

Beschreibung der Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen für das Gestaltungselement Information

Celina DETTMERING, Marco BLECKMANN, Peter NYHUIS

*Institut für Fabrikanlagen und Logistik, Leibniz Universität Hannover,
An der Universität 2, D-30823 Garbsen*

Kurzfassung: Die Auslegung und Gestaltung von Montagesystemen wird zu einem zunehmend kritischen Wettbewerbsfaktor. Für die Entwicklung von Strategien zur Auslegung veränderungsfähiger Montagesysteme ist es notwendig, die Zusammenhänge zwischen der Veränderungsfähigkeit und den einzelnen Elementen eines Montagesystems zu analysieren. In diesem Beitrag wird ein Modell zur Beschreibung der Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen für das Gestaltungselement Information vorgestellt. Anschließend erfolgt eine Validierung anhand der Betrachtung eines informatorischen Assistenzsystems unter Einsatz der Technologie Augmented Reality.

Schlüsselwörter: Veränderungsfähigkeit, Montagesysteme, Montageplanung, Information, Beschreibungsmodell

1. Einführung

Produzierende Unternehmen sind dauerhaft sich dynamisch verändernden externen und internen Anforderungen ausgesetzt. Der Grund dafür sind Kunden und Märkte sowie Politik, Gesellschaft, Technologie und Umwelt, die sich immer kurzzyklischer verändern (ElMaraghy 2009). Eine besondere Herausforderung ist die volatile Nachfragesituation am Markt, die mit einer steigenden Anzahl Produktvarianten aufgrund von Individualisierungstendenzen der Kundennachfrage einhergeht. Die daraus resultierende Komplexitätssteigerung innerhalb der Produktion betrifft insbesondere die Montage (Bornewasser 2020). Als letzter Schritt im Wertschöpfungsprozess des Unternehmens erfüllt die Montage eine Verbindungsfunktion zwischen dem Produktentstehungsprozess und dem Kunden. Die Montage ist wesentlich für die Produktqualität, Kosten und Termintreue eines produzierenden Unternehmens verantwortlich (Große-Heitmeyer & Wiendahl 2004). Dadurch hängt die Wettbewerbsfähigkeit maßgeblich von der Leistungsfähigkeit der Montage ab, welche branchenübergreifend einen vergleichsweise hohen Wertschöpfungsanteil ausweist (Lotter 2012). Um diese Leistungsfähigkeit erhalten zu können, müssen Montagesysteme in der Lage sein, schnell und proaktiv zukünftige Krisen und Veränderungen vordenken zu können (Wiendahl 2009). Bei der Analyse der Gestaltungselemente von Montagesystemen zur wirtschaftlichen Erfüllung von Anforderungen und Zielgrößen herrscht große Unsicherheit. Daher ist es notwendig, die Wechselwirkungen der entsprechenden Gestaltungselemente zu analysieren. Bei den sozio-technischen Montagesystemen werden klassischerweise Mensch, Technologie und Organisation als wesentliche Gestaltungselemente betrachtet (Wiendahl 2009). Als Mittel, um die steigende Komplexität in der Montage zu beherrschen, sind Informationen ein kritischer Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit, sodass Informationen als viertes Gestaltungselement betrachtet werden (Bornewasser 2020).

Unerforscht ist, welcher Zusammenhang zwischen der strategischen Eigenschaft, Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen und Informationen im Montageprozess bestehen. Ziel dieses Beitrags ist die Beschreibung der Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen hinsichtlich des Gestaltungselements Information.

2. Grundlagen

Aufgabe der Montage ist es, Teile so zusammenzusetzen, dass ein Produkt höherer Komplexität entsteht. Dafür werden konzeptionelle und reale Eingangsgrößen verwendet. Die konzeptionellen Eingangsgrößen entstehen durch die Ergebnisse der Montageplanung und -steuerung als Teil der Arbeitsvorbereitung. Die realen Eingangsgrößen umfassen Einzelteile, Baugruppen und Informationen. Diese werden in einem Transformationsprozess zu Informationen, Produkte und Baugruppen als Ausgangsgrößen (Linsinger 2021). Die Transformation erfolgt durch ein sozio-technisches System aus Personal und technischen Betriebsmitteln als ausführende Instanz des Montagesystems. Diese ausführende Instanz führt in einer konzeptionell vorgegebenen Organisation den definierten Montageprozess aus. So ergibt sich das Montagesystem als Zusammenspiel aus Mensch, Organisation, Prozess und Betriebsmittel (Cisek et al. 2002). Das Gestaltungselement Information ist von zunehmender Relevanz für Montagesysteme. Unter der Begrifflichkeit des Gestaltungselements Information wird der operative Einsatz von Informationen in Montagesystemen verstanden. Durch Informationen werden Ziele und Vorgaben systemübergreifend entlang der Hierarchie kommuniziert und die ausführende Instanz meldet Kennzahlen sowie den Montagefortschritt zurück. Um die Montage anforderungsgerecht ausführen zu können, werden an den Arbeitsplätzen Informationen bezüglich der Produkte und Arbeitsgänge benötigt. Zur Steuerung der Abläufe der Montage wird der Wertschöpfungsprozess von einem Informationsfluss begleitet. Der technologische Wandel bietet neue Möglichkeiten, Informationen zu erfassen, zu verarbeiten oder mit digitalen Technologien in Prozesse einzubinden (Kellner et al. 2020). Informationen werden zunehmend relevant und ein kritischer Wettbewerbsfaktor. Entsprechend verbreiten sich Informationssysteme in der Produktion. Dadurch wird ein durchgehender Informationsfluss in der Montage ermöglicht (Bornewasser 2020). Zugleich betrifft der zunehmende Informationsbedarf auch die Montageplanung und -steuerung. Deren Arbeitsaufgabe wird durch interne und externe Veränderungen, die eine schnelle Reaktionsfähigkeit der Montagesysteme erfordern, fortlaufend komplexer. Diese Fähigkeit von Unternehmen, sich an externe Einflüsse anzupassen, wird als Veränderungsfähigkeit bezeichnet. Ein veränderungsfähiges Montagesystem beinhaltet wandlungsfähige und flexible Elemente. Ein flexibles System ist in der Lage, bei veränderten Anforderungen innerhalb vorgedachter Korridore eine Leistungserbringung zu gewährleisten. Ist die notwendige Anpassung nicht durch eine Veränderung des Systems innerhalb des vorgedachten Flexibilitätskorridors vorzunehmen, werden Wandlungspotenziale im System aktiviert. Wandlungsfähigkeit beschreibt das Potenzial, durch Antizipation reaktiv oder proaktiv strukturelle, organisatorische, technische und logistische Anpassung außerhalb vorgehaltener Flexibilitätskorridore vorzunehmen (Hingst et al. 2021).

Die Kritikalität des Gestaltungselements Information in Montagesystemen sowie die der Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen führt zu der folgenden Hypothese:

„Es bestehen elementare Zusammenhänge zwischen der Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen und dem Gestaltungselement Information. Diese Zusammenhänge lassen sich für industrielle Unternehmen allgemeingültig beschreiben.“

Zielsetzung dieses Beitrags ist die Entwicklung eines Modells zur Beschreibung der Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen und dem Gestaltungselement Information.

3. Vorgehen und Modellbildung

Die Verbindung zwischen der Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen und dem Gestaltungselement Information stand wissenschaftlich bislang nicht im Fokus. Werden die Komponenten getrennt voneinander betrachtet, so existieren bereits zahlreiche Modelle. Eversheim (1983) wählt eine hierarchische Darstellung für die Merkmale der Flexibilität von Montagesystemen. Für das Gestaltungselement Information im Montagesystem existiert die Informationsstrukturanalyse im Rahmen der Lean Production. Diese beschreibt den Informationsfluss in einem Bezugssystem und ist an dessen Aufgaben ausgerichtet (Wie-gand 2018).

Um den Zusammenhang zu beschreiben, sollen geeignete Modelle der beiden Komponenten integriert werden. Die Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen und das Gestaltungselement Information sollen über den gemeinsamen Fokus auf Montage-systeme verbunden werden. Dafür werden gemäß Abbildung 1 ein Teilmodell für das Ge-staltungselement Information und ein Teilmodell für die Veränderungsfähigkeit von Mon-tagesystemen entwickelt, die in einem nachgelagerten Schritt zur Informations-Verände-rungsmatrix werden.

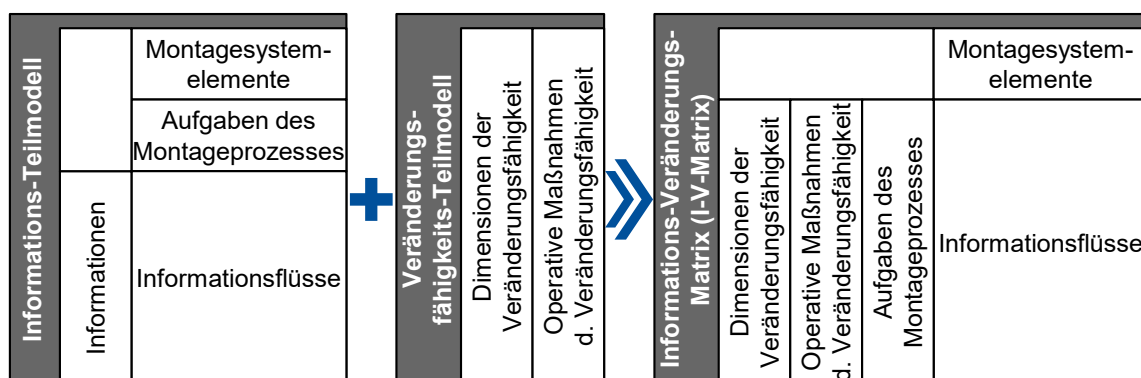


Abbildung 1: Modellbildung der Informations-Veränderungs-Matrix (I-V-Matrix)

Für das Teilmodell des Gestaltungselements Information wird in einem ersten Schritt die Informationsstruktur eines Montagesystems analysiert. Dafür wird eine modifizierte Version der Informationsstrukturanalyse angewendet. Die Grundlage für die Informationsstruktur-analyse liefert eine Literaturrecherche. Im Anschluss erfolgt eine deduktiv-logische Analyse der Aufgaben eines produzierenden Unternehmens. Zunächst werden die Aufgaben im Montageprozess ermittelt. Anschließend werden die beteiligten Funktionen sowie Instan-zen identifiziert und der Informationsbedarf aufgestellt. Aus den Aufgaben werden die erzeugten Informationen abgeleitet (Küpper et al. 2013). Für eine vollumfängliche Erfas-sung der Informationsstruktur erfolgt die Betrachtung zunächst systembasiert über die Struktur betrieblicher Informationssysteme und anschließend anhand der Rollen, die in Montagesystemen existieren. Das Teilmodell für das Gestaltungselement Information wird gemäß Abbildung 1 in Matrixform umgesetzt. Das Teilmodell der Veränderungs-fähigkeit von Montagesystemen ist orientiert an fünf Dimensionen der Veränderungs-fähigkeit von Montagesystemen, die sich empirisch als relevant erwiesen haben. Dabei handelt es sich

um die Veränderungsfähigkeit bezüglich Produktvarianten, Kapazität, Belastung, funktionalem Personaleinsatz und dem Montageablauf. Für die Dimensionen werden im Rahmen einer Literaturrecherche operativen Maßnahmen der Veränderungsfähigkeit abgeleitet. Sie werden anhand vorab definierter Kriterien systematisch der Flexibilität oder der Wandlungsfähigkeit bezüglich der entsprechenden Dimension zugeordnet. Durch die strukturierte Darstellung der Ergebnisse der Analyse ergibt sich das Veränderungsfähigkeits-Teilmodell gemäß Abbildung 1.

Für die Konsolidierung müssen beide Teilmodelle angepasst werden. Das Informations-Teilmodell wird so invertiert, dass die vertikale Achse die Aufgaben im Montageprozess umfasst und die horizontale Achse die Systemelemente des Montagesystems. Im Informations-Teilmodell werden die Informationsflüsse zwischen den einzelnen Systemelementen über die Aufgaben der Systemelemente im Montageprozess abgetragen. Im Veränderungs-Teilmodell werden den Maßnahmen der operativen Umsetzung der Veränderungsfähigkeit Aufgaben im Montagesystem zugeordnet. Die Maßnahmen der Veränderungsfähigkeit können dann als Spalten in das Teilmodell des Gestaltungselements Information eingefügt werden. Es ergibt sich die Informations-Veränderungs-Matrix gemäß Abbildung 1. In dieser wird die Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen über den Montageprozess mit den Aufgaben und damit dem Informationsfluss zwischen den Systemelementen verknüpft (vgl. Abbildung 2).

	Maßnahmen der operativen Umsetzung der Veränderung	Aufgaben	Montageplanung	Montagesteuerung	Werkender	Maschine	Instandhaltung	Qualitätssicherung
Funktionaler Personaleinsatz	Befähigung des Personals durch informatorische Assistenzsysteme	Direkte Aufgaben (Werkende)	⬆	⬆	⊂	⊂		
	Zertifizierung des Personals	Qualifizierungsm Termin- und Kap Werkstattsteuer	↑ = Informationserzeugung ↓ = Informationsbedarf ⊂ = Informationserzeugung & -bedarf				□ = Flexibilität □ = Wandlungsfähigkeit	

Abbildung 2: Auszug aus der I-V-Matrix für die Dimension der Veränderung „Funktionaler Personaleinsatz“

Die Einführung einer Teilmodell-Systematik ermöglicht die Spezifikation der behandelten Informationen. So lässt sich jede Zelle in ein Teilmodell auflösen, in dem die entsprechend genutzten oder erzeugten Informationen ergänzt durch Meta-Daten aufgelistet werden.

4. Validierung

Zur produktiven Nutzung der Informationen im Montagesystem ist eine Schnittstelle, wie zum Beispiel ein grafisches Interface, zwischen dem Nutzenden und dem Informationssystem notwendig (Backstrand 2009). Als Schnittstellen im Montagesystem sind Augmented Reality-Anwendungen geeignet. Bei AR-Anwendungen werden in die reale Arbeitsumgebung mit einem Endgerät virtuelle Elemente eingeblendet, die mit der Umwelt interagieren (Dalle Mura und Dini 2021). AR-Anwendungen unterstützen das Personal im Montagesystem bei der Verrichtung der Aufgaben. Anhand einer beispielhaften AR-Anwendung soll das Modell stichprobenartig validiert werden. Betrachtet wird dafür die Unterstützung von Werkenden durch ein AR-System. Als Hardware dient eine AR-Brille. Aufgrund der Gestensteuerung wird kein weiteres Eingabegerät benötigt und Werkende können parallel zur Verwendung Arbeitsvorgänge durchführen. Durch die Verwendung geeigneter Software wird eine digitale Schritt-für-Schritt-Anleitung eingeblendet, die durch Montageabläufe führt.

Wird nun der Fall betrachtet, dass an einer Arbeitsstation, die hinter dem Produktvariantenentstehungspunkt liegt, die variantenbildenden Arbeitsgänge manuell durchgeführt werden, ergibt sich folgende Situation. Erhält der Werkende den bestückten Werkstückträger, scannt er den dazugehörigen QR-Code mit der AR-Brille. Dadurch wird der Status des Auftrags aktualisiert. Bei dem Werkenden öffnet sich der produktvariantenspezifische Workflow. Nachdem die Tätigkeit beendet ist, wird der Workflow durch Betätigung einer Schaltfläche abgeschlossen. Die Rückmeldung wird an die Montagesteuerung weitergeleitet. Funktionsrelevante Fügeverbindungen werden gemäß einer Checkliste geprüft und anhand von Fotos im Sinne der Rückverfolgbarkeit dokumentiert. Diese Rückmeldung erhält die Qualitätssicherung. Das Erstellen des Workflows innerhalb der Anwendung des Systems erfolgt durch die Montagesteuerung im Sinne der Bereitstellung relevanter Unterlagen.

Das konfigurierte AR-System thematisiert die Verrichtung direkter Aufgaben durch das Montagepersonal. Die betreffende Zeile des Modells wird in Abbildung 2 dargestellt. Die Informationsflüsse gemäß Modell können anhand der Informationsflüsse des Anwendungsbeispiels validiert werden. Gemäß der I-V-Matrix sorgt die Befähigung der Werkenden durch informatorische Assistenzsysteme für Flexibilität hinsichtlich des funktionalen Personaleinsatzes. Vergleichbare AR-Anwendungen in der Industrie führen zu fehlerreduzierter Montage unterschiedlicher Produktvarianten. Insbesondere in Anlernphasen ermöglicht das AR-System durch Befähigung des Personals Flexibilität bezüglich des funktionalen Personaleinsatzes (Boeing 2018; Porsche AG 2020). Der Bezug zur Flexibilität kann also mittels des Anwendungsbeispiels bestätigt werden.

In diesem Anwendungsfall entsteht Flexibilität durch die gezielte Anreicherung des Montageprozesses mit Informationen. Somit kann nachgewiesen werden, dass ein Zusammenhang zwischen der Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen und dem Gestaltungselement Information besteht.

5. Ergebnisse und Limitationen

Die Informations-Veränderungs-Matrix (I-V-Matrix) ist ein konzeptionelles Modell, das die Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen mit dem Gestaltungselement Information in einen Zusammenhang setzt. Die Aufgaben des Montagesystems werden für den Nachweis verwendet, dass die Maßnahmen zur operativen Umsetzung der Veränderungsfähigkeit auf einer informatorischen Grundlage basieren. Da es sich um ein konzeptionelles Modell handelt, ist die Logik der Verhältnisse zwischen den Modellelementen von besonderer Relevanz. Die signifikante Erkenntnis des Modells besteht in der Systematik dieser Zusammenhänge, welche agnostisch bezüglich der konkreten Ausgestaltung dargestellt werden.

Das Modell zeigt, welche Maßnahme zur operativen Umsetzung der Veränderungsfähigkeit welchen Prozessschritt betrifft und welche Instanz in welchem Prozessschritt welche Informationen erzeugt oder nutzt und woher diese kommen. Dadurch lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen und dem Gestaltungselement Information feststellen. Es sind Rückschlüsse auf die Anforderungen an die Veränderungsfähigkeit des Gestaltungselements Information möglich. Trotz des Anspruchs einer Allgemeingültigkeit erfordert der Modellbildungsprozess als Voraussetzung zahlreiche Annahmen. Dadurch erfährt das spätere Modell eine ungewollte Neigung zur Subjektivität, die jedoch nicht vermeidbar ist. Des Weiteren ergeben sich durch die Komplexität des Modells Fehlerquellen in der Anwendung. Um die Nutzerfreundlichkeit zu steigern, sind standardisierte Richtlinien für die Verwendung des Modells erforderlich.

6. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde mit der I-V-Matrix ein Modell entwickelt, das die Veränderungsfähigkeit von Montagesystemen und das Gestaltungselement Information über den Montageprozess in Zusammenhang setzt. Das Modell wurde stichprobenartig anhand des Einsatzes eines informatorischen Assistenzsystems validiert. Der im Modell ermittelte Zusammenhang ist gemäß den Charakteristika eines Beschreibungsmodells grundlegender Natur. Um die Wirkbeziehungen konkret auszuarbeiten, ist die Entwicklung eines Wirkmodells notwendig.

7. Literatur

- Backstrand G (2009): Information flow and product quality in human based assembly.
- Boeing (2018) Boeing Tests Augmented Reality in the Factory Accessed 14.1.2023. <https://www.boeing.com/features/2018/01/augmented-reality-01-18.page>.
- Bornewasser M (2020): Informatorische Assistenzsysteme in der Variantenreichen Montage. Theorie und Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin/Heidelberg.
- Dalle Mura M, Dini G (2021): Augmented Reality in Assembly Systems: State of the Art and Future Perspectives. In: Svetan Ratchev (Hg.): Smart Technologies for Precision Assembly, Bd. 620. Cham: Springer International Publishing (IFIP Advances in Information and Communication Technology), S. 3–22.
- ElMaraghy, Hoda A (2009): Changing and Evolving Products and Systems – Models and Enablers. In: Hoda A. ElMaraghy (Hg.): Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems, Bd. 56. London: Springer London (Springer Series in Advanced Manufacturing), S. 25–45.
- Eversheim W (1983): Ein Baukastensystem fuer die Montage konzipieren. In: *Industrie Anzeiger*, S. 27–30.
- Große-Heitmeyer, V, Wiendahl H-P (2004): Grundansatz des Produktionsstufenkonzeptes. In: Wiendahl H-P, Gerst D, Keunecke L (Hg.): Variantenbeherrschung in der Montage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 21–40.
- Hingst L, Park Y-B, Nyhuis P (2021): Life Cycle Oriented Planning Of Changeability In Factory Planning Under Uncertainty: Hannover: publish-Ing.
- Kellner F, Lienland B, Lukesch M (2020): Produktionsfaktoren. In: Kellner F, Lienland B, Lukesch M (Hg.): Produktionswirtschaft, Bd. 168. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 31–159.
- Küpper H-U, Friedl G, Hofmann C, Hofmann Y, Pedell B (2013): Controlling. Konzeption, Aufgaben, Instrumente. 6. überarbeitete Auflage 2013. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Linsinger M (2021): Situative Konfigurationsanpassung hybrider Montagesysteme. Ruhr-Universität Bochum.
- Lotter B (2012): Montage in der Industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin/Heidelberg (VDI-Buch Ser).
- Porsche AG (2020) No mistakes: a clear digital view for electric drives Accessed 14.1.2023. <https://newsroom.porsche.com/en/2020/innovation/porsche-startup-autobahn-partner-viscopic-22559.html>.
- Wiegand B (2018): Die Schritte. In: Wiegand B (Hg.): Der Weg aus der Digitalisierungsfalle. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 29–156.
- Wiendahl H-P (2009): Veränderungsfähigkeit von Produktionsunternehmen. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 104 (1-2), S. 32–37.



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