

## **Methoden der Analyse und Gestaltung komplexer soziotechnischer Systeme – Trends in der Forschung**

Thomas MÜHLBRADT<sup>1</sup>, Alexandra SHAJEK<sup>2</sup>, Ernst HARTMANN<sup>2</sup>

*<sup>1</sup> Hochschule für Oekonomie und Management  
Dennewartstraße 25-27, D-52068 Aachen*

*<sup>2</sup> iit – Institut für Innovation + Technik  
Steinplatz 1, D-10623 Berlin*

**Kurzfassung:** Soziotechnische Methoden und Konzepte gewannen in Deutschland in den 1970-90'er Jahren im Kontext der Humanisierung des Arbeitslebens an Bedeutung. Seither stehen Themen der Soziotechnik in der internationalen Diskussion neben und in Interaktion mit anderen Ansätzen der Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen. Vor diesem Hintergrund werden in diesem Beitrag anhand bibliometrischer Daten die inhaltlichen Trends im Bereich der Forschung und Entwicklung zu soziotechnischen Systemen der letzten Jahrzehnte nachgezeichnet. Es werden Themencluster identifiziert, die sich durch inhaltliche und methodische Fokuslagen auszeichnen. Diese Ergebnisse werden qualitativ verdichtet zu Trends der Analyse und Gestaltung von soziotechnischen Systemen zunehmender Komplexität

**Schlüsselwörter:** Soziotechnische Systeme, Resilienz, Komplexität, Systemtheorie, Systems Engineering

### **1. Einleitung, Ziel und Hintergrund**

Dieser Beitrag steht im Kontext der Session ‚Aktuelle Ansätze zur Analyse komplexer sozio-technischer Systeme‘ im Rahmen des Frühjahrskongresses 2022 der GfA; für diese Session stellt er den Einleitungs- und Überblicksbeitrag dar. Die weiteren Beiträge der Session sind:

1. Annelie Pentenrieder, Ernst Hartmann: Soziotechnische Analyse und Gestaltung des Einsatzes algorithmischer Systeme und künstlicher Intelligenz
2. Helga Unger, Stefan Schröder, Thomas Mühlbradt, Tillmann Speer, Christian Fastner: Analyse eines komplexen medizinischen Prozesses in einem Krankenhaus der Schwerpunktversorgung mit der Funktionalen Resonanz Analysemethode (FRAM)
3. Stephan Böschen: Reallabore: Kooperationsformen und -probleme exzentrischer Wissensproduktion
4. Toni Wäfler: Soziotechnische Systeme als Netzwerke von Mensch, Technik und Organisation

Die inhaltliche und methodische Vielfalt der Beiträge illustriert einen Differenzierungsprozess, den die Forschung zu soziotechnischen Systemen in den letzten Jahrzehnten durchlaufen hat. Dabei steht das Konzept soziotechnischer

Systeme zum einen in Wechselwirkung mit anderen Ansätzen der Analyse und Gestaltung von Arbeitsprozessen, wie etwa Lean Management und Agiles Arbeiten (Bendel & Latniak 2020), andererseits zeigen sich neue methodische Entwicklungen etwa bei der systematischen und theoriegeleiteten Beschreibung von Interaktionen in soziotechnischen Systemen (Saurin & Patriarca 2020).

Das Ziel dieses Beitrages ist es vor diesem Hintergrund, auf Basis einer Analyse von Publikationsdaten systematisch Forschungstrends in den Methoden der Analyse und Gestaltung soziotechnischer Systeme abzubilden. Konkret soll analysiert werden, welchen inhaltlichen Clustern sich die Publikationen der letzten Jahrzehnte zu soziotechnischen Methoden zuordnen lassen und welche methodischen Schwerpunkte dabei erkennbar sind.

## **2. Methodik**

Die empirische Analysegrundlage bilden Publikationsdaten aus der Literaturdatenbank SCOPUS. SCOPUS beinhaltet mehr als 80 Mio. bibliographische Angaben zu Monografien, Sammelbänden, Forschungspapers, Patenten und Konferenzbeiträgen. In unsere Analyse wurden alle Beiträge einbezogen, bei denen in Titel, Abstract oder Schlüsselwörtern eine Kombination der Wörter sozio-technisch und System/Ansatz/Gestaltung/Methode/Analyse/Design in Deutsch oder Englisch enthalten war. Der Export der Beiträge erfolgte am 02.12.2021 die Analysen wurden im Dezember 2021 durchgeführt. Der exakte Suchstring kann auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.

Auf diese Weise wurden  $N = 5.664$  Beiträge aus den Jahren 1967 – 2022 (bereits angenommene Beiträge) herausgefiltert. Deren Abstracts wurden anhand eines semantischen Netzes eingebettet und dann mit einem k-means-Clusterverfahren zu thematisch zusammenhängenden Clustern zusammengeführt. Dabei konnten wir fünf Themencluster identifizieren. Für jedes Cluster wurden Wortwolken für besonders häufig verwendete Begriffe erzeugt. Im Anschluss wurden zusätzlich die am häufigsten zitierten Beiträge identifiziert und zur inhaltlichen Beschreibung der Cluster herangezogen. Nach diesen Analysen wurden die fünf Cluster wie folgt benannt:

1. Regionale und nachhaltige Entwicklung
2. Gesundheitswesen
3. Soft- und Hardware in soziotechnischen Systemen
4. Sicherheit und Risikoanalyse
5. Theorie und Methodologie

## **3. Charakterisierung der Cluster**

Das Cluster ‚Regionale und nachhaltige Entwicklung‘ ist gekennzeichnet durch Arbeiten, die eine Perspektive auf relativ hoher Aggregationsebene einnehmen. Die betrachteten sozialen Systeme befinden sich weniger auf der Ebene einzelner Organisationen, es stehen vielmehr Regionen oder ganze Länder im Fokus. Eine typische Arbeit ist ‘Toward a spatial perspective on sustainability transitions’ von Lars Coenen, Paul Benneworth und Bernhard Truffer (2012, 583 Zitationen). Die Methodik ist qualitativ sozialwissenschaftlich ausgerichtet, hier speziell mit einem starken wirtschaftsgeografischen Einschlag. Diese Analyse auf hohem Aggregationsniveau ist

so kennzeichnend für dieses Cluster, dass auch die meistzitierte Arbeit von allen Beiträgen diesem Cluster zugeordnet wird, obwohl hier gar kein Bezug auf regionale Aspekte oder Nachhaltigkeit erkennbar ist: ‚From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory‘ von Frank W. Geels (2004, 1798 Zitationen). Hier werden allerdings neben der gesamtgesellschaftlichen Ebene auch einzelne Organisationen bzw. Institutionen angesprochen. In der Session kann der Beitrag von Stephan Bösch zu Reallaboren diesem Cluster zugeordnet werden, da die Bereiche „Wohnen und Arbeiten“, „Stadt, Region und Mobilität“, und „Energie“ typische Anwendungsfelder dieses Clusters sind.

Im Cluster Gesundheitswesen finden sich 373 Publikationen mit insgesamt 7.067 Zitationen. Die acht meistzitierten Arbeiten vereinen gut 35% aller Zitationen auf sich. Es finden sich unter diesen Acht programmatische Beiträge (Berg 1999, 554 Zitationen) beziehungsweise Rahmenkonzepte (Systems Engineering Initiative for Patient Safety, SEIPS 2.0; Holden et al. 2013, 409 Zitationen) zur Analyse und Gestaltung mit mehr oder weniger Bezug zur Soziotechnik, Fallstudien mit einer soziotechnischen Perspektive sowie Reviews der Fachliteratur zu spezifischen Fragestellungen. Die Begriffe Komplexität und soziotechnisches System werden, auch gemeinsam, verwendet. Des Weiteren werden wiederholt negative Folgen (z. B. Designfehler, Akzeptanzmangel) aufgezeigt bzw. diskutiert, die sich ergeben können, wenn diese Komplexität nicht angemessen adressiert wird. Technische Teilsysteme spielen häufig eine herausgehobene Rolle in den Beiträgen. Das mehrfach thematisierte SEIPS-Modell aus dem Jahr 2006 aus den USA lässt sich als einflussreiche orientierende Vorgabe zur Analyse und Gestaltung soziotechnischer Systeme in der Medizin verstehen. Es ähnelt stark den im deutschsprachigen Raum bekannten arbeitswissenschaftlichen bzw. arbeitswirtschaftlichen Modellen des Arbeitssystems. In Bezug auf die, im Vergleich zum Cluster Sicherheit und Risikoanalyse, deutlich geringere Methodenreife kann zur Erklärung die These von St.Pierre (2021) herangezogen werden, dass ein Austausch zu systemtheoretischen Ansätzen zwischen der Medizin und der Sicherheitsforschung in der Vergangenheit nicht ausreichend stattgefunden hat. In der Session stellen Helga Unger und Koautoren einen analytischen Zugang mit soziotechnischem Hintergrund vor.

Im Cluster ‘Soft- und Hardware in STS’ stehen einerseits *Gestaltungsmethoden* für Mensch-Technik-Interaktionen bzw. Mensch-Technik-Systeme im Vordergrund, wie etwa im meistzitierten Artikel dieses Clusters: ‚Persuasive systems design: Key issues, process model, and system features‘ von Harri Oinas-Kukkonen und Marja Harjumaa (2009, 927 Zitationen). Aber auch eine der bedeutendsten neueren Methoden der empirischen *Analyse* soziotechnischer Systeme findet sich in diesem Cluster: ‚FRAM: The functional resonance analysis method: Modelling complex socio-technical systems‘ von Erik Hollnagel (2012, 548 Zitationen). Wie bereits angesprochen, stellen Helga Unger und ihre Kollegen in der Session eine Anwendung dieser Methode vor. Eine noch relativ neue Herausforderung für Forschung & Entwicklung stellen Anwendungen der Künstlichen Intelligenz in soziotechnischen Systemen dar. Hier ist der Beitrag von Annelie Pentenrieder & Ernst Hartmann in der Session zu verorten.

Im Cluster Sicherheit und Risikoanalyse befinden sich 773 Publikationen mit 12.514 Zitationen. Davon entfallen auf die acht meistzitierten Arbeiten 4.488 Zitationen, das entspricht einem Anteil von knapp 36% aller Zitationen. Mehrere Beiträge befassen sich mit Methoden und Methodenvergleichen sowie mit methodischen Rahmenwerken. Thematisch werden kognitive Prozesse, Situation Awareness, Fehlerursachen und Fehlerkategorien in realweltlichen Systemen in unterschiedlichen

Kontexten behandelt (z. B. Reason 1990, 378 Zitationen). Der Beitrag von Leveson et al. (2009, 212 Zitationen) vergleicht die Normal Accident Theory (Perrow 1984) sowie die High-Reliability Organisation (Weick & Sutcliffe 2015) mit ihrem eigenen Ansatz STAMP. In zwei Beiträgen wird das Konzept der Resilienz im Sinne der Widerstandsfähigkeit in kritischen Situationen in Bezug auf soziotechnische Systeme behandelt (Francis & Bekera 2014; 530 Zitationen; Woods 2015, 311 Zitationen). In Abgrenzung zum psychologischen Begriff steht hier nicht der Mensch, sondern die Organisation im Fokus. In insgesamt zwei Beiträgen wird die High-Reliability Organisation angesprochen. Dieser Begriff bezeichnet eine ausgeprägt resiliente Organisation. Er nimmt auch eine prominente Stellung ein im Global Patient Safety Action Plan 2021–2030 der WHO (2021), wobei darin wiederum explizit auf die Arbeiten von Weick und Sutcliffe verwiesen wird. Das in der Session vorgestellte Instrument der FRAM steht im Kontext des von Hollnagel (2016) entwickelten Ansatzes des Resilience Engineerings.

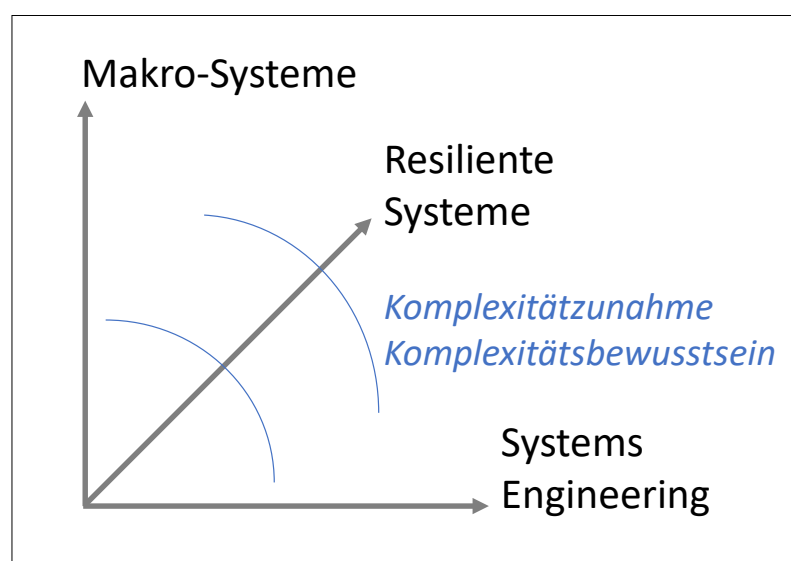
Das Cluster ‚Theorie und Methodologie‘ schließlich charakterisieren Arbeiten, die mehrere methodische Ansätze – in Analyse oder Gestaltung – vergleichend analysieren und ggfs. zu integrieren versuchen, wie prototypisch umgesetzt in ‘Socio-technical systems: From design methods to systems engineering’ von Gordon Baxter und Ian Sommerville (2011, 467 Zitationen). In diesem Beitrag geht es um methodische Ansätze aus Arbeitsgestaltung, IT-Systemgestaltung, computergestützter kooperativer Arbeit (CSCW) und Cognitive Systems Engineering, die unter dem ‚Dach‘ eines Ansatzes des Soziotechnischen Systems Engineering (STSE) integriert werden sollen. Der meistzitierte Artikel dieses Clusters ist ‘Telephone Call Centers: Tutorial, Review, and Research Prospects’ von Noah Gans, Ger Koole und Avishai Mandelbaum (2003, 838 Zitationen), in dem verschiedene Methoden der Analyse und Gestaltung von Serviceprozessen in Callcentern beschrieben und verglichen werden; aufbauend darauf werden neue methodische/methodologische, insbesondere multidisziplinäre Ansätze skizziert sowie weitere Forschungs- und Entwicklungsrichtungen aufgezeigt. Weitere typische Beiträge dieses Clusters leiten aus theoretischen/konzeptionellen Modellen von Arbeitsprozessen neue Analyse- und Gestaltungsmethoden ab, wie etwa in ‘Unintended Consequences of Information Technologies in Health Care: An Interactive Sociotechnical Analysis’ von Michael I. Harrison, Ross Koppel und Shirly Bar-Lev (2007, 437 Zitationen). Der Beitrag von Toni Wäfler in der Session ist diesem Cluster zuzuordnen.

#### **4. Fazit**

Mit der vorliegenden bibliometrischen Analyse wird der Versuch unternommen, wesentliche wissenschaftliche Entwicklungsstränge in der soziotechnischen Methodik der Analyse und Gestaltung zu identifizieren. Die aufgefundenen Beiträge wurden zunächst in fünf thematische Cluster unterteilt und es wurden in jedem Cluster die Beiträge mit den meisten Zitationen auf Ebene der Abstracts näher betrachtet. Die Ergebnisse sind im vorherigen Abschnitt dargestellt. Darüber hinaus finden sich wechselseitige Verflechtungen zwischen Clustern. Dies ist der Fall bei den Clustern Gesundheitswesen und Sicherheit und Risikoanalyse, die beide das Konzept der „Resilienz“ komplexer Systeme behandeln. Ebenfalls gibt es eine deutliche Nähe der Cluster Gestaltung von Hard- und Software und Theorien & Methodologie, indem in beiden Bereichen anspruchsvolle Methodiken im Sinne eines Systems Engineering entstehen, bei denen die Komplexität soziotechnischer Systeme in verstärktem Maße

berücksichtigt wird.

Abbildung 1 zeigt schließlich eine noch weitergehende hypothetische Verdichtung der Befunde als Anregung für zukünftige Forschung. Die dargestellten Entwicklungen sind vor dem Hintergrund einer Komplexitätszunahme oder einer wachsenden Einsicht in die Notwendigkeit eines stärkeren Komplexitätsbewusstseins zu sehen. Thematisch lassen sich drei Hauptrichtungen ausmachen. Zum Ersten die Gestaltung von Rahmenwerken und anspruchsvollen Methodiken zur Gestaltung von IT- und/oder Arbeitssystemen (Systems Engineering), zum Zweiten die Beschreibung der resilienten Organisation als Zielbild soziotechnischer Gestaltung mit einem Schwerpunkt im Bereich Gesundheitswesen und schließlich drittens der Transfer soziotechnischer Ansätze auf regionale und gesamtgesellschaftliche Makro-Systeme (Transport, Stadtplanung, u.a.m.) jenseits von Arbeitssystemen.



**Abbildung 1:** Hypothetische Haupttrends entlang der Komplexitätszunahme soziotechnischer Systeme.

## 5. Literatur

- Baxter G, Sommerville I (2011) Socio-technical systems: From design methods to systems engineering, *Interacting with Computers* 23/1:4–17.
- Bendel A, Latniak E (2020) Soziotechnisch – agil – lean: Konzepte und Vorgehensweisen für Arbeits- und Organisationsgestaltung in Digitalisierungsprozessen. *Gruppe – Interaktion – Organisation* 51: 285–297.
- Berg M (1999) Patient care information systems and health care work: A sociotechnical approach. *International Journal of Medical Informatics*. 55(2):87-101.
- Coenen L, Benneworth P, Truffer B (2012) Toward a spatial perspective on sustainability transitions. *Research Policy* 41/6:968-979.
- Francis R, Bekera B (2014) A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems. *Reliability Engineering and System Safety*. Volume 121, 90-103.
- Gans N, Koole G, Mandelbaum A (2003) Telephone Call Centers: Tutorial, Review, and Research Prospects. *Manufacturing & Service Operations Management* 5(2):79-141.
- Geels F W (2004) From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy* 33/6–7:897-920.
- Harrison M I, Koppel, R, Bar-Lev, S (2007) Unintended consequences of information technologies in health care--an interactive sociotechnical analysis. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*, 14(5), 542–549.

- Holden RJ, Carayon P, Gurses AP, Hoonakker P, Hundt AS, Ozok AA, Rivera-Rodriguez AJ (2013) SEIPS 2.0: a human factors framework for studying and improving the work of healthcare professionals and patients. *Ergonomics*. 2013 November; 56(11): .doi:10.1080/00140139.2013.838643.
- Hollnagel E (2012) FRAM: The Functional Resonance Analysis Method: Modelling Complex Socio-technical Systems. Boca Raton: CRC Press.
- Hollnagel E (2016) Resilience Engineering: A New Understanding of Safety. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 35(3), 185–191.
- Leveson N, Dulac N, Marais K, Carroll J (2009) Moving beyond Normal Accidents and High Reliability Organizations: A Systems Approach to Safety in Complex Systems. *Organization Studies*, Volume: 30 issue: 2-3, 227-249.
- Leveson N (2012) *Engineering a Safer World*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Oinas-Kukkonen H, Harjumaa M (2009) Persuasive Systems Design: Key Issues, Process Model, and System Features. *Communications of the Association for Information Systems* 24:485-500.
- Perrow C (1984) *Normal Accidents: Living with High Risk Technologies*. New York: Basic Books.
- Reason J (1990) The contribution of latent human failures to the breakdown of complex systems. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*. Volume 327, Issue 1241, 475-484.
- Saurin T, Patriarca R (2020) A taxonomy of interactions in socio-technical systems: A functional perspective. *Applied Ergonomics* 82:102980.
- St.Pierre, Grawe, Bergstrom, Neuhaus (2022) 20 years after To Err Is Human: A bibliometric analysis of ' the IOM report ' s ' impact on research on patient safety. *Safety Science*, 147, 105593.
- Weick K, Sutcliffe K (2015) *Managing the Unexpected*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- WHO (Eds.) (2021) *Global patient safety action plan 2021–2030: Towards eliminating avoidable harm in health care*. Geneva: World Health Organization.

**Danksagung:** Der Beitrag von Mühlbradt zur Publikation ist Teil des Forschungs- und Entwicklungsprojektes „Gesundheitsregion Aachen: Innovativ Lernen und Arbeiten – GALA“, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in den Programmen „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ und „Innovation & Strukturwandel“ und betreut durch den Projektträger Karlsruhe (PTKA). Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten

68. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und  
Fabrikautomatisierung IFF, Magdeburg

02. – 04. März 2022

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022**

**Otto-von Guericke-Universität Magdeburg;**

**Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2022

ISBN 978-3-936804-31-7

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin**

**Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

### **Geschäftsstelle der GfA**

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

[info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](mailto:info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de) · [www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](http://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de)

### **Screen design und Umsetzung**

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)