

Fraunhofer FKIE, Torsten Gfesser & Stephanie Hochgeschurz

Unter Strom? Workload Analyse für Operateure in Netzleitstellen

Fraunhofer FKIE

Auf einen Blick



Fraunhofer FKIE erforscht und entwickelt Modelle, Methoden und Werkzeuge für **Kontroll- und Steueraufgaben in vernetzten Systemen (»Vernetzte Operationsführung«)**

Forschungsgebiete

- Sensordatenfusion
- Kommunikationssysteme
- Informationstechnik für Führungssysteme
- Mensch-Maschine-Systeme
- Systemergonomie
- Produkt- und Prozessergonomie
- Kognitive Mobile Systeme
- Cyber Analysis & Defense
- Cyber Security
- Usable Security and Privacy

Standorte	Wachtberg, Bonn und Aachen
Gegründet	1963
Fraunhofer	seit 8/2009
Mitarbeiter	Ca. 500
Budget	Ca. 45 Mio €
Institutsleiter	Prof. Dr. Peter Martini
Website	www.fkie.fraunhofer.de

Mensch-Maschine-Systeme

Überblick

Mensch und Automation

- Adaptive Interaktion und Assistenz
- Hybride Intelligenz & Interaktion mit KI
- Dynamische Arbeitsprozesse

Informationsvisualisierung und Interaktion

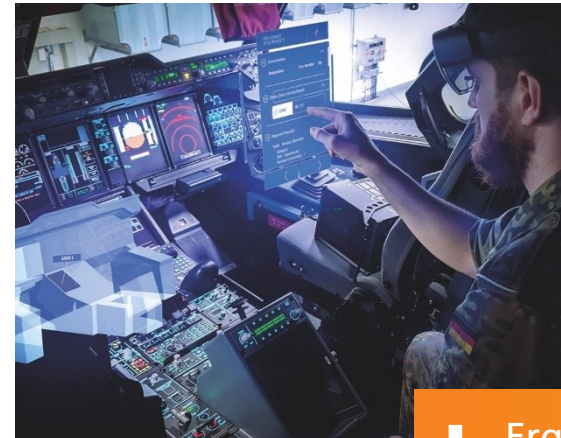
- Visual Analytics – Interaktive Datenanalyse
- Mobile & Immersive (VR/AR) User Interfaces
- Interaktives Machine Learning

Leitzentralen und Entscheidungsunterstützung

- Gestaltung maritimer Einsatz- und Ausbildungssysteme
- HMIs für Verteilte Simulationen
- UX/KI für Führungs- & Aufklärungssysteme

Human Factors Analysis

- Nutzerzustandsanalyse
- Evaluation und Optimierung von Mensch-Maschine-Systemen
- Digitales Training



- Ergonomisches HMI-Design
- Lagedarstellung
- Entscheidungsunterstützungssysteme

Agenda



1

Einführung: Netzleitstellen und
Mentale Beanspruchung

2

Methode

3

Ergebnisse + Diskussion

4

Abschluss

Kontext

Arbeit von Stromdispatchern



Aufgaben der Dispatcher

- Netzüberwachung
- Störungsbehebung
- Erneuerbare Integration
- Buchen / Verteilen der Bedarfe
- Entscheidungen unter Stress

Arbeitsumfeld



- Hohe Systemkomplexität
- Kritische Infrastruktur, Cybersecurity-Risiken
- Großraum(büro)
- Viele Monitore, viele Alarme, Experten-Software



Quelle: <https://www.energie-und-management.de/nachrichten/detail/avacon-digitalisiert-netzleitstelle-123986>



Quelle: <https://www.mynewsdesk.com/de/avacon/pressreleases/avacon-erprobt-ergonomische-assistenzsysteme-fuer-netzleitstellen-kritischer-infrastrukturen-3236516>

Mentale Beanspruchung

Definition und Relevanz

Zusammenhang zwischen Leistung, Aufgabenlast und mentaler Beanspruchung

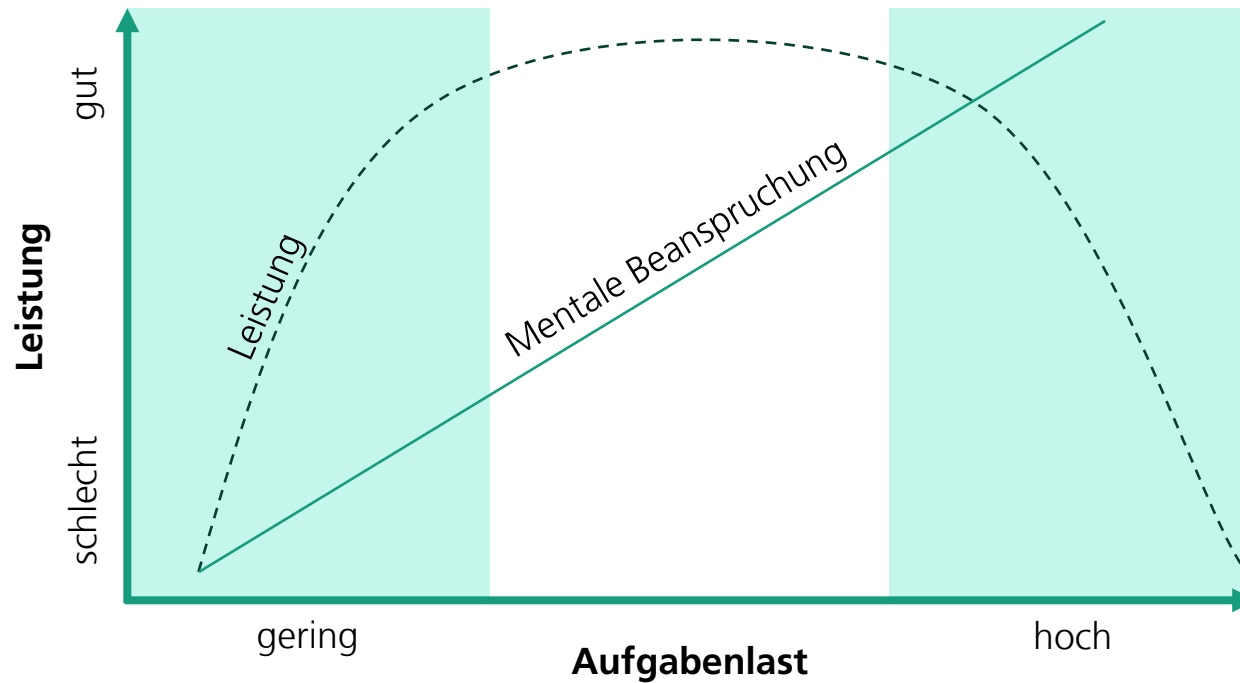
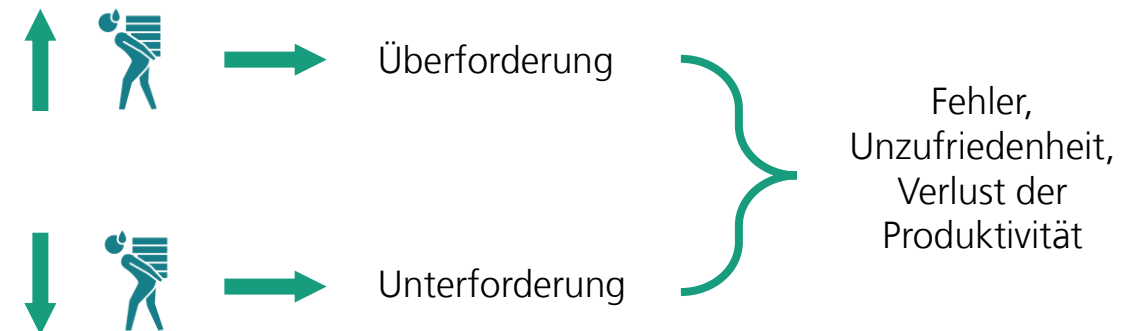


Abbildung adaptiert nach Young et al. (2015)

Mentale Beanspruchung

= Anteil der kognitiven Ressourcen, die einer Person zur Verfügung stehen und die sie gegenwärtig für die Bearbeitung einer Aufgabe verwendet.

Longo et al. (2022), Wickens (2002), Young und Stanton (2005)



De Rivecourt et al. (2008), Young et al. (2015)

Mentale Beanspruchung

Warum messen wir mentale Beanspruchung bei Operateuren in Netzleitstellen?

Relevanz mentaler Beanspruchung bei Dispatchern

Fehler bei der Arbeit



Stromausfälle

→ Besonders kritisch bei Flughäfen oder Krankenhäusern

- Frühzeitige Identifikation suboptimaler Beanspruchungszustände könnte Fehler verhindern
- Aufgabenbelastung nicht objektiv quantifizierbar

Afzal et al. (2022)

Messung mentaler Beanspruchung

Subjektiv



- + Leicht anwendbar, erfassen subjektives Empfinden
- Intrusiv, nicht kontinuierlich anwendbar

Leistung



- + Objektiv, nicht intrusiv
- Nicht kontinuierlich anwendbar, geringe Sensitivität, „zu spät“

Physiologie



- + Objektiv, nicht intrusiv, kontinuierlich erfassbar, hohe Sensitivität
- Nicht spezifisch, artefaktbehaftet

Longo et al. (2022), Maior et al. (2018), Paxion et al. (2014), Schwarz (2019) und Young et al. (2015)

Herausforderungen physiologischer Datenverarbeitung

Kernprobleme



Datenschutz & Ethik

Personenbezogene
Informationen z.B.
medizinische Infos



Individuelle Variabilität

Starke Unterschiede
zwischen und innerhalb
von Personen



Rauschen & Artefakte

Bewegungen, schlechte
Sensorverbindung, ...



Daten-Heterogenität

Unterschiedliche
Formate, Sampling-
Raten, Modalitäten



Synchronisation:

Multimodale Daten
verschiedener Sensoren
und Sampling-Raten



Schwieriges Labeling

Subjektive, ungenaue oder
verzögerte Annotationen



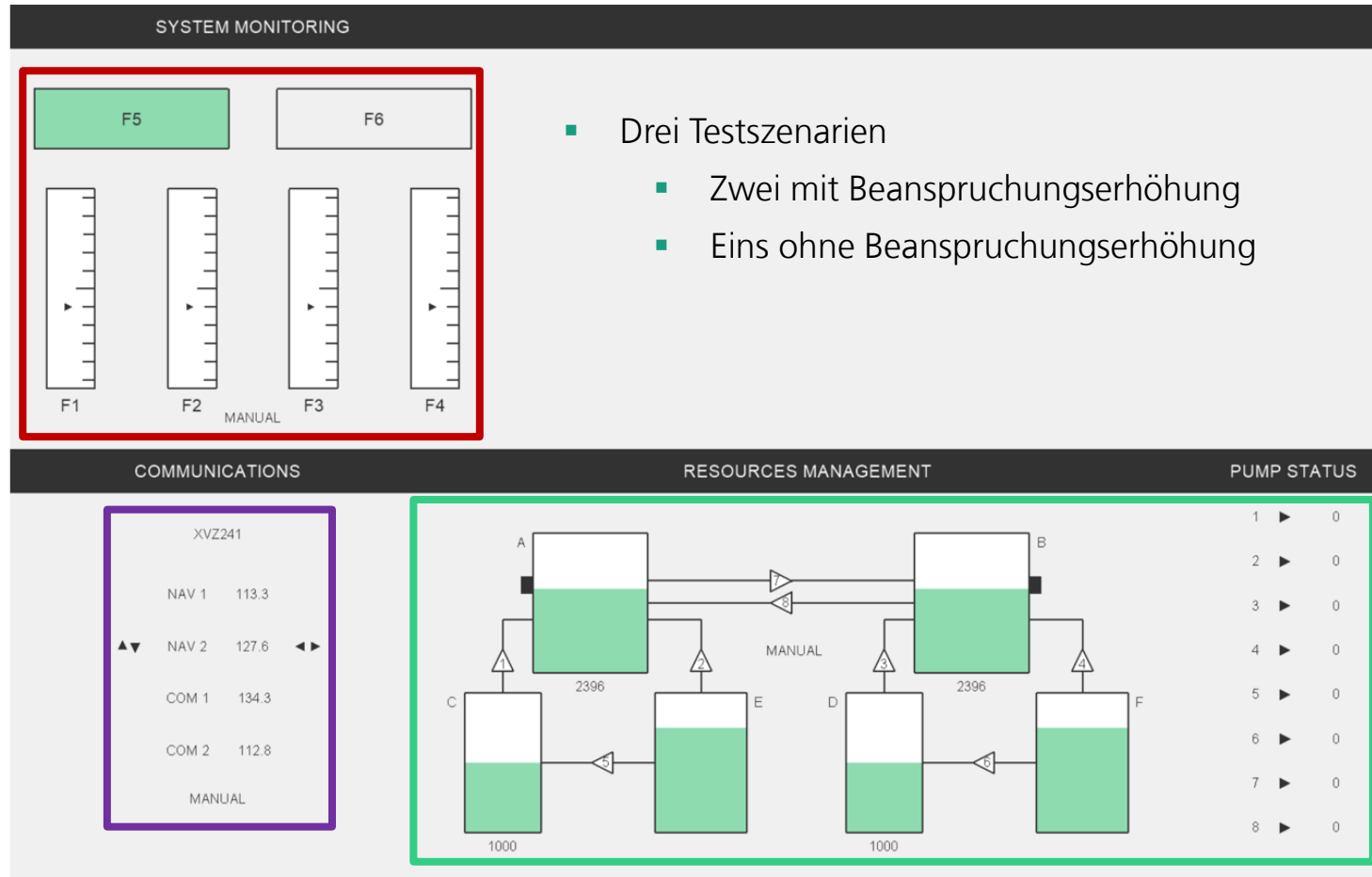
Daten-Knappheit

Kleine Datensätze,
Klassen-Ungleichgewicht

Methode

Erfassung von Mentalem Workload mithilfe von Machine Learning

Die Multi Attribute Task Battery (MATB) & Stichprobe



- Drei Testszenarien
 - Zwei mit Beanspruchungserhöhung
 - Eins ohne Beanspruchungserhöhung

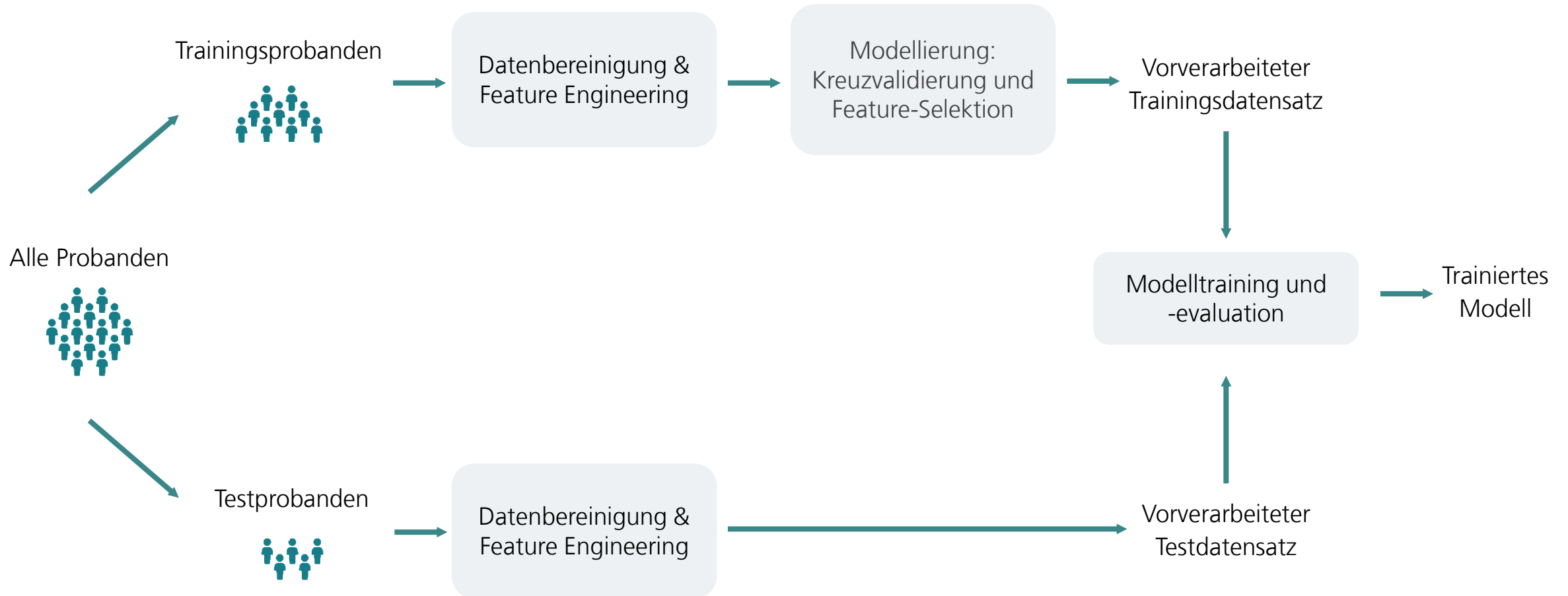
Stichprobe

- $N = 31$ Mitarbeitende vom FKIE
- Alter: $M = 36.6$ ($SD = 11.9$) Jahre
- 16 weiblich, 15 männlich
- Ausschlüsse
 - Bei $N = 2$ keine Physiologie
 - Bei $N = 14$ keine Pupillenweiten
 - → $N = 29$ (17) Probanden



Cegarra et al. (2020), Comstock & Arnegard (1992), Santiago-Espada et al. (2011)

Machine Learning Workflow



Feature Engineering



- **Pupillenweite:** Aufzeichnung mit Eyetracker



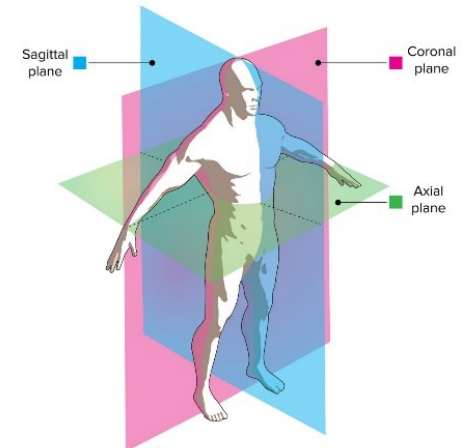
- **Respiration:** Peaks aus Atemsignal
Atemfrequenz, Respirationsratenvariabilität (RRV)
und respiratorische Sinusarrhythmie (RSA, in Zusammenhang mit EKG)



- **EKG:** Peaks (R-Zacken) aus EKG-Signal
 - Herzratenvariabilität HRV, die Variation der R-zu-R Abstände innerhalb eines Zeitfensters
 - Varianzänderungen der HRV → signifikante HRV Auf- und Abstiege

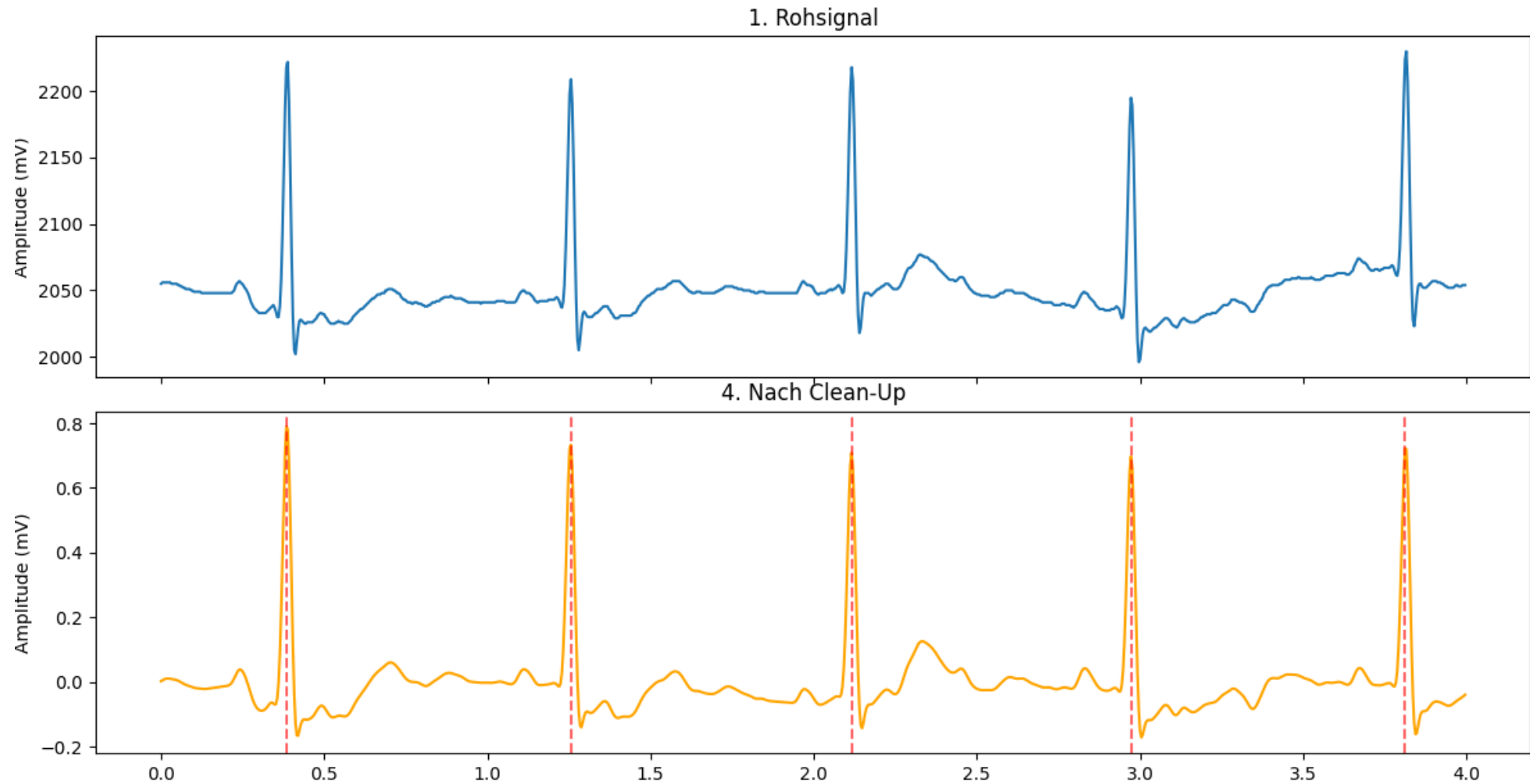


- **Bewegung:** Beschleunigungsdaten (Beschleunigungssensor + Gyrosensor)
 - vertikale, laterale und sagittale Beschleunigung
- **Körperhaltung:** Körper-Neigungswinkel (Traversalachse) im Sitzen
- **Aktivität:** Die absolute Beschleunigung innerhalb eines 5s Zeitfensters



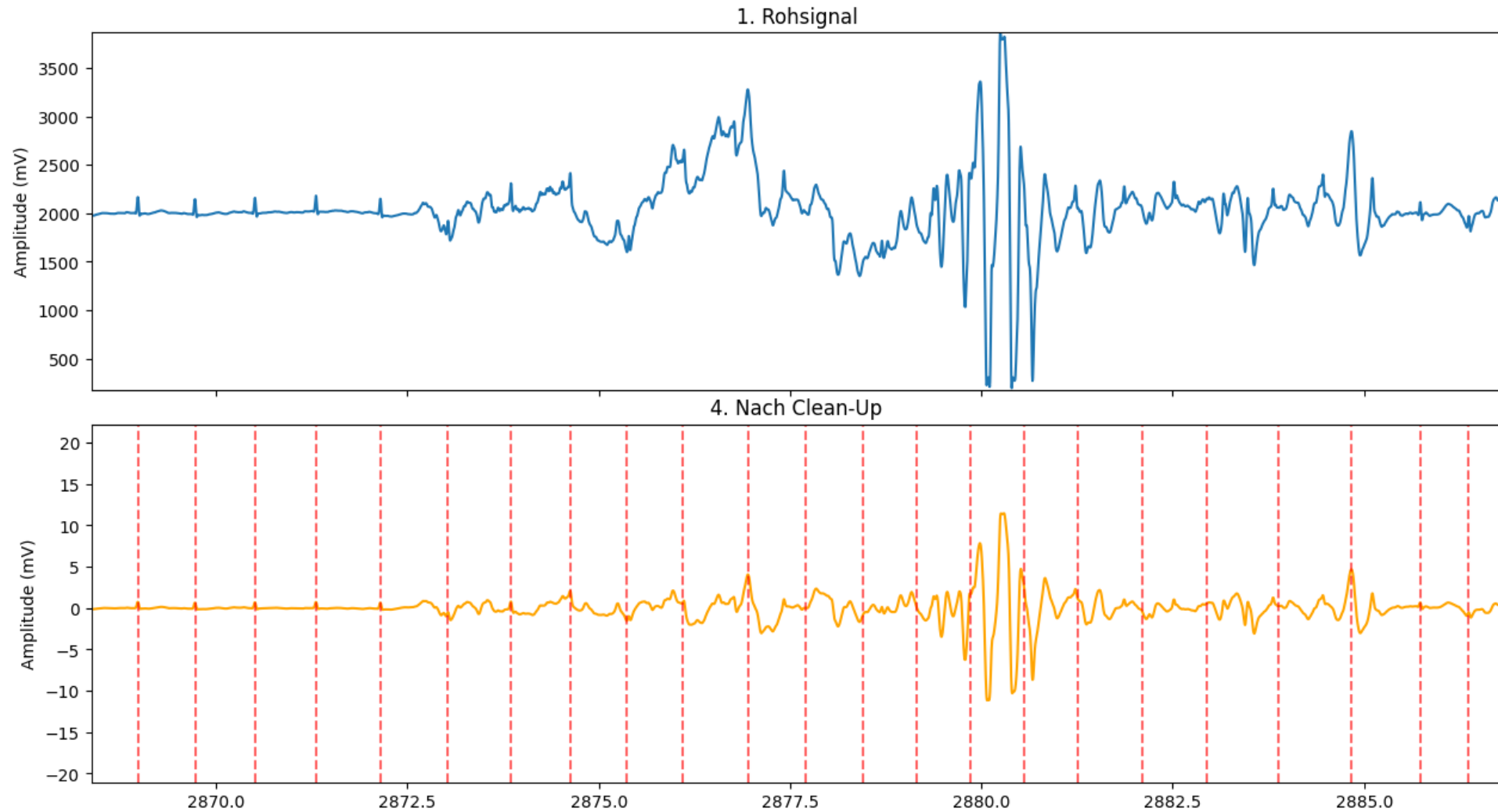
Feature Engineering

Cleanup: Sauberes Signal

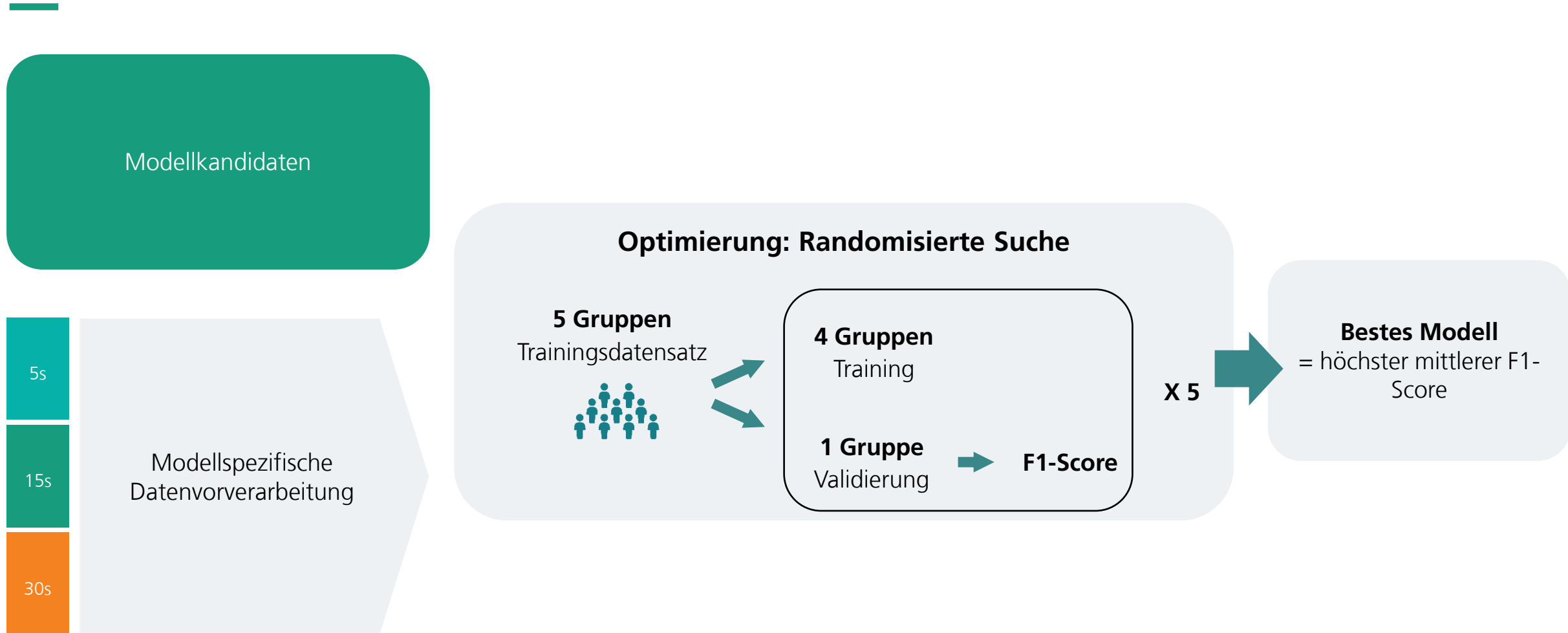


Feature Engineering

Cleanup: Artefakte



Optimierung der Datenvorverarbeitung und der Modellhyperparameter



Ergebnisse + Diskussion

Erfassung von Mentalem Workload mithilfe von Machine Learning

Ergebnisse und Diskussion

Vorhersage der kognitiven Beanspruchung anhand physiologischer Parameter



Generalisierbarkeit

Modelle sind auf Basis physiologischer Daten in der Lage, mentale Beanspruchung zuverlässig vorherzusagen.



Kombination

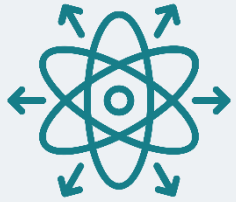
Die Kombination mehrerer Signalquellen führte zu besseren Vorhersagen als die Verwendung einzelner Signalquellen.



Indikatoren

Physiologische Parameter wie Atmung oder Pupillenweite sind vielversprechende Indikatoren für die Vorhersage von mentaler Beanspruchung.

Weitere Verwendung der Modelle



Möglichkeiten der Modelle

- Reliable Vorhersage der Belastung anhand physiologischer Daten machbar
- Verwendung der Modelle für weitere Untersuchungen (z.B. Untersuchung von Assistenzsystemen) möglich
- On-line Vorhersage mentaler Beanspruchung



Voraussetzungen

- Daten gehören zu einer ähnlichen Verteilung wie die Trainingsdaten
- Daten wurden entsprechend der beschriebenen Vorverarbeitung prozessiert
- Verschiedene physiologische Signale werden miteinander kombiniert

Referenzen

- Icons: <https://thenounproject.com/>
- Afzal, U., Prouzeau, A., Lawrence, L., Dwyer, T., Bichinepally, S., Liebman, A., & Goodwin, S. (2022). Investigating cognitive load in energy network control rooms: Recommendations for future designs. *Frontiers in Psychology*, 13, Article 812677. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.812677>
- Cegarra, J., Valéry, B., Avril, E., Calmettes, C., & Navarro, J. (2020). Openmatb: A Multi-Attribute Task Battery promoting task customization, software extensibility and experiment replicability. *Behavior Research Methods*, 52(5), 1980–1990. <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01364-w>
- Comstock, J. R., & Arnegard, R. J. (1992). The multi-attribute task battery for human operator workload and strategic behavior research (NASA Technical Memorandum 104174). NASA Langley Research Center. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19920007912>
- De Rivecourt, M., Kuperus, M. N., Post, W. J., & Mulder, L. J. M. (2008). Cardiovascular and eye activity measures as indices for momentary changes in mental effort during simulated flight. *Ergonomics*, 51(9), 1295–1319. <https://doi.org/10.1080/00140130802120267>
- Longo, L., Wickens, C. D., Hancock, G., & Hancock, P. A. (2022). Human mental workload: A survey and a novel inclusive definition. *Frontiers in Psychology*, 13, Article 883321. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.883321>
- Maior, H. A., Wilson, M. L., & Sharples, S. (2018). Workload alerts—Using physiological measures of mental workload to provide feedback during tasks. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 25(2), Article 9. <https://doi.org/10.1145/3173380>
- Paxion, J., Galy, E., & Berthelon, C. (2014). Mental workload and driving. *Frontiers in Psychology*, 5, Article 1344. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01344>
- Santiago-Espada, Y., Myer, R. R., Latorella, K. A., & Comstock, James R., Jr. (2011). The Multi-Attribute Task Battery II (MATB-II) software for human performance and workload research: A user's guide (NASA/TM-2011-217164). NASA Langley Research Center. <https://ntrs.nasa.gov/citations/20110014456>

Referenzen

- Schwarz, J. C. (2019). Multifaktorielle Echtzeitdiagnose des Nutzerzustands in adaptiver Mensch-Maschine-Interaktion [Multifactorial real-time diagnosis of the user state in adaptive human-machine interaction] [Dissertation, Technische Universität Dortmund], Dortmund. <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstreams/8e2a1525-eded-4b92-b703-944cd339e32e/download>
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 159–177. <https://doi.org/10.1080/14639220210123806>
- Young, M. S., Brookhuis, K. A., Wickens, C. D., & Hancock, P. A. (2015). State of science: Mental workload in ergonomics. *Ergonomics*, 58(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/00140139.2014.956151>
- Young, M. S., & Stanton, N. A. (2005). Mental workload. In N. A. Stanton, A. Hedge, K. A. Brookhuis, E. Salas, & H. W. Hendrick (Eds.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. CRC Press.

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit



Kontakt



Torsten Gfesser
Mensch-Maschine-Systeme
torsten.gfesser@fkie.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Kommunikation,
Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE
Fraunhoferstr. 20 | 53343 Wachtberg

www.fkie.fraunhofer.de



Stephanie Hochgeschurz
Mensch-Maschine-Systeme
stephanie.hochgeschurz@fkie.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Kommunikation,
Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE
Fraunhoferstr. 20 | 53343 Wachtberg

www.fkie.fraunhofer.de