

Vom Teufelsquadrat zum nachhaltigen Vieleck (Engelsdiamant) und holistischen Bow-Tie-Modell: Denkanstöße zur Methodenentwicklung für die Analyse, Gestaltung und Entwicklung von nachhaltigen Arbeitssystemen

Frank FLEMISCH^{1,2}, Michael PREUTENBORBECK¹, Joscha WASSER²,
Nicolas HERZBERGER^{1,2}

¹ *Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University,
Eilfschornsteinstraße 18, D-52062 Aachen*

² *Fraunhofer FKIE,
Fraunhoferstraße 20, D-53343 Wachtberg*

Kurzfassung: Um globalen Krisen wie dem Klimawandel oder Covid-19 entgegenzuwirken, wird es immer wichtiger, dass Arbeitssysteme nachhaltiger und resilienter werden. Dies betrifft nicht nur die Umwelt, sondern auch die ökonomische und gesellschaftliche Nachhaltigkeit. Vor diesem Hintergrund müssen auch arbeitswissenschaftliche Forschungsmethoden hinterfragt, angepasst und weiterentwickelt werden. Ein möglicher Ansatz ist das nachhaltige Vieleck (nachhaltige Engelsdiamant) und das holistische Bow-Tie-Modell, das die ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Dimensionen von Arbeitssystemen berücksichtigt und Wechselwirkungen zu den Um-Systemen analysiert. Damit können menschliche, technische und organisationale Anforderungen und die Nachhaltigkeit gleichermaßen bei der ganzheitlichen Analyse, Gestaltung und Entwicklung von Arbeitssystemen berücksichtigt werden.

Schlüsselwörter: Nachhaltige Arbeitssysteme, Ganzheitlichkeit, Systems Thinking, Bow-Tie-Modell, Teufelsquadrat, Magisches Dreieck

1. Einleitung

Ausgehend von globalen Krisen wie dem Klimawandel, Covid-19 oder dem russischen Angriffskrieg in der Ukraine hat die Forderung nach höherer Nachhaltigkeit und Resilienz unserer Systeme nun über die Politik auch massiv die Forschung und Entwicklung von Arbeitssystemen erreicht. Beispiele dafür sind Arbeitssysteme in der Produktion, aber auch im Verkehrswesen, in Gesundheits-, Bildungs- und in Verteidigungssystemen. Dabei wird Nachhaltigkeit nicht nur auf die Umwelt bezogen, sondern auch als soziale Nachhaltigkeit in der Gesellschaft gedacht. Ein Beispiel dafür ist Japan, wo über Industrie 4.0 hinaus von "Society 5.0" gesprochen wird (Government of Japan 2022).

Nach einem Albert Einstein nachgesagten Zitat können Probleme nicht mit den gleichen Methoden gelöst werden, die sie geschaffen haben. Die Forderung nach einer höheren Nachhaltigkeit sollte uns daher als Fachgemeinde dazu motivieren, auch arbeitswissenschaftliche Forschungsmethoden zu hinterfragen und weiterzuentwickeln. Über viele Jahrzehnte hinweg bestand das dominierende Spannungsfeld bei der Gestaltung von Arbeitssystemen aus *Zeit*, *Kosten* und *Qualität*. Dies hat sich in

Methoden wie dem magischen Dreieck und dem Teufelsquadrat von Harry Sneed (1987), welches „*Funktionen*“ ergänzte, manifestiert. Historisch noch nicht so alt ist das Einbeziehen zusätzlicher produkt- oder produktionsbezogener sowie arbeitswissenschaftlicher Systemqualitäten, wie der Gebrauchstauglichkeit (Usability) von Mensch-Maschine-Schnittstellen. Ein Beispiel für diesen Ansatz ist das erweiterte Teufelsquadrat, welches die klassischen Dimensionen des Teufelsquadrats um Systemqualitäten wie Gebrauchstauglichkeit und Systemqualitäten zweiter Ordnung wie Resilienz erweitert (Flemisch et al. 2019).

Gerade weil diese Entwicklung hin zu einer möglichst frühzeitigen Berücksichtigung des Menschen und dessen Anforderungen bei der Gestaltung von Arbeitssystemen noch nicht abgeschlossen ist, sollten Forschungsmethoden entwickelt werden, die sowohl menschliche Anforderungen als auch Nachhaltigkeitsaspekte gleichermaßen in die ganzheitliche Gestaltung von Arbeitssystemen einfließen lassen.

2. Holistisches Bow-Tie-Modell als kybernetisches Modell für die arbeitswissenschaftliche Analyse und Gestaltung von soziotechnischen Systemen

Denkt man über Nachhaltigkeit wissenschaftlich nach, ist neben dem Spannungsfeld Mensch – Technik – Natur das Spannungsfeld zwischen Lokal und Global bzw. zwischen Detail und Ganzem, sowie das zeitliche Spannungsfeld zwischen Gegenwart und Zukunft (Jetzt und Später) prägend (zu Spannungsfeldern im arbeitswissenschaftlichen Kontext siehe auch Flemisch et al. 2021). Ein Beispiel für diese Spannungsfelder ist der Dieselskandal, in dessen Vorfeld man ein Mensch-Maschine-System lokal optimierte, z. B. durch Thermofenster und kontextsensitive Einstellungen, dabei aber globalere Sachverhalte wie Umweltverschmutzung und Vertrauen der Kunden und Gesellschaft aus den Augen verlor. Ein noch frappierendes Beispiel ist die drohende Klimakatastrophe, bei der immer noch massiv lokale Optimierungen zulasten globaler Sachverhalte getroffen werden.

Ein Beitrag zu dieser Entwicklung könnte sein, dass Wissenschaft wieder mehr dem Universal-Anspruch folgt, der in „Universität“ immer noch zum Ausdruck kommt. Wissenschaft hat sich einerseits immer mehr auf Details fokussiert, sich immer weiter spezialisiert und konnte damit große Erfolge erzielen, aber hat sich damit andererseits blinde Flecken eingehandelt. Eine Wissenschaft des Generalistischen und Ganzen erscheint gerade erst wiederzuentstehen und trifft dabei auf hohe Qualitätsansprüche der Detail-Wissenschaften, die jedoch epistemologisch nur für Detailzusammenhänge formuliert wurden.

Das vorgeschlagene Modell schlägt sich weder auf die eine noch auf die andere Seite der Diskussion, sondern versucht eine Brücke zu bauen: Wie lassen sich das Ganze und das Detail, das Jetzt und Später, die ökonomischen, ökologischen und sozialen Dimensionen von Arbeitssystemen zusammen so denken, dass gemeinsames Handeln unterstützt wird? Einen Hinweis gibt die aus der Kybernetik entstandene Systemtheorie, in der Arbeitssysteme in globale Um-Systeme, wie die Gesellschaft oder die Umwelt, eingeordnet werden, um Wechselwirkungen und Rückkopplungsschleifen zwischen den Teilsystemen bereits frühzeitig im Analyse-, Gestaltungs- und Entwicklungsprozess zu berücksichtigen (Diesner 2015; Haberfellner et al. 2015).

Um solche systemischen Wechselwirkungen zwischen lokalen und globalen Systemen besser darstellen zu können, schlagen wir ein ganzheitliches, vom Bow-Tie-

Modell der Risikoforschung abgeleitetes Modell von Arbeitssystemen vor, mit dem sich auch die Wechselwirkungen zwischen lokal und global, sowie zwischen kurz- und langfristigen Folgen effizient darstellen lassen (siehe Abbildung 1). Ursprünglich für die Kontrollierbarkeit von sicherheitskritischen Systemen entwickelt (Flemisch et al. 2023, in press), stehen im Mittelpunkt dieses Modells die für das jeweilige Arbeitssystem bestimmenden Nutzungssituationen (Use-Situations), sowie die wichtigsten Beziehungen zwischen dem Arbeitssystem und den übergeordneten Systemen Organisation, Gesellschaft und Umwelt. Um auch bereits mögliche Wechselwirkungen zwischen Erde und Weltraum wie z. B. Informationsaustausch oder Raumfahrt mit berücksichtigen zu können, stellt das Modell eine Schicht für den Weltraum als Übersystem bereit.

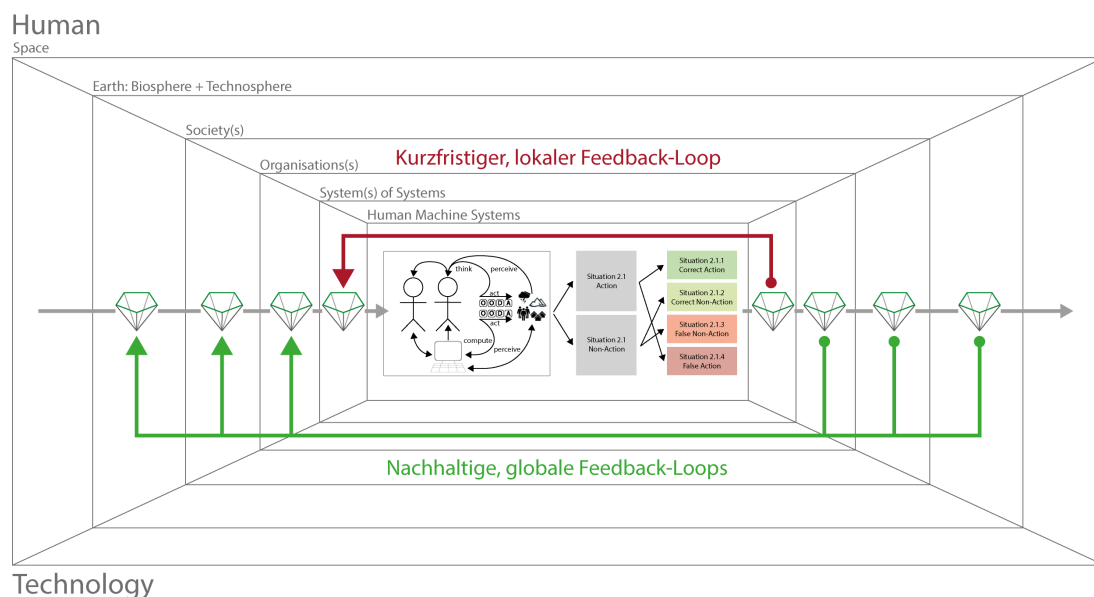


Abbildung 1: Holistisches Bow-Tie-Modell für nachhaltige Arbeitssysteme (basierend auf Flemisch et al. 2023, in press)

Wie in Abbildung 1 dargestellt, ist eine der Funktionen des holistischen Bow-Tie-Modells, die Einflüsse des Arbeitssystems auf die Um-Systeme in Form von Rückkopplungsschleifen zwischen den Systemschichten darstellen zu können. Das Feedback aus der Bewertung dieser Einflüsse kann im Rahmen der Analyse, Gestaltung und Entwicklung des Arbeitssystems als Grundlage für die Entscheidungsfindung dienen. Kybernetisch können diese Rückkopplungsschleifen als Regelkreise verstanden werden, welche an den Bewertungs- und Entscheidungspunkten initiiert werden und so die Analyse, Gestaltung und Entwicklung durch einen holistischen Betrachtungsansatz unterstützen.

Entscheidend ist nun für unsere Forschungs- und Entwicklungsgemeinschaft, nicht nur in der Arbeitswissenschaft, dass bereits bestehende, kurzfristig und lokal orientierte Rückkopplungsschleifen („Durch diese Aktionen wird das lokale System schneller, leistungsfähiger, günstiger“) durch langfristige und globale Rückkopplungsschleifen ergänzt werden. Eine wesentliche Chance dabei könnte darin bestehen, Innovationen und die Entwicklung von Arbeitssystemen über mehrere Rückkopplungsschleifen laufen zu lassen, die auf ein gemeinsames Verständnis aufbauen.

Eine weitere Chance könnte darin bestehen, einen Teil der Rückkopplungsschleifen über technische Untersysteme, z. B. kooperative Automation oder KI laufen zu lassen, da hier im Vergleich zu Verhaltensänderungen des Menschen zusätzliche Freiheitsgrade vorliegen.

3. Vom Teufelsquadrat zum nachhaltigen Vieleck und „Engelsdiamant“

Das holistische Bow-Tie-Modell unterstützt die Analyse und Gestaltung der Wechselwirkungen und Rückkopplungsschleifen zwischen dem lokalen Arbeitssystem und globalen Um-Systemen. Mit der Analyse, Gestaltung und Entwicklung von Arbeitssystemen sollte ein mehrstufiger Entscheidungs- und Bewertungsprozess verknüpft werden, der diese Beziehungen zu den Um-Systemen berücksichtigen muss. Dieser Prozess braucht ein gemeinsames Verständnis von den anzufordernden und anzustrebenden Systemqualitäten.

Da die Wirkung auf die Nachhaltigkeit von Arbeitssystemen erst mit einer gewissen Zeitverzögerung auftritt, ist der Einfluss vor allem zu Beginn der Entwicklung eines Arbeitssystems am höchsten, und nimmt dann zunehmend ab (Nielsen & Bauer 2019). Entscheidend ist es daher, Methoden bereitzustellen, die bereits früh in der Gestaltung und Entwicklung zum Einsatz kommen können und so eine ganzheitliche Bewertung von Arbeitssystemen ermöglichen. Eine solche neue Methode, die an den Entscheidungspunkten der Rückkopplungsschleifen ansetzt, ist das in diesem Beitrag vorgestellte nachhaltige Vieleck. Wissenschaftlich würden wir gerne von Vieleck sprechen, auch um die Erweiterungsfähigkeit auf mehr als 5 Grunddimensionen deutlich zu machen. Da wir mit dem Modell auch den angloamerikanisch geprägten Markt erkunden wollen, der z. B. mit dem „Teufelsquadrat“ plakativer arbeitet als die traditionell zurückhaltende Wissenschaftskultur im deutschsprachigen Raum, würden wir dem „nachhaltigen Vieleck“ gerne den Spitznamen „Engelsdiamant“ an die Seite stellen.

Das nachhaltige Vieleck ist abgeleitet von Teufelsquadrat (Sneed 1987) und dem erweiterten Teufelsquadrat (Flemisch et al. 2019) und setzt die *Nachhaltigkeit* bewusst gleichrangig zu den Dimensionen *Zeit*, *Kosten*, *Funktionalität* und *Qualität*. Dabei wird die (onto-)logische Konsistenz, dass Nachhaltigkeit ja auch eine Qualität sein könnte, abgewogen mit dem pragmatischen Argument, dass Nachhaltigkeit von Anfang an auf höchster Ebene mitgedacht werden muss. Einen Ansatz zur Erweiterung des magischen Dreiecks hin zu einer Pyramide, welche ebenfalls die Nachhaltigkeit als Dimension adressiert, liefert bereits Hinke (2022). Der vorgestellte Diamant greift diese Idee auf, setzt im Gegensatz dazu auf dem Vieleck auf, und ist als bildliche Metapher zu verstehen. Die Metapher zielt darauf ab, dass die oben genannten Dimensionen als einzelne Facetten des Diamanten integriert werden können und erst der richtige Schliff, die ausbalancierte Systemgestaltung, den Diamanten zum Leuchten bringt. Gleichzeitig kann dieses komplexere Bild des Diamanten auch wieder in die einfachere Abbildung auf die Fläche gebracht werden.

Wie in Abbildung 2 dargestellt, spiegelt sich die zentrale Bedeutung der Nachhaltigkeit auch direkt im Modell des nachhaltigen Engelsdiamanten wider. Von der Nachhaltigkeit besteht eine direkte Verbindung zu den übrigen Dimensionen des Teufelsquadrats. Hierüber werden die zusätzlichen Spannungsfelder zwischen Nach-

haltigkeit und Qualität, Funktionen, Zeit, oder Kosten dargestellt. In der Analyse, Gestaltung und Entwicklung von nachhaltigen Arbeitssystemen können so wechselseitige Abhängigkeiten berücksichtigt und ausbalanciert werden.

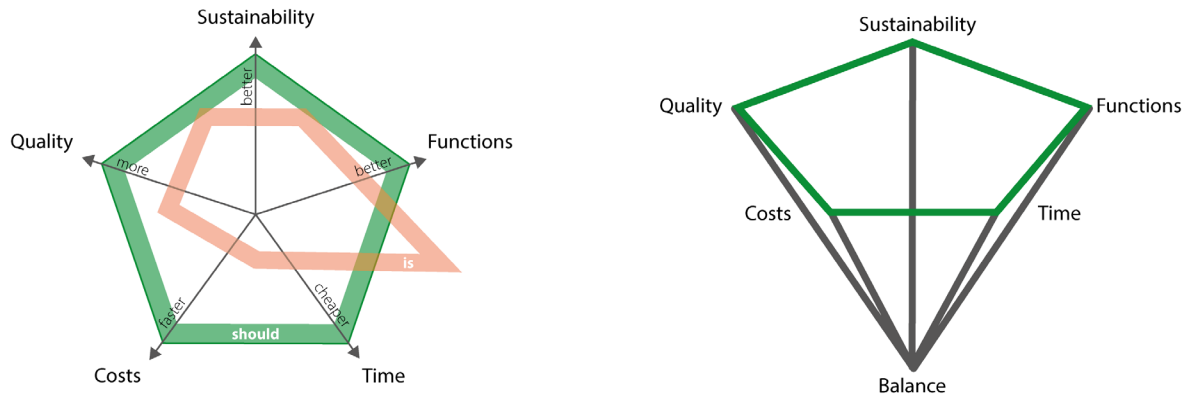


Abbildung 2: Nachhaltiges Vieleck („Engelsdiamant“), basierend auf dem Teufelsquadrat (Sneed, 1987) und dem Erweiterten Teufelsquadrat (Flemisch et al., 2019)

Durch dieses Instrument kann ein Zugewinn an Qualität oder Funktionalität des Arbeitssystems mit dem resultierenden Einfluss auf die ökonomische, ökologische oder soziale Nachhaltigkeit abgewogen werden. Eine solche Abwägung kann zum Beispiel bedeuten, dass eine Verbesserung der Qualität oder Funktionalität des Arbeitssystems kurzfristig zu höheren Kosten führen kann, aber langfristig zu Einsparungen bzw. zu einer höheren Nachhaltigkeit beitragen kann. Beispielsweise kann die Beschaffung energieeffizienter Maschinen zunächst teurer sein, aber auf lange Sicht zu Einsparungen bei den Energiekosten führen. Auch soziale Aspekte wie die Förderung der Work-Life-Balance, besser Life-Domains-Balance, der Mitarbeitenden können auf den ersten Blick teurer erscheinen, aber langfristig zu einer verbesserten Zufriedenheit und damit zu einer höheren Produktivität und ökonomischen Nachhaltigkeit beitragen.

Eine Herausforderung bei diesem Ausbalancieren des nachhaltigen Vielecks ist es, dass Nachhaltigkeit ein komplexes Thema ist, bei dem es bereits erkenntnistheoretisch unmöglich sein könnte, alle Auswirkungen mit einer ähnlichen Präzision vorherzusagen, wie wir das bisher wissenschaftlich für „kleinere“ Sachverhalte angestrebt haben. Ein Nicht-Handeln wegen einer vermeintlich schwierigeren Datenlage kann jedoch ebenso gefährlich oder noch gefährlicher sein als ein Handeln hin zur falschen Seite. Hierzu schlagen wir vor, dass im Ingenieurs-Bereich bewährte Prinzip der „Sicheren Seite“ durch ein Prinzip der „Nachhaltigen Seite“ zu ergänzen: Sind die Auswirkungen auf die Nachhaltigkeit nicht ausreichend sicher abzuschätzen, ist die Systemauslegung bzw. die Maßnahmen zu wählen, die eine höhere Wahrscheinlichkeit auf höhere Nachhaltigkeit versprechen.

Der nachhaltige Ansatz des holistischen Bow-Tie-Modells und des nachhaltigen Engelsdiamanten manifestiert sich darin, dass bei der Analyse, Gestaltung und Entwicklung von nachhaltigen Arbeitssystemen, bei der Entscheidungsfindung die kurzfristigen und langfristigen Folgen für alle Um-Systeme bereits früh genug, nach Möglichkeit von Beginn an berücksichtigt werden. Dieser Prozess erfordert ein tieferes Systemverständnis und eine systematische Analyse der Risiken und Chancen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Das holistische Bow-Tie-Modell, das die Interaktionen und Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Teilsystemen und Um-Systemen visualisiert und das nachhaltige Vieleck (Engelsdiamant) soll eine ganzheitliche Analyse, Gestaltung und Entwicklung von nachhaltigen Arbeitssystemen erleichtern. Vor dem Hintergrund zunehmender globaler Herausforderungen ist ein solches Vorgehen jedoch unerlässlich, um nachhaltige Entscheidungen zu unterstützen, welche den individuellen Nutzer, die Organisation, die Gesellschaft und die Umwelt auf lange Sicht begünstigen. Beide Modelle stehen ganz am Anfang, noch ohne Garantie, aber bereits ersten Hinweisen auf Wirksamkeit und Anwendbarkeit. Das Prinzip der nachhaltigen Seite gilt auch hier. Wir sind entschlossen, die Modelle „on the job“ weiterzuentwickeln, und freuen uns über Anregungen und Ermutigungen, aber auch über konstruktive Kritik.

5. Literatur

- Diesner T (2015). Die Allgemeine Systemtheorie bei Ludwig von Bertalanffy. Eine Begründung interdisziplinärer Wissenschaftspraxis.
- Flemisch F, Meyer R, Baltzer M, Sadeghian S (2019). Arbeitssysteme interdisziplinär analysieren, bewerten und gestalten am Beispiel der automatisierten Fahrzeugführung. GfA. Arbeit interdisziplinär analysieren-bewerten-gestalten. Dresden.
- Flemisch F, Baltzer M, Abbink D, Siebert LC, van Diggelen J, Herzberger N, Draper M, Boardman M, Pacaux-Lemoine MP, Wasser J (in press). Towards a dynamic balance of humans and AI-based systems within our global society and environment – Holistic Bowtie Model of Meaningful Human Control over Effective Systems. In: van den Hoven J, Abbink D, Santoni de Sio F, Amoroso D, Mecacci G, Siebert L: Meaningful Human Control of Artificial Intelligence Systems.
- Flemisch F, Baltzer F, Meyer R, Herzberger N, Wasser J, Usai M, Preutenborbeck M: KI im Spannungsfeld aus Mensch, Technik, Organisation und Umwelt: Was können wir von Hegel für eine Dialektik kognitiver und kooperativer Arbeits-Systeme lernen? GfA Frühjahrskonferenz „Arbeit HUMANE gestalten“, Bochum, 2021.
- Government of Japan (2022). Society 5.0. https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html. Cabinet Office.
- Haberfellner R, Weck ODL, Fricke E, Vössner S (2015). Systems Engineering: Grundlagen und Anwendung (13. Aktual.). Orell Füssli Verlage.
- Hinke C (2022). Enablers and Tools for sustainable products: Photonic production. Scientific Advisory Board des Exzellenzclusters Internet of Production, 15.09.2022.
- Nielsen T, Bauer F (2019). Plastics and Sustainable Investments – an information brief for investors.
- Sneed HM (1987). Software Management. Cologne: Müller GmbH.

Danksagung:

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC-2023 Internet of Production – 390621612.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Nachhaltig Arbeiten und Lernen

**Analyse und Gestaltung lernförderlicher
und nachhaltiger Arbeitssysteme
und Arbeits- und Lernprozesse**

69. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

01. – 03. März 2023

GfA-Press

Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 01. – 03. März 2023

**Fakultät Maschinenbau, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) und
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Leibniz Universität Hannover**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2023
ISBN 978-3-936804-32-4

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 · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de