verlauf von Intervention, Erprobung und Re-Konfiguration aktiv werden.

Am obigen Fallbeispiel wird ebenfalls deutlich, dass mit der Erhöhung der Autonomie auch geänderte Kooperations- und Koordinationsmöglichkeiten einhergehen. Meldungen müssen nicht notwendigerweise nur an einen Bediener/eine Bedienerin gerichtet sein, sondern können an ein Team adressiert werden. Hier ergeben sich dann Entscheidungsanforderungen, wer welche Aufgaben übernimmt und wo dabei welches Kompetenzspektrum am besten zum Einsatz kommt. Prinzipiell können solche Verteilungsaufgaben wiederum durch den Einsatz von Systemen unterstützt werden, die auf Künstlicher Intelligenz basieren. Hier geht es dann auch um die Berücksichtigung interindividueller Unterschiede und im Zeitverlauf auch intraindividuelle Differenzen und Präferenzen (Heuristik 5, Balance). Die Herausforderung, hier geeignete Daten in großer Zahl zu gewinnen, die das Trai-

ning maschinellen Lernens unterstützen, ist dann noch höher. Folglich erscheint es naheliegend, dass koordinative Entscheidungsaufgaben zunächst im menschlichen Bereich verbleiben.

## 6. FAZIT UND KOMMENDE ARBEITSSCHRITTE

Das Zuordnungsexperiment zeigt, dass das vorgestellte Heuristik-Set zumindest die gesammelten sozio-technischen Problemfälle nahezu komplett abdeckt. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Problemsammlung schon vorgegeben war und aufgrund intensiver empirischer Evaluation und/oder diskursiver Erörterungen entstand. Es ist noch ungeklärt, ob mithilfe der diskutierten Heuristiken die gleichen Probleme effektiv und effizient entdeckt worden wären.

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Problemidentifikation mittels Heuristiken ist deren Formulierung bzw. intuitive Verständlichkeit. Bisher wurden die Heuristiken vorrangig durch die an deren Entwicklung beteiligten Expert/-innen eingesetzt, welche im Laufe der Arbeit ein gutes Verständnis der durch die Heuristiken referenzierten Aspekte der Systemgestaltung entwickelt haben. Das bisherige – auf 50 Sub-Heuristiken aufbauende – Design erscheint wenig handhabbar für Dritte.

Wir verstehen die Herausforderung einer Heuristik-basierten sozio-technischen Evaluationsmethode nicht als endgültig lösbar. Vielmehr erwarten wir, dass die Heuristiken in der Praxis noch weiterzuentwickeln sind. Input für ein erstes Redesign waren die gewonnen Erkenntnisse aus dem Einsatz der Heuristiken (z.B. deren Verständlichkeit und Handhabbarkeit) und dem Zuordnungsexperiment.

Unabhängig von diesen Limitierungen zeigten erste Tests der Heuristiken bei Praxispartnern des Projekts *Heuristiken für die Industrie 4.0*, dass sie vielfältig einsetzbar sind. Sie helfen, einen Großteil der kritischen Aspekte sozio-technischer Systemgestaltung zu adressieren. Der betriebliche Alltag der Praxispartner/-innen verhinderte teilweise, dass das zu untersuchende System von Expert/-innen beobachtet wer-

den konnte und Teilnehmer/-innen des Systems befragt werden konnten. Aber auch bei dem zunächst als Notlösung konzipierten Ansatz, die Analyse auf Basis eines Interviews mit Designer/-innen des Systems durchzuführen, halfen die Heuristiken, eine fundierte Diskussion anzuregen (vgl. Kapitel 4.1). Während die Interviewer ein, für den begrenzten Zeitrahmen des Interviews, weitreichendes Systemverständnis aufbauen konnten, profitierten die interviewten Designer/-innen von der Aufdeckung von Verbesserungspotenzialen. Die Heuristiken können auch für die Strukturierung der Dokumentation von sozio-technischen Lösungen eingesetzt werden. Außerdem müssen sie nicht nur auf bereits bestehende Systeme angewandt werden, sondern können auch den Designprozess von Anfang an begleiten.

Im Hinblick auf die Aufgabengestaltung für Menschen, die mit Autonomen Systemen umgehen, wird deutlich, dass über die Wahrnehmungen von Interventionen, insbesondere bei der Nutzung mehrerer Systeme, reichhaltige und komplexe Aufgaben zu erwarten sind. Nachvollziehbarkeit (Heuristik 1) sowie flexible Erkundung und Exploration (Heuristik 2) sind jedoch wichtige Voraussetzungen, damit die Notwendigkeit oder die Art einer benötigten Intervention eingeschätzt werden können.

Insgesamt werden Menschen durch Autonome Systeme – etwa durch automatische Meldungen – entlastet, da sie nicht aufgrund mangelnder Planbarkeit der eintretenden Ereignisse in eine permanente Monitoring-Aufgabe gezwungen werden. Allerdings bestehen hohe Anforderungen, das Verhalten des Systems mit den Anforderungen des Umfeldes und dessen Dynamik kompatibel zu halten. Sofern diese Kompatibilität nicht gewährleistet ist, wird eine Fehlbeanspruchung durch Stress wahrscheinlicher (Heuristik 5, Balance). Autonome Systeme erfordern auch eine Autonomie auf der menschlichen Seite, wenn man davon ausgeht, dass die Anpassungsprozesse zu Erzielung von Kompatibilität durch experimentelles Explorieren gestützt werden, das von menschlichen Akteur/-innen autonom verantwortet werden muss. Die jeweils notwendige Entscheidungsfreiheit ist in der Regel in die Koordination der Zusammenarbeit innerhalb von Gruppen einzubin-

den. Die Übernahme von Intervention kann dabei flexibel verteilt werden. Dabei entstehen wiederum neue Aufgabentypen der Koordination.

Intervention und Konfiguration bedingen sich gegenseitig (siehe Abbildung 11). Es ergibt sich ein enger Zusammenhang zwischen Autonomie und evolutionärer Weiterentwicklung, für die die beteiligten Mitarbeiter/-innen ausreichend vorzubereiten und in die entsprechenden Informationsflüsse einzubinden sind. Für die Zukunft der Aufgabenverteilung ist es ausschlaggebend, inwieweit die Anpassung des Autonomen Systems von Menschen vollzogen werden kann bzw. muss oder ob die Anpassung letztlich durch eine eigene Adaption der Systeme, etwa mithilfe von maschinellem Lernen stattfindet.

## LITERATUR

- Ackermann, Mark/Prilla, Michael/Stary, Christian/Herrmann, Thomas (Hg.), *Designing Healthcare that Works. A Socio-Technical Approach*, London/San Diego u.a.: Academic Press.
- Baker, Kevin/Greenberg, Saul/Gutwin, Carl (2001): „Heuristic Evaluation of Groupware Based on the Mechanics of Collaboration“, in: Murray Reed Little/Laurence Nigay (Hg), *Engineering for Human-Computer Interaction*, Berlin/Heidelberg: Springer, S. 123-139.
- Baxter, Gordon/Sommerville, Ian (2011): „Socio-Technical Systems. From Design Methods to Systems Engineering“, in: *Interacting with Computers* 23/1, S. 4-17.
- Brockhaus Enzyklopädie (1995): *Brockhaus Enzyklopädie. Ergänzungsbände, Deutsches Wörterbuch in drei Bänden, Bd. 27: Deutsches Wörterbuch Gluc-Reg*, Mannheim: Wissenmedia, S. 1568.
- Cherns, Albert (1987): „Principles of Sociotechnical Design Revisited“, in: *Human Relations* 40/3, S. 153-161.
- Clegg, Chris W. (2000): „Sociotechnical Principles for System Design“, in: *Applied Ergonomics* 31/5, S. 463-477.

- Clement, Andrew (1993): „Considering Privacy in the Development of Multi-Media Communications“, in: *Computer Supported Cooperative Work 2/1-2*, S. 67-88.
- Dix, Alan/Finlay, Janet/Abowd, Gregory/Beale, Russel (2004): *Human-Computer Interaction*, Harlow/New York: Pearson Education.
- Dunckel, Heiner (1989): „Arbeitspsychologische Kriterien zur Beurteilung und Gestaltung von Arbeitsaufgaben im Zusammenhang mit EDV-Systemen“, in: Susanne Maaß/Horst Oberquelle (Hg.), *Software-Ergonomie'89. Aufgabenorientierte Systemgestaltung und Funktionalität*, Stuttgart: B.G. Teubner, S. 69-79.
- Eason, Ken (1988): *Information Technology and Organisational Change*, Boca Raton: CRC Press.
- Fischer, Gerhard/Herrmann, Thomas (2011): „Socio-Technical Systems. A Meta-Design Perspective“, in: *International Journal of Sociotechnology and Knowledge Development 3/1*, S. 1-33.
- Greenberg, Saul/Fitzpatrick, Geraldine/Gutwin, Carl/Kaplan, Simon (1999): „Adapting the Locales Framework for Heuristic Evaluation of Groupware“, in: *Proceedings of OZCHI'99 Australian Conference on Computer Human Interaction*, Wagga Wagga, 28.-30.11.1999, Brisbane: Charles Sturt University, S. 30-36.
- Grote, Gudela (2015): „Gestaltungsansätze für das komplementäre Zusammenwirken von Mensch und Technik in Industrie 4.0“, in: Hartmut Hirsch-Kreinsen/Peter Ittermann/Jonathan Niehaus (Hg.), *Digitalisierung industrieller Arbeit: Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen*, Baden-Baden: Nomos, S. 132-147.
- Grote, Gudela/Ryser, Cornelia/Wäfler, Toni/Windischer, Anna/Weik, Steffen (2000): „KOMPASS. A Method for Complementary Function Allocation in Automated Work Systems“, in: *International Journal of Human-Computer Studies 52/2*, S. 267-287.
- Hackman, J. Richard/Oldham, Greg, R. (1975): „Development of the Job Diagnostic Survey“, in: *Journal of Applied Psychology 60/2*, S. 159-170.

- Herrmann, Thomas (2012): Kreatives Prozessdesign. Konzepte und Methoden zur Integration von Prozessorganisation, Technik und Arbeitsgestaltung, Heidelberg: Springer.
- Herrmann, Thomas/Ackermann, Mark S./Goggins, Sean P./Stary, Christian/Prilla, Michael (2017): „Designing Health Care that Works – Socio-Technical Conclusions“, in: Mark Ackermann/Michael Prilla/Christian Stary/Thomas Herrmann (Hg.), Designing Healthcare that Works. A Socio-Technical Approach, London/San Diego u.a.: Academic Press, S. 187-203.
- Herrmann, Thomas/Prilla, Michael/Nolte, Alexander (2016): „Socio-Technical Process Design – The Case of Coordinated Service Delivery for Elderly People“, in: Fabrizio D’Ascenzo/Massimo Magni/Alessandra Lazazzara/Stefano Za (Hg.), Blurring the Boundaries Through Digital Innovation, Cham: Springer, S. 217-229.
- Herrmann, Thomas/Wulf, Volker/Hartmann, Anja (1996): „Requirements for the Human Centred Design of Groupware“, in: The Design of Computer Supported Cooperative Work and Groupware Systems 12, S. 77-99.
- International Organisation for Standardization (ISO) (2006): ISO 9241-110:2006. Ergonomics of Human-System Interaction, Teil 110: Dialogue principles, <https://www.iso.org/standard/38009.html> vom 01.04.2018.
- Mumford, Enid (1983): Designing Human Systems for New Technology. The ETHICS Method. Manchester: Manchester Business School.
- Nielsen, Jakob (1994): „Enhancing the Explanatory Power of Usability Heuristics“, in: Beth Adelson/Susan Dumais/Judith Olson (Hg.), Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New York: ACM, S. 152-158.
- Nielsen, Jakob/Molich, Rolf (1990): „Heuristic Evaluation of User Interfaces“, in: Beth Adelson/Susan Dumais/Judith Olson (Hg.), Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New York: ACM, S. 249-256.

- Nierhoff, Jan/Herrmann, Thomas (2017): „Data Elicitation for Continuous Awareness of Team Climate Characteristics to Improve Organizations’ Creativity“, in: Proceedings of the 50th Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS 2017, Waikoloa, Hawaii: University of Hawaii, S. 204-213.
- Pedersen, Poul Poder (2000): „Our Present: Postmodern?“, in Heine Andersen/Lars B. Kaspersen (Hg.), Classical and Modern Social Theory, Oxford: Blackwell Publishers. S. 412-431.
- Prilla, Michael/Herrmann, Thomas (2017): „Challenges for Socio-Technical Design in Health Care: Lessons Learned from Designing Reflection Support“, in: Mark Ackermann/Michael Prilla/Christian Stary/Thomas Herrmann (Hg.), Designing Healthcare that Works. A Socio-Technical Approach, London/San Diego u.a.: Academic Press, S. 149–166.
- Reijers, Hajo A./Mansar, Selma L. (2005): „Best Practices in Business Process Redesign. An Overview and Qualitative Evaluation of Successful Redesign Heuristics“, in: Omega 33/4, S. 283-306.
- Rost, Martin/Bock, Kirsten (2011): „Privacy by Design and the New Protection Goals“, in: Datenschutz und Datensicherheit 1, S. 30-35.
- Schafner, Marlene/Lacueva, Francisco, J./Hannola, Lea/Damalas, Stelios A./Nierhoff, Jan/Herrmann, Thomas (2018): „Insights into the Introduction of Digital Interventions at the Shop Floor“, in: Proceedings of the 11th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference, New York, ACM, S. 331-338
- Schmidt, Albrecht/Herrmann, Thomas (2017): „Intervention User Interfaces: A New Interaction Paradigm for Automated Systems“, in: Interactions 24.5, S. 40-45.
- Schneider, Wolfgang (2008): Ergonomische Gestaltung von Benutzungsschnittstellen. Kommentar zur Grundsatznorm DIN EN ISO 9241-110, Berlin: Beuth.
- Shneiderman, Ben/Plaisant, Catherine/Cohen, Maxine/Jacobs, Steven (2010): Designing the User interface. Strategies for Effective Human-Computer Interaction, London: Pearson Education.

- Stangl, Werner (2018): Stichwort: ‚Heuristik‘ in: Online Lexikon für Psychologie und Pädagogik, <http://lexikon.stangl.eu/1963/heuristik/> vom 24.7.2018.
- Suchman, Lucy (1995): „Making Work Visible“, in: Communications of the ACM 38/9, S. 56-64.
- Wessels, Michael G. (1994): Kognitive Psychologie, München, Basel: E."
- Zimbardo, Philip G. (2004). Psychologie, Hallbergmoos: Pearson Studium.

### **Danksagung**

Wir danken Prof. Dr. Isa Jahnke, Prof. Dr. Alexander Nolte und Dr. Skrotzki für die Mitarbeit bei der Gruppierung der Heuristiken und für die inhaltliche Erörterung und die wertvollen Hinweise, die die Ausarbeitung des hier untersuchten Sets von Heuristiken entscheidend unterstützten.



## Autorinnen und Autoren

---

***Nachname, Vorname, Titel***, Funktion / Tätigkeit, Institution, Arbeitsgebiete: (3-5 stichwortartige Nennungen).

***Herrmann, Thomas, Prof. Dr.***, Funktion / Tätigkeit, Institution, Arbeitsgebiete: (3-5 stichwortartige Nennungen).

***Nierhoff, Jan, Dr.***, Funktion / Tätigkeit, Institution, Arbeitsgebiete: (3-5 stichwortartige Nennungen).