

## **Entwicklung einer Methodik zur fähigkeitsgerechten Arbeitsgestaltung für leistungsgewandelte Mitarbeiter mit Hilfe digitaler Menschmodelle**

Sascha ULLMANN, Lars FRITZSCHE

*imk automotive GmbH*  
Amselgrund 30, D-09128 Chemnitz

**Kurzfassung:** Mit der Absicherung von Arbeitsprozessen hinsichtlich des wertschöpfenden Einsatzes leistungsgewandelter Mitarbeiter erlangen digitale Menschmodelle eine besondere Bedeutung. Die Abbildung dieser Mitarbeiter in digitale Menschmodelle und Planungstools für eine fähigkeitsgerechte Arbeitsgestaltung ist aktuell nicht hinreichend beachtet. Dieser Beitrag beschreibt die Vorgehensweise und Ergebnisse zur Integration von Einschränkungen in digitale Menschmodelle für eine fähigkeitsgerechte Planung von Arbeitsprozessen und Arbeitsplätzen.

**Schlüsselwörter:** Human-Simulation, virtuelle Ergonomie, leistungsgewandelte Mitarbeiter, digitale Prozessplanung, Bewegungsmuster, fähigkeitsgerechte Arbeitsgestaltung

### **1. Einleitung**

Der starke internationale Wettbewerb, die Zunahme älterer und leistungsgewandelter Belegschaften und die Verknappung von Arbeitskräften stellt produzierende Unternehmen vor neuen Herausforderungen (Adenauer, 2015). Zusätzlich können ergonomisch ungünstig gestaltete Arbeitsplätze zu wirtschaftlichen Mehraufwendungen und gesundheitlichen Risiken führen (Fritzsche et al., 2014). Eine prospektive Gestaltung von Arbeitsplätzen in der frühen Phase der Prozessplanung erlangt daher immer mehr an Bedeutung.

Im Umfeld der digitalen Fabrik sind Menschmodelle zur präventiven und korrekativen Arbeitsplatzgestaltung geeignet (Chaffin, 2008; Wischniewski, 2013). Zur Gestaltung sind in den aktuellen Systemen vorrangig Funktionalitäten für „Norm-Menschen“ verfügbar. Altersunabhängige, individuelle Leistungsvoraussetzungen oder spezielle Fähigkeitseinschränkungen werden nur unzureichend berücksichtigt. (Mühlstedt, 2012; Alexander, et al., 2016). Zur Unterstützung einer digitalen Arbeitsgestaltung für leistungsgewandelte Mitarbeiter sind daher bestehende digitale Menschmodelle [DMM] um Funktionen zur Abbildung von Leistungseinschränkungen zu erweitern. Hierzu sind aufeinander aufbauende Schritte von der Erstellung eines Kriterienkatalogs hin zur Modellbildung und anschließenden Überführung in einen Workflow zur fähigkeitsgerechten Arbeitsgestaltung notwendig. Zusätzlich sind mit Hilfe von Bewegungsstudien im Rahmen von Laborexperimenten mögliche Bewegungsvarianzen zu ermitteln um insb. für die digitale Bewegungsgenerierung einen größeren Lösungsraum möglicher Bewegungsmuster zu generieren.

Gesamtziel ist die Unterstützung von Anwendern aus Planung, Arbeitsvorbereitung und Ergonomie zur gezielten, prospektiven Arbeitsgestaltung für bzw. unter Berücksichtigung leistungsgewandelter Mitarbeiter bei der digitalen Arbeitsplanung.

## 2. Klassifikationssystem

Zur Berücksichtigung von Leistungseinschränkungen wurde im ersten Schritt ein Kriterienkatalog zur Erfassung von Fähigkeiten und Einschränkungen der Mitarbeiter entwickelt. Mit Hilfe einer Literaturrecherche zu bestehenden Klassifizierungssystemen von Leistungseinschränkungen (z.B. AET: Rohmert & Landau, 1979; IMBA-Verfahren: Mozdzanowski & Glatz, 2013) wurden Faktoren der Leistungsfähigkeit ausgewählt. Auf Basis von Normen, Richtlinien und Risikobeurteilungsverfahren wurden Grenzwerte, Definitionen und Bewertungsregeln für jede Fähigkeit beschrieben (Ullmann & Fritzsche, 2017). Anhand von leitfadengeführten Interviews mit Arbeitsmedizinern und Arbeitswissenschaftlern entstand ein Kriterienkatalog mit 57 Items positiv formulierter physischer und psychischer Fähigkeiten. Dieser Katalog beinhaltet u.a. Kriterien der Beweglichkeit, Aktionskräfte und Lastenhandhabung in Abhängigkeit von Intensität und Dauer der Tätigkeit. Zusätzlich wurde für jedes Merkmal eine Erträglichkeitsanzeige in grün/gelb/rot nach Dauer und Intensität u.a. auf Basis des Ergonomic Assessment Worksheet (Schaub et al. 2013) hinzugefügt (siehe Abbildung 1).

**Abbildung 1:** Ausschnitt aus dem Arbeitsplatzanforderungsprofil mit und ohne Erträglichkeitsanzeige

## 3. Transfer von Einschränkungen in digitale Menschmodelle

Auf Grundlage des erarbeiteten Klassifikationssystems, welches auch als Papier-Belstift-Methode genutzt werden kann, sind weitere Schritte notwendig um die definierten Kriterien in DMM und deren Softwareumgebung zu integrieren.

### 3.1 Kriterien im Kontext der Eingabe/Verarbeitung/Ausgabe

Zur Integration wurde ein generalisierter Prozess der Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe bei der Verwendung von digitalen Menschmodellen im Planungsprozess ausgearbeitet. Hierbei wird ein System angestrebt, welches mit DMM der statischen Posen- aber auch Bewegungsgenerierung arbeiten kann. Im Sinne einer produktionsnahen Anwendung, welche insbesondere auf den Profilvergleich zwischen Mitarbeiterfähigkeitsprofil [MFP] und Arbeitsplatzanforderungsprofil [APA] ausgerichtet ist (siehe u.a. Wieland, 1995; Adenauer, 2004; Göldner, 2006), sind zwei Hauptanforderungen zu berücksichtigen:

- Semi-automatische Erstellung eines APA auf Basis der Menschsimulation
- Berücksichtigung von MFP im DMM zur Simulationserstellung und -auswertung

Der Schwerpunkt liegt dabei in der Verwendung von Rohdaten aus den Posen oder Key-Frames der Bewegungsgenerierung zur Interpretation und anschließenden Auswertung.

### 3.2 Aufbereitung der Kriterien zur Dateninterpretation

Zur Berücksichtigung von Mitarbeiterfähigkeiten und Arbeitsplatzanforderungen in digitalen Planungssystemen und Menschmodellen wurde eine Parametersystematik entwickelt. Die Abbildung 2 zeigt, dass nicht alle Einschränkungen nur über ein DMM abgebildet und ausgewertet werden können. Zusätzlich sind weitere sogenannte Objekt- und Tätigkeitsparameter notwendig, um die Kriterien ganzheitlich beschreiben zu können.

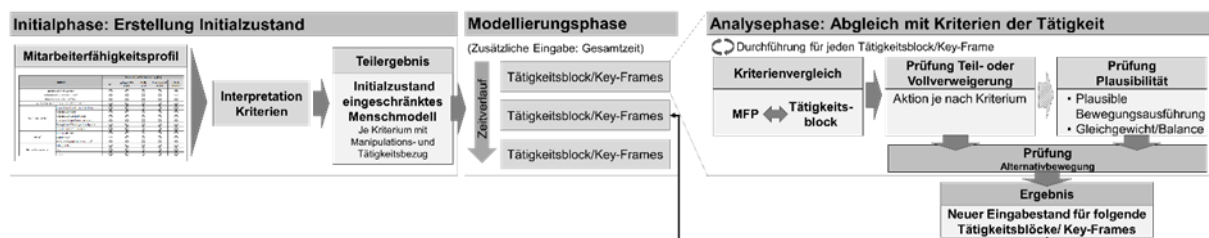


**Abbildung 2:** Zusammenhang einzelner Parameter zur Beschreibung einer Tätigkeit im DMM und der 3D-Umgebung

Für jedes Kriterium wurden für die jeweiligen Modellierungsfunktionen im Menschmodell Parametertypen definiert und deren Interpretation ausgearbeitet. Diese Informationen sind anschließend in Modelle zur Ergebnisausgabe zu überführen.

### 3.3 Modell zur Berücksichtigung von Leistungseinschränkungen

Die Abbildung 3 beschreibt beispielhaft das entwickelte Modell zur Berücksichtigung von MFP auf Grundlage der aufbereiteten Kriterien, Parameter und Abläufen zur digitalen Planung (Initial-, Modellierungs- und Analysephase).



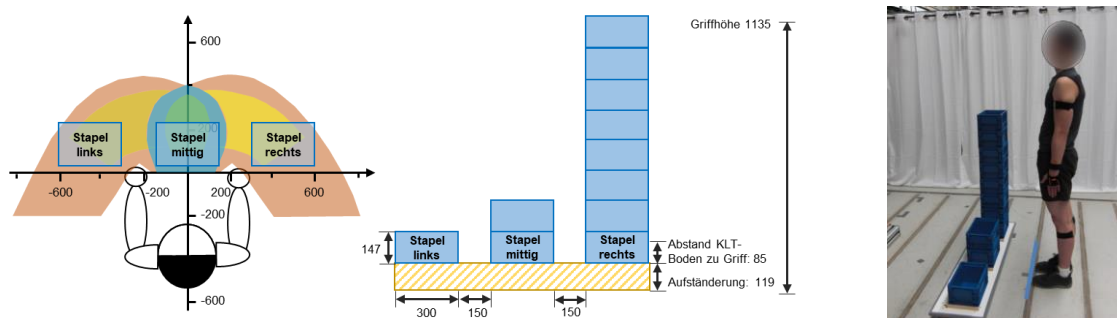
**Abbildung 3:** Modell zur Berücksichtigung von Mitarbeiterfähigkeitsprofilen

Nach der benutzerdefinierten Vergabe von Einschränkungskriterien in das Menschmodell (Initialphase) wird ein neuer Prozess in der Modellierung von Tätigkeiten (Modellierungsphase) hinzugefügt. Mit Hilfe eines Kriterienvergleiches wird eine sogenannte Voll- oder Teilverweigerung einer Tätigkeit und ggf. mögliche Ausweichbewe-

gungen (alternatives Bewegungsmuster) geprüft (Analysephase). Eine Vollverweigerung entspricht einer Nichtausführbarkeit der Tätigkeit, wobei eine Teilverweigerung erst bei der Überschreitung einer möglichen Restfähigkeit auftreten kann (z.B. Arbeiten über Kopf ist noch zu zehn Prozent der Schicht möglich). Dies bedingt eine kontinuierliche Überprüfung der jeweiligen Kriterien, deren Zeitanteile und mögliche Überschreitungen pro Tätigkeitsblock in der Analysephase. Das Ergebnis ist ein kontinuierlich aktualisiertes Menschmodell für die weiteren Schritte in der Modellierung von Tätigkeiten. Ein zusätzliches, nicht abgebildetes, Modell in gleicher Semantik wurde für die semi-automatische Generierung von APA entwickelt.

#### 4. Erfassung und Ableitung von Bewegungsmustern

Mit dem Ziel der Definition eines Lösungsraumes zur Generierung von Bewegungsmustern wurde ein Laborexperiment mit 100 Probanden durchgeführt. In diesem Beitrag wird auf den Versuch in der vertikalen Ebene eingegangen, (Teil-) Ergebnisse weiterer Versuche im Rahmen der Studie finden sich bei Spitzhahn & Ullmann (2019). Der Versuchsaufbau beinhaltet ein Aufnehmen und Platzieren von Kleinladungsträgern in randomisierter Reihenfolge von drei Stapeln in sieben verschiedenen Höhen (siehe Abbildung 4).



**Abbildung 4:** Layout für vertikalen Versuch: schematisch und real (Angaben in mm)

Die Tabelle 7 zeigt das ausgewertete Probandenkollektiv. Ein Proband konnte aufgrund einer Vorerkrankung nicht in der Auswertung berücksichtigt werden.

**Tabelle 1:** Eigenschaften des ausgewerteten Kollektivs.

Altersgruppe	männlich	weiblich	Gesamt
AG1: 18-29	38	30	68
AG2: 30-49	13	5	18
AG3: 50-65	12	1	13
Alter [Jahre]: MW ± SD	34,3 ± 14,8	26,3 ± 7,1	31,4 ± 13,1
Körperhöhe [mm]: MW ± SD	1820,3 ± 68,8	1664,3 ± 61,1	1763,6 ± 100,0

Mit einem gepaarten t-Test wurde untersucht, ob zwischen Aufnehmen und Platzieren Unterschiede in den abhängigen Variablen Rumpfbeugung, -drehung, -neigung und Kniebeugung existieren. Der Test zeigt für alle Stapellagen und Höhen teils hochsignifikante Unterschiede ( $p < .001$ ) mit geringen bis mittleren Effektstärken.

Für alle Kombinationen wurden anschließend insgesamt 28 mehrfaktorielle, multivariate Varianzanalysen (Unabhängige Variablen: Altersgruppe, Geschlecht, Körperhöhe) durchgeführt. Nur in den Griffhöhen 337mm und 450mm war ein signifikanter

Einfluss der Altersgruppe feststellbar. Zur Detaillierung wurden mehrfaktorielle, univariate Varianzanalysen für die einzelnen abhängigen Variablen eingesetzt. Anschließend Post-Hoc Tests mittels Bonferroni zeigen hochsignifikante Unterschiede in den Altersgruppen bei den Griffhöhen 337mm und 470mm. Jüngere Probanden hatten im Aufnehmen/Platzieren eine signifikant geringere Rumpfbeugung im Vergleich zur Altersgruppe der 50- bis 65-jährigen. In den folgenden untersuchten Griffhöhen ab 603 mm sind keine signifikanten Einflüsse des Geschlechts, des Alters oder der Körperhöhe auf die abhängigen Variablen feststellbar. Die Tabelle 2 zeigt einen Ausschnitt der einzelnen Ergebnisse.

**Tabelle 2:** Beispielhafte Ergebnisse MANOVA, ANOVA, Post-Hoc für Griffhöhe 470 und anschließender Detailbetrachtung Griffhöhe 470, Stapel rechts, Aufnahmefall

Mehrfaktorielle MANOVA		Stapel links/rechts				Stapel mittig			
Griffhöhe	Unabh. Variable	Aufnehmen		Platzieren		Aufnehmen		Platzieren	
		$\lambda$	p	$\lambda$	p	$\lambda$	p	$\lambda$	p
470	Geschlecht	0,974	0,735	0,956	0,482	<u>0,963</u>	<u>0,573</u>	0,969	0,657
	Altersgruppe	0,739	<b>0,003</b>	0,824	0,060	<u>0,782</u>	<b>0,015</b>	0,842	0,101
	Körperhöhe	0,869	0,807	0,766	0,182	<u>0,819</u>	<u>0,475</u>	0,844	0,652

Unterstrichener Wert: Transformation der abhängigen Variablen zur Sicherstellung Homogenität der Kovarianzmatrizen

Mehrfaktorielle ANOVA	Rumpfbeugung		Rumpfdrehung*		Rumpfneigung		Kniebeugung	
	F	p	F	p	F	p	F	p
Altersgruppe	5,405	<b>0,006</b>	1,624	0,204	2,536	0,086	1,854	0,163

\* transformierte, abhängige Variable

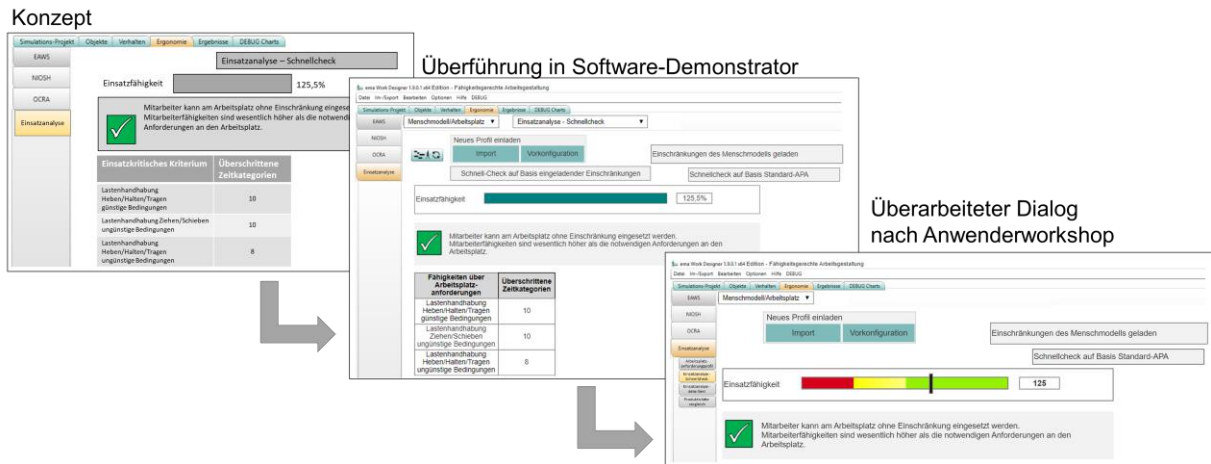
Post-Hoc Bonferroni	Mittlere Differenz	Standardfehler	p	95%-Konfidenzintervall		
				Untergrenze	Obergrenze	
AG20	AG40	-4,088	2,113	0,170	-9,255	1,080
	AG60	-11,786	2,358	<b>0,000</b>	-17,553	-6,020
AG40	AG20	4,088	2,113	0,170	-1,080	9,255
	AG60	-7,699	2,866	<b>0,026</b>	-14,709	-0,688
AG60	AG20	11,786	2,358	<b>0,000</b>	6,020	17,553
	AG40	7,699	2,866	<b>0,026</b>	0,688	14,709

## 5. Workflow zur fähigkeitsgerechten Arbeitsgestaltung mit DMM

Im Rahmen der Übertragung des Modells als Funktionsprototyp in das digitale Menschmodell ema wurde eine Methodik zur softwaregestützten fähigkeitsgerechten Arbeitsgestaltung entwickelt.

Analog dem aktuellen digitalen Planungsprozess werden initial Arbeitsplätze nach Standardvorgaben an Mitarbeiterpopulation (Norm-Mensch) und Arbeitsprozess gestaltet. Neben der Ausgabe von Ergonomie- und Zeitanalysen werden zusätzlich semi-automatisch Arbeitsplatzanforderungsprofile erzeugt. Anschließend kann dieser Standardprozess mit einem leistungsgewandelten Mitarbeiter überprüft werden. In der Simulation werden automatisch Überschreitungen von Kriterien erkannt und entsprechende Bewegungsalternativen, falls vorhanden, ausgeführt.

Eine neue Ausgabe im Rahmen der Einsatzanalyse verwendet eine neue Kennzahl basierend auf dem Vergleich von Mitarbeiterfähigkeiten- und Arbeitsplatzanforderungsprofilen. Dieser Punktwert für die Einsatzfähigkeit ermöglicht Anwendern die Analyse von Einsatzpotentialen der simulierten Mitarbeiterpopulation. Mit Hilfe eines erstellten Prototypens als Software-Demonstrator und eines Anwenderworkshops konnten Bedienung, Visualisierung und die Interpretation der Funktionalitäten getestet und Optimierungspotentiale abgeleitet werden (siehe Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Schrittweise Erarbeitung und Optimierung der Konzepte und Methoden am Beispiel des Schnellchecks zur Anzeige der Einsatzfähigkeit.

## 6. Literatur

- Adenauer S (2004) Die (Re-) Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in den Arbeitsprozess: Das Projekt FILM bei FORD Köln. *Angewandte Arbeitswissenschaft: Zeitschrift für die Unternehmenspraxis*, 181: 1-18.
- Adenauer S (2015) Demografischer Wandel und Auswirkungen auf Unternehmen. In Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.) *Leistungsfähigkeit im Betrieb: Kompendium für den Betriebspraktiker zur Bewältigung des demografischen Wandels*. Wiesbaden: Springer, 9-25.
- Alexander T, Paul G (2016) Digitale Menschmodelle: Potenziale und Herausforderungen mit Hinblick auf die zukünftige Entwicklung der Ergonomie. In: *Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.) Arbeiten in komplexen Systemen - Digital, vernetzt, human?!*, 62. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft.
- Chaffin DB. (2008) Digital Human Modeling for Workspace Design. *Reviews of Human Factors and Ergonomics* 1: 41-74.
- Fritzsche L, Wegge J, Schmauder M, Kliegel, M, Schmidt K (2014) Good ergonomics and team diversity reduce absenteeism and errors in car manufacturing. *Ergonomics* (57, 2): 148-161
- Göldner R, Rudow, N, Neubauer W, Krüger W, Paeth L. (2006). *Arbeit und Gesundheit für leistungsgewandelte Mitarbeiter: Erfahrungen aus der Automobilindustrie*. *Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Umweltmedizin: Zeitschrift für medizinische Prävention* 41(12): 566-573.
- Mozdzanowski M, Glatz A (2013) Das Profilvergleichssystem IMBA als Instrument im betrieblichen Eingliederungsmanagement. *Bewegungstherapie & Gesundheitssport* 29(2): 55-61.
- Mühlstedt J. (2012) *Entwicklung eines Modells dynamisch-muskulärer Arbeitsbeanspruchungen auf Basis digitaler Menschmodelle*. Chemnitz: Dissertation.
- Rohmert W, Landau K (1979) *Das arbeitswissenschaftliche Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse (AET): Merkmalheft*. Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Hans Huber.
- Schaub K, Caragnano G, Britzke B, Bruder R (2013) The European assembly worksheet In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 14/6: 616-639.
- Ullmann S, Fritzsche L (2017) *Arbeitsgestaltung für leistungsgewandelte Mitarbeiter mit digitalen Planungstools* In: *Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg) Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels*. Dortmund: GfA-Press.
- Wieland K (1995) *Arbeitsgestaltung für behinderte und leistungsgewandelte Mitarbeiter: Grundlagen, Vorgehensweisen, Beispiele*. Freiburg i. B.: Rudolf Haufe Verlag.
- Wischniewski S (2013) *Digitale Ergonomie 2025: Trends und Strategien zur Gestaltung gebrauchstauglicher Produkte und sicherer, gesunder und wettbewerbsfähiger sozio-technischer Arbeitssysteme*. BAuA (Hrsg.) Dortmund/Berlin/Dresden.



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](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)