

Systematik datenbasierter Assistenzsysteme im Bereich dynamischer Ergonomiegestaltung für Montagearbeitsplätze

Leif GOLDHAHN, Christina PIETSCHMANN,
Katharina MÜLLER-EPPENDORFER

*Institut InnArbeit – Zentrum für innovative Arbeitsplanung und Arbeitswissenschaft,
Fakultät Ingenieurwissenschaften, Hochschule Mittweida,
Technikumplatz 17, D-09648 Mittweida*

Kurzfassung: Hohe Produktvarianz sowie flexibel wechselnde Arbeitsaufgaben und -inhalte prägen die Anforderungen an menschliche Arbeit im Bereich der Montage. Der digitale Wandel eröffnet hier Chancen, den Menschen mit Hilfe von KI-Systemen zu unterstützen und zu entlasten. Der Blick auf den Gesundheitsschutz und den Erhalt der Arbeitsfähigkeit innerhalb des tendenziell längeren Arbeitslebens unterstreicht das Erfordernis ergonomischer Gestaltung von Arbeitssystemen. Vorgestellt wird ein Konzept der dynamischen Ergonomiebetrachtung mittels datenbasierter Assistenzsysteme, das den Einsatz körpernaher Sensoren auf ein Minimum reduziert oder diese komplett vermeidet. Durch eine Kombination der regelbasierten Datenauswertung und das Anlernen des Assistenzsystems wird eine dynamische Analyse und Bewertung der Ergonomie am Arbeitsplatz möglich.

Schlüsselwörter: KI, Ergonomie, Assistenztechnologien, Montage, Bereitstellung, Arbeitssystem

1. Einführung

Die heutige Arbeitswelt ist gekennzeichnet von einer hohen Produktvarianz, dynamisch wechselnden Arbeitsaufgaben und Arbeitsinhalten. Diese Herausforderungen prägen die Anforderungen an die menschliche Arbeit, speziell auch im Bereich der Montage. Die Mitarbeitenden müssen eine zunehmende Variantenvielfalt und kurzfristige Anpassungen bewältigen und dabei ähnliche Zeitvorgaben und Qualitätsanforderungen erfüllen. Aufgaben und Personal wechseln häufiger. Trotz ähnlicher Bauteile gilt ein Null-Fehler-Anspruch. Dies birgt Risiken für die Mitarbeitenden, wie zunehmender Stress und Belastungen (Bayer 2022).

Der digitale Wandel in der Arbeitswelt bietet hier große Chancen, die Menschen mit Hilfe von Systemen der Künstlichen Intelligenz (KI) z. B. mit Hilfe von Algorithmen, Datenanalysen, Datenauswertungen und Visualisierungen gezielt zu unterstützen und zu entlasten (Barnitzke 2020; Goldhahn & Roch 2021; Litzel 2021; Bayer 2022).

Die Unterstützung des Mitarbeitenden kann hierbei auf vielfältige Weise erfolgen. Im Beitrag wird eine Systematik beschrieben, welcher die Datenklassifikation, das maschinelle Lernen, die Bilderkennung und -auswertung zu Grunde liegen. Damit ergibt sich die Möglichkeit der Unterstützung durch die dynamische Analyse und Bewertung der Ergonomie.

Die gezielte Gestaltung der technischen Hilfsmittel wirkt auch zunehmenden Stress

und bei kurzzyklischen Tätigkeiten Monotonie und psychischer Sättigung entgegen.

Mitarbeiterbezogene Hauptziele bilden der Gesundheitsschutz und die Erhaltung der Arbeitsfähigkeit innerhalb der tendenziell längeren Lebensarbeitszeit. Beispielsweise können durch stetige, proaktive Hinweise zu ergonomischen Aspekten der Körperhaltung (systematische, kontinuierliche Rückmeldung und damit Signal des Systems an den Mitarbeitenden) auch jahrelang praktizierte ungünstige Körperhaltungen verbessert werden.

2. Grundlagen

2.1 Stand der Wissenschaft und Technik

Im Bereich der Montage gibt es direkte Unterstützungsbedarfe und auch Möglichkeiten, hier vor allem bei der Ausführung von Montageaufgaben in der repetitiven Einzel- und Kleinserienfertigung und beim Anlernen von Montageaufgaben (Müller-Eppendorfer & Goldhahn 2020).

Die bisherigen Unterstützungsansätze basieren in diesem Zusammenhang unter anderem auf multimedialen Prozessbeschreibungen, elektronischen Unterstützungsmedien (z. B. E-Label) und auch Techniken der Augmented und Virtuellen Realität (AR/VR) (Bauer et al. 2021; Goldhahn et al. 2022).

Diese Techniken entwickeln sich stetig weiter und bieten durch ihre Verknüpfungsmöglichkeiten und technische Vielfalt neue Chancen der digitalen Assistenz im Bereich der Montage.

Ein Ansatz findet bereits in der Fertigung Anwendung. Hier bieten diese Techniken dem Mitarbeitenden zumeist eine Orientierung in den Bereichen regelbasierte Anordnung und Kennzeichnung von Werkzeugen, Bauteilen, Ladungsträgern oder beim Einstellen von Vorrichtungen. Die zur Durchführung der Arbeitsaufgabe notwendigen Informationen zu Werkzeugen, Teilen und Hilfsmitteln werden verbessert dargestellt und der Zugriff vereinheitlicht.

Der Blick auf den Gesundheitsschutz und den Erhalt der Arbeitsfähigkeit der Mitarbeitenden erfordert ergonomische Betrachtungen, besonders im meist durch manuelle Tätigkeiten geprägten Montagebereich. Dadurch rückt die bewusste, prospektive Gestaltung von Arbeitssystemen mit Arbeitsaufgabe, Arbeitsplatz, Arbeitsmitteln, Arbeitsobjekte, Arbeitsablauf und Arbeitsumgebung mehr in den Fokus.

Zur Bewertung der ergonomischen Bedingungen am Arbeitsplatz erfolgen in der Regel statische Betrachtungen. Eine dynamische Bewertung bieten aktuell nur wenige Systeme, die zumeist gekennzeichnet sind von körpernah zu tragenden Sensoren, die bei der Erfüllung der Arbeitsaufgabe hinderlich wirken (Offensive Mittelstand 2019; Müller-Eppendorfer & Goldhahn 2020; Bauer et al. 2021; Fröhlich & Merkel 2022; imk automotive GmbH 2022). Bestehende Assistenzsysteme vernachlässigen die ergonomischen Aspekte der individuellen Nutzung des Arbeitsplatzes und die Potenziale der Objekterkennung.

2.2 Ziel

Im Beitrag soll eine Systematik der dynamischen Ergonomiebetrachtung mittels datenbasierter Assistenzsysteme vorgestellt werden, die den Einsatz körpernaher

Sensoren auf ein Minimum reduziert (z. B. Begrenzung auf den Einsatz einer Smartwatch) oder diese komplett vermeidet. So soll beispielsweise die Datenerfassung für eine dynamische Ergonomieanalyse nicht durch einen Anzug oder anlegbare Sensoren geschehen, sondern durch den Einsatz von einfachen, am Arbeitsplatz installierten Kameras, die mittels Regeln oder KI (das ist im konkreten Fall zu untersuchen) die geometrischen Daten des Mitarbeitenden am Arbeitsplatz auswerten und möglichst situative als auch den Arbeitsverlauf berücksichtigende Handlungsempfehlungen generieren. Ein menschenzentrierter, also auch beteiligungsorientierter Ansatz, Gebrauchstauglichkeit (Usability) und Nutzungsempfinden (User Experience) gelten als Qualitätsmaßstab der Entwicklung des digitalen Assistenzsystems (Apt et al. 2018).

2.2 Datenbasierte Assistenzsysteme

Datenbasierte Assistenzsysteme werden hier als digitale Assistenzsysteme mit integrierter KI verstanden. Sie dienen der Unterstützung von Mitarbeitenden.

Mit Hilfe von KI besteht prinzipiell die Möglichkeit, den Arbeitsprozess durch Objekterkennung und -auswertung zu bewerten, um den Mitarbeitenden gezielte Informationen zu geben (z. B. kritische Körperhaltung, Optimierungsbedarf bei der Einrichtung des Arbeitsplatzes, benötigte Teile, Montagereihenfolge, Fehler beim Greifen von Material, falsche Montage) (WorkCam 2019; scalefit 2022).

Im nachfolgenden Abschnitt wird die Erstellung der Systematik zur Schaffung eines datenbasierten Assistenzsystems im Bereich dynamischer Ergonomiegestaltung für Montagearbeitsplätze erläutert.

3. Unterstützung der Montagearbeit mittels datenbasierten Assistenzsystems

3.1 Vorgehen zur Erstellung des datenbasierten Assistenzsystems

Zunächst gilt der klassische, regelbasierte Ansatz zur ergonomischen Bewertung, der auf den bekannten Regeln, Algorithmen und Normen basiert. Diese soll das datenbasierte Assistenzsystem für eine dynamischen Ergonomiebewertung ergänzen.

Die Vorgehenssystematik zur Erstellung des datenbasierten Assistenzsystems verfolgt fünf Entwicklungsschritte (Analyse, Versuchsaufbau, Erstellung datenbasiertes Assistenzsystem, Nutzung) (Abbildung 1).

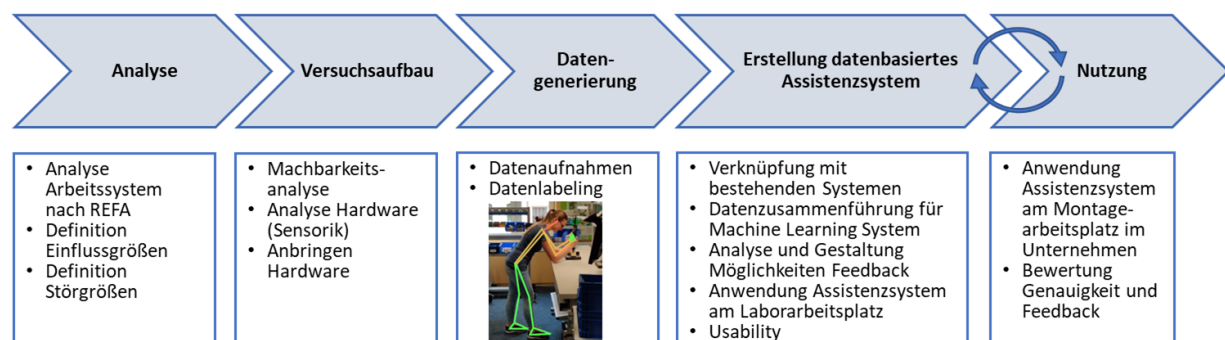


Abbildung 1: Vorgehenssystematik zur Erstellung des datenbasierten Assistenzsystems

Dabei erfolgt im ersten Schritt die Analyse des Arbeitssystems mit Erarbeitung der Einfluss- und Störgrößen, die das Arbeitssystem (Arbeitsplatz, Arbeitsmittel, Arbeitsobjekte, Arbeitsablauf, Arbeitsumgebung) beeinflussen, da diese mit dem datenbasierten Assistenzsystem in Wechselwirkung stehen. Hierfür wird das Arbeitssystem-Modell nach REFA zugrunde gelegt.

Im zweiten Schritt wird der Versuchsstand geplant und eine Machbarkeitsanalyse durchgeführt. Nach Abschluss dieser Analysen wird der Laborarbeitsplatz mit Sensoren und Kameras mit dezentraler Logik (Datenanonymisierung zum Schutz personenbezogener Daten) und mehreren alternativ nutzbaren Ausgabegeräten ausgestattet und damit der Versuchsstand aufgebaut.

Zur Erstellung des datenbasierten Assistenzsystems kommt der Machine-Learning-Ansatz zum Einsatz. Machine Learning (ML) „ist ein Teilbereich der künstlichen Intelligenz, der Systeme in die Lage versetzt, automatisch aus Erfahrungen (Daten) zu lernen und sich zu verbessern, ohne explizit programmiert zu sein“ (Wuttke 2022).

Dieses Vorgehen erfordert ein manuelles Labeln (Einordnen von Daten zu Kategorien durch Experten) der Kameradaten zum Anlernen des Assistenzsystems in Schritt drei „Datengenerierung“. Das System kommt durch das Labeln der Daten somit ohne explizite Programmierung des Lösungsweges aus.

Im vierten Schritt erfolgt die Entwicklung des datenbasierten Assistenzsystems. Dies geschieht durch das Anlernen des Systems, die Verknüpfung mit bekannten Regeln, Normen und weiteren Arbeitssystemdaten wie Gewichten und Abmessungen der Werkzeuge und Bauteile, die idealerweise dem betrieblichen ERP-System oder der Arbeitsplanungs-Software entnommen werden. Das datenbasierte Assistenzsystem lernt mittels ML die Zusammenhänge, Muster und Beziehungen, aber auch verborgene Strukturen durch Datenlabeling (dritter Schritt). Dadurch wird später eine nahezu in Echtzeit stattfindende, also dynamische Analyse und Bewertung der Ergonomie direkt am Arbeitsplatz möglich. Nach der prototypischen Erstellung des datenbasierten Assistenzsystems erfolgt die Aufnahme weiterer Daten von Montagearbeitsplätzen (innerhalb anderer Laborumgebungen) zum Trainieren und Verbessern des Assistenzsystems, zur Überprüfung der Usability und der Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

An diesen Prozess schließt sich die Anwendung des datenbasierten Assistenzsystems im Unternehmensumfeld an. Zudem wird aktuell ein geeignetes Versuchsdesign entwickelt, welches den Erfolg der Lösung unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien messen wird. Dies können z. B. Akzeptanzkriterien, die Anzahl und Dauer kritischer Haltungen, die Anzahl der Auswahl falscher Objekte, die Anzahl der Informationssuche während der Montage oder den Zeitaufwand für die Einarbeitung im Vergleich mit und ohne datenbasiertem Assistenzsystem sein.

Die Schritte vier und fünf unterliegen einem iterativen Prozess, die jeweils mehrere Anpassungen des Assistenzsystems bedingen.

3.2 Mögliche Erweiterungen des datenbasierten Assistenzsystems

Aufbauend auf die Vorgehenssystematik zur Erstellung des Assistenzsystems (Abbildung 1) kann das System zukünftig erweitert werden, um auch Out of the Loop-Ereignisse (unerwartete Ereignisse) zu erkennen und entsprechende Hinweise an die Mitarbeitenden zu geben. Das schützt die Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeiten-

den, wenn Gefahren drohen oder ergonomisch ungünstige Bewegungen oder Haltungen zu erwarten sind. Falls sich eine Störung des Arbeitsprozesses abzeichnet, sollen Hinweise erfolgen und eine gleichbleibende Qualität der Produkte gewährleisten. Durch diese Präventionsmaßnahmen können die Arbeitenden motiviert, gesund und produktiv auch als Ältere im Unternehmen wirken.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag stellt die Vielfalt der technischen Unterstützungsmöglichkeiten für Mitarbeitende im Bereich der manuellen Montage vor. Er beschreibt die entwickelte Vorgehenssystematik zur Erstellung eines datenbasierten Assistenzsystems und dessen Potenziale. Ein Ablauf in fünf Entwicklungsschritten wurde dargestellt und ausführlich beschrieben.

In Zukunft soll das datenbasierte Assistenzsystem nicht nur die Ergonomie- und Arbeitsprozessbewertung durch Objekterkennung durchführen, sondern auch unerwartete Ereignisse erkennen und den Mitarbeitenden entsprechende Informationen bereitstellen.

Die Umsetzungsmöglichkeiten für das Feedback werden gegenwärtig noch diskutiert. Ziel ist es, dem Mitarbeitenden Hinweise in einer angemessenen Form der Rückmeldung zu geben, ohne ihn im Arbeitsprozess zu sehr zu unterbrechen und ohne ihm das Gefühl zu geben, kontrolliert zu werden. Mit Hilfe dieser Rückmeldung sollen stabile und sichere Montageprozesse ermöglicht werden. Auch die Unterstützung der Mitarbeitenden durch das Abwenden drohender Gefahren und ungünstiger ergonomischer Bewegungen oder Haltungen im Betrieb kann so erfolgen. Durch diese präventiven Maßnahmen werden die Beschäftigten auch mit zunehmendem Alter motiviert, gesund und leistungsfähig sein.

5. Literatur

- Apt W, Schubert M, Wischmann S (2018): Digitale Assistenzsysteme. Perspektiven und Herausforderungen für den Einsatz in Industrie und Dienstleistungen. Online verfügbar unter https://www.iit-berlin.de/iit-docs/fd2aa38ad4474e6cb53720e7878ffd4a_2018_02_01_Digitale_Assistenzsysteme_Perspektiven_und_Herausforderungen.pdf, zuletzt geprüft am 06.10.2022.
- Barnitzke A (2020): Künstliche Intelligenz: Mehr Assistenz als Ersatz für den Menschen. Hg. v. www.automationspraxis.industrie.de. Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH. Online verfügbar unter <https://automationspraxis.industrie.de/news/ki-mehr-assistenz-als-ersatz-fuer-den-menschen/>, zuletzt aktualisiert am 27.11.2020, zuletzt geprüft am 06.10.2022.
- Bauer W, Mütze-Niewöhner S, Stowasser S, Zanker C, Müller N (Hg.) (2021): Arbeit in der digitalisierten Welt. Praxisbeispiele und Gestaltungslösungen aus dem BMBF-Förderschwerpunkt. Springer-Verlag GmbH. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (Open Access). Online verfügbar unter <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-62215-5.pdf>, zuletzt geprüft am 12.10.2022.
- Bayer C (2022): Methodik zur datenbasierten Unterstützung der Arbeitsvorbereitung beim Anlegen neuer Produktvarianten in digitalen Assistenzsystemen. Dissertation. Darmstadt. Online verfügbar unter <https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/20367/>.
- Fröhlich M, Merkel T (2022): Studienkonzept und Ergebnisse zur Interpretation von Vital-Parametern im Zusammenhang mit deren Wirkung auf die Arbeit. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaften (Hg.): Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten. 68. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: 02. – 04. März 2022.

- Goldhahn L, Roch S (2021): Potenziale der Künstlichen Intelligenz in der Arbeitswelt Montage. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hg.): ARBEIT HUMANE gestalten. Bericht zum 67. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 03.–05. März 2021. Dortmund. Online verfügbar unter file:///K:/Fachgruppen/FO/Literatur_Recherche/HANDBIBLIOTHEK_auch%20eBooks%20und%20Tagungsb%C3%A4nde/TAGUNGSB%C3%84NDE/2021_GfA_Bochum/67_fruehjahrskongress_gfa/67_fruehjahrskongress_gfa/inhalt/B.5.7.pdf.
- Goldhahn L, Bock D, Müller-Eppendorfer K (2022): Virtuelle Lernszenarien für die manuelle Montage. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 117 (11), S. 763–767. DOI: 10.1515/zwf-2022-1145.
- imk automotive GmbH (2022): Software für virtuelle Produktionsplanung - ema. Online verfügbar unter https://imk-ema.com/software-suite.html?keyword=arbeitsplatzgestaltung&device=c&network=g&gclid=CjwKCAjwm8WZBhBUEiWA178UnLL_0KPoEBZcaSTsh4ixR6b0hS5cRJqRRT7EGsKumQPxdNE9HdEFhoCGaMQAvD_BwE, zuletzt aktualisiert am 06.10.2022, zuletzt geprüft am 06.10.2022.
- Litzel N (2021): KI wird uns nicht ersetzen – sie macht uns noch wertvoller. In: *BigData-Insider*, 05.11.2021. Online verfügbar unter <https://www.bigdata-insider.de/ki-wird-uns-nicht-ersetzen-sie-macht-uns-noch-wertvoller-a-1061315/>, zuletzt geprüft am 06.10.2022.
- Müller-Eppendorfer K, Goldhahn L (2020): Planung der Materialbereitstellung. Methode und Werkzeuge zur digitalen Planung der Materialbereitstellung. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 115 (11), S. 818–823. DOI: 10.3139/zwf-2020-1151118.
- Offensive Mittelstand (2019): Umsetzungshilfe Arbeit 4.0. Personenbezogene digitale Ergonomie. Online verfügbar unter https://www.offensive-mittelstand.de/fileadmin/user_upload/pdf/uh40_2019/3_3_1_personenbezogene_digitale_ergonomie.pdf, zuletzt geprüft am 06.10.2022.
- scalefit (2022): INDUSTRIAL ATHLETE. Online verfügbar unter <https://www.scalefit.de/industrial-athlete.html>.
- Stowasser S (2022): Praxisgerechte Ergonomie-Normung. VBG - Ergonomie-Norm DIN EN ISO 6385. Hg. v. VBG. Online verfügbar unter https://www.vbg.de/DE/3_Praevention_und_Arbeitshilfen/2_Themen/02_Arbeitsstaetten_gestalten/8_Ergonomie-Norm_DIN_EN_ISO_6385/Ergonomie-Norm_DIN_EN_ISO_6385_node.html, zuletzt aktualisiert am 06.10.2022, zuletzt geprüft am 06.10.2022.
- WorkCam. Echtzeitfähige und kamerabasierte Ergonomiebewertung und Maßnahmenableitung in der Montage (2019). Online verfügbar unter <https://www.ifa.uni-hannover.de/de/bp-detail/detail/projects/workcam-echtzeitfaehige-und-kamerabasierte-ergonomiebewertung-und-massnahmenableitung-in-der-montage/>.
- Wuttke L (2022): Machine Learning: Definition, Algorithmen, Methoden und Beispiele. In: *datasolut GmbH*, 26.04.2022. Online verfügbar unter <https://datasolut.com/was-ist-machine-learning/>, zuletzt geprüft am 12.12.2022.

Danksagung: Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung sowie dem Projektträger Karlsruhe (PTKA) für die Betreuung des Forschungsprojektes „PerspektiveArbeit Lausitz (PAL)“, Förderkennzeichen 02L19C300.



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