

## **PREFLOW – Preventive Workflows: Intelligentes Assistenzsystem zur präventiven Steuerung von Arbeitsprozessen**

Torsten BURGHARDT<sup>1</sup>, Christina DI VALENTIN<sup>2</sup>, Oliver STRÄTER<sup>1</sup>,  
Julian KRUMEICH<sup>2</sup>, Dimitri RAABE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie, Universität Kassel  
Heinrich-Plett-Str. 40, D-34132 Kassel*

<sup>2</sup> *Institut für Wirtschaftsinformatik (IWi) im Deutschen Forschungszentrum  
für Künstliche Intelligenz (DFKI)  
Stuhlsatzenhausweg 3, D-66123 Saarbrücken*

**Kurzfassung:** Im Rahmen des PREFLOW-Projekts wird in einem interdisziplinären Konsortium ein Assistenzsystem basierend auf intelligenter Kleidung, entwickelt, das den Nutzern ergonomisch kritisches Verhalten in Form von Echtzeit-Feedback kommuniziert und über die Anbindung an ein Workflow-Management-System eine Arbeitsprozessanalyse ermöglicht. PREFLOW ist ein Assistenzsystem zur physiologisch-ergonomischen Arbeitsgestaltung, das Verhaltens- und Verhältnisprävention auf optimale Weise miteinander verzahnt.

**Schlüsselwörter:** Ergonomie, Assistenzsystem, Workflow-Management, Prozessoptimierung, Arbeitsfähigkeit

### **1. Einleitung**

Der demographische Wandel und die damit einhergehende Verschiebung der Altersstruktur erfordern die Anpassung der Arbeitsbedingungen zu einer alters- und altersgerechten Arbeitssystemgestaltung. Der steigende Bedarf an Weiterbildung und Qualifizierung sowie der Mangel an Fachkräften verstärken diese Entwicklung über alle Industriezweige hinweg. Die Erhaltung der Arbeitskraft bis ins hohe Alter wird speziell bei physisch belastenden Berufen eine zunehmende Rolle spielen. So sind Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems noch vor psychischen Erkrankungen der Hauptauslöser von Fehlzeiten und zeigen, dass die Gefährdung durch physische Belastung ungebrochen auf hohem Niveau liegt. Zudem ist eine Ausdifferenzierung der Erwerbstätigenquote insbesondere in physisch belastenden Berufen festzustellen: Durch die physischen Belastungen kommt es zu einem überproportionalen Rückgang der Beschäftigten nach dem 60. Lebensjahr. Dieser Effekt verhindert das Erreichen des Renteneintrittsalters und verstärkt die Folgen des demographischen Wandels zusätzlich (Brussig, 2010). Vor diesem Hintergrund gilt die Herausforderung der Zukunft der Gestaltung ergonomischer Arbeitsplätze mit dem Fokus auf Verhältnis- und Verhaltensprävention. Das Projekt PREFLOW zielt in diesem Kontext darauf ab, berufsbedingte physische Überbelastungen zu reduzieren und die Risiken ergonomischen Fehlverhaltens aufzufangen, sodass ein gesundes Arbeitsleben unterstützt wird. Dazu wird ein tragbares Assistenzsystem entwickelt, das ergonomisch kritisches Verhalten in Echtzeit kommuniziert. Zugleich werden die gewonnenen Daten genutzt, um eine ergonomische Optimierung der

Arbeitsprozesse vorzunehmen und Workflow-Management-Systeme (WFMS) sinnvoll zu ergänzen.

## 2. Stand der Wissenschaft und Technik

Im europäischen Raum zählen ermüdende und schmerzhaft Körperhaltungen, das Manipulieren schwerer Lasten und sich ständig wiederholende Arbeitsvorgänge durch Hand- und Armbewegungen zu den häufigsten Gesundheitsrisiken. Damit verbunden sind 23,3% aller Arbeitsunfähigkeitstage bedingt durch Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems und ein Ausfall an Bruttowertschöpfung in Höhe von 25,1 Mrd. € pro Jahr in der Bundesrepublik (BAUA & BMAS, 2012; Eurofound, 2012). Zur Reduzierung dieser Risiken sind Methoden zur Erhebung von Ergonomiedaten und eine darauf aufbauende Analyse der Belastung von Arbeitsplätzen im arbeitswissenschaftlichen Kontext etabliert. Für die Beurteilung und Bestimmung physischer Belastungen werden u.a. das Ovako Working Posture Assessment (OWAS, Karhu et al., 1977) und das European Assembly Worksheet (EAWS, Schaub & Ghezal-Ahmadi, 2007) eingesetzt. Neben diesen Verfahren existieren allgemein anerkannte Grenzwerte für ungünstige Haltungen sowie dadurch auftretende Hebelwirkung bei Lastmanipulation, die über die Intensität und den zeitlichen Verlauf der Tätigkeit zu einer Belastungsbeurteilung herangezogen werden (Caffier, Steinberg & Liebers, 1999). Aufgrund interindividueller Varianzen und einer möglichen geringeren Inter-Rater-Reliabilität bei Beobachtungsverfahren wie EAWS oder OWAS ist der Einsatz von automatisierten Bewegungsaufnahmetechniken wie das Motion-Capturing sinnvoll. Sie reduzieren den Erfassungs- und Analyseaufwand und sind hinsichtlich Validität und Reliabilität überzeugend belegt (Klippert et al., 2012; Klippert et al., 2011). Als Beispiel kann das Messsystem *Cyberman* angeführt werden: Durch in einen Ganzkörperanzug integrierte Inertialsensoren werden Bewegungen und Körperhaltungen aufgenommen. Anschließend erfolgt eine automatisierte Auswertung der Ergonomiedaten nach OWAS (Gudehus, 2009), eine direkte Rückmeldung zur ergonomischen Ausführung der Tätigkeiten erfolgt jedoch nicht.

Sardis et al. (2011) kombinieren Sensor-Netzwerke mit Multi-Agenten. Das System unterstützt Adaptivität durch die Identifizierung von ergonomischen Fehlpositionen. Kamerasensoren erfassen die von den Mitarbeitern durchgeführten Tätigkeiten inklusive der dabei verwendeten bzw. beeinflussten Objekte. Jedoch erhalten ausschließlich Workflow-Manager einen Überblick über die Aktivitäten. Mitarbeiter bekommen kein Feedback und somit auch keine Empfehlungen zu ergonomisch sinnvoller Körperhaltungen.

Zusammenfassend zeigen die verwandten Forschungsarbeiten, dass der Bereich des ergonomischen Daten-Monitorings noch Defizite aufweist. Ansätze, die ergonomische Informationen bei der Durchführung von Prozessaktivitäten berücksichtigen, setzen voraus, dass die Mitarbeiter komplexe Devices an ihren Körpern tragen, was die Bewegungsfreiheit bei der Arbeitsausführung einschränken kann. Darüber hinaus fehlt den Systemen entweder eine präventive Komponente im Sinne einer Assistenzfunktion, die den Mitarbeiter auf ergonomisch kritisches Verhalten hinweist oder es besteht keine Anbindung an Workflow-Management-Systeme (WFMS), um Maßnahmen zur Verhältnisprävention bei Arbeitsprozessen beurteilen oder ableiten zu können.

### 3. Ziele von PREFLOW

Die aus dem Stand der Wissenschaft und Technik abgeleiteten Zielsetzungen für das PREFLOW-Projekt lassen sich in allgemeine und technische Ziele unterteilen:

Die **allgemeine Zielsetzung** fokussiert zum einen auf die Sicherung der Arbeitsfähigkeit von Berufsgruppen, die einem erhöhten Risiko ausgesetzt sind, das gesetzliche Rentenalter aufgrund gesundheitlicher Einschränkungen durch physisches Fehlverhalten nicht erreichen zu können. Dazu wird die optimale Verbindung von Verhaltens- und Verhältnisprävention durch ein Assistenzsystem zur physiologisch-ergonomischen Arbeitsprozessgestaltung entwickelt, das gesetzliche wie unternehmensinterne Anforderungen in den Bereichen Arbeitsschutz und Datenschutz berücksichtigt.

Im Rahmen der **technischen Zielsetzungen** wird eine Softwarekomponente entwickelt, die eine Verknüpfung der von Mitarbeitern erfassten Ergonomiedaten mit aktuellen Prozessinformationen ermöglicht. Darauf basierend können anschließend Prozessanalysen für eine präventive Steuerung von Prozessen in Workflow-Management-Systemen (WFMS) ermöglicht werden. Neben diesem stationären Assistenzsystem zur Gefährdungsbeurteilung von Arbeitsprozessen für Workflow-Manager wird darüber hinaus ein mobiles Assistenzsystem entwickelt, das Mitarbeitern ergonomisch kritische Situationen während der Arbeitsausführung signalisiert und nach der Prozessausführung durch ein Mobile Device visualisiert.

Zur Erreichung der Projektziele wird ein konstruktionsorientierter Forschungsansatz verfolgt, der einen Erkenntnisgewinn durch die Erschaffung und Evaluierung von IT-Lösungen in Form von Theorien, Konstrukten, Modellen oder Systemen im Rahmen eines prototypischen Ansatzes anstrebt (Hevner et al., 2004; Arnott & Pervan, 2012). Die Zielsetzung liegt in der Adressierung von Anforderungen (Ergonomiedaten als Basis für 1) individuelles Feedback zu ergonomisch korrekten Körperhaltungen sowie für 2) Workflowmanager zur präventiven, ergonomiefreundlichen Gestaltung von Arbeitsprozessen) an eine spezifische Problemstellung aus dem praktischen Kontext (Simon, 1998), welche in PREFLOW die Defizite im Bereich der ergonomisch sinnvollen Gestaltung von Arbeitsprozessen und Arbeitsumgebungen umfasst.

### 4. Lösungsansatz

Die Konstruktion der intelligenten Kleidung erfolgt über integrierte Sensorstrukturen als Einlage oder integriertes Textilsystem. Die Erfassung von Daten zur Körperbewegung und -haltung werden aufbauend auf bereits bestehenden Systemen der Ergonomieanalyse über Motion-Capturing-Techniken mit Hilfe von Inertialsensoren erfolgen (vgl. Klippert et al., 2008). Weiterhin dienen in die Kleidung integrierte taktile und akustische Signalgeber zur direkten Rückmeldung ergonomisch kritischen Verhaltens des Mitarbeiters. Die erhobenen Ergonomiedaten werden mithilfe bestehender physiologisch fundierter Konzepte (OWAS oder EAWS) analysiert und bei Überschreitung von Grenzwerten oder länger anhaltenden ungünstigen Haltungen und Positionen personenbezogenen rückgemeldet. Eine Differenzierung zwischen den notwendigen physischen und den tatsächlich erbrachten Kräften wird über Drucksensoren in Form eines Handschuhs mitanalysiert. Die Größe und Kosten der Sensorik sind dabei entscheidende

Kriterien, um die Alltagstauglichkeit sowie die wirtschaftliche Verwertung zu gewährleisten.

Für die Rückmeldung ergonomisch kritischer Situationen ist eine optimale Abstimmung des Feedbacks an menschliche Bedürfnisse notwendig. Es wird ein psychologisch fundierter Ansatz zur Signalisierung über verschiedene Wahrnehmungskanäle erarbeitet, evaluiert und anschließend in die Kleidung implementiert. Dazu werden speziell die Einflüsse und Auswirkungen unterschiedlicher Arten sowie Muster von taktilen, auditiven und visuellen Feedback auf Akzeptanz und Verarbeitung überprüft. Die Nutzung von taktilen Signalen bietet in diesem Zusammenhang den Vorteil, dass eine Rückmeldung ergonomisch kritischer Positionen direkt an den betreffenden Körperregionen erfolgen kann, ohne dass eine Abwendung von der Arbeitstätigkeit erforderlich ist. Über Veränderungen der Stärke und Dauer der taktilen und auditiven Feedbackgeber können dem Mitarbeiter unterschiedliche Zustände vermittelt werden. So wird die Unterscheidbarkeit von weniger bis hin zu äußerst kritischem Verhalten deutlich. Ergänzend kann eine Visualisierung in Form einer Zusammenfassung und Bewertung der über einen bestimmten Zeitraum erfassten Ergonomiewerte wird dem Mitarbeiter über eine mobile Applikation bereitgestellt. Dabei bietet sich eine dezentrale Position des Displays in Bezug zum Arbeitsplatz auf Grund der Ablenkungswirkung an. Ein iterativer Prozess zur Gestaltung des Feedbacks garantiert eine Berücksichtigung der komplexen Einflüsse eines jeden Arbeitsplatzes sowie Mitarbeiters und erlaubt eine Anpassung an spezifische Anforderungen auch nach Fertigstellung des Assistenzsystems.

Die Ergebnisse der **Ergonomiedatenanalyse** fließen – neben der Generierung von Echtzeitfeedback für den Mitarbeiter durch haptisches Feedback und dem mobilen Endgerät – darüber hinaus in die **Arbeitsprozessanalyse** ein. Hauptadressaten der Arbeitsprozessanalyse sind Prozessverantwortliche und Workflowmanager. Über eine Schnittstelle des PREFLOW-Assistenzsystems an das WFMS des Anwendungspartners wird die Zusammenführung von Daten aus der Ergonomiedatenanalyse mit der Arbeitsprozessausführung ermöglicht. Im WFMS sind sämtliche Prozesse mithilfe der Business-Process-Modeling-Notation (BPMN) dokumentiert. Sie werden im Rahmen von PREFLOW um ergonomiespezifische Modellierungskonstrukte erweitert. Das Ziel besteht darin, den einzelnen Prozessschritten Informationen zu den Gewichten der involvierten Workflowobjekte (z. B. Werkzeuge, Arbeitsmaterialien) sowie besonderen Beanspruchungen bestimmter Körperteile zuzuordnen. Zu jedem Prozessschritt werden ergonomische Referenzwerte mit spezifischen Schwellenwerten (z. B. Abstände und Winkel der an der intelligenten Arbeitskleidung angebrachten Sensoren zueinander) hinterlegt.

Informationen zu Prozessen, wie z. B. deren Reihenfolge sowie externe und interne Profildaten der Mitarbeiter werden innerhalb eines Wissensmodells in ein einheitliches Datenformat gebracht und zueinander in Beziehung gesetzt (Di Valentin et al., 2015). Explizite Profildaten umfassen Angaben wie Gewicht, Alter, Größe oder ergonomische Vorbelastungen und werden von den Mitarbeitern selbst eingegeben. Implizite Profildaten werden mithilfe der intelligenten Arbeitskleidung erfasst und reichern das individuelle Ergonomieprofil mit zunehmendem Tragen sukzessive an. Diese semantisch aufbereiteten Informationen bilden die Grundlage für die **Wissensgenerierung** zur Gestaltung **gesundheitsförderlicher Arbeitsprozesse** und die Rückkopplung an das WFMS. So können mit zunehmender Datengenerierung Schwachstellen innerhalb der betrachteten Arbeitsprozesse identifiziert werden. Hierfür analysiert das PREFLOW-System bei

welchen Prozessschritten es besonders häufig zu ergonomischen Fehlhaltungen kommt. Auf diese Weise sollen Belastungsspitzen in Arbeitsprozessen erkannt und in künftigen Prozessen vermieden werden („präventive Workflows“). Darüber hinaus können Tendenzen hinsichtlich besonders belasteter Körperteile abgeleitet werden. Hierfür weist das System beispielsweise darauf hin, dass ein gewisser Prozentsatz der Belegschaft, der in eine bestimmte Workflowaktivität (z. B. „Kiste anheben“) involviert ist, starken Nackenbelastungen ausgesetzt ist.

Durch die Anreicherung individueller Ergonomie-Informationen von Mitarbeitern werden Workflowmanager dabei unterstützt, eine ergonomisch optimierte Steuerung von Arbeitsreihenfolgen passend zum individuellen Mitarbeiterprofil zu ermöglichen. Nachdem diese Informationen im WFMS angepasst sind, werden sie den Mitarbeitern über das mobile Endgerät angezeigt. Weiterhin erfolgt im Rahmen der Ausführung jeden Prozessschrittes automatisiert eine Bewertung nach EAWS. Sobald bestimmte Schwellenwerte über- oder unterschritten werden, werden Workflowmanager über das WFMS informiert.

Abbildung 1 zeigt das PREFLOW-System zusammenfassend auf.

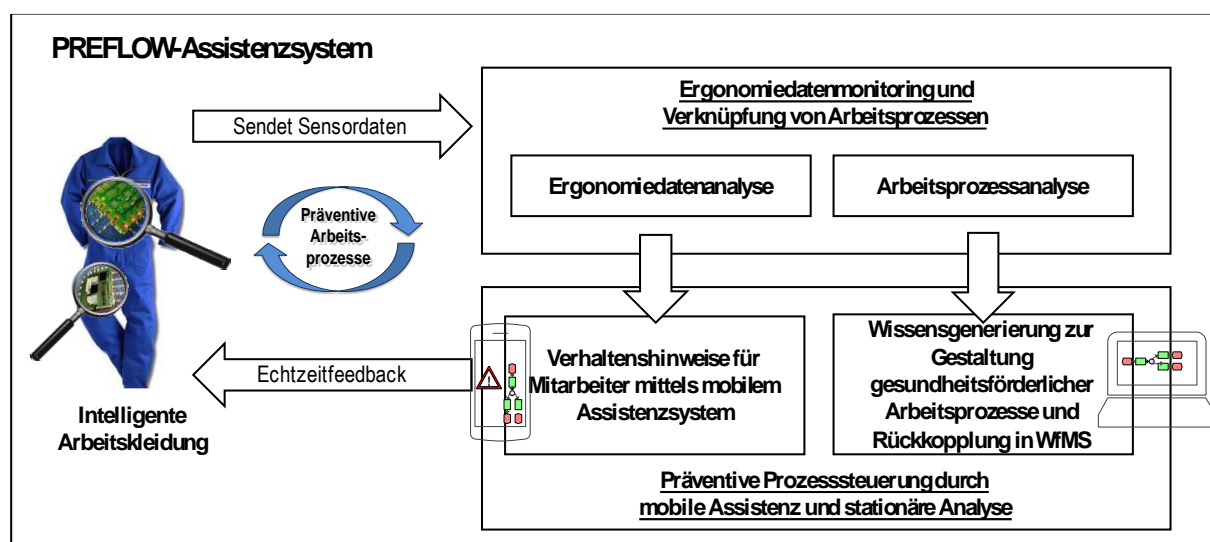


Abbildung 1: Konzeptgrafik des PREFLOW-Assistenzsystems

Für die personenbezogenen Daten, die beim Monitoring als Basis für die präventive Prozesssteuerung erhoben werden, wird ein Datenschutzkonzept erarbeitet und hinsichtlich rechtlicher Aspekte abgestimmt. Wesentlich ist, dass die Daten ausschließlich zur Verbesserung der Arbeitssituation genutzt werden.

## 5. Ausblick

Zur Unterstreichung der Machbarkeit des Ansatzes sowie auch zur Sichtbar- und Messbarmachung der Nutzenpotentiale einer präventiven Arbeitsprozessgestaltung soll das entwickelte Assistenzsystem – bestehend aus stationärer Analyse und mobiler Assistenz – in der Industrie sowohl in der Logistik als auch im Rahmen von Wartungs- und Instandhaltungstätigkeiten getestet werden. Die wissenschaftliche und wirtschaftliche Verwertung soll großen Industriebetrieben ebenso wie KMU's dienen. Die Reduzierung physischer Überbelastung dient als Erfolgskriterium. Ein erklärtes Ziel des PREFLOW-Assistenzsystems ist der Rückgang von Arbeits-

ausfällen um 9% - 12% sowie eine Verminderung der durchschnittlichen maximalen Höchstbelastung auf 60% bis 70%. Durch eine direkte Rückmeldung ergonomisch kritischer Situationen ist eine Reduzierung der Arbeitsunfälle beim Anwendungspartner zu erwarten.

## 6. Literatur

- Arnott D, Pervan G (2012) Design Science in Decision Support Systems Research: An Assessment using the Hevner, March, Park, and Ram Guidelines, *J. Assoc. Inf. Syst.*, vol. 13, no. 11, pp. 923–949.
- Behera A, Hogg D C, Cohn A G (2013) Egocentric Activity Monitoring and Recovery, in 11th Asian Conference on Computer Vision, pp. 519–532.
- Bleser G, Almeida L, Behera A, Calway A, Cohn A, Damen D, Domingues H, Gee A, Gorecky D, Hogg D, Kraly M, Maçães G, Santos L P, Spaas G, Stricker D (2013) Cognitive Workflow Capturing and Rendering with On- Body Sensor Networks (COGNITO), Kaiserslautern.
- Brussig M (2010) Erwerbstätigkeit im Alter hängt vom Beruf ab, Altersübergangs-Report 5/2010. Retrieved from [http://www.boeckler.de/22591\\_22600.htm](http://www.boeckler.de/22591_22600.htm).
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS) und Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hg.) (2012) Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2010 - Unfallverhütungsbericht Arbeit. BAUA: Dortmund, Berlin, Dresden.
- Caffier, G, Steinberg U, Liebers F (1999) Praxisorientiertes Methodeninventar zur Belastungs- und Beanspruchungsbeurteilung im Zusammenhang mit arbeitsbedingten Muskel-Skelett-Erkrankungen. Dortmund, Berlin: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Di Valentin C, Emrich A, Werth D, Loos P (2015) User-Centric Workflow Ergonomics in Industrial Environments: Concept and Architecture of an Assistance System. Proceedings of the International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI-15), December 7-9, Las Vegas.
- Eurofound (2012) Fifth European Working Conditions Survey. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Gudehus T (2009) Entwicklung eines Verfahrens zur ergonomischen Bewertung von Montagetätigkeiten durch Motion-Capturing. Kassel: Kassel Univ. Press.
- Hevner A R, March S T, Park J, Ram S (2004) Design Science in Information Systems Research, *MIS Q.*, vol. 28, no. 1, pp. 75–105.
- Karhu O, Kansil P, Kuorinka I (1977) Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. In *Applied Ergonomics* 8(4), pp. 199–201.
- Klippert J, Fritzsche L, Gudehus T, Zick J, Steck S, Ehler R, Schaub K (2008) Motion Capturing for PREFLOWive Ergonomic Assessment - Possibilities and Challenges for Practical Application. 54. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Dortmund.
- Klippert J, Gudehus T, Zick J (2012) A Software-Based Method for Ergonomic Posture Assessment in Automotive Pre-Production-Planning - Concordance and Difference in Using Software and Personal Observation for Assessments. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 22(2), 156-175.
- Klippert J, Ott A, Jennerich M (2011) Effizienz und Reliabilität eines Systems zur computerunterstützten Haltungsanalyse. 57. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, Chemnitz.
- Sardis E, Doulamis A, Matsatsinis N (2011) Sensor Networks and Multi-Agents in Industrial Workflows, *Int. J. Mach. Learn. Comput.*, vol. 1, no. 2, pp. 205–212.
- Schaub K, Ghezal-Ahmadi K (2007) Vom AAWS zum EAWS – ein erweitertes Screening- Verfahren für körperliche Belastungen. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft eV (Hrsg) Bericht zum 53. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 28.2.-2.3.2007 an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V., Dortmund: 601–604.
- Simon H A (1998) *The sciences of the artificial*, 3. Auflage. Cambridge (Massachusetts) u.a.
- Steinberg U, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.) (2012) Leitmerkalmethode Manuelle Arbeitsprozesse 2011: Bericht über die Erprobung, Validierung und Revision; Forschung Projekt F2195 Dortmund ;Berlin: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.