

## Simulation und Erfassung mentaler Beanspruchung im Labor

Dominic BLÄSING

*Institut für Psychologie  
Universität Greifswald  
Franz-Mehring-Straße 47, D-17487 Greifswald*

**Kurzfassung:** Physiologische Korrelate mentaler Beanspruchung sind im Labor vielfach gezeigt wurden. Grundlage bildet häufig die wiederholte Konfrontation mit mehr oder minder beanspruchenden Reizsituationen, z.B. Dual-Task Aufgaben in simulierten Arbeitsumgebungen. In Abhängigkeit des verwendeten Indikators für mentale Beanspruchung gestaltet sich die Erfassung in realen Szenarien schwieriger. Anhand verschiedener Forschungsansätze werden sowohl Möglichkeiten zur experimentellen Manipulation von realitätsnahen Beanspruchungssituationen als auch Befunde zu physiologische Parameter in Abhängigkeit von dynamischen Anforderungsveränderungen aufgezeigt.

**Schlüsselwörter:** Kognitive Ergonomie, Komplexität, mentale Beanspruchung, Eye Tracking, EKG

### 1. Komplexität der Arbeit steigert mentale Beanspruchung

Mit der Tertiärisierung des Arbeitsmarktes und einer steigenden Individualisierung und Kundenorientierung im Bereich der Montage geraten klassische ergonomische Themen wie Körperhaltung und Lastbewegung langsam in den Hintergrund und Themen der kognitiven Ergonomie gewinnen an Interesse. Zentrale Begriffe stellen bei dieser Betrachtung mentale Beanspruchung und Mental oder Cognitive Workload dar. Dabei werden alle von außen psychisch auf den arbeitenden Menschen einwirkenden Faktoren als mentale Belastungen definiert, die durch eine Bewältigung des Individuums zu einer Beanspruchung werden (Quelle DIN EN ISO 10075 Teil 1, 2000). Dabei hat nicht jede Beanspruchung automatisch negative Konsequenzen, sondern kann auch als notwendig zur Verrichtung von Arbeit angesehen werden (Hacker, 2009).

Mentale Beanspruchung kann dabei als Momentaufnahme der Intensität neuronaler Verarbeitung verstanden werden (Kahneman, 1973), wohingegen die Workload eher den über den Verarbeitungsprozess feststellbaren Grad der Auslastung neuronaler Strukturen beschreibt. Workload definiert sich dabei primär über ein Ungleichgewicht zwischen benötigten und zur Verfügung stehenden mentalen Ressourcen des Mitarbeiters, wobei es sich hierbei nicht um eine Gesamtressource, sondern um einen Komplex verschiedenartiger Ressourcen handelt, die in verschiedenen Systemen zusammengestellt sind (Wickens 2008, Baddely 1986). Da mentale Beanspruchung auf der Bewältigung bzw. Konfrontation mit belastenden Faktoren basiert, ist auch hier ein prozessualer Charakter zu erkennen. Im Folgenden werden mentale Beanspruchung und Workload daher gleichbedeutend verwendet.

Mentale Beanspruchung stellt dabei ein komplexes, interaktives Konstrukt dar, welches nicht nur individuell höchst verschieden erlebt wird (Vorerfahrung, Kompetenz aber auch Persönlichkeitseigenschaften können hierbei eine entscheidende Rolle

spielen), sondern auch einer hohen Variation über Arbeitsprozesse hinweg unterworfen ist. Dies hat zur Folge, dass über den Arbeitstag verteilt sowohl Phasen zu hoher und zu niedriger Beanspruchung auftreten können, wobei das Ziel sein sollte, permanent in einem Bereich der komfortablen Beanspruchung zu bleiben (Hancock & Warm, 1989), um ein günstiges Verhältnis von verbrauchten Ressourcen (seitens des Mitarbeitenden) und Performanz zu erreichen. Das sog. Redline-Modell differenziert die Bereiche der Unterauslastung (es bestehen noch Reserven), der normalen Auslastung und der Überauslastung (es besteht Ressourcenbedarf, Young et al. 2015).

Zentrale Quellen dieser Dynamik liegen dabei in der Menge der zu bewältigenden Informationsreize und der dafür bereitgestellten mentalen Ressourcen. Überschreitet die Menge der zu verarbeitenden Informationen die der bereitstellbaren Ressourcen, so kommt es zu einer Verlängerung von Reaktionszeiten und einer Häufung von Fehlern aufgrund von Unsicherheiten und verlängerten Reaktionszeiten (Card et al. 1983).

## 2. Mentaler Beanspruchung und Leistung

Zur Erfassung mentaler Beanspruchung können unterschiedliche Ansätze verfolgt werden. Prinzipiell lassen sich die Kategorien subjektives Feedback, Performanzmaße und physiologische Messungen unterscheiden, wobei eine multimodale Messung zu bevorzugen ist (Chen et al. 2016). Mit dem Aufkommen der kognitiven Ergonomie werden zunehmend objektive physiologische Messungen genutzt, um neuronale Verarbeitungsprozesse zu erfassen. Sie werden häufig in Kombination eingesetzt, zudem oftmals um subjektive Messungen ergänzt, um abschätzen zu können, wie weit die physiologisches Erleben und subjektive Empfindungen von Beanspruchung verknüpft sind.

Mentale Beanspruchung wird aus neurophysiologischer Sicht häufig mit einer Auslastung des sog. Arbeitsgedächtnisses gleichgesetzt (Paas et al. 2003) und definiert sich demnach über rein informatorische Komponenten. Je mehr neuartige Informationen für die Bearbeitung der Aufgabe benötigt werden, desto beanspruchender wird diese wahrgenommen. Die entscheidende Größe zur Steigerung der mentalen Beanspruchung in Unternehmen liegt in der Komplexität von Arbeitsprozessen und -systemen (Bornewasser et al. 2018). Komplexität kann dabei an vielerlei Stellen entstehen, bei den bereitgestellten Arbeitsmitteln, durch die Vielfalt der benötigten Teile oder durch eine Vielzahl verschiedener Arbeitsprozesse (eine Übersicht für den Montagebereich liefern Zhu et al. 2008). Generell gilt dabei, dass das arbeitende Individuum sich mit wiederholten Entscheidungssituationen konfrontiert sieht und diese bewältigen muss.

Ein scheinbar triviales Beispiel liefern bereits Auswahl- und Suchprozesse von Bauteilen in Montagesystemen. Diese sollten informatorisch so einfach wie möglich gehalten werden (Finnsgård et al. 2011), in der Praxis werden jedoch häufig lange Ziffernfolgen aus der Lagerhaltung und Beschaffung verwendet, um Back-End Prozesse zu beschleunigen. Im Vergleich dazu können mit weniger langen Zahlen, Farbkombinationen oder Pick-by-Picture Systemen bis zu 80% Zeit in Suchprozessen gespart werden, was gerade bei der Einarbeitung neuer Mitarbeiter oder der Umstrukturierung von Arbeitsplätzen ein enormer Vorteil sein kann. Mit abnehmender Komplexität des genutzten Systems sanken dabei nicht nur Suchzeiten, sondern auch die subjektiv wahrgenommene mentale Beanspruchung (eigene Untersuchung).

### 3. Simulierte Montage im Labor

Eine systematische Untersuchung mentaler Beanspruchung in der Montage mittels physiologischer Verfahren ist dabei im Feld nicht immer möglich. Geringe Stichprobengrößen, häufige Arbeitsunterbrechungen und ungeplante Ereignisse führen dazu, dass eher Einzelfall- und Arbeitsplatzanalysen durchgeführt werden können, aus denen allerdings kaum verallgemeinerbaren Aussagen ableitbar sind. Um dieses Problem zu lösen, wird versucht, Arbeitsplätze möglichst realistisch im Labor nachzubauen.

Je nach Arbeitsplatz und Montageprozess kann eine mehr oder minder starke Manipulation bei der Auswahl der Reize bzw. Komplexität der Aufgabe ermöglicht werden, um eine systematische Untersuchung des Einflusses mentaler Beanspruchung auf die Performanz durchzuführen. Dabei kann über die Berechnung von Entropie-Maßen für einzelne Baugruppen oder Expertenratings zur Einschätzung der Komplexität eine Einteilung nach Komplexitätsgraden vorgenommen werden (Zeltzer et al., 2012). Ganzheitlichere Aufgaben wie etwa die Montage unterschiedlich konfigurierbarer LKW-Hilfsrahmen ermöglichen größere Spielräume bei der Manipulation von Komplexität. So konnten in einem Experiment unterschiedliche Konfigurationsmöglichkeiten von Schrauben, Querträgern, Abständen und Ausrichtungen genutzt werden, eine annähernd gleichmäßig ansteigende Komplexität zu erreichen, die mit wachsender Beanspruchung einhergehen sollte. Für alle Experimente kamen Eye-Tracking und EKG als physiologische Messverfahren zum Einsatz, um Erkenntnisse über die aktuelle mentale Beanspruchung gewinnen zu können.

In einem ersten Schritt wurden die ersten Minuten des ersten und des letzten zu montierenden Hilfsrahmens verglichen. Für die Herzfrequenz zeigt sich dabei im Durchschnitt ( $n=46$ ) ein höherer Unterschied zur individuellen Baseline für Modell 6 gegenüber Modell 1 ( $\Delta$ Modell 1 = 19.3, SD = 8.3;  $\Delta$ Modell 6 = 25.2, SD = 9.6). Ein ähnlicher Befund zeigt sich für die Herzfrequenzvariabilität die für Modell 6 größere Abweichungen zur Baseline aufweist, was für eine erhöhte Beanspruchung spricht ( $rrHRV$   $\Delta$ Modell 1 = -2.4, SD = 2.0;  $\Delta$ Modell 6 = -2.8, SD = 1.9). Die auszuführende Montage stellt dabei einen kontinuierlichen Wechsel aus physisch-fügenden und mental-informativischen Prozessschritten dar. Bei der Betrachtung der Werte für die Pupillendilatation wird dies besonders deutlich. So zeigt sich insgesamt ein Rückgang der Pupillendilatation von Modell 1 zu Modell 6, ebenso wie eine unwesentliche Verkürzung der Fixationszeiten. Beides würde für einen Rückgang der mentalen Beanspruchung sprechen. Betrachtet man diese Werte jedoch im Verlauf der Montage, so fallen deutliche Peaks nach oben auf sowie z.T. länger andauernde Plateauphasen. Anzunehmen ist dass, während der Peaks die kurzfristige Informationsaufnahme stattfindet, gefolgt von längeren Phasen mechanischen Fügens. Tiefergehende Analysen hierfür stehen noch aus.

Die ermittelten Daten bestätigen weitgehend die globale Annahme, allerdings zeigen sich deutliche Differenzen in den Arbeitsabläufen. Die geforderte Montage stellt sich als ein teilstrukturierter Prozess dar, der viele Freiheitsgrade lässt und mit verschiedensten Ausführungsvarianten einhergeht. Die Probanden nutzen die ihnen zur Verfügung stehenden Hilfsmittel in unterschiedlichem Ausmaß, entwickeln unterschiedliche Montagestrategien und lassen sich durch eingebaute Anreizsysteme nur geringfügig in ihrer Leistungsbereitschaft beeinflussen. Dies erschwert eindimensionale Vergleiche der mentalen Beanspruchung beträchtlich und öffnet das Tor für verschiedenste Moderatoren. So konnte etwa über eine Analyse des Blickverhaltens der

Probanden ein Effekt des Montageverhaltens aufgedeckt werden, welcher den Zusammenhang zwischen verwendetem informatorischen Assistenzsystem und Bauzeit überdeckt.

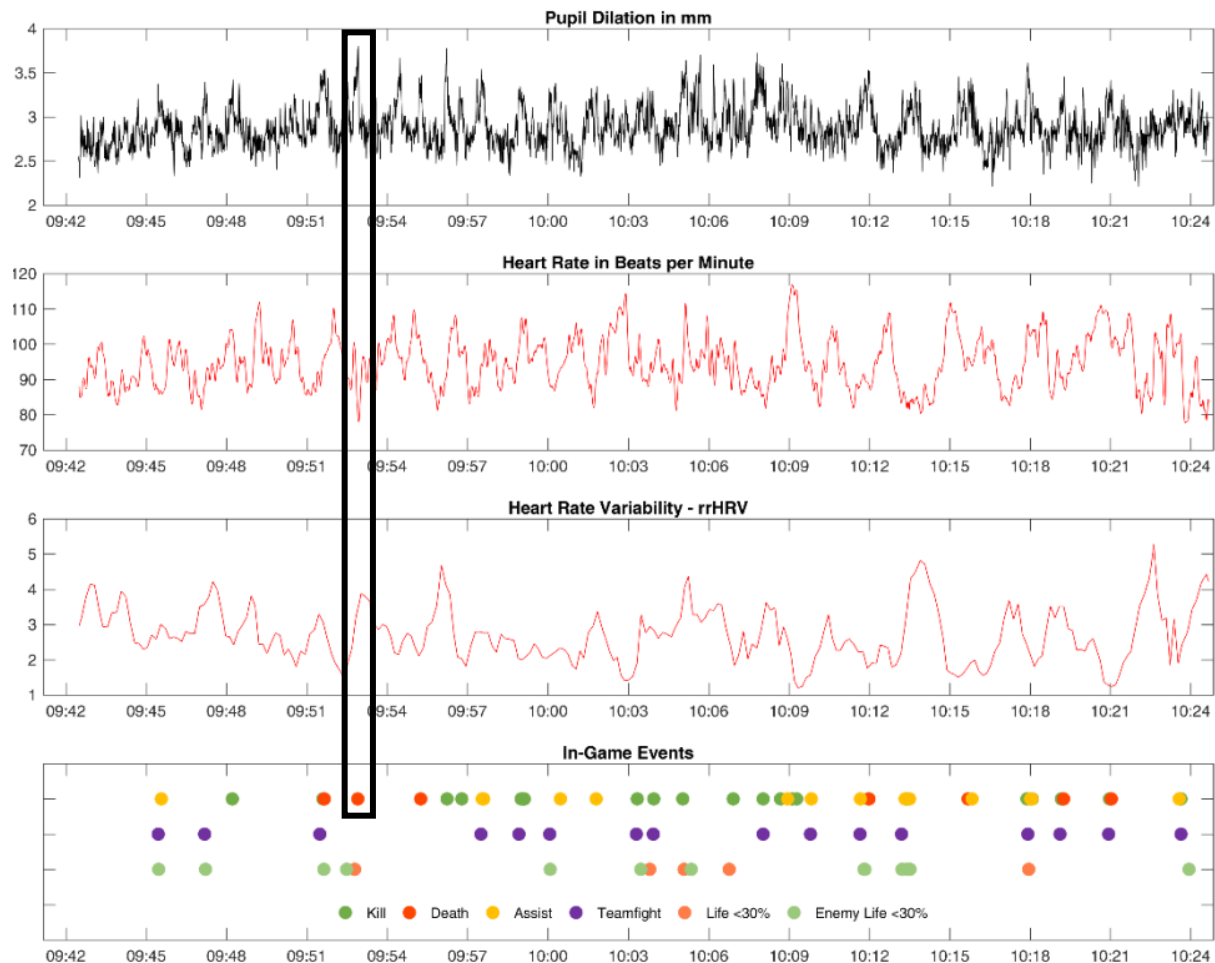
#### **4. Anreizschaffung für mentale Beanspruchung**

Im Ergebnis konnte damit festgestellt werden, dass auch die Simulation von Arbeitsplätzen und Arbeitsaufgaben keine einfache Voraussetzung darstellt, mentale Beanspruchungen valide zu erfassen. Besonders die motivationalen Anforderungen an die Arbeit, die entscheidend die mentalen Beanspruchungen beeinflussen können, lassen sich im Labor nur schwer abbilden. Im Feld sorgt eine vertragliche Regelung zwischen Arbeitnehmer und Arbeitgeber dafür, dass der Arbeitnehmer seine Aufgabe gewissenhaft erledigt. Im Labor existiert ein solcher Vertrag nicht. Probanden können sich häufig nicht in die Situation einfühlen und erledigen die Aufgabe allein aufgrund externer Anreize, haben jedoch in der Regel keine negativen Konsequenzen aus einer mangelhaften Durchführung zu erwarten.

Die fehlende Bindung an die Aufgabe kann zu einer deutlichen Diskrepanz zwischen erwartbarer und subjektiv erlebter Beanspruchung führen. Zur Überbrückung dieser Diskrepanz wurden das Beanspruchungserleben bei Probanden während des Spielens kompetitiver Echtzeit-Strategie Spiele untersucht. Die Probanden mussten dabei über einen hohen Grad an Expertise verfügen und die mit ihrem eigenen Account spielen, wodurch eine größere Leistungsbereitschaft erreicht werden konnte. Die Komplexität der verwendeten Stimuli entsteht durch eine Vielzahl an parallel zu verarbeitenden Reizen und zu treffenden Entscheidungen. Durch randomisierte Team-Konstellationen und der Abhängigkeit von externen Dritten kommt es dabei immer wieder zu ungeplantem Verhalten und entsprechenden Anpassungen durch den Spieler. Dadurch war eine sich stetig ändernde Beanspruchungslage gegeben, die für den Versuchsleiter jedoch unkontrollierbar blieb und erst im Anschluss über verschiedene In-Game-Events beschrieben werden konnte.

Zur Erfassung der mentalen Beanspruchung kamen neben dem Klickverhalten hauptsächlich blickbezogene Parameter, Pupillendilatation und Herzfrequenz bzw. Herzfrequenzvariabilität zum Einsatz. Wie in Abbildung 1 zu sehen, ist ein einzelnes Spiel dabei von einer hohen Dichte solcher In-Game-Ereignisse geprägt (Abbildung 1 unten). Ebenso auffällig sind gemeinsame Schwankungen über die drei Parameter der Pupillenausdehnung, Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität. Letztere steigt beispielsweise an, sobald der Avatar des Probanden gestorben ist, was eine kurzfristige Zwangspause, einhergehend mit kurzfristiger Entspannung, zur Folge hat (siehe schwarzer Kasten Abbildung 1). Ebenso erfolgt ein Absinken der HRV vor vielen der Ereignisse häufig in Kombination mit einer Weitung der Pupille, was für einen Anstieg der mentalen Beanspruchung spricht.

Probleme bei der Interpretation der Ergebnisse ergeben sich unter anderem aus unterschiedlichen Latenzzeiten der Parameter, bis eine Veränderung der mentalen Beanspruchung sich auch in einer Änderung des Parameters niederschlägt, Problematiken der Baselineerfassung und der Definition von beanspruchungsinduzierenden Ereignissen.



**Abbildung 1:** Verlauf eines einzelnen Spieles

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Übertragung von echten Arbeitsaufgaben vom Feld ins Labor ist ein wichtiger Schritt zum Verständnis des Zusammenhanges zwischen Komplexität, mentaler Beanspruchung und Leistung. Für die Erfassung physiologischer Parameter bietet das Labor den Vorteil, den Einfluss von Störgrößen zu minimieren und grundlegendere Erkenntnisse zur objektiven Erfassung des Beanspruchungserlebens zu erhalten. Dabei ist es nicht nur möglich, mentale Beanspruchung weit über simple Reiz-Reaktionsaufgaben hinaus zu untersuchen, sondern auch den Einfluss immer komplexer werdender Entscheidungssituationen aktiv zu manipulieren.

Eine Detektion von Über- oder Unterforderung wie sie beispielsweise im Redline-Modell für mental Workload beschrieben werden (Young et al. 2015) ist im Feld in der Regel erst dann möglich, wenn diese Zustände im Labor nachgewiesen werden konnten. Die Ermittlung dieser grundlegenden Zusammenhänge physiologischer Daten und mentaler Beanspruchung macht eine Mustererkennung einfacher und kann es ermöglichen, distinkte Beanspruchungszustände valide zu erfassen (Hoover et al. 2012).

Über den Einsatz im Kontext der Gefährdungsbeurteilung hinaus könnte es auch möglich sein, über die Erfassung des aktuellen Beanspruchungserlebens informatorische Assistenzsysteme zu steuern, um dem Mitarbeiter damit eine bedarfsgerechte Entlastungsmöglichkeit zu bieten (Bläsing & Bornewasser 2019).

## 6. Literatur

- Baddely A (1986) Working Memory. Oxford, University Press.
- Bläsing D, Bornewasser M (2019) A Strain Based Model for Adaptive Regulation of Cognitive Assistance Systems—Theoretical Framework and Practical Limitations. In Karwowski W, Ahram T (Ed.), Intelligent Human Systems Integration 2019. Cham, Springer International Publishing, 10–16.
- Bornewasser M, Bläsing D, Hinrichsen S (2018) Informatorische Assistenzsysteme in der manuellen Montage: Ein nützliches Werkzeug zur Reduktion mentaler Beanspruchung?. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 72(4), 264–275.
- Card SK, Moran TP, Newell A (1983) The Psychology of Human Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- Chen F et al. (2016) Robust Multimodal Cognitive Load Measurement, Cham, Springer International Publishing.
- DIN EN ISO 10075-1 (2000) Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung. Berlin Beuth.
- Finnsgård C, Wänström C, Medbo L, Neumann WP (2011). Impact of Materials Exposure on Assembly Workstation Performance. International Journal of Production Research, 49(24), 7253–7274.
- Hacker W (2009). Arbeitsgegenstand Mensch: Psychologie dialogisch-interaktiver Erwerbsarbeit: ein Lehrbuch. Lengerich, Pabst Science Publ.
- Hancock P A, Warm J S (1989) A Dynamic Model of Stress and Sustained Attention. Human Factors, 31, 519–537.
- Hoover A, Singh A, Fishel-Brown S, Muth E (2012) Real-time Detection of Workload Changes Using Heart Rate Variability. Biomedical Signal Processing and Control, 7(4), 333–341.
- Kahneman D (1973) Attention and Effort. Englewood Cliffs N.J, Prentice-Hall.
- Paas F, Tuovinen JE, Tabbers H, Van Gerven PWM (2003) Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory. Educ. Psychol. 38(1), 63–71.
- Wickens CD (2008) Multiple Resources and Mental Workload. Human Factors, 50, 449-455.
- Young MS, Brookhuis KA, Wickens CD, Hancock PA (2015). State of Science: Mental Workload in Ergonomics. Ergonomics, 58(1), 1–17.
- Zhu X, Hu SJ, Koren Y, Marin SP (2008) Modeling of Manufacturing Complexity in Mixed-Model Assembly Lines. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 130(5), 051013.
- Zeltzer L, Limere V (...) Van Landeghem H (2012) Measuring the Objective Complexity of Assembly Workstations. ICCGI 7th International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, 341-346.

Diese Publikation entstand im Kontext des vom BMBF und ESF geförderten Verbundprojektes „Exzellente Montage im Kontext Industrie 4.0 – wirtschaftlich und kompetenzförderlich“ (FKZ 02L15A261).



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)