

Human Systems Exploration: Mensch-Technik-Exploration versus Experiment in hybriden Arbeitswelten

Frank FLEMISCH^{1,2}, Michael PREUTENBORBECK¹, Joscha WASSER²,
Nicolas HERZBERGER¹, Marcel BALTZER², Marcel USAI¹, Konrad BIELECKI²,
Katja SEGLER², Daniel LOPEZ², Daria VORST²

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

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

Kurzfassung: Mensch-Technik-Systeme besonders in hybriden Arbeitswelten haben eine Vielzahl von Gestaltungsdimensionen, die aufgrund der Komplexität nicht rein experimentell und aufgrund der Neuartigkeit noch nicht rein konstruktiv bestimmt werden können, sondern systematisch erkundet und gestaltet werden sollten. Mensch-Technik-Exploration (Human Systems Exploration) ist ein Vorgehensparadigma für solche Erkundung, Gestaltung und Überprüfung von soziotechnischen Systemen. Der Beitrag gibt eine Einführung und beschreibt konkrete Beispiele der Exploration von automatisierten und ferngesteuerten Fahrzeug- und Robotersystemen, die einerseits hybrid durchgeführt wurden, und deren Produkte andererseits in hybriden Arbeitswelten eingesetzt werden können.

Schlüsselwörter: Exploration, Human Systems Exploration, Human Systems Integration, Partizipatives Gestalten

1. Einführung

Der technologische Fortschritt durch breitbandigere und echtzeitfähigere Vernetzung und leistungsfähigere Mensch-Maschine-Schnittstellen ermöglicht zunehmend hybride Arbeitswelten. Der Schub, den diese Entwicklung durch die Covid-19 Pandemie bekommen hat, lässt sich einerseits für die Erreichung der Klimaziele und für eine weitere Agilisierung der Arbeitswelt nutzen, andererseits bringt die Gestaltung hybrider Arbeitswelten neben großen Chancen auch Risiken für Menschen und Organisationen mit sich.

Zwar lässt sich ein Teil der Risiken durch arbeitswissenschaftliche Untersuchungen und Experimente kontrollieren, für die frühzeitige gestalterische Vermeidung von Risiken sind jedoch herkömmliche Vorgehensweisen aufgrund der höheren Komplexität des Gestaltungsraumes nur bedingt geeignet. Zwar wäre es theoretisch nicht ausgeschlossen, alle Varianten hybrider Arbeitswelten experimentell zu untersuchen, durch die kombinatorische Explosion von Gestaltungsvarianten in Verbindung mit Zeit- und Geldbeschränkungen ist dies jedoch nicht praktikabel.

Hier setzt die vom Design Thinking und agilen Vorgehensweisen inspirierte Mensch-Technik-Exploration (Human Systems Exploration) an: Ausgehend von Ideen und Anforderungen werden komplexe Gestaltungs- und Nutzungsräume von Mensch-Technik-Systemen systematisch aufgespannt, kartographiert, unterschiedliche Varianten systematisch und partizipativ erkundet, prototypisch implementiert, Auswirkungen abgeschätzt, Varianten ausgewählt und weiter realisiert, bis sie

schließlich experimentell validiert werden können.

An dieser Stelle wird auch klar, dass Exploration kein Gegensatz zum Experiment ist, sondern eine sinnvolle Ergänzung und Vorstufe: Versteht man eine Mensch-Technik-Gestaltung abstrakt als Hypothese, die durch arbeitswissenschaftliche Experimente bestätigt oder verworfen wird, ist die Mensch-Technik-Exploration ein vorgelagertes Vorgehensparadigma, das Gestaltungshypothesen systematisch ableiten und entwickeln kann.

2. Kurzer Blick in Geschichte und Theorie des explorativen Vorgehens

Ein Blick in die Geschichte zeigt, dass exploratives Vorgehen weit älter ist als auf den ersten Blick vermutet. So zeigen bereits die ältesten Jagdwaffen, z. B. die ca. 300.000 Jahre alten Schöninger Speere, eine iterative Verfeinerung von Techniken, optimale Anpassung an den jeweiligen Träger und systematische Integration mit Organisation und Umwelt, die man als frühe Beispiele von Arbeitswissenschaft, *Human Systems Integration* und Human Systems Exploration auslegen kann (Flemisch et al. 2019).

Mit Entwicklung der modernen Wissenschaft ist zunächst die suchende, erkundende Seite zugunsten der kritischen, überprüfenden Seite auf den ersten Blick etwas in den Hintergrund getreten. Ein zweiter, tieferer Blick offenbart jedoch, dass Exploration als Idee und als Begriff weit verbreitet ist, z. B. in der geografischen Exploration, in den Disziplinen der Psychologie, der Weltraumforschung oder der Datenanalyse (Hoaglin et al. 2000). Weiterhin wird deutlich, dass eine systematische und methodische Beschreibung und wissenschaftliche Fundierung von Exploration z. B. im Vergleich zum experimentellen Paradigma eine vergleichsweise junge Aktivität ist.

In der modernen Mensch-Technik-Gestaltung findet man das Thema Exploration zum Beispiel z. B. bei Luk et al. (2005), die über schnelle Design-Explorationen von Anwendungen der digitalen Signalverarbeitung sprechen. Ein weiteres Beispiel sind Design-Explorationen (Zhu & Dutt 2009) im Kontext von elektronischem System-Level-Design und High-Level-Synthese.

Kuniavskiy (2010) beschreibt für sozio-technische Systeme Szenarien und Storyboards im Kontext von "Design Explorations". Welche Rolle den Produktdesignern im Rahmen der offenen Kommunikation von Limitationen der Prototypen in Design-Explorationen zukommt, untersuchten Hartson & Pyla (2012). Landay (2014) definiert die Design Exploration als eine Phase im Design, die "den Designraum durch Brainstorming, Skizzieren, Storyboarding und Prototyping erweitert".

Flemisch et al. (2013) skizzieren eine strukturierte Exploration von Mensch-Maschine-Designräumen mit Beispielen aus dem militärischen Bereich, beschreiben Exploroskope als darauf spezialisierte Labore und weiten dies auf die systemische Exploration von Menschen und künstlichen kognitiven Systemen aus (Flemisch et al. 2019; Flemisch et al. 2022, in press) geben eine Übersicht über die Human Systems Exploration und entwickeln ein Meta-Modell (Abbildung 1).

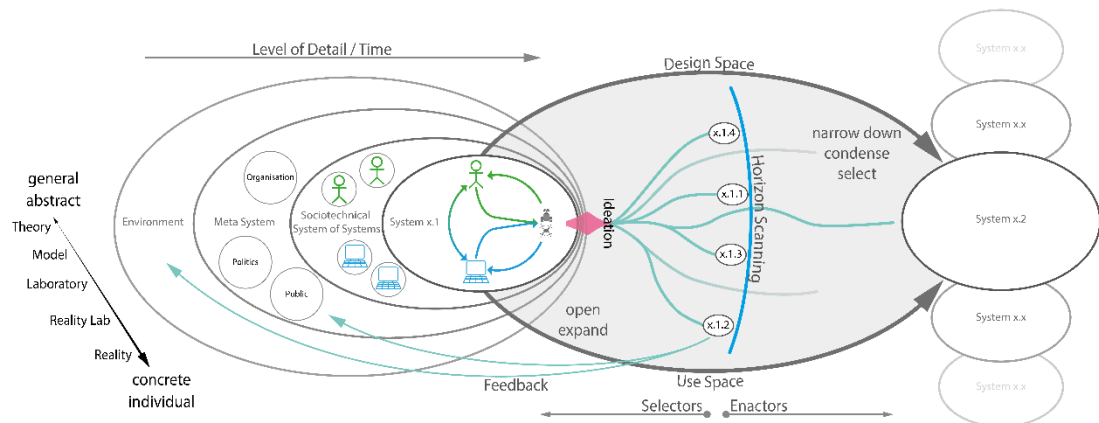


Abbildung 1: Meta-Modell der Human Systems Exploration (Flemisch et al. 2022)

Abbildung 1 zeigt die wesentlichen Zusammenhänge einer Mensch-Technik-Exploration: Ausgehend von einem Mensch-Technik-System (hier x.1), das in ein soziotechnisches System of Systems, in Metasysteme wie Organisationen, politische Systeme, Gesellschaft und in die Umwelt eingebettet ist, werden Anforderungen und Ideen Gestaltungs- und Nutzungsräume geöffnet, neue Varianten entworfen, ausgewählt, prototypisch implementiert und getestet.

Durch Eingrenzung des Gestaltungsraumes werden gute Varianten ausgewählt und in höhere Realisierungsgrade gebracht, wobei sie wiederum Experimenten unterworfen werden können. Ein prägendes Wechselspiel dabei ist das der Spannungsfelder „Generell – Individuell“ und „Abstrakt – Konkret“, indem ein iteratives Wechselspiel aus konkreten, individuellen Anforderungen und Lösungen sowie abstraktem und generalisierbarem Wissen orchestriert wird. Ein Herzstück der Human Systems Exploration ist dabei die Förderung und der Aufbau von konsistenten, gemeinsamen mentalen Modellen.

3. Beispiel: Exploration von teil- und hochautomatisierter Fahrzeugführung

Eine Domäne, in der explorative Vorgehen schon länger erfolgreich eingesetzt wird, ist das des teil- und hochautomatisierten, sowie des autonomen Fahrens. Da im Bereich des hochautomatisierten Fahrens der Mensch zeitweise die Fahraufgabe nicht selbständig ausführen muss und hierzu gezielt aus dem Loop genommen wird, sind komplexe Mensch-Maschine-Interaktionsdesigns notwendig, um die Sicherheit im Straßenverkehr zu gewährleisten (Martens & Beukel 2013). Diese überprüfen in Übergabeszenarien, bei denen die Kontrolle vom Fahrzeug zurück an den Menschen gegeben wird, ob der Mensch die Kontrolle über die Fahrzeugführung nicht sofort, oder ggf. sogar gar nicht, übernehmen kann (Herzberger et al 2018).

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1835 „CoInCar“ (Stiller et al 2018) wurde im Projekt „Systemergonomie an Systemgrenzen“ (Flemisch & Schwalm 2018ff) die Gestaltung der Interaktion in diesen Szenarien im Rahmen einer Exploration durchgeführt (Herzberger et al. 2020, siehe Abb. 2). Durch Nutzung moderner Kollaborationswerkzeuge wurden Diskussion und Dokumentation in den virtuellen Raum verlegt, sodass die Teilnahme an der Exploration nicht für alle ortsgebunden ist.

Ein Teil der Teilnehmenden hatte dabei die Aufgabe, Verhalten und Interaktion von Automation und Mensch im statischen Fahrsimulator vor Ort, direkt prototypisch umzusetzen. Für diese Umsetzung wurde die auf der Wizard-of-Oz Methode (Kelley

1984) basierende Theater-Methode angewandt (Schieben et al 2009). Damit die Interaktion erfahrbar ist, sind in diesem Aufbau zwei Eingabegeräte direkt gekoppelt, sodass zwei Teilnehmende jeweils das Mensch- bzw. Automationsverhalten darstellen können.

Für die hybriden Exploration wurde die Möglichkeit geschaffen, ortsungebunden über ein virtuell mit der Fahrsimulation gekoppeltes und virtuell steuerbares Eingabegerät auf die Umsetzung direkten Einfluss zu nehmen (siehe Abb. 2, rechts).



Abbildung 2: Hybride Mensch-Technik Exploration von teil- und hochautomatisierten Übergaben im DFG-Schwerpunktprogramm ColnCar. Rechts: Demonstration des Aufbaus mit virtuellem Eingabegerät

4. Beispiel: Exploration von blickbasierten, teleoperierten Robotern

Auch in sicherheitskritischen Anwendungen z. B. in der Verteidigung gibt es bereits eine Reihe von Beispielen für Mensch-Technik-Exploration. Durch die Zunahme von Automatisierung und autonomen Funktionen in Systemen im militärischen Bereich ist abzusehen, dass die Rolle der Soldaten sich von einer (aktiv) steuernden, hin zu einer (teilweise passiv) überwachenden entwickelt. Dem bereits bekannten Problem, dass der Operator dadurch out-of-the-loop geraten kann, kann mit neueren Konzepten wie der Shared & Cooperative Control entgegengewirkt werden. Hierbei wird der Operateur an richtiger Stelle involviert, um ausreichendes Automationsbewusstsein (Mode Awareness) und Kontrollierbarkeit (Meaningful Human Control) zu gewährleisten (Flemisch et al. 2016). Dies kann auch die Einsatzfähigkeit während der Teleoperation steigern, insbesondere da für diese noch vergleichsweise neue Form der Kontrolle traditionelle Interaktionsmethoden weniger effizient sind und so weiterentwickelt werden müssen. Hierfür wurde ein bereits gut erforschtes Interaktionskonzept, die Eingabe über eine Eingabeeinheit, mit einer von Flemisch (2001) inspirierten, blickgesteuerten Interaktion (Gaze-Based Control) in Form von Eyetracking kombiniert (Wasser et al. 2021). Der blickbasierte Anteil orientiert sich an der MAGIC-Methode (Zhai et al. 1999). Um die Umsetzung dieser Interaktionsmethode zu explorieren, wurde ein System geschaffen, in dem ein Remote-Operator eine Aufklärungsaufgabe mit einer Robotik-Plattform in einem simulierten Szenario durchführt.

Damit wurde eine Kombination aus Teleoperation, virtuellen visuellen AR Hinweisen und Blickpunkterfassung (Eyetracking) vorgenommen. Die Konsistenz der Interaktion wird dabei durch kompatible Interaktionsmuster abgesichert (vgl. Baltzer 2021).

Das gewählte Interaktionskonzept wurde hybrid eingesetzt, d. h. sowohl in einer reinen Simulationsumgebung als auch in einer im Rahmen des Projektes entwickelten AR-Anwendung mit Kamerabildübertragung eines ferngesteuerten UGV im Feldeinsatz erprobt. Das Setup des Bedienerarbeitsplatzes bleibt für beide Erprobungsfälle identisch.

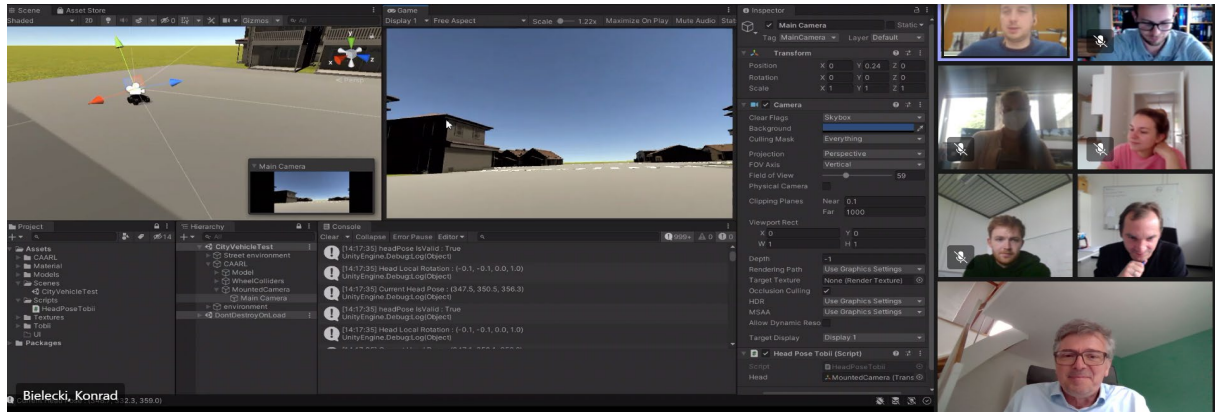


Abbildung 3: *Hybride Exploration am Beispiel GaBaCo: Ein überwiegender Teil des Explorationsteams ist online, ein kleinerer Teil ist im Labor. Ein Teil der Geräte, z.B. das robotische Fahrzeug, wurde erst in Unity simuliert, dann real angebunden*

Die Hybridisierung der Mensch-Technik-Exploration hat es ermöglicht, trotz der Corona-bedingten starken Einschränkungen aus dem umfangreichen Gestaltungsraum zur Interaktion durch strukturierte Annäherung ein mögliches Interaktionsdesign zur blickbasierten Steuerung zu skizzieren und zu testen. Die gewonnenen Erkenntnisse flossen in Symboldesign, Einstellbarkeit von Modalitäten und Interaktionskonzept zurück und wurden auf den Realaufbau übertragen.

5. Ausblick

Der vorliegende Beitrag skizzierte die bisherige Geschichte, das Grundkonzept und die erfolgreiche Anwendung der Human Systems Exploration (HSE) im Bereich der Mensch-Technik-Gestaltung. Die HSE kann einen Beitrag dazu liefern, ausbalancierte hybride oder nicht-hybride Arbeitsumgebungen zu gestalten, die für alle Stakeholder den größtmöglichen Nutzen generieren. Ausgelöst durch Restriktionen der Covid-19-Pandemie konnten erste hybride Mensch-Technik Explorationen erkundet werden.

Die ersten Ergebnisse waren bereits so erfolgversprechend, dass eine systematische Exploration und Erforschung des explorativen Paradigmas der konsequente nächste Schritt sein sollte. Insbesondere eine Erforschung der Chancen und Risiken von hybriden, explorativen Ansätzen im Vergleich zu nicht-hybriden Ansätzen birgt ein hohes Forschungs- und Verbesserungspotenzial.

Insgesamt hat die Mensch-Technik-Exploration (Human Systems Exploration) das Potenzial, die Entwicklung zukünftiger soziotechnischer Systeme, hybride oder nicht-hybride, maßgeblich mitprägen zu können.

6. Literatur

Baltzer M (2021) Interaktionsmuster der Kooperativen Bewegungsführung von Fahrzeugen. Shaker.

- Flemisch FO (2001) Pointillistische Analyse der visuellen und nicht-visuellen Interaktionsressourcen am Beispiel Pilot-Assistenzsystem; Shaker Verlag; Aachen.
- Flemisch F, Abbink D, Itoh M, Pacaux-Lemoine M-P, Wesse, G (2019) Shared control is the sharp end of cooperation: Framework of joint action, shared control and human machine cooperation". Flemisch F, Abbink D, Pacaux-Lemoine M, Itoh M (Eds) Cognition, Technology & Work, Special Issue "Shared and cooperative control of safety critical systems".
- Flemisch F, Baltzer M, Sadeghian S, Meyer R, Lopez Hernandez D, Baier R (2019) Making HSI more intelligent: Human Systems Exploration vs. Experiment for the Integration of Humans and Artificial Cognitive Systems; 2nd conf. on Intelligent Human Systems Integration IHSI San Diego.
- Flemisch F, Semling C, Heesen M, Meier S, Baltzer M, Krasni A, Schieben A (2013) Towards a balanced human systems integration beyond time and space: exploroscopes for a structured exploration of human-machine design spaces. Hg. v. NATO S&T Organization. Online verfügbar unter <https://www.sto.nato.int/publications>.
- Flemisch F, Schwalm M (2018) Systemergonomie für kooperativ interagierende Automobile, Nachvollziehbarkeit des Automationsverhaltens und Eingriffsmöglichkeiten des Menschen im Normalbetrieb, an Systemgrenzen und bei Systemausfall; Projektantrag an die DFG.
- Flemisch F, Preutenborbeck M, Kehl C, et al (2022) Human Systems Exploration for Ideation and Innovation in potentially disruptive Defense and Security Systems. In: Disruption, Ideation and Innovation for Defence and Security; Springer Nature, Springer.
- Hartson R, Pyla Partha S (2012) Prototyping. In: The UX Book: Elsevier, 391–425.
- Herzberger ND, Voß GMI, Becker FK, Grazioli F, Altendorf E, Canpolat Y, Flemisch FO, Schwalm M (2018) Derivation of a model of safety critical transitions between driver and vehicle in automated driving. In: Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Springer, Cham, 421-433.
- Herzberger ND, Meyer NR, Flemisch FO (2020) Systemergonomie für kooperativ interagierende Automobile: Nachvollziehbarkeit des Automationsverhaltens und Eingriffsmöglichkeiten des Menschen. IAW Spectrum 15(1), 8-9.
- Hoaglin DC (Hrsg) (2000) Understanding robust and exploratory data analysis. Wiley Classics Library ed. New York, Weinheim: Wiley (Wiley classics library). Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/description/wiley0310/00028322.html>.
- Kelley J (1984) An iterative design methodology for user-friendly natural language office information applications. ACM Trans Inf Syst 2(1):26–41.
- Kipper G, Rampolla J (2012) Augmented Reality: An emerging technologies guide to AR. Elsevier.
- Kuniavsky M (2010) Simulation and Sketching. In: Smart Things: Ubiquitous Computing User Experience Design: Elsevier, 217–236.
- Landay JA (2014) User Interface Design, Prototyping, Evaluation. Stanford University, 2014.
- Luk W, Cheung PYK, Shirazi N (2005) Configurable Computing. In: WAI-KAI CHEN und WAI-KAI CHEN (Hrsg): The electrical engineering handbook. Boston: Elsevier Academic Press, 343–354. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780121709600500293>.
- Martens MH, van den Beukel AP (2013er) The road to automated driving: Dual mode and human factors considerations. In: 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2013), 2262-2267. IEEE.
- Schieben A, Heesen M, Schindler J, Kelsch J, Flemisch FO (2009) The theater-system technique: Agile designing and testing of system behavior and interaction, applied to highly automated vehicles. In Proceedings of the 1st International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, 43-46).
- Stiller Ch, Burgard W, Deml B, Eckstein L, Flemisch F (2018) Kooperativ interagierende Fahrzeuge / Cooperatively Interacting Vehicles; at Automatisierungstechnik, 66(2).
- Wasser J, Bloch M, Bielecki K, Vorst D, Lopez D, Baltzer M, Flemisch F (2021) Gaze based interaction for object classification in recon-naissance missions using highly automated platforms. 4th International Conference on Intelligent Human Systems Integration.
- Zhai S, Morimoto C, Ihde S (1999) Manual and gaze input cascaded (MAGIC) pointing. Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems, 246-253.
- Zhu J, Dutt N (2009) Electronic system-level design and high-level synthesis. In: Electronic Design Automation, Bd. 19: Elsevier, 235–297.

Danksagung: Die vorgestellten Arbeiten wurden im Schwerpunktprogrammes 1835 „Kooperativ interagierende Automobile“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) durchgeführt. Weitere Arbeiten wurden durch das BAaINBw finanziert.



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 · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de