

gefördert durch:



Exo@Work

Bewertung exoskelettaler Systeme in der Arbeitswelt

Lennart Ralfs, M.Sc.

14. September 2021

Fachtagung „Sicherheit und Gesundheit in der Warenlogistik“

 universität
innsbruck



HELMUT-SCHMIDT
UNIVERSITÄT
Universität der Bundeswehr Hamburg

LaFT
LABORATORIUM FERTIGUNGSTECHNIK

MOTIVATION



Motivation Exoskelette

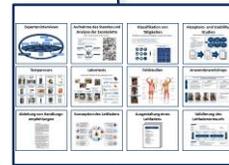
ÜBERBLICK EXO@WORK



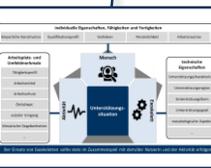
Überblick Projekt Exo@Work

INHALTSSCHWERPUNKTE

EXPERTENINTERVIEWS



Inhaltliche Schwerpunkte Exo@Work



Tendenzen und Empfehlungen

TENDENZEN UND
EMPFEHLUNGEN



Zusammenfassung

ZUSAMMENFASSUNG

Blick auf die Vielfalt manueller Tätigkeiten in der gewerblichen Arbeitswelt

MOTIVATION

ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

EXPERTENINTERVIEWS

STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE

TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION

AKZEPTANZ UND USABILITY

TESTPARCOURS

LABORTESTS

FELDSTUDIEN

ANWENDERWORKSHOPS

LEITFADENKONZEPT

LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND

EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG

Produktion

Intralogistik

Logistik

Baugewerbe

Industriehandwerk

...

charakteristische Tätigkeiten

Greifen

Halten

Tragen

Sitzen

Hocken

Stehen

Gehen

Laufen

...

Schieben

Ziehen

Belastung unterschiedlicher Körperregion

Finger

Nacken

Rücken

Handgelenk

Schulter

Hüfte

Arme

Sprunggelenk

Beine

wichtige Eigenschaften

Kraft

Dynamik

Range of Motion

Verschiedene manuelle Tätigkeiten führen zu unterschiedlichen physischen Beanspruchungen und Belastungen.

Hohe physische Belastungen des Menschen in der europäischen Arbeitswelt

MOTIVATION

32 %*
Transport schwerer Güter

43 %*
Arbeit in ermüdenden und
schmerzhaften Positionen

33 %*
Arbeit unter straffen
Zeitvorgaben

ÜBERBLICK EXO@WORK

42 %*
Erschöpfungsgefühl am Ende des
Arbeitstages

28 %*
mehr als fünf Krankheitstage
min. 1x jährlich

61 %*
wiederholende Hand- oder
Armbewegungen

INHALTSSCHWERPUNKTE

EXPERTENINTERVIEWS

STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE

TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION

AKZEPTANZ UND USABILITY

TESTPARCOURS

LABORTESTS

FELDSTUDIEN

ANWENDERWORKSHOPS

LEITFADENKONZEPT

LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND

EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG

mögliche Einsatzgründe für den Einsatz von Exoskeletten:



Exoskelette können einen (präventiven) Beitrag zur Unterstützung der gewerblichen MitarbeiterInnen leisten.

*Quelle:
Eurofound: Sixth European Working Conditions
Survey - Overview report (2017 update).
Luxembourg : Publications Office of the
European Union, 2017

MOTIVATION

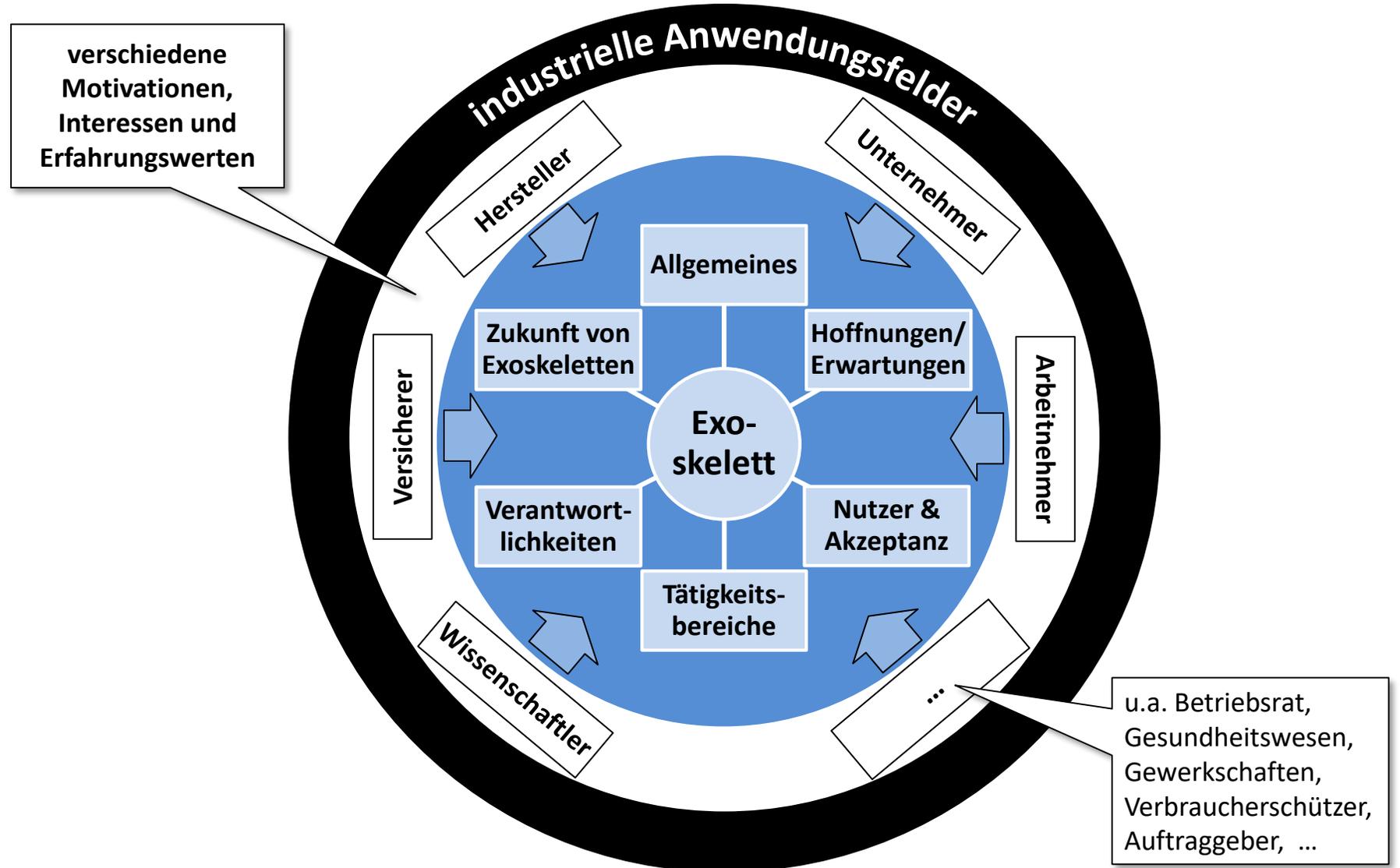
ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

- EXPERTENINTERVIEWS
- STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE
- TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION
- AKZEPTANZ UND USABILITY
- TESTPARCOURS
- LABORTESTS
- FELDSTUDIEN
- ANWENDERWORKSHOPS
- LEITFADENKONZEPT
- LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND
EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG



Unterschiedliche Akteure hegen unterschiedliche Interessen an dem gewerblichen Einsatz von Exoskeletten.

MOTIVATION

ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

EXPERTENINTERVIEWS

STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE

TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION

AKZEPTANZ UND USABILITY

TESTPARCOURS

LABORTESTS

FELDDSTUDIEN

ANWENDERWORKSHOPS

LEITFADENKONZEPT

LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND

EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG

Randbedingungen

- **Ziel:** Entwicklung eines Leitfadens zur Evaluation von Exoskeletten
- **Fokus:** Handel, Warenlogistik und Produktion
- **Zeitraum:** 10/2018 - 12/2021

Projektträger:



Zusammenarbeit mit:



Methodenpool (Auswahl)



Labor- und
Feldstudien



Workshops



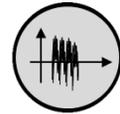
3D-
Kinemetrie



Literatur-
recherche



Experten-
gespräche



Elektro-
myographie



Ethno-
graphie



Frage-
bögen



Nahinfrarot-
spektro-
skopie

Projekttablauf

1. Ermittlung relevanter **Evaluationskriterien**
2. Einsatz **biomechanischer und arbeitsphysiologischer Messverfahren** zur Evaluation von Exoskeletten
3. Untersuchung des Einflusses verschiedener **Systemeigenschaften** (hart/weich; aktiv/passiv)
4. Entwicklung eines **Leitfadens** zur Evaluation
5. Ableitung von **Handlungsempfehlungen**
6. **Validierung** des Leitfadens anhand exemplarischer Exoskelette und Arbeitsplätze

Projektnetzwerk - Begleitkreis



MOTIVATION

ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

EXPERTENINTERVIEWS

STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE

TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION

AKZEPTANZ UND USABILITY

TESTPARCOURS

LABORTESTS

FELDSTUDIEN

ANWENDERWORKSHOPS

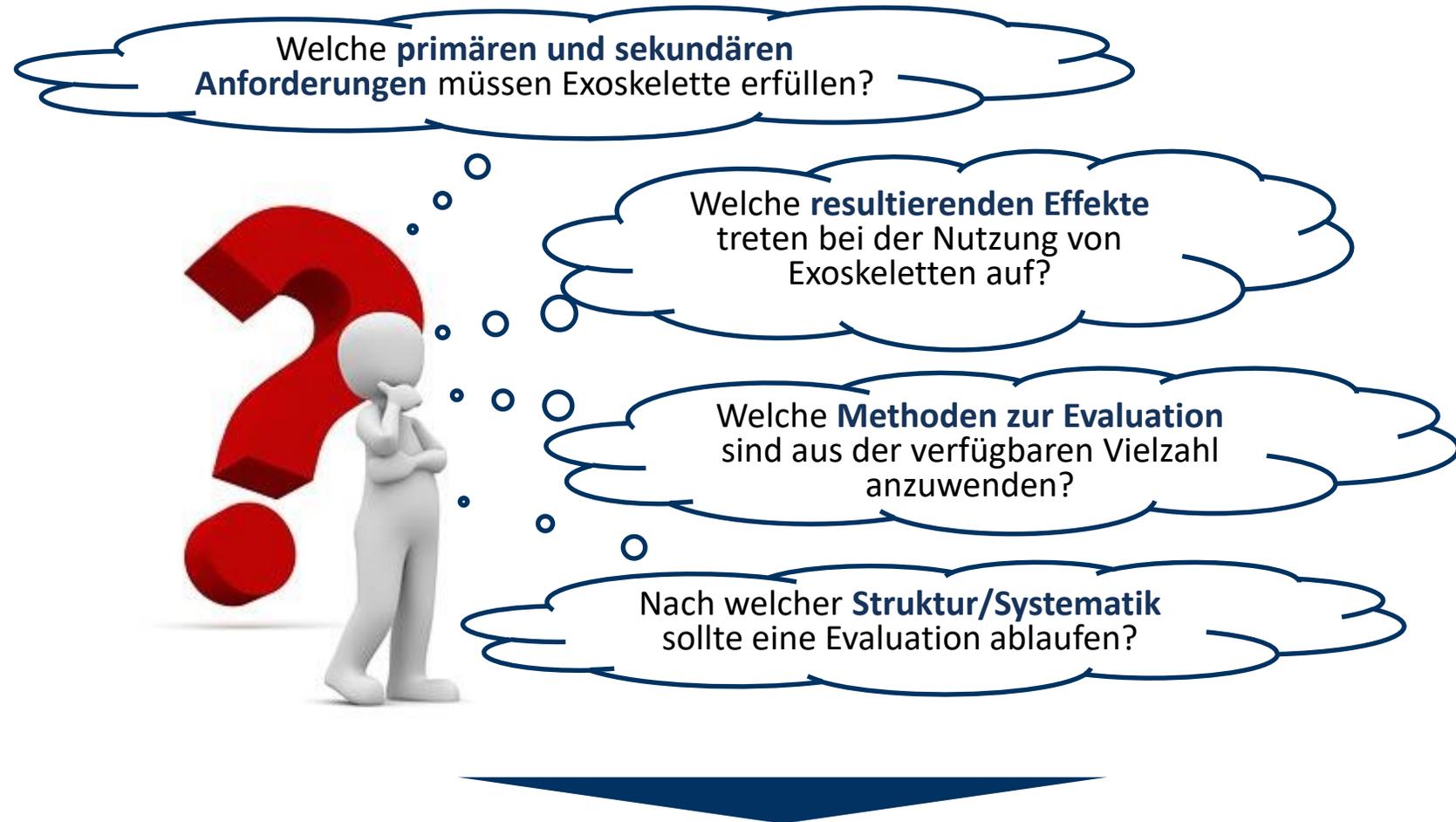
LEITFADENKONZEPT

LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND

EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG



Das Ziel von Exo@Work ist die Entwicklung eines Leitfadens zur multikriteriellen Evaluation von Exoskeletten. Im Fokus steht die Ableitung von Handlungsempfehlungen für betriebliche PraktikerInnen.

reale Tätigkeiten im industriellen Einsatz

MOTIVATION

ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

EXPERTENINTERVIEWS

STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE

TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION

AKZEPTANZ UND USABILITY

TESTPARCOURS

LABORTESTS

FELDSTUDIEN

ANWENDERWORKSHOPS

LEITFADENKONZEPT

LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND
EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG

modellierte und simulierte Tätigkeiten im Testparcours

Evaluation von **Basisfunktionalitäten**

Handling des Exoskeletts

motorische Bewegungen

Nebentätigkeiten

Sicherheitsaspekte



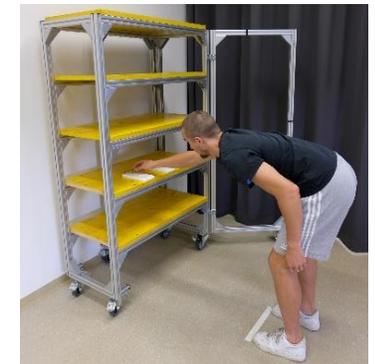
Evaluation von **industriellen Aufgaben**

Charakteristika der Aufgaben:

- Dynamik (statisch/dynamisch)
- Granularität (grob/fein)
- Händigkeit (1-Hand/2-Hand)

Variationsparameter der Aufgaben:

- Gewicht
- Arbeitshöhe
- Orientierung
- Werkzeugnutzung
- Wiederholungszahl
- ...



MOTIVATION

ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

EXPERTENINTERVIEWS

STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE

TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION

AKZEPTANZ UND USABILITY

TESTPARCOURS

LABORTESTS

FELDSTUDIEN

ANWENDERWORKSHOPS

LEITFADENKONZEPT

LEITFADENVALIDIERUNG

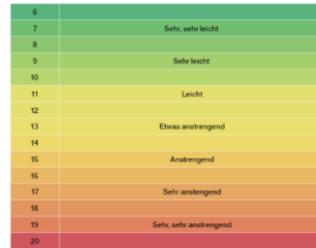
TENDENZEN UND

EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG

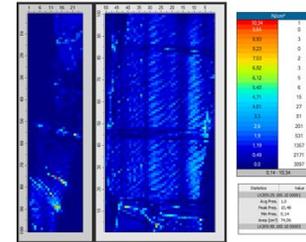
Borg-Skala

subjektives **Belastungsempfinden** der Probanden wird mittels der Skala ermittelt



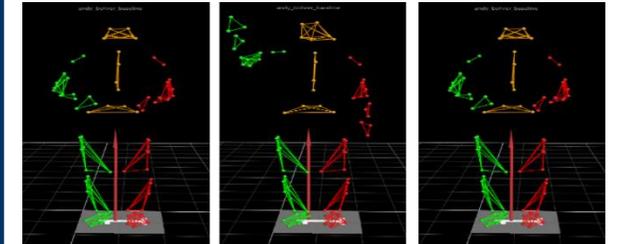
Druckmessfolie

Messungen von **Interaktionskräften in Schnittstellen**



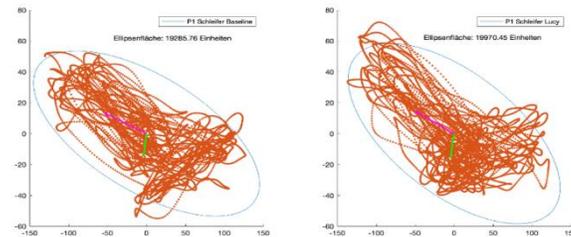
Motion Capture

Analyse von **Bewegungsmustern**



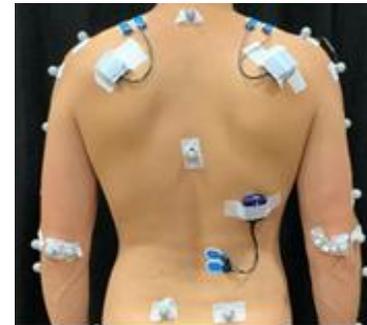
Posturographie

Analyse der **körperlichen Schwankung und Gleichgewicht**



Elektromyographie

Messung der **Muskelaktivität**



9-Hole-Peg Test

Prüfung der **feinmotorischen Fähigkeiten**



Messung der muskuloskelettalen Belastung bei Tätigkeiten in der Automobilindustrie

- Messung Muskelaktivität bei mehreren MitarbeiterInnen am vorderen Deltoideus
- Mittelung über mehrere Arbeitszyklen
- jede(r) MitarbeiterIn konnte Unterstützungsleistung selbst einstellen

MOTIVATION

ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

EXPERTENINTERVIEWS

STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE

TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION

AKZEPTANZ UND USABILITY

TESTPARCOURS

LABORTESTS

FELDSTUDIEN

ANWENDERWORKSHOPS

LEITFADENKONZEPT

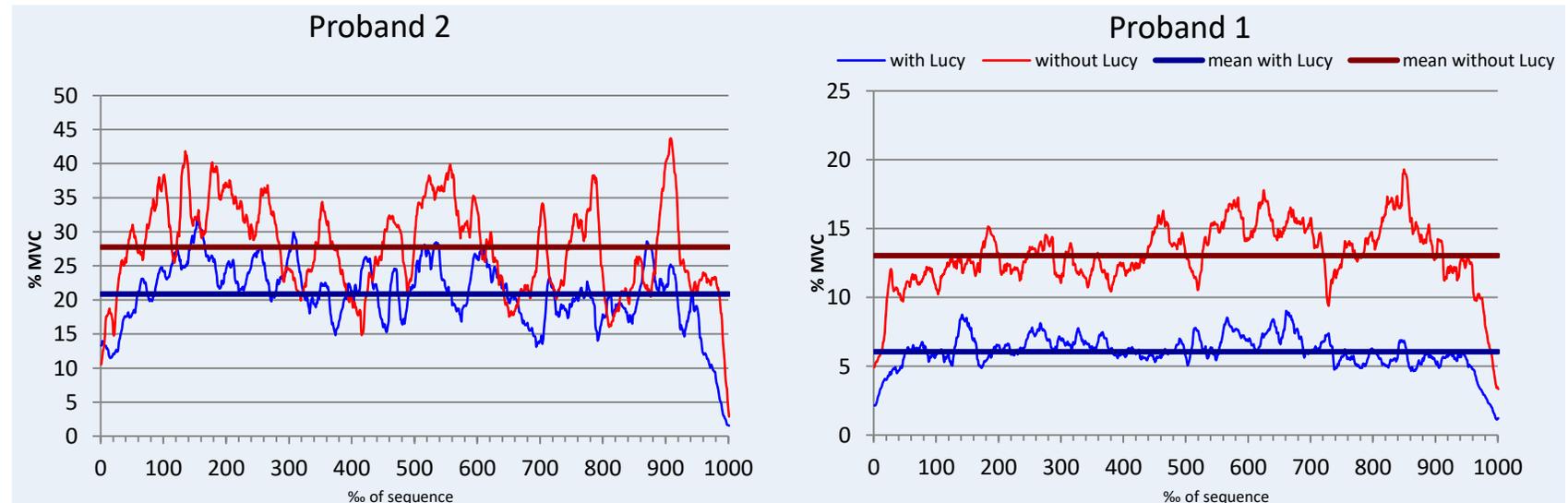
LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND

EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG

	mittlere musk. Aktivität ohne Lucy [% MVC]	mittlere musk. Aktivität mit Lucy [% MVC]	Reduktion in mittl. musk. Aktivität [%]
Proband 1 (m)	13,05 ± 2,40	6,07 ± 1,23	56,95 ± 8,68
Proband 2 (m)	27,74 ± 6,50	20,86 ± 4,93	22,63 ± 21,63
Proband 3 (f)	24,91 ± 7,80	20,82 ± 7,35	9,65 ± 41,67
Proband 4 (m)	7,36 ± 1,79	5,30 ± 1,52	16,92 ± 27,76



Erweiterung zu Feldversuchen mit biomechanischen Messmethoden und einem Untersuchungsdesign

MOTIVATION

ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

- EXPERTENINTERVIEWS
- STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE
- TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION
- AKZEPTANZ UND USABILITY
- TESTPARCOURS
- LABORTESTS
- FELDDSTUDIEN
- ANWENDERWORKSHOPS
- LEITFADENKONZEPT
- LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG

Ziele

- Erfahrungen**
- Sammlung von ersten Erfahrungen mit Exoskelett im Unternehmen und konkreten Arbeitsplätzen
 - Abschätzung der Eignung am konkreten Szenario

- Aufnahmen**
- Aufnahmen von anwenderspezifischen Systemanforderungen durch EndanwenderInnen

- Klärung**
- Klärung des grundsätzlichen Interesses einer weiteren Nutzung / Kooperation
 - wissenschaftliche Begleitung der betrieblichen Einführung

Workshops

Einsatz verschiedener Exoskelette



System 1



System 2



System 3



System 4

...

- Anwendungsgebiete**
- Logistik
 - Kommissionierung
 - Automotive
 - Containerumschlag
 - ...

Ganzheitliche Betrachtung von Unterstützungssituationen

MOTIVATION



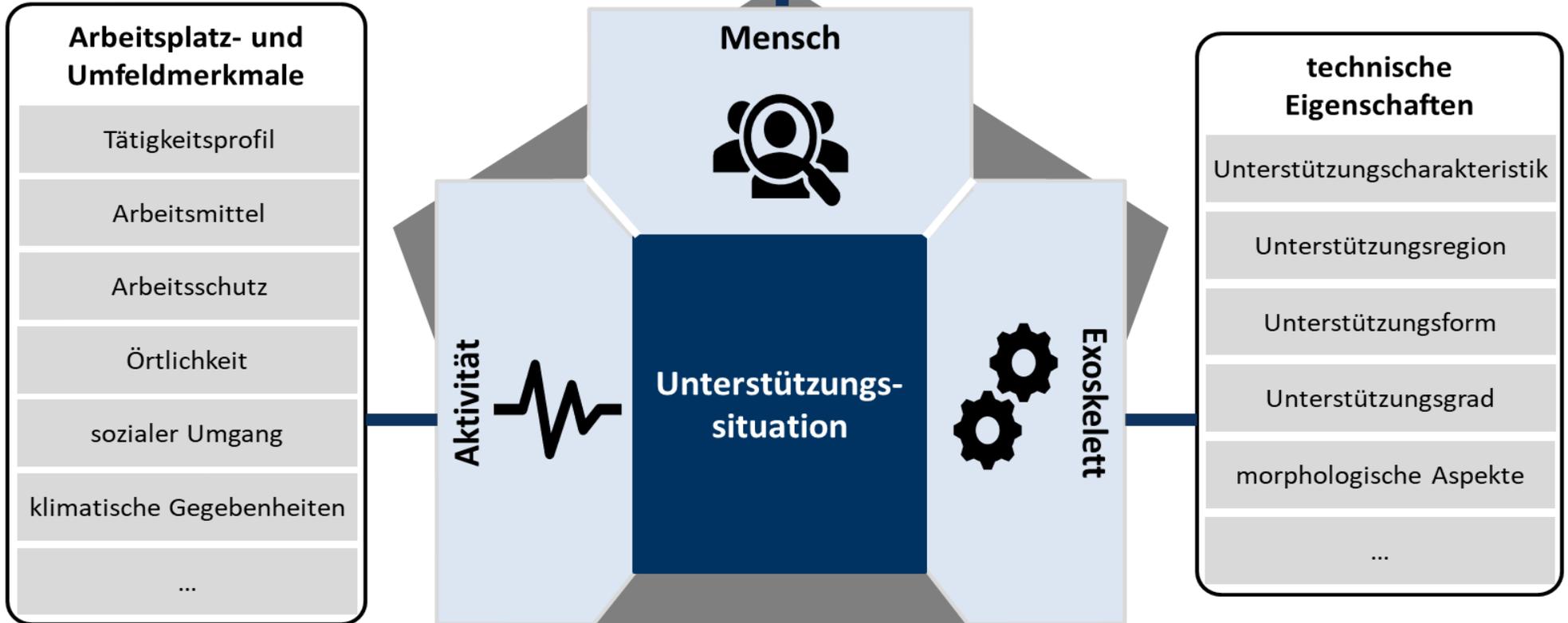
ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

- EXPERTENINTERVIEWS
- STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE
- TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION
- AKZEPTANZ UND USABILITY
- TESTPARCOURS
- LABORTESTS
- FELDSTUDIEN
- ANWENDERWORKSHOPS
- LEITFADENKONZEPT
- LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND
EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG



Der Einsatz von Exoskeletten sollte stets im Einklang mit dem/der NutzerIn und der Aktivität stehen.

Leitmerkmale und Vorgehen einer Implementierung von Exoskeletten, Hoffmann et al., 2021

Auswahl an Faktoren mit Einfluss auf Wirksamkeit von Exoskeletten

MOTIVATION

ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

EXPERTENINTERVIEWS

STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE

TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION

AKZEPTANZ UND USABILITY

TESTPARCOURS

LABORTESTS

FELDSTUDIEN

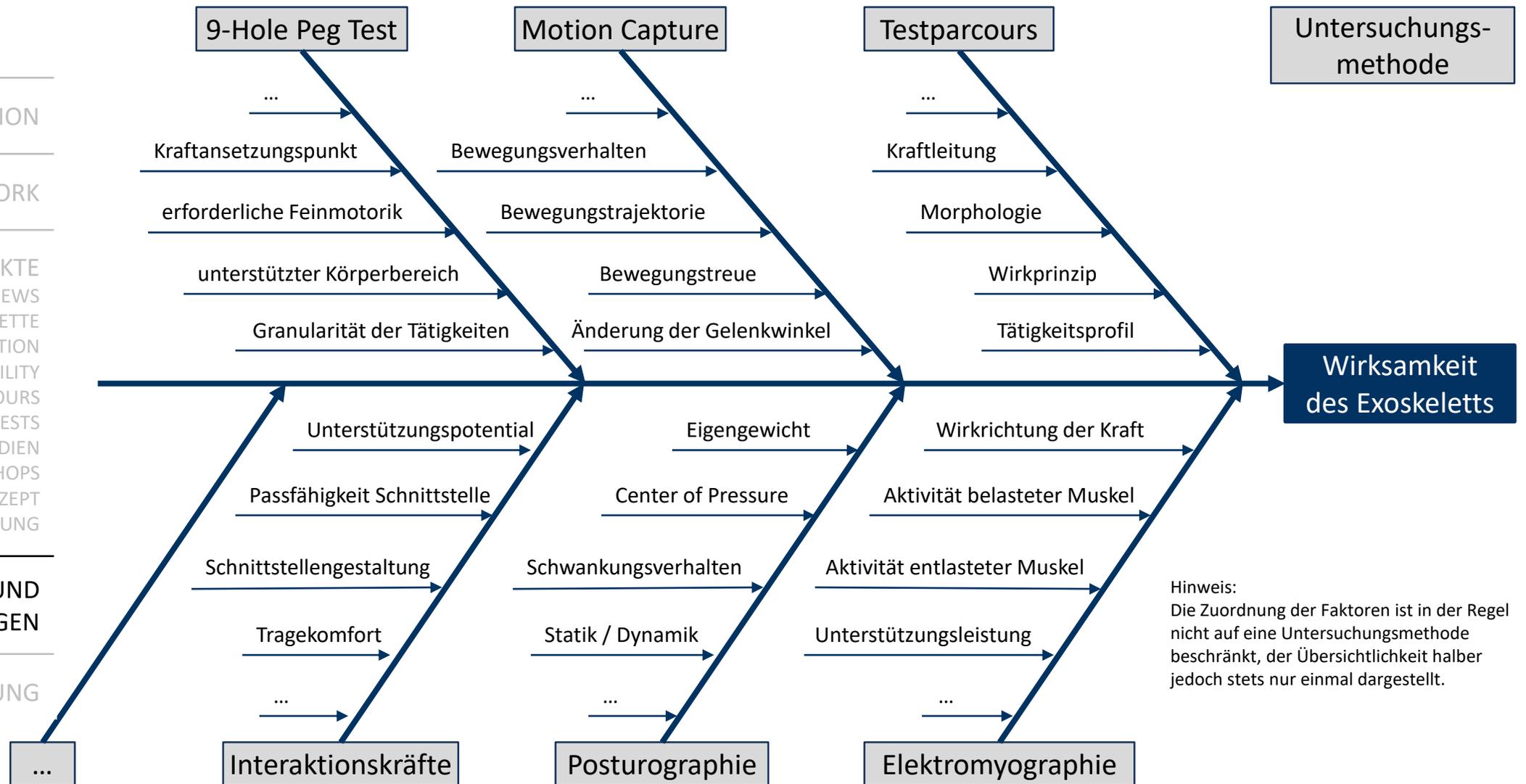
ANWENDERWORKSHOPS

LEITFADENKONZEPT

LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND
EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG



Die Wirksamkeit bzw. der Unterstützungseffekt von Exoskeletten wird durch eine Vielzahl an Kriterien bestimmt.

Transfer der zentralen Faktoren in Erkenntnisse und Empfehlungen

MOTIVATION

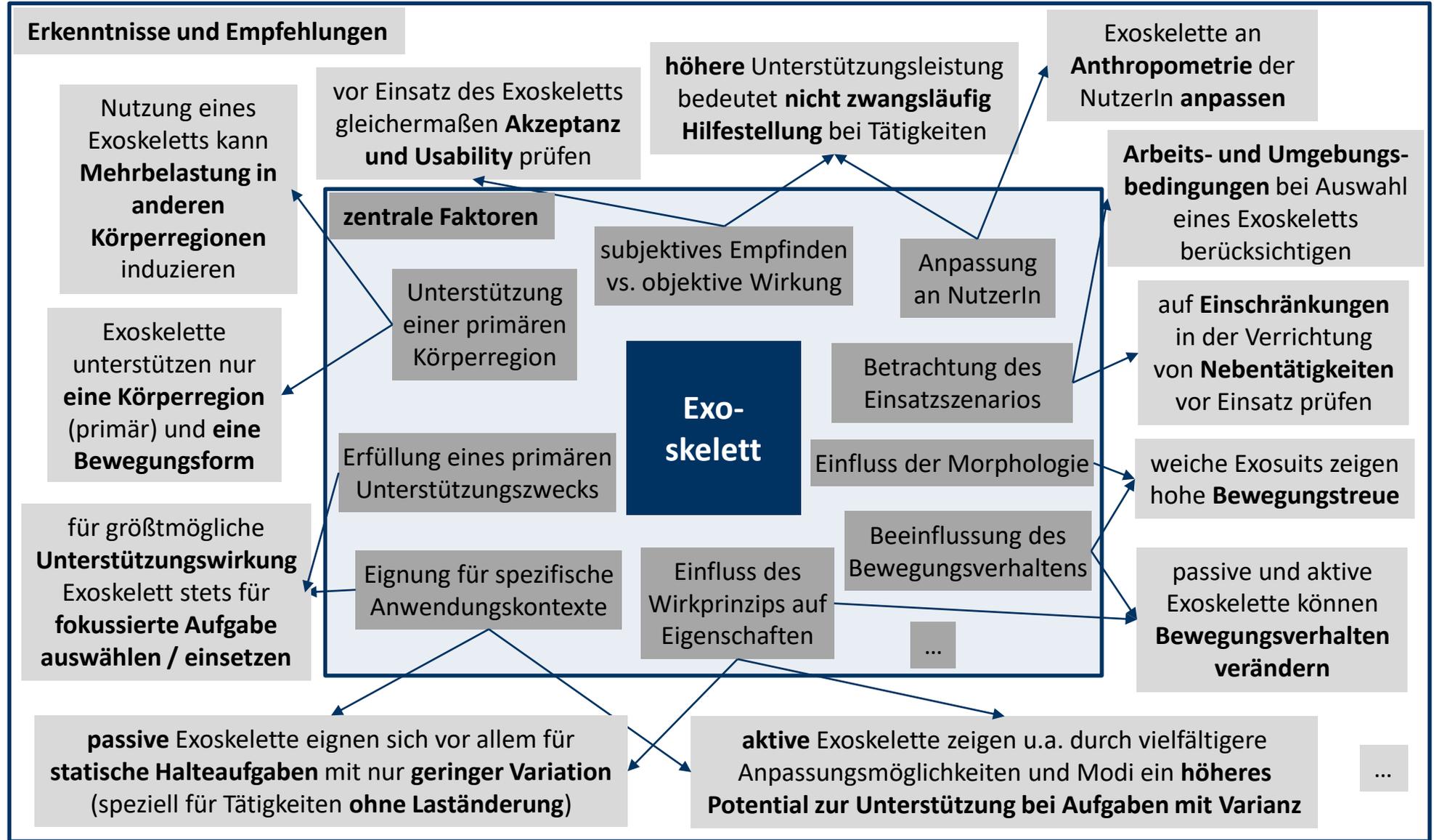
ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

- EXPERTENINTERVIEWS
- STAND DER TECHN. EXOSKELETTE
- TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION
- AKZEPTANZ UND USABILITY
- TESTPARCOURS
- LABORTESTS
- FELDDSTUDIEN
- ANWENDERWORKSHOPS
- LEITFADENKONZEPT
- LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG



MOTIVATION



Pilotphase
(erster Tag)



Pilotphase
(max. 2 Wochen)



ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

- EXPERTENINTERVIEWS
- STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE
- TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION
- AKZEPTANZ UND USABILITY
- TESTPARCOURS
- LABORTESTS
- FELDSTUDIEN
- ANWENDERWORKSHOPS
- LEITFADENKONZEPT
- LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND
EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG

Grundlagen

- Fortschreibung des aktuellen Standes zu Normungsaktivitäten (speziell durch Mitarbeit in DIN- und CEN-Workshops)

Handlungsempfehlungen

- weitere Ableitung von Erkenntnissen
- weitere Definition von Handlungsempfehlungen und Ansätzen zu Einsatz und Evaluation von Exoskeletten

heute

Projekt-
ende

Durchführung weiterer Studien

- ergänzende Feldstudien*, u.a. zur Untersuchung von Langzeiteffekten
- Workshops* mit ausgewählten Exoskeletten
- Weiterführung der Akzeptanz- und Usability-Studie

Leitfadenentwicklung

- Weiterentwicklung des Leitfadenentwurfs zu einer finalen Version auf Feedbackbasis
- Validierung des finalen Leitfadens sowie der Methodik in betrieblicher Praxis

*sofern pandemiebedingt möglich

MOTIVATION

ÜBERBLICK EXO@WORK

INHALTSSCHWERPUNKTE

EXPERTENINTERVIEWS

STAND DER TECHNIK EXOSKELETTE

TÄTIGKEITSKLASSIFIKATION

AKZEPTANZ UND USABILITY

TESTPARCOURS

LABORTESTS

FELDSTUDIEN

ANWENDERWORKSHOPS

LEITFADENKONZEPT

LEITFADENVALIDIERUNG

TENDENZEN UND

EMPFEHLUNGEN

ZUSAMMENFASSUNG



 **Lennart Ralfs, M.Sc.**
 Lennart.Ralfs@uibk.ac.at
 +43 512 507 62806 (Austria)



 **Univ.-Prof. Dr.-Ing. Robert Weidner**
 Robert.Weidner@uibk.ac.at
Robert.Weidner@hsu-hh.de
 +43 512 507 62806 (Austria)
+49 40-6541-3342 (Germany)



Universität Innsbruck
Institut für Mechatronik
Professur für Fertigungstechnik
Technikerstr. 13
6020 Innsbruck
Österreich

fertigungstechnik@uibk.ac.at
www.uibk.ac.at/mechatronik

