

# Der Mensch als Sensor im Kontext der digitalen und sensorgestützten Präventionsassistentz – Grundlagen und Anwendungsszenarien für das Bauhandwerk

*Jan-Philipp Exner, Maximilian Derouet, Dirk Werth*

(Dr. Jan-Philipp Exner, AWS-Institut für digitale Produkte und Prozesse gGmbH, jan-philipp.exner@aws-institut.de)

(Maximilian Derouet, AWS-Institut für digitale Produkte und Prozesse gGmbH, maximilian.derouet@aws-institut.de)

(Dr. Dirk Werth, AWS-Institut für digitale Produkte und Prozesse gGmbH, dirk.werth@aws-institut.de)

## 1 ABSTRACT

Das Thema der smarten und vernetzten Stadt durchdringt mittlerweile sämtliche Bereiche des gesellschaftlichen Lebens. Insbesondere auch die zunehmende Verbreitung von Wearables in der Bevölkerung ist dabei zu betrachten, was einhergehend mit der zunehmenden Relevanz des Forschungsfeldes „Humans as sensors“ für den Alltag ist. Neben vielfältigen Betrachtungen in vor allem den Feldern Mobilität und Gesundheit drängen sich jedoch auch weitere Anwendungsfelder auf. Dazu gehört insbesondere das Feld der körperlichen Arbeitsbelastung vor allem im Kontext des demografischen Wandels in arbeitsintensiven Feldern wie der Baubranche. Dortige Beschäftigte sind überproportional körperlichen Belastungen und Gefährdungen ausgesetzt und ihre Arbeiten sind oft geprägt von hoher physischer Beanspruchung. Dies ist einhergehend mit einem verhältnismäßig frühen krankheitsbedingten Ausscheiden aus dem Berufsleben. Ziel ist die Anwendung dieses thematischen Ansatzes im Rahmen des Forschungsprojektes Bauprevent, um dieser Problematik durch ein bauhandwerks-spezifisches, intelligentes Assistenzsystem in Kombination mit leichtgewichtiger und flexibel einsetzbarer Sensorik sowie künstlicher Intelligenz zu begegnen. Dazu gehört die Entwicklung eines Systems zur individuellen Belastungsabschätzung der Mitarbeiter auf der Baustelle, zur Integration der Belastungsdaten in die Arbeitsplanung des Handwerks sowie zur personalisierten Prävention von Belastungen des Handwerkers um somit ein „Belastungs-Monitoring der Belegschaft“ zu erreichen. Daneben liegt ein weiterer Fokus in der Eruierung etwaiger Einsatzpotenziale im Rahmen des gesamtstädtischen Kontextes.

Keywords: KI, Humans as sensors, Predictive health, Prozessoptimierung, Bauhandwerk

## 2 EINLEITUNG

Bereits im Jahr 2010 wurde seitens der Fachzeitschrift *The Economist* postuliert "Everything will become a sensor, and humans may be the best of all" (2010) und gerade auch für die Raumwissenschaften wurde eine umfassende Bedeutung der „Humans as Sensors“ beschrieben (Forrest, 2010). Nach knapp 10 Jahren stellt sich jedoch die Frage, wie sich diese Themengebiete entwickelt haben und vor allem welchen Einfluss durch die Entwicklungen wie Wearables oder auch die zunehmende Verbreitung von KI-Methoden zu verzeichnen sind. Während schon früh die allgemeinen Bewegungsmuster von Menschen Raum wissenschaftlich betrachtet worden sind (Calabrese et al., 2010) sind mittlerweile vor allem Betrachtungen von verkehrsmittelübergreifenden Mobilitätsmustern intensiviert worden (Kloeckl et al., 2011). Der Einsatz von Wearables in Ergänzung dazu erlaubt zudem die Miteinbeziehung physiologischen Aspekten zur Abbildung des körperlichen Empfindens. Jedoch lassen sich auch weitergehende Anwendungsfelder indentifizieren, so etwa im Rahmen des Monitorings der Belastung auf Einzelpersonen in spezifischen Situationen. In Ergänzung zu Stadt- und Raumplanung eröffnen sich hier beispielsweise im Bausektor im Rahmen der Erfassung körperlicher Beanspruchungen vielfältige Anwendungsfelder. Dies betrifft das Wohlbefinden des einzelnen Arbeiters in Verbindung mit präventiven Maßnahmen, als auch die gesamtbetriebliche Perspektive. Die Darstellung der Belastung für Einzelpersonen aber auch größere Gruppe stellt daher für die Arbeitsbetriebsplanung ein noch nicht hinreichend untersuchtes Forschungsfeld dar. Das Projekt Bauprevent versucht dabei, diese Lücke zu schließen und entsprechende Methoden zu entwickeln, die Belastungen zielgerichtet zu erfassen als auch die Planung der Humanressourcen über ERP (Enterprise Ressource Planning) auf Baustellen abzubilden. Aufbauend darauf werden präventive Maßnahmen abgeleitet. Der Bedarf hierfür stellt sich als beachtlich dar, denn aufgrund der immensen körperlichen Belastungen im Bausektor ist die Zahl der Arbeitsunfälle enorm, während im gleichen Kontext nur etwa die Hälfte aller Betriebe eine darauf angepasste Betriebsplanung einsetzt und präventiv tätig ist (BAUA, 2016). Basierend auf diesen Erkenntnissen werden weitere potenzielle Einsatzfelder im gesamtstädtischen Rahmen erörtert.

### 3 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Die Betrachtung des Menschen als Sensoren im Rahmen der Raum- und Stadtplanung ist vor allem durch die technologischen Entwicklungen und Verbreitung im Bereich der mobilen Kommunikationsgeräte als auch durch Wearables bedingt. Das nachfolgende Kapitel legt dar, in wieweit entsprechende Ansätze bereits im Kontext der räumlichen Planung zur Erfassung von Bewegungsmustern als auch Vitaldaten angewendet werden.

#### 3.1 Menschen als Sensoren in der räumlichen Planung

Gerade mit der Weiterentwicklung von Sensortechnologien ist die räumliche Planung mit der Tatsache konfrontiert, dass kontinuierlich neue Techniken und Methoden entwickelt werden, die für den Forschungskontext relevant sein können. Der Einfluss dieser Daten kann sich auf eine Vielzahl von relevanten Bereichen beziehen, wie z.B. Infrastruktur, Mobilität oder Klima. Primär geht es bei der Betrachtung des Menschen als Sensoren jedoch darum, den Menschen als einzelne Sensoreinheit im urbanen Raum zu betrachten und gleichzeitig auch seinen Einfluss und die Wahrnehmung in Bezug auf seine Umgebung zu interpretieren. Daneben lässt sich feststellen, dass die Grenzen zwischen verschiedenen Geräteklassen zunehmend verschwimmen und eine Unterscheidung zwischen "Sensoren", "Computern" und "mobilen Kommunikationsgeräten" immer schwieriger wird. Der Einfluss etwa auch auf Raum- und Stadtplanung wird als umfassend beschrieben (Exner, 2013). Ergänzend erlaubt die Einbeziehung von Vitaldaten in Echtzeit eine weitere Betrachtungsebene hinsichtlich des aktuellen körperlichen Empfindens in Echtzeit. Als Ergebnis von den Entwicklungen der letzten Jahre, vom "Ubiquitous Computing" hin zum "Allroundsensor", kleine, vernetzte, flexible Sensoren (z.B. Smartphones) bilden die Grundlage für allgegenwärtige Sensorikansätze von urbanen Gebieten (Martino et al., 2010). Goodchild etwa bezieht sich im Hinblick auf dieses Phänomen auf den Begriff „citizens as Sensors“ (2007). Andere Autoren verwenden den Begriff "Humans Centric Urban Sensing" (Campbell et al., 2006, 2008) oder einfach "Urban Sensing" (Cuff, Hansen and Kang, 2008). Die Beschreibung der Methoden der bezüglich der Humans/Peoples as Sensors wurden bereits ebenfalls umfassend untersucht (Resch et al., 2011), auch in Kombination mit der Erfassung urbaner Emotionen (Zeile et al., 2015).

#### 3.2 Sensoren zur Erfassung personenspezifischer Vitaldaten

Neben der Erfassung reiner Bewegungsdaten sind aufgrund der technologischen Möglichkeiten natürlich zusätzlich einzelpersonenspezifische Erfassung von etwa Belastungen von höchstem Interesse für die Forschung. Mitarbeiter im Handwerk stellen dabei eine prädestinierte Gruppe dar, da sie sind generell hohen körperlichen Belastungen und Gefahren ausgesetzt. Entsprechend hoch sind die Krankheits- und Unfallquote, was dazu führt, dass Mitarbeiter aufgrund von Krankheiten vorzeitig aus dem Unternehmen ausscheiden. Der daraus resultierende Produktivitätsverlust im Rahmen der Bauwirtschaft ist dabei enorm, denn die Bauwirtschaft die Zahl der Arbeitsunfälle ist mit rund 100.000 im Jahr 2017 enorm (Presseportal, 2019).

Die physikalische Belastungserkennung wird mit einer Vielzahl von Methoden realisiert, von denen viele Sensoren oder sogar visuelle Systeme beinhalten (Brandl et al. 2016). Im Rahmen des Projektes besteht ein Ziel darin, dass der Nutzer möglichst wenige Sensoren trägt und die Bewegungsmuster aus den entsprechenden Körpermodellen abgeleitet werden können, da der Einsatz für die Anwendung an der Baustelle optimiert sein muss. Konventionelle, übliche analytische Ansätze zur Berechnung von physikalischem Stress aus Kinetik und Kinematik sind jedoch sehr kostenintensiv und können daher nicht ohne weiteres in Echtzeit durchgeführt werden. Darüber hinaus schränkt der Einsatz so vieler Sensoren die Bewegungsfreiheit der am Bau tätigen Handwerker enorm ein, was zu einer geringeren Praktikabilität und Akzeptanz führt.

Ziel im Rahmen des Projektes ist es, ein solches System zu entwickeln, das leicht ist und somit ohne größere Beeinträchtigungen am Arbeitsplatz eingesetzt werden kann, so dass die Mitarbeiter das System akzeptieren. Gleichzeitig soll es aber auch weiterhin hoch valide Ergebnisse liefern und die am Bau tätigen Handwerker dabei unterstützen, ihr Gesundheitsbewusstsein zu schärfen. Eine weitere Funktionalität besteht darin, im betrieblichen Einsatz bei einer ungesunden Position den entsprechenden Mitarbeiter direkt in Echtzeit zu warnen. Darüber hinaus verwendet ein Planungstool die erfassten Aktivitäten der Mitarbeiter, um einen

intelligenten Zeitplan mit effizientem Ressourceneinsatz im Sinne der Betriebsplanung (ERP) zu verwirklichen, und das mit möglichst minimaler körperlicher Belastung.



Abbildung 1: Verwendete Sensoren (grün) und nicht verwendete Sensoren für das motion-tracking (Eigene Abbildung, basierend auf Menacci, 2019)

Die tägliche Arbeit im Bauhandwerk ist geprägt von Ganzkörperbelastung. Exemplarisch misst und wertet der konzipierte Ansatz die Belastungen aus, die für Handwerker bei der täglichen Arbeit entstehen. Ziel dabei sind im Endeffekt gesündere Mitarbeiter und ein geringeres Verletzungsrisiko, was auch den Firmen aus betriebswirtschaftlicher Sicht zu Gute kommt. Das Ziel liegt deshalb auch darin, ein praxistaugliches System zur individuellen echtzeitgestützten Analyse der Belastung auf einer Baustelle zu entwickeln, um Gesundheitsschäden durch die individuelle, direkte und genaue Berücksichtigung sowie durch ein Empfehlungssystem kurz-, mittel- und langfristig vermeiden zu können. Dies ist vor allem von Relevanz, da sich Handwerker wie Maler beispielsweise oft in Situationen befinden, in den sie oft ihre Arme über den Kopf heben müssen, um die oberen Teile einer Wand oder der Decke zu erreichen. Dies führt zu einem erhöhten Risiko von Verspannungen im unteren Rückenbereich welchen präventiv vorgebeugt werden soll. Neben den physischen Stressfaktoren können zudem weitere Risiken identifiziert werden. Dazu gehören grundsätzlich auch psychischer und sozialer Stress sowie Belastungen aus der direkten Umgebung (z.B. Lärm, Gefahrstoffe). All diese Faktoren können jedoch wiederum zu körperlichem Stress führen und wirken somit indirekt auf das körperliche Wohlbefinden ein.

#### 4 METHODISCHE HERANGEHENSWEISE

Die methodische Herangehensweise legt dar, in wieweit Methoden zur sensorbasierte Belastungsmessung eingesetzt werden als wie Machine Learning zur Erstellung der Belastungsmodelle verwendet wird.

##### 4.1 Sensorbasierte Belastungsmessungen

Um die zuvor dargelegte Problemstellung zu lösen, wird eine Methode eingesetzt, die als Hardware nur einen Teil der sonst in Motion-Capturing-Systemen zu Grunde liegenden rund 20 IMU-Sensoren nutzt (siehe Abbildung 1). Als IMU-Sensoren werden hierbei Sensoren bezeichnet, die Beschleunigung messen. Da eine Beschleunigung physikalisch gesehen die zweifache Ableitung des Ortes ist, lässt sich der Ort, an dem der Sensor platziert ist durch zweimalige numerische Integration ermitteln. Voraussetzung dafür, dass dieses Verfahren brauchbare Resultate liefert ist jedoch, dass die Sensordaten möglichst wenig Rauschen enthalten, da sich dieses durch das integrieren aufsummieren würde. Ein System, das z.B. 17 IMU-Sensoren für das Erfassen einer Körperposition nutzt, wird etwa von der Firma Xsense (Xsense MVN Awinda) entwickelt. Wie bereits erwähnt wollen wir die Zahl der Sensoren deutlich reduzieren. Entsprechend werden im Projekt anstatt der 17 IMU-Sensoren nur 6-7 IMU-Sensoren genutzt. Um die Grundvoraussetzungen zu schaffen die für die Belastungsabschätzung notwendig ist, ist es sinnvoll Daten von den rund 20 IMU-Sensoren vorliegen zu haben. Entsprechend führen wir eine auf Machine Learning basierende Extrapolation durch, die die Daten, die die fehlenden Sensoren generieren würden simuliert. Die Wahl der 6-7 IMU-Sensoren ist auch so getroffen, dass diese Extrapolation besonders gut funktioniert. So ist z.B. an jeder Extremität ein Sensor platziert. Sobald wir die Extrapolation vorliegen haben können wir anschließend ein kinematisches Modell

(CUELA) zu generieren. Dieses vom Deutschen Institut für Arbeitssicherheit entwickelte System beschreibt eine Bewertung der muskuloskelettalen Belastung bei körperlich anstrengenden Bewegungen. Diesbezügliche Projekte (Ellegast, 2013) zeigen in diesem Rahmen vielversprechende Ergebnisse bei der automatischen Analyse von Körperhaltungen des Benutzers. Allerdings weisen diese Verfahren noch erhebliche Unzulänglichkeiten auf, die den Einsatz am Arbeitsplatz nicht ohne Weiteres zulassen.

Zur Belastungsmessung im Speziellen ist in Deutschland die so genannte "Leitmerkmal-Methode" (BAUA, 2001) weit verbreitet, um einen Stressfaktor für bestimmte Aufgaben zu bewerten. Sie konzentriert sich auch auf die Haltung und die getragenen Gewichte und berücksichtigt zusätzlich die Häufigkeit einer Bewegung und bestimmte Einschränkungen der Bewegungsfreiheit. Ein numerischer Wert, der vier Merkmale in die Berechnung einbezieht, symbolisiert den ermittelten Stressfaktor und ermittelt, ob Handlungsbedarf besteht. Positionsverfolgung und physikalische Belastungserkennung werden mit einer Vielzahl von Methoden realisiert, von denen viele Sensoren oder sogar visuelle Systeme beinhalten. Ein einfaches System, das nur wenige, auf der Rückseite eines Benutzers angebrachte Smartphone-Sensoren verwendet, überwacht den Biegewinkel des Rumpfes und benachrichtigt bei Überschreitung eines Schwellenwertes (Lietz, 2016). Im Rahmen dieses Projektes werden die Auswirkungen der Arbeitsbelastung auf den ganzen Körper berücksichtigt, die natürlich eine Verteilung der IMU-Sensoren auf alle Körperregionen erfordert. Als Referenzmodell wird dabei eine Verteilung von zwanzig IMU-Sensoren vorgesehen (siehe Abb. 1), welches ermöglicht, Kinetik und Kinematik durch Bereitstellung eines zugrundeliegenden Körpermodells analytisch zu berechnen. Im Rahmen des Projektes wird eine Beschränkung auf sieben IMU-Sensoren durchgeführt, um zwischen der Praktikabilität und der Genauigkeit der Zustandsbewertung einen bestmöglichen Kompromiss zu erzielen. Um die Kinetik zur Erfassung der Bewegungen in Echtzeit zu berechnen, wird ein maschineller Lernansatz verwendet. Die Funktionen, die für diesen herangezogen werden, beinhalten nicht nur die Rohdaten der IMUs und ergänzenden Technologien wie etwa Drucksohlen, sondern auch ein Körpermodell. Die Erkennung von körperlichem Stress mit dem vorliegenden Satz von Sensoren beschäftigt sich als Grundlage für die Echtzeit-Alarmierung. Sobald das System in der Lage ist, diese Erkennung für jedes einzelne Körpersegment durchzuführen, kann ein Vergleich mit einem Schwellenwert verwendet werden, um die Person zu warnen, die ungesunde Positionen einnimmt. Zwar lässt sich so die grundlegende Situation erfassen, aber um zufriedenstellende Ergebnisse zu erhalten, werden andere Informationen neben physischer Belastung in einem isolierten Moment benötigt, wie z.B. der individuelle physische Zustand des Probanden. Die sensorerfasste Belastungsmessung kann deshalb auch dazu genutzt werden, um den Bauarbeitern nach ihrem Arbeitstag entsprechende Entlastungsübungen vorzuschlagen, um so durch diesen präventiven Ansatz eine höchstmögliche Produktivität aus Betrachtung von Gesundheitsaspekten der Handwerker zu ermöglichen.

#### **4.2 Machine Learning zur Erstellung der Belastungsmodelle sowie zur Optimierung von Arbeitseinsatzplanung**

Eine ressourceneffiziente Planung stellt einen inkrementellen Teil der Projektplanung dar und ist für die wirtschaftliche Grundlage eines Unternehmens unerlässlich. Die typischen Parameter, um einen solchen Zeitplan zu finden, sind nicht nur auf den jeweiligen Arbeitsschritt selbst beschränkt. Ergänzend dazu sind es Zeitdauer sowie der Verbrauch sonstiger erneuerbarer oder nicht erneuerbarer Ressourcen. Diese Informationen umfassen die auszuführenden Aufgaben und deren Abhängigkeiten sowie die Fachkräfte, die in der Lage sind, die Aufgaben auszuführen. Die entwickelte Sensorplattform liefert zudem Zeitreihen für die körperliche Belastung der Arbeiter. Dadurch wird ermöglicht, einen Zeitplan zu erstellen, der die allgemeine körperliche Belastung der Bauarbeiter auf der Baustelle reduziert. Dieser Zeitplan berücksichtigt insbesondere die individuelle Historie und stellt zusätzlich sicher, dass bestimmte Einschränkungen wie die Erledigung von Aufgaben mit hoher Priorität erfüllt werden. So kann körperlicher Stress durch physische Belastung vermieden werden, bevor er überhaupt auftritt. Zudem ist es im Rahmen des Projektes möglich, auch eine Integration der obligatorischen Gefährdungsbeurteilung an Baustellen durchzuführen. Diese führen nicht aller Arbeitgeber in einen vollständigen Prozess durch, welcher vorwiegend manuell durchgeführt wird und eine Überprüfung der Wirksamkeit nach den Tätigkeiten erfordert.

Dies geschieht über eine Matrix, die alle Mitarbeiter mit allen Aufgaben kombiniert - und jeder Mitarbeiter-Aufgaben-Kombination einen spezifischen Stresswert zuweist. Je höher dieser Wert, desto schädlicher ist die jeweilige Aufgabe, wenn sie von genau diesem Arbeiter ausgeführt wird. Unter Berücksichtigung dieser

Zahlen muss das übergeordnete Ziel, die Gesamtzeit der Arbeiten zu minimieren, so angepasst werden, um auch die körperliche Belastung aller Mitarbeiter zu minimieren. Dadurch wird der Einsatz problemspezifischen Heuristiken wie Mixed Integer Linear Programms oder HTN-Planners notwendig. Die eigentliche Herausforderung besteht jedoch darin, eine Kostenmatrix zu erstellen, um Merkmale von Aufgaben zu finden, die bestimmte Teile des menschlichen Körpers belasten. Die Arbeitnehmer müssen dann dahingehend analysiert werden, um Aufgaben zu finden, die für sie besonders schädlich sind. Eine Möglichkeit, dies zu tun, besteht darin, Körperprofile manuell zu erstellen und wahrscheinliche ungesunde Bewegungen abzuleiten, die im Widerspruch zu normalen Körperbewegungen einer Person stehen. Der zweite Ansatz verwendet einen Lernalgorithmus, um diese Werte zu finden. Für diesen Ansatz werden jedoch viele Daten benötigt, so dass zuverlässige Werte erst im Laufe der Zeit gefunden werden können.

## 5 DISKUSSION

Die Einsatzmöglichkeit sensorgestützter Erfassungen für die Präventionsassistenten erlaubt vielfältige Anwendungsbereiche im Rahmen der im Projekt ermittelten Themengebiete. Darüber hinaus lassen sich die Ansätze und Methoden aber auch weitere Einsatzfelder im gesamtstädtischen Kontext, wie in nachfolgendem Kapitel erläutert wird.

### 5.1 Weitere Einsatzmöglichkeiten der Präventionsassistenten

Das im Rahmen von BauPrevent konzipierte Präventionsgesundheitssystem widmet sich nicht nur technologischen Fragen, sondern muss auch sozioökonomisch und ethisch bewertet werden. Im Kontext der sozioökonomischen Betrachtung ist wichtig, dass ein solches System nicht zu kostenintensiv ist und natürlich von den entsprechenden Nutzern akzeptiert wird. Gerade im Bauhandwerk ist dieser Punkt von elementarer Bedeutung, da er nur sachgemäß eingesetzten Gerätschaften auch die benötigten Ergebnisse produzieren können. Um diesem Anspruch zu genügen werden im Rahmen des Projektes vorwiegend frei verfügbare Sensoren verwendet und eine dezidierte Akzeptanzstudie durchgeführt. Dies wird im Rahmen einer umfassenden Erprobung evaluiert um daraus entsprechende Iterationen und eventuelle Forschungsbedarfe abzuleiten. Vorteile aus Sicht des Arbeitgebers sind dabei auch zu verzeichnen, nämlich im Rahmen einer möglichen Aktivitätsverfolgung zur automatisierten Erstellung von Zeiterfassungsdaten zur Optimierung der innerbetrieblichen Ressourcenplanung im Rahmen eines ERPs. Zusätzlich kann in ergänzenden Forschungsfragen die Möglichkeit zur Identifizierung von Problemstellen auf Baustellen (hohe Unfallwahrscheinlichkeit, hohe körperliche Beeinträchtigungen etc.) betrachtet werden, um im Rahmen eines umfassenden Sicherheitsmanagements auf einer Baustelle die bestmögliche Planung der Arbeiter zu gewährleisten. Neben dem präventiven Einsatz eignet sich der dargestellte Modellansatz perspektivisch auch dazu, Assistenzsysteme zu konzipieren, welche zur Unterstützung bei entsprechenden Arbeiten von Nutzen sind (z.B. robotische Systeme).

### 5.2 Weitere potenzielle Einsatzfelder im gesamtstädtischen Kontext

Der im Rahmen des Projektes Bauprevent dargestellte Konzeptansatz beschreibt einen Usecase, welcher sich auf eine begrenzte Personengruppe an einem einzelnen Ort bezieht. Als weiterführendes Forschungspotenzial stellt sich die Ausweitung der Untersuchungen auf größere Personengruppen dar, welche sich zudem ortsunabhängig voneinander bewegen können. Deshalb bietet die strukturierte Erfassung von Vitaldaten- und Belastungsdaten vielfältige weitere Anwendungsmöglichkeiten im gesamtstädtischen Kontext. So lässt sich die betriebliche Betrachtung des auch etwa auf großmaßstäbliche Einsatzszenarien übertragen. Dies kann neben großen Industriebetrieben auch der Einsatz beispielsweise bei privaten oder städtischen Firmen von Ver- und Entsorgung, als auch für Stadtwerke sein. Denkbar wären hier etwa Anwendungen im Rahmen städtischer Dienste, wie etwa von Mitarbeitern der Müllabfuhr oder des Grünamtes bei der Pflege der jeweiligen Einsatzbereiche. Auch die Verwendung bei großen Infrastrukturprojekten beziehungsweise Großbaustellen ist hier aufzuzählen. Aufgrund dieses potenziell weiten Einsatzfeldes gerade auch mit den Kombinationsmöglichkeiten zu sonstigen städtischen Diensten lassen sich hier in Zukunft weitreichende neue Einsatzfelder erwarten. Vor allem der Einsatz der Präventionsassistenten lässt sich hier als sehr vielversprechend charakterisieren, insbesondere vor dem Hintergrund eines gerade im Bauhandwerk durch demografische Faktoren zunehmenden Durchschnittsalters. In Ergänzung zum beschriebenen Ansatz wäre hier im räumlichen Kontext vor allem die ergänzende Ortskomponente von größter Wichtigkeit, was sich jedoch durch entsprechende Technologien wie etwa

GPS-Sensoren oder Beacons ohne Problem auf den verschiedenen Maßstabsebenen realisieren ließe. Auch die potenzielle Echtzeitbetrachtung wäre dabei eine sinnvolle Ergänzung, gerade zur dezidierten Planung komplexer Aufgaben mit heterogener Ausgestaltung der Humanressourcen. Parallel dazu hat sich in letzter Zeit die Bereitschaft vergrößert, über Bottom-Up-Ansätze humansensorische Daten zu erfassen, zu teilen und zu analysieren, was vor allem über das Teilen von Orts- und Vitaldaten in Social Communities im Web geschieht. In Verbindung mit den dargestellten Ansätzen ergeben sich in Zukunft vielfältige Anwendungsfelder, sei es zur Erstellung von Mobilitätsmustern oder etwa auch im Rahmen experimenteller Ansätze, wie etwa im Rahmen der emotionalen Stadtkartierung zum Zwecke stadtplanerischer Fragestellungen (Zeile, Streich and Exner, 2009). Jedoch entstehen in diesem Kontext auch entsprechende Geschäftsmodelle, welche sich mit der Monetarisierung von entsprechenden Daten beschäftigen. Bottom-Up-generierte Fitness oder Bewegungsdaten können etwa genutzt werden, um den Tarif der Krankenkasse oder Kfz-Versicherung zu beeinflussen. Diesbezüglich wird eine transparente Diskussion notwendig sein, welche maßgeblich die zukünftige Bereitschaft der Nutzung solcher Technologien durch die Nutzer beeinflusst.

## 6 FAZIT UND AUSBLICK

Die Betrachtung im Rahmen des Projektes hat gezeigt, dass sich bei der Betrachtung des Menschen als Sensoren aufgrund der technologischen Entwicklung eine Vielzahl an neuen Anwendungsszenarien aufgetan hat, die teilweise schon konkret in der Praxis implementiert werden können. Dieser Beitrag erläutert dabei einen Ansatz, wie das Projekt BauPrevent ein präventives Gesundheitssystem für das Handwerk implementiert. Durch die Benutzung von Wearables und die damit zusammenhängende Fähigkeit von Echtzeitalarmierung kann der jeweilige Belastungszustand beziehungsweise das Gesundheitsniveau überwacht werden und dessen Daten zur Generierung von effizienten Arbeitsplänen genutzt werden. Neben den bereits dargelegten Vorteilen dieses Ansatzes bietet die Bauprevent-Methode durch die Einzelpersonen sowie tätigkeitsbezogene zeitgenaue Erfassung darüber hinaus auch die perspektivische Möglichkeit, potenzielle Gefahren- und Stress näher zu spezifizieren und dadurch in Ergänzung zu retrospektiven Ansätzen die Einsatzplanung auch im Vorfeld zu optimieren, um etwaige Stress- und Gefahrensituationen zu erkennen. Neben der reinen Fokussierung auf das Handwerk und den körperlichen Stress können wearable-gestützte Konzepte zur präventiven Belastungsabschätzung in Zukunft auch bei anderen Aufgaben wie etwa städtischen Dienste eingesetzt werden. Jedoch beinhaltet dies doch weiterführende Forschungsarbeiten, gerade im komplexen Wirkungsfeld von der Erfassung sowie Interpretation von Vitaldaten gerade im Hinblick der Ansprüche des Datenschutzes und ethischer Aspekte. Diese Fragestellung sind inherent für dieses Forschungsfeld, denn nur bei einer umfassenden und transparenten Betrachtung kann eine entsprechende Akzeptanz erreicht werden und das volle Potenzial des Menschen als Sensoren gewinnbringend genutzt werden.

## 7 DANKSAGUNG

Der vorliegende Beitrag entstand im Rahmen des Vorhabens BauPrevent und wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Arbeit: Mittelstand - innovativ und sozial“ mit der Referenznummer 02L17C011 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Europäischen Sozialfonds der Europäischen Union gefördert.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Europäische  
Union

Zusammen.   
Zukunft.  
Gestalten.

## 8 REFERENCES

- BAUA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin). Leitmerkmalmethode zur Beurteilung von Heben, Halten, Tragen, 2001.
- BAUA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin). Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit – Berichtsjahr 2016 - Unfallverhütungsbericht Arbeit Sicherheit und Gesundheit, 2016f

- BRANDL, C. BONIN, D. MERTENS, A., WISCHNIEWSKI, A. and SCHLICK, C. "Digitalisierungsansätze ergonomischer Analysen und Interventionen am Beispiel der markerlosen Erfassung von Körperhaltungen bei Arbeitstätigkeiten in der Produktion." 70, 89–98, 2016.
- CALABRESE, F., COLONNA, M., LOVISOLO, P., PARATA, D., RATTI, C.. 'Real-time urban monitoring using cell phones: A case study in rome', Ieee Transactions on intelligent Transportation System. Boston, 2010.
- CAMPBELL, A. T., EISENMANN, S., LANE, N., MILUZZO, E. and PETERSON, R. 'People-Centric Urban Sensing', in Second ACM/IEEE Annual International Wireless Internet Conference (WICON 2006). Boston, pp. 1–14, 2006.
- CAMPBELL, A. T., EISENMANN, S., LANE, N., MILUZZO, E. and PETERSON, R. 'The Rise of People-Centric Sensing', IEEE Internet Computing Special Issue on Mesh Networks. Columbia University, New York, NY, USA. \*Dartmouth College, Hanover, NH, USA., pp. 1–12, 2008.
- CUFF, D., HANSEN, M. and KANG, J. 'Urban sensing: out of the woods', Communications of the ACM. ACM, 51(3), pp. 24–33, 2008.
- ELLEGAST, Rolf. "Messung von Muskel-SkelettBelastungen Mit Dem CUELA-Messsystem." 50–51, 2013.
- EXNER, J.-P. *Smarte Planung: Ansätze zur Qualifizierung eines neuen Instrumenten- und Methodenrepertoires im Rahmen von Geoweb, Raumsensorik und Monitoring für die räumliche Planung*. 1. Auflage. Göttingen: Sierke, 2013.
- FORREST, B. 'Humans As Sensors | LBx Journal', lbxjournal.com. Edited by N. Légere. Denver, 2010.
- GOODCHILD, M. F. 'Citizens as sensors: the world of volunteered geography', GeoJournal, 69(4), pp. 211–221, 2007.
- KLOECKL, K., SENN, O., DI LORENZO, G. and RATTI, C.. 'LIVE Singapore! - An urban platform for real-time data to program the city', MIT Senseable City Lab Working Paper. Boston, pp. 1–17, 2011.
- LIETZ, Rainer. "CUELA-Feedback: Körperhaltungs-Check mit dem Smartphone", 2016.MENCACCI, Jacopo. Skeleton. In: Noun Project. Abrufbar unter: <https://thenounproject.com/term/skeleton/191831/>, 2019.
- MARTINO, M., BRITTER, R., OUTRAM, C., ZACHARIAS, C., BIDERMAN, A. and RATTI, C. 'Senseable City - Digital Urban Modelling and Simulation', MIT Senseable City Lab Working Paper. MIT Senselable Citylab, pp. 1–15, 2010.
- PRESSEPORTAL. Bauwirtschaft: Arbeitsunfälle auf Baustellen rückläufig - Alarmierende Zahlen bei den tödlichen Unfällen. Aufrufbar unter: <https://www.presseportal.de/pm/60172/4050431>, 2019.
- RESCH, B., MITTELBÖCK, M., KRANZER, S., SAGL, G., HEISTRACHER, T. and BLASCHKE, T. "'People as Sensors" mittels personalisierten Geo-Trackings - Angewandte Geoinformatik 2011 - Beiträge zum 23ten AGIT-Symposium', in Angewandte Geoinformatik 2011 - Beiträge zum 23ten AGIT-Symposium. Salzburg: Wichmann Fachmedien, pp. 682–687, 2011.
- SIEGELE, L. (2010) 'Sensors and sensibilities', In: The Economist, Abrufbar unter: <https://www.economist.com/special-report/2010/11/04/sensors-and-sensibilities>, 2010.
- ZEILE, P., STREICH, B. and EXNER, J.-P. (2009) 'Human as sensors? The measurement of physiological data in city areas and the potential benefit for urban planning', in Proceedings 11th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM) . Hong Kong, 2009.
- ZEILE, P., RESCH, B., DÖRRZAPF, L., EXNER, J.-P., SAGL, G., SUMMA, A., and SUDMANN, M. 'Urban Emotions – Tools of Integrating People's Perception into Urban Planning', Proceedings of the 20th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society Tagungsband. 2015.