

Ein Vorgehensmodell zur Prozessevaluierung zur Integration ausgewählter kognitiver und physischer Assistenzsysteme am Montagearbeitsplatz 4.0 im Mittelstand

Klaus FINK¹, Tobias RUSCH², Lukas MERKEL¹, Robin SOCHOR¹,
Florian KERBER², Gunther REINHART¹

¹ *Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV
Provinostraße 52, D-86153 Augsburg*

² *Technologietransferzentrum Nördlingen
Hochschule für angewandte Wissenschaft Augsburg
Emil-Eigner-Straße 1, D-86720 Nördlingen*

Kurzfassung: Die zunehmende Globalisierung und der dadurch steigende internationale Wettbewerb erhöhen den Preisdruck auf die deutschen KMUs. Diese müssen deshalb schneller auf individuelle Kundenwünsche und Produktkonzepte reagieren. Die manuelle Montage stellt dabei einen wesentlichen Teil der Wertschöpfung dar und ist aufgrund der hohen Variantenvielfalt und zunehmenden Komplexität der Montageprozesse von den steigenden Anforderungen an Produktqualität und Produktivität betroffen. Dies kann durch den Einsatz von digitalen Assistenzsystemen besser beherrscht werden. Um die Potentiale von digitalen Assistenzsystemen optimal realisieren zu können, bedarf es einer universell einsetzbaren und erprobten Vorgehensweise. In diesem Beitrag werden die eingesetzten wissenschaftlichen Methoden und die Evaluierungsergebnisse präsentiert. Beginnend mit der Auswahl geeigneter Produkte und Prozesse sind darin ein partizipativer Ansatz zur Auswahl von digitalen Assistenzsystemen, deren Integration in einen prototypischen Aufbau eines manuellen Montagearbeitsplatzes und eine subjektive Beurteilung des neu strukturierten Arbeitsprozesses zwischen System und Mensch beinhaltet.

Schlüsselwörter: Digitale Assistenzsysteme, Cyber-physische Systeme, Werkerinformationssystem, Industrie 4.0, Montage

1. Einleitung

Produzierende Unternehmen, insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen, müssen sich in Zukunft in Deutschland auf veränderte Rahmenbedingungen für die Produktion einstellen. Zu den zehn Megatrends, welche die Rahmenbedingungen und die Märkte für die Produktion nachhaltig ändern, zählen unter anderem die Globalisierung, neue Technologien, dynamische Produktlebenszyklen und die dadurch entstehenden volatilen Märkte sowie der demografische Wandel (Abele & Reinhart 2011). Durch die Globalisierung entsteht ein globaler Beschaffungsmarkt, der einen erhöhten Preisdruck auf die produzierenden Unternehmen in Deutschland ausübt (Reinhart 2017). Der stets steigende Bedarf an kundenindividuellen Produkten ist verantwortlich für dynamische Produktlebenszyklen, reduzierte Stückzahlen, stark ansteigende Produktvarianzen, wodurch die Komplexität der Produktionsplanung und -prozesse stetig zunimmt (Reinhart 2017). Dabei rücken insbesondere Montageprozesse in den Vordergrund. Diese beanspruchen je nach Branche und Produkt zwischen 15 % und

70 % der Gesamtfertigungszeit und wurden überwiegend als teuerster Herstellungsprozess identifiziert (Lotter 2012). Abhängig vom Automatisierungsgrad lassen sich automatische, halbautomatische und manuelle Montagesysteme untergliedern, wobei Letztere bei höchsten Anforderungen an Flexibilität bei gleichzeitig niedrigsten Investitionen und geringeren Losgrößen Anwendung findet (Lotter 2012). Dennoch bietet gerade die manuelle Montage ein hohes Potential für die Bewältigung der veränderten und zukünftigen Rahmenbedingungen für produzierende Unternehmen.

In der manuellen Montage steht der Mensch im Mittelpunkt. Die auszuführenden manuellen Tätigkeiten des Menschen können durch kognitive- und physische Assistenzsysteme unterstützt werden, so dass die Fähigkeiten des Menschen vorteilhaft mit den besonderen Eigenschaften von Maschinen kombiniert werden (Apt et al. 2018). Um dabei die großen Potentiale für Unternehmen von Anfang an zu nutzen, bedarf es eines Vorgehensmodells zur Prozessevaluierung. Mit diesem lässt sich die Integration von kognitiver und physischer Assistenzsysteme für die manuelle Montage auf Basis der Evaluierung optimal strukturieren, bevor eine Umsetzung in das reale Produktionsumfeld erfolgt.

2. Beschreibung des Vorgehensmodells

Die Entwicklung und Evaluierung von digitalen Assistenzsystemen für die Montageprozesse ist ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt im Projekt SynDiQuAss. Der Fokus liegt dabei auf dem Einsatz von kognitiven und physischen Assistenzsystemen in den Anwendungsfällen der beteiligten mittelständischen Industriepartner. Bei diesem Vorgehen wird großer Wert auf die Einbindung der Werkenden gelegt, um die Systeme optimal auszulegen und so die Akzeptanz für deren Nutzung zu fördern. Durch Anwendung und Verknüpfung wissenschaftlicher Methoden zur Evaluierung entsteht das in Bild 1 dargestellte Vorgehensmodell. Zielsetzung dabei ist, eine schematische Handlungsempfehlung für mittelständische Unternehmen zur sinnvollen Einführung von digitalen Assistenzsystemen in ihrem Produktionsumfeld zu generieren.

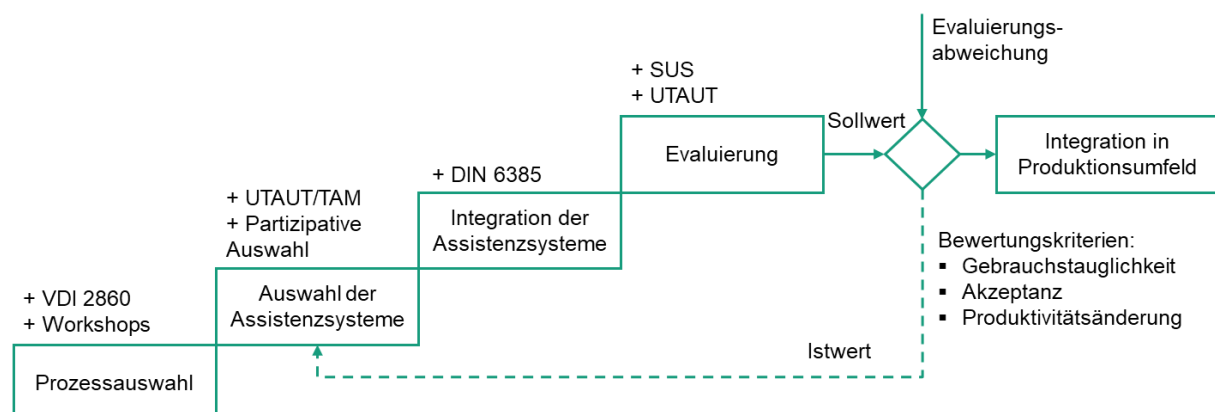


Abbildung 1: Vorgehensmodell zur Prozessevaluierung von Assistenzsystemen

2.1 Auswahl und Darstellung des Prozesses

Eine wichtige Grundlage für die montage-technische Planung und speziell für die Gestaltung eines Montagearbeitsplatzes mit integrierten Assistenzsystemen ist die detailgetreue Kenntnis des gesamten Montageprozesses. Dazu wird der Prozess mit seinem zeitlichen Ablauf und allen dafür benötigten Bestandteilen in einem Modell erfasst.

Der bei Rusch & Kerber (2019) beschriebene Modellierungsansatz soll die Einführung von digitalen Assistenzsystemen erleichtern. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Bereitstellung von kognitiver oder physischer Unterstützung bei der Montage von individuellen Varianten mit dem Ziel, den Integrationsaufwand für den Anwender zu reduzieren.

Um im Anwendungsbeispiel möglichst viele Gesichtspunkte der manuellen Getriebemontage darzustellen, wird der gesamte Montageprozess in seine elementaren Prozessschritte, beispielsweise anhand der VDI 2860, zerlegt. Die subjektive Bewertung eines möglichen Einsatzpotentials für digitale Assistenzsysteme erfolgt gemeinschaftlich anhand von Workshops.

2.2 Auswahl kognitiver und physischer Assistenzsysteme

Wie bei Sochor et al. (2019) und Kleineberg et al. (2017) beschrieben, tragen physische Assistenzsysteme zu einer reduzierten körperlichen Belastung bei und stellen die motorische Ausführbarkeit der Arbeitsaufgabe sicher. Kognitive Assistenzsysteme unterstützen den Werkenden bei der Ausführung der Montageaufgabe durch die situative Bereitstellung aller notwendigen Informationen.

Anhand der vorhandenen Modellierung und Evaluierungen lassen sich spezielle Assistenzsysteme nun entsprechend Ihrer Unterstützungsfunktionen den vorliegenden Montagearbeitsschritten zuordnen. Tabelle 1 zeigt dies exemplarisch für den gewählten Anwendungsfall.

Tabelle 1: *Eingesetzte Assistenzsysteme*

Nr.	Assistenzsystem	Assistenz	Aufgabe
1	Touch-Bildschirm	kognitiv	Darstellung des Montageplans, Bedienung von Assistenzfunktionen
2	Sprachsteuerung	kognitiv	Bedienung von Assistenzfunktionen
3	Hand-Scanner	kognitiv	Datenübergabe, Aufruf Montageplan
4	Kamera	kognitiv	Aufnahme von Bildern zur Qualitätssicherung u. Datenaufnahme für Cobot (Koordinaten)
5	Pick-By-Light	kognitiv	Darstellung von Ort und Menge eines Artikels
6	Roboter (Cobot)	physisch	Collaborative und alleinige Übernahme von Arbeitsschritten
7	Dosiervorrichtung	physisch	Aufbringen von Dichtmaterial
8	Schraubsystem	physisch	Ausführung eines intelligenten Schraubvorgangs

2.3 Integration kognitiver und physischer Assistenzsysteme in den Arbeitsplatz

Für den mechanischen Aufbau des standardisierten Systemarbeitsplatzes wird ein modularer Aufbau vorgeschlagen, wie er bei Rusch et al. (2019) beschrieben ist. Jeder Bereich des Arbeitsplatzes wird für einzelne Aktivitäten im Montageprozess genutzt und der Arbeitsplatz so in spezielle Bereiche (Module) aufgeteilt. Dadurch können für die Anwendungsfälle einzelne Module für Assistenzsysteme ausgewählt und integriert werden. In Hinblick auf die zu erwartenden Belastungen der Mitarbeiter werden zudem die arbeitswissenschaftlichen Grundlagen für die ergonomische Gestaltung nach DIN EN ISO 6385 (2016) berücksichtigt. Bild 2 zeigt den prototypischen Aufbau des Montagearbeitsplatzes für den Anwendungsfall einer Getriebemontage.

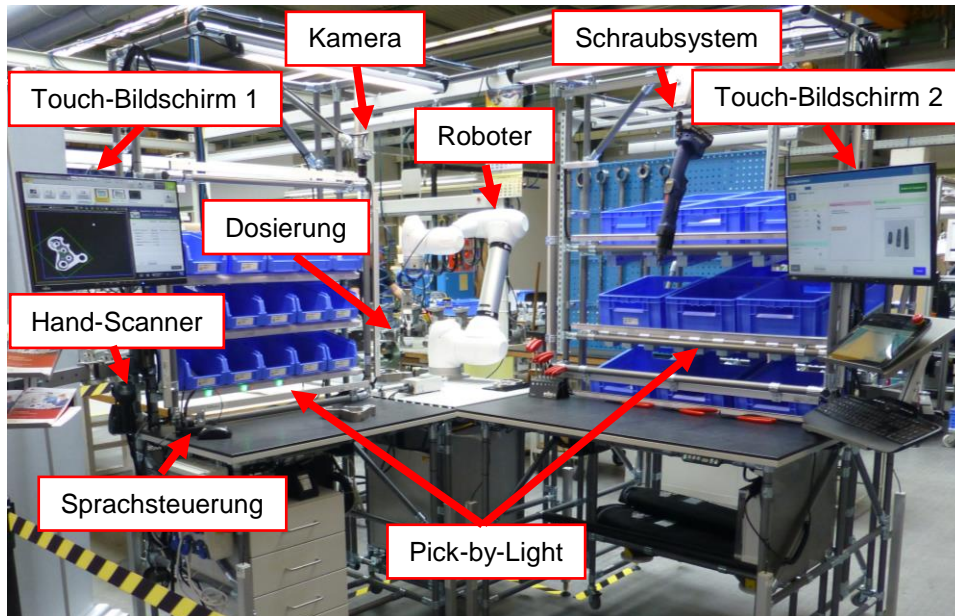


Abbildung 2: Integrierte kognitive und physische Assistenzsysteme am Demonstrator

2.4 Evaluierung des Montagesystems

Die Gebrauchstauglichkeit des entwickelten Montagesystems lässt sich mit der etablierten und empirischen Methode, System Usability Scale (SUS), quantitativ analysieren (Brooke 1996). Für die Methode ist zuvor eine Auswahl der Nutzergruppe, der zu erledigenden Aufgaben, sowie die Charakteristiken des Umfelds notwendig. Die Befragung umfasst zehn standardisierte Fragen (Brooke 1996). Für die Untersuchung der Akzeptanz und des Nutzens des Montagesystems findet die Methode, Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT), Anwendung. Diese betrachtet die möglichen Effekte der Leistungserwartung, Aufwandserwartung und sozialen Einflüsse. Diese werden den indirekten Variablen wie beispielsweise Geschlecht, Alter und Erfahrung gegenübergestellt. Beide Methoden wurden im Zuge der Evaluierung anhand eines Fragebogens kombiniert.

2.5 Vorgehen der Integration in das Produktionsumfeld

Nach der Evaluierung des Montagesystems hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit, Akzeptanz und des Nutzens erfolgt der Abgleich der Ergebnisse anhand dem Istwert und dem Sollwert. Werden die Sollwerte erreicht, kann das Montagesystem in das Produktionsumfeld weiter ausgebreitet werden. Die zu erreichenden Sollwerte sind gemeinschaftlich innerhalb des Projektteams und der Stakeholder zu definieren. Werden die Sollwerte durch die Evaluierung nicht erreicht, wird das Vorgehensmodell ab der Auswahl der Assistenzsysteme erneut aufgenommen.

3. Evaluierungsergebnisse im Anwendungsfall

Für die Evaluierung des unter Kapitel 2 beschriebenen Vorgehensmodells wurde ein spezifischer Fragebogen entwickelt. Dieser beinhaltet in Summe 23 Fragen unter Berücksichtigung der unter 2.4 vorgestellten Methoden.

3.1 Evaluierungsergebnisse nach der Methodik: SUS

Die Evaluierung des entwickelten Montagesystems fand bei einem industriellen Forschungspartner und mittelständischen Maschinenbauunternehmen statt. Wie in dem Vorgehen in Kapitel 2.4 beschrieben, wurden in Summe 29 Probanden für die Evaluierung ausgewählt. Dabei richtete sich die Auswahl der Probanden nach der zukünftigen Benutzergruppen der Studenten und Azubis (n=12), Monteure mit einer geringeren Berufserfahrung von einem Jahr (n=8) und Monteure mit mehr als einem Jahr Berufserfahrung (n=9) in der manuellen Montage. Die Aufgabe der Probanden war der vollständige Zusammenbau von sieben Getriebebauteilen gleicher Ausführung in Reihenfolge unter der Verwendung von kognitiven und physischen Assistenzsystemen. Im Anschluss an die Montage der sieben Getriebe wurden die ProbandInnen anhand des entwickelten Fragebogens befragt. Dabei wurde für die SUS- und UTAUT-Methode eine Likert-Skala (1=stimme zu; 2=stimme eher zu; 3=weder noch; 4=stimme eher nicht zu; 5= stimme nicht zu) verwendet.

Tabelle 2: *Evaluierungsergebnisse nach der Methodik System Usability Scale*

Fragen	n	Mean	SD
Ich kann mir sehr gut vorstellen, das System regelmäßig zu nutzen.	29	1,51	0,72
Ich empfinde das System als unnötig komplex.	29	4,28	0,74
Ich empfinde das System als einfach zu nutzen.	29	1,59	0,49
Ich denke, dass ich techn. Support brauchen würde, um das System zu nutzen.	29	3,63	1,19
Ich finde, dass die ver. Funktionen des Systems gut integriert sind.	29	1,72	0,58
Ich finde, dass es im System zu viele Inkonsistenzen gibt.	29	4,28	0,64
Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das System schnell zu beherrschen lernen.	29	1,28	0,45
Ich empfinde die Bedienung als sehr umständlich.	29	4,21	0,85
Ich habe mich bei der Nutzung des Systems sehr sicher gefühlt.	29	1,62	0,72
Ich musste eine Menge Dinge lernen, bevor ich mit dem System arbeiten konnte.	29	3,97	2,61

Zusammenfassend lässt sich anhand der SUS-Methodik festhalten, dass sich die Probanden (n=29) die regelmäßige Nutzung des Montagesystems vorstellen können. Die Auswahl der kognitiven und physischen Assistenzsysteme wird als passend bewertet und deren Integration als gut befunden. Dies führt zu einer schnellen Beherrschung des Systems während der Anwendung.

3.2 Evaluierungsergebnisse nach der Methodik: UTAUT

Tabelle 3: *Evaluierungsergebnisse nach der Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*

Fragen	n	Mean	SD
Meine Vorgesetzten sind davon überzeugt, dass ich das System verwenden muss.	29	2,00	2,29
Ich habe das Gefühl die Kontrolle über das System zu haben.	29	1,62	0,72
Ich erhalte von dem System alle notwendigen Informationen.	29	1,48	0,81
Das System erleichtert mir die körperliche Arbeit.	29	2,17	1,12
Das System macht das Arbeiten sicherer. (Arbeitssicherheit)	29	1,79	0,80
Das System schränkt mich in meiner Arbeitsweise ein.	29	4,03	0,89
Das System erhöht die Qualität des Bauteils/der Baugruppe.	29	1,62	0,72

Anhand der UTAUT-Methodik lässt sich darauf schließen, dass die Probanden (n=29) nach einer subjektiven Beurteilung die Kontrolle über das Montagesysteme haben und alle notwendigen Informationen vom System bereitgestellt bekommen. Zudem sind die Probanden davon überzeugt, dass die Qualität des Bauteils/der Baugruppe durch den Montageassistenten erhöht werden kann.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Das entwickelte Vorgehensmodell zur Prozessevaluierung für die Integration von kognitiver und physischer Assistenzsysteme in das Produktionsumfeld bietet eine standardisierte Handlungsempfehlung für mittelständische Unternehmen. Die frühzeitige und partizipative Einbindung der Werkenden anhand von wissenschaftlichen Methoden ist dabei besonders hervorzuheben. Die Werkenden bestätigen die passende Auswahl von kognitiven und physischen Assistenzsystemen für den Montageprozess. Das Montagesystem liefert dabei die situativ notwendigen Informationen an den Werkenden, dabei hat dieser stets die Kontrolle über das System. Die Evaluierungsergebnisse heben hervor, dass sich die Qualität des Bauteils durch den Einsatz des neuentwickelten Assistenzsystems erhöhen lässt. Durch weitere Evaluierungen in mittelständischen Unternehmen soll das Vorgehensmodell allgemeingültig verifizieren werden. Dies gilt es im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts SynDiQuAss zu erarbeiten.

5. Literatur

- Abele E, Reinhart G (2011) Zukunft der Produktion: Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München: Carl Hanser Verlag.
- Apt W, Bovenschulte M, Priesack K, Weiß C, Hartmann EA (2018) Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb. Forschungsbericht 502. Berlin: Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg).
- Brooke J (1994) SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale. In: Jordan P. W, Thomas B, Weerdmeester B. A, McClelland I. L (Ed) Usability evaluation in industry. London: Taylor & Francis.
- DIN EN ISO 6385 (2016) Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Deutsches Institut für Normung DIN EN ISO 6385:2016.
- Kleineberg T, Hindrichsen S, Eichelberg M, et al. (2017) Leitfaden: Einführung von Assistenzsystemen in der Montage. Internet: <https://www.th-owl.de/produktion/fachbereich/labore/industrial-engineering/veroeffentlichungen/leitfaden-einfuehrung-von-assistenzsystemen-in-der-montage>. Zugriff am 06.01.2020.
- Lotter B, (2012) Montage in der industr.Produktion: Ein Handbuch für die Praxis. Berlin: Springer-Verlag.
- Reinhart G (2017) Handbuch Industrie 4.0: Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik. München: Carl Hanser Verlag.
- Rusch T, Riegel, A, Kerber F, Hueber M, Romanelli M, Quitter T, Reinert M, Klug H (2019) Spezifikation und Umsetzungskonzept für standardisierte Montagearbeitsplätze mit integrierter Assistenzfunktion. In: Arbeit in der digitalisierten Welt:162-169.
- Rusch T, Kerber F (2019) Prozessmodellierung zur Integration von Assistenzsystemen an Montagearbeitsplätzen. In: GfA, Dortmund (Hrsg.): Frühjahrskongress 2019, Beitrag C.9.7.
- Slesina W (2010): FEBA-B: Fragebogen über Arbeitsbelastungen und Auswirkungen auf das Befinden. In: Richter G (Hrsg.): Toolbox Version 1.2. - Instrumente zur Erfassung psychischer Belastungen, Dortmund u.a.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 127-130.
- Sochor R, Riegel A, Merhar L, Rusch T, Merkel L, Kerber F, Braunreuther S, Reinhart G (2019) Kognitive und physische Assistenz in der Montage. In: wt Werkstatttechnik online 109 (2019) Nr. 3: 122-127.
- VDI 2860 (1990) Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen, Begriffe, Definitionen, Symbole. Verein Deutscher Ingenieure.

Danksagung: Das Vorhaben SynDiQuAss, Förderkennzeichen 01FI16001, wird im Rahmen des Programms "Zukunft der Arbeit" vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Europäischen Sozialfonds gefördert.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?

66. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

GfA-Press

Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2020
ISBN 978-3-936804-27-0

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.
Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**
Schriftleitung: Matthias Jäger

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.

Screen design und Umsetzung

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de