

Messung von Arbeitsumweltfaktoren für Jedermann mittels Smartphone

Michael SPITZHIRN¹, Torsten MERKEL², Angelika C. BULLINGER¹

¹ *Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, Technische Universität Chemnitz, Erfenschlager Straße 73, D-09125 Chemnitz*

² *Professur Arbeitswissenschaft, Westsächsische Hochschule Zwickau, Äußere Schneeberger Straße 13-18, D-08056 Zwickau*

Kurzfassung: Smartphones sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzu-denken. Der Einsatz dieser Kleincomputer findet auch einen immer stärkeren Einsatz im industriellen Kontext. Die stetige Weiterentwicklung der Funktionalität sowie der eingebauten Sensoren in den Geräten lässt neue Einsatzszenarien entstehen. Eine Möglichkeit stellt die Messung von Arbeitsumweltfaktoren mit Hilfe geeigneter Applikationen auf Smartphones dar.

Das vorliegende Papier fasst die Untersuchungsergebnisse zu Messmöglichkeiten sowie -genauigkeiten bei der Erfassung der Arbeitsumweltfaktoren Lärm, Klima und Beleuchtung mit Hilfe von Smartphones zusammen. Im Rahmen der Studie wurden u.a. Messabweichungen zwischen verschiedenen Applikationen sowie auf Smartphones im Bereich der Schallpegelmessung bestimmt.

Schlüsselwörter: Applikationen (Apps), Arbeitsumweltfaktoren, Beleuchtungsstärkemessung, Lärmmessung, Klimamessung

1. Einführung

Für eine ergonomische Gestaltung von Arbeitsprozessen ist eine Untersuchung von Arbeitsumweltfaktoren, wie bspw. Lärm, Klima oder Beleuchtung wichtig. Arbeitsumweltfaktoren können sich in vielfältiger Weise auswirken. So kann eine ungünstige Lärmexposition zu einer Lärmschwerhörigkeit nach BK 2301 oder einer Leistungsminderung führen (Sust, 1987). Um negative Folgen zu verhindern, ist eine Gestaltung der Arbeitsumwelt vorzunehmen. Hierzu sind Messungen durchzuführen.

Bei der Messung und Beurteilung von Arbeitsumweltfaktoren ist ein verstärkter Einsatz von Smartphones als universelles Messmittel in Unternehmen zu beobachten. Insbesondere Personen, die mit Entscheidungs-, Planungs- und Leitungsfunktion betraut sind, werden vom Unternehmen mit entsprechender Technik ausgerüstet.

Um eine hohe Güte der Messung zu erreichen, müssen die eingesetzten Messgeräte über eine entsprechende Messgenauigkeit verfügen (EN ISO 9612:2009).

Mit der Fragestellung der Einsatzfähigkeit von Lärm-Applikationen auf Smartphones für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen haben sich u.a. Kardous & Shaw (2014) beschäftigt. Sie untersuchten hierzu 130 IOS und 62 Android Applikationen. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass ausgewählte Applikationen zur Schallpegelmessung durchaus einsetzbar sind. Diese Studienergebnisse werden durch den Einsatz von Smartphones bei der Erfassung von Lärmdaten in Forschungsprojekten, wie „Earphone“ (Rana et al. 2014) oder „NoiseTube“ (Maisonnette et al. 2010), untermauert.

Im Rahmen der vorliegenden Studie werden Messmöglichkeiten und -genauigkeit von Applikationen zur Erfassung der Arbeitsumweltfaktoren Lärm, Beleuchtung und Klima untersucht. Es wird ein Schwerpunkt auf den Einsatz von Applikationen auf verschiedenen Smartphones gelegt. Dazu werden sowohl Analysen zu ereignisbezogenen wie auch frequenzabhängigen Messabweichungen von Schalldruckpegeln, der Betrachtung der Beleuchtungsstärke sowie klimabezogenen Maßen, wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit, vorgenommen. Im Rahmen des Beitrages kann nur ein Auszug der Ergebnisse präsentiert werden.

2. Vorbetrachtung

Zur Eingrenzung des Betrachtungsfeldes wird sich zuerst mit der eingebauten Sensorik und deren Einsetzbarkeit für ergonomische Analysen beschäftigt. Die nachfolgende Abbildung zeigt die für die Messung von Arbeitsumweltfaktoren in Frage kommende Sensorik sowie deren möglichen Verbauort.

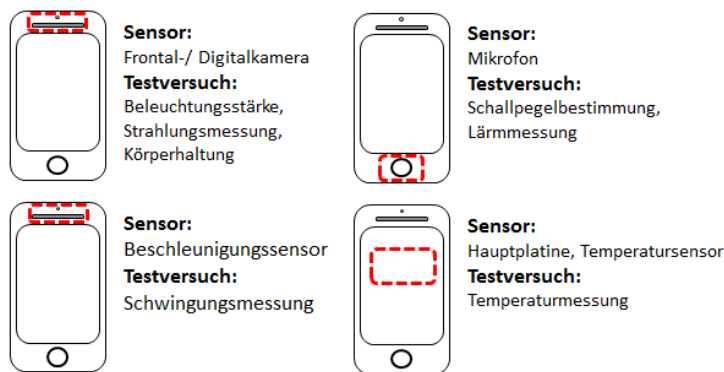


Abbildung 1: Sensoren eines Smartphones zur Analyse der Arbeitsumgebungsbedingungen

Mit Hilfe der eingebauten Sensoren lassen sich u.a. folgende Anwendungsbereiche für eine ergonomische Arbeitsumweltanalyse identifizieren:

- Bestimmung des Schalldruckpegels (Lärmbeurteilung) mit internem oder externem Mikrofon,
- Ermittlung der Beleuchtungsstärke als beleuchtungstechnische Größe,
- Bestimmung der klimatischen Umgebungsbedingungen mit Hilfe von internen Sensoren sowie externem Zubehör.

Zu den einzelnen Arbeitsumweltfaktoren gibt es eine Vielzahl von verfügbaren Applikationen. Um die Anzahl an zu untersuchenden Applikationen einzuschränken, wird sich auf Anwendungen mit einem hohen Ranking in Bezug auf die Nutzerbewertung und Downloadzahl konzentriert. Ein Vorgehen, welches auch dem Verhalten eines Normalnutzers entsprechen dürfte. Insofern bekannt, werden Anwendungen professioneller Anbieter von Leistungen im Bereich Ergonomie und Arbeitsschutz bevorzugt eingesetzt.

Bei der Auswahl der eingesetzten Smartphones werden hauptsächlich Geräte der Mittel- und Hochpreisklasse eingesetzt, da eine höhere Qualität der verbauten Sensorik angenommen wird. Für die Messung der klimatischen Bedingungen stand nur ein Smartphone-Typ zum Zeitpunkt der Untersuchungen zur Verfügung. Eine Kalibrierung der Smartphones wird nicht durchgeführt, da die Geräte nur über einen konstanten Differenzausgleich verfügen.

Um Fehler durch technologisch bedingte Differenzierungen, z.B. durch Abwärme des Prozessors, minimal zu halten, wird darauf geachtet, dass keine weiteren Programme während des Versuchsablaufes laufen. Welche Auswirkungen unterschiedliche Auslastungen und damit verbundene interne Temperaturen haben, wird im Rahmen der Studie nicht untersucht.

3. Versuchsaufbau und Messablauf

Gegenstand der Messungen ist die Erfassung der Messabweichung und die Ableitung der Messgenauigkeit für die drei o.g. Arbeitsumweltfaktoren. Für dieses Ziel sind verschiedene Messreihen durchzuführen, die in Tabelle 1 dargestellt werden.

Tabelle 1: Empirische und labortechnische Untersuchungen zu den drei o.g. Arbeitsumweltfaktoren

Arbeitsumwelt	Empirische Untersuchungen	Labortechnische Untersuchungen
Lärm	<ul style="list-style-type: none"> • E1: Vergleich von verschiedenen Applikationen auf einem Smartphone • E2: Vergleich von Smartphones mit einer ausgewählten Applikationen • E3: Vergleich eines Smartphones mit internem und externem Mikrofon 	<ul style="list-style-type: none"> • L1: Vergleich verschiedener Applikationen auf drei Smartphones in Abhängigkeit verschiedener Schalldruckpegel bei einer Frequenz von 1.000 Hz • L2: Vergleich einer Applikation auf drei Smartphones in Abhängigkeit verschiedener Schalldruckpegel sowie Frequenzen
Beleuchtung	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleich von einer Applikation auf verschiedenen Smartphones an einem Maschinenarbeitsplatz 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleich verschiedener Applikationen auf einem Smartphone im Versuchsstand
Klima	<ul style="list-style-type: none"> • Klimamessung bei konstanten Bedingungen im geschlossenen Raum 	<ul style="list-style-type: none"> • K1: Klimamessung bei konstanten Bedingungen im geschlossenen Raum • K2: Klimamessung bei wechselnden Bedingungen

Beim Messaufbau und der Durchführung wird auf die Einhaltung von anerkannten Messvorschriften wie der EN ISO 9612:2009 für Lärmmessungen geachtet. Als Referenzmessgeräte werden kalibrierte Messgeräte wie von der Firma Brüel& Kjær 2250 - Klasse 1 nach DIN EN ISO 9612:2009, ein Mavolux 5032c und eine Testo Klimaanalyator 435-2 mit den entsprechenden Messsonden verwendet.

4. Ergebnisse zu Applikationen der Lärmmessung

Charakteristik der Lärmapplikationen

Mit Hilfe von Lärmapplikationen lassen sich u.a. der Lärmexpositionswert in dB(A), der Spitzenschalldruckpegel L_{cpeak} in dB(C) sowie Frequenzbandmessungen durchführen. Die Möglichkeit zur Kalibrierung der jeweiligen Applikation sowie Speicher- und Exportierfunktionen stehen nur in wenigen Fällen zur Verfügung.

Auszug aus den Messergebnissen Schallpegelmessung

In Abbildung 2 sind die Messabweichungsverläufe für vier von 14 untersuchten Applikationen bei einer Frequenz von 1.000 Hz bei der Nutzung des Smartphones 1 im Schalldruckpegelbereich von 40 bis 90 dB(A) aus Versuch L1 dargestellt.

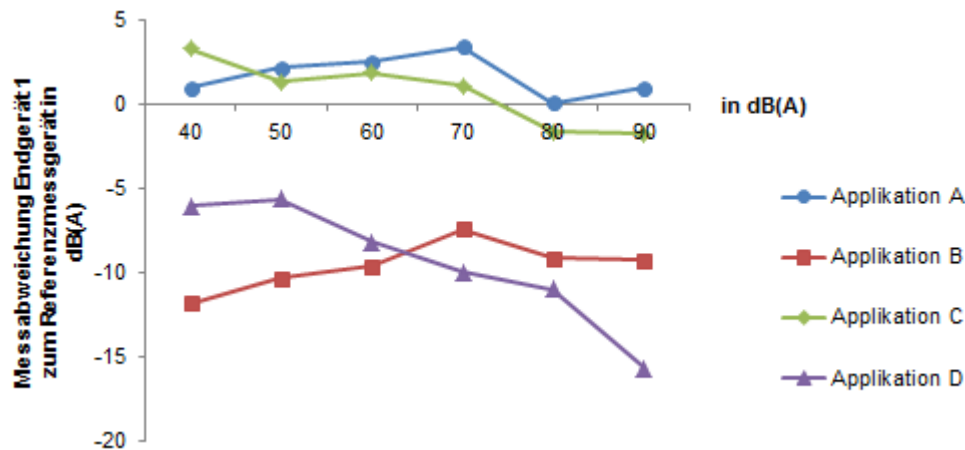


Abbildung 2: Messabweichungen Smartphone 1 zum Referenzmessgerät

Ergebnis der Messreihe ist, dass nur 2 von 14 Applikationen Messabweichungen innerhalb eines Messunsicherheitsbereiches von ± 3 dB(A) gegenüber dem Referenzmessgerät erreichen. Einige Applikationen weisen Messabweichungen von mehr als 10 dB(A) auf. Applikation A weist mit einer absoluten Abweichung zwischen 0 dB(A) und 3 dB(A) die geringsten Abweichungen sowie mit einer Standardabweichung von 1,7 dB(A) die zweitgeringste Streuung der untersuchten Applikationen auf. Die absoluten Messabweichungen der Applikation B sind mit -12 dB(A) bis -7 dB(A) hoch. Die Streuung der Daten ist jedoch im Vergleich zu den anderen Applikationen am geringsten. So beträgt die Standardabweichung 1,4 dB(A).

Fazit: Lärmmessung mittels Applikationen

Für den Einsatz von Applikationen zur Messung des Schalldruckpegels bedarf es einer sorgfältigen Auswahl der passenden Applikation. So können in den empirischen Untersuchungen wie auch im Labor erhebliche Streuungen zwischen den Messabweichungen unterschiedlicher Applikationen festgestellt werden. Hierbei kann es bis zu hohen zweistelligen dB(A)-Abweichungen kommen. Weiterhin sind auch geräteabhängige Abweichungen bei unterschiedlichen Frequenzen feststellbar.

Die in den Versuchen gemessene starke Variation der Messergebnisse sowie die Geräteabhängigkeit erschweren den praxisnahen Einsatz. Ausgewählte Applikationen lassen sich jedoch für orientierende Messungen unter Verwendung der Kalibrierungsfunktion einsetzen.

5. Ergebnisse zu Applikationen der Beleuchtungsmessung

Charakteristik der Beleuchtungsapplikationen

Die getesteten Applikationen sind lediglich zur Messung der Beleuchtungsstärke nutzbar. Einige Applikationen bieten statistische Angaben, wie Minimal- oder Maximalwerte, an. Teilweise werden dem Nutzer auch Kalibrierungsfunktionen, Speichermöglichkeiten sowie die zeitliche Darstellungen der Messwerte zur Verfügung gestellt.

Auszug aus den Messergebnissen Beleuchtungsstärke

In Tabelle 2 sind die Messabweichungen der Applikation L-B gegenüber dem Referenzmessgerät dargestellt. Hierbei weisen 12 von 14 Applikationen bei der Messung gleiche Messwerte wie Applikation L-B auf.

Tabelle 2: Messabweichungen der Applikation L-B gegenüber Referenzmesswerten

Referenzmesswert in lux	20	50	100	150	250	300	500	750	1000	1500
Messabweichung Applikation L-B in lux	-20	-22	8	11	9	-14	24	91	-2	720

Fazit: Lichtmessung mittels Applikationen

Im Bereich von 100 bis 1.000 lux kann mit Hilfe verschiedener Applikationen die Beleuchtungsstärke mindestens mit einer mittleren Genauigkeit (Klasse C: DIN 5032-7:1985) erfasst werden. Für viele Anwendungen im industriellen Bereich sollte dies ausreichend sein. Für die Erfassung weiterer Lichtmessgrößen, wie Leuchtdichte, muss jedoch auf gesonderte Messgeräte zurückgegriffen werden.

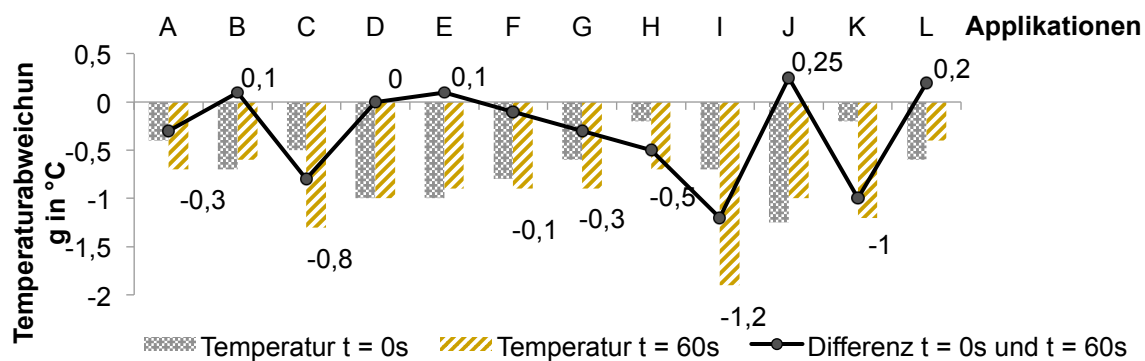
6. Ergebnisse zu Applikationen der Klimamessung

Charakteristik der Klimaapplikationen

Für Klimamessungen müssen Applikationen ausgeschlossen werden, die im App-Store zwar als Thermometer eingeordnet werden, tatsächlich aber über keine eigene Messfunktionalität verfügen. Mit Hilfe geeigneter Klimaapplikationen lässt sich die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit sowie der Luftdruck bestimmen. Ausgewählte Applikationen geben zudem eine Beurteilung der Messdaten in Form von Farbcodierungen wider. Eine Speicherung der Daten ist nur in wenigen Fällen möglich.

Auszug aus den Messergebnissen Klima

In Abbildung 3 sind aus Versuch K1 die Temperaturmessabweichungen bei konstanten Klimabedingungen ($T=23^{\circ}\text{C}$, $r.F=35\%$) für 12 Applikationen (A bis L-Applikation) zum Zeitpunkt $t = 0$ Sekunden sowie nach $t = 60$ Sekunden abgetragen.

**Abbildung 3:** Messabweichungen Endgerät 1 zum Referenzmessgerät

Die Anforderungen nach ASR 3.5 von $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ wird zu $t=0\text{s}$ von fünf Applikationen eingehalten. Nach einer Messzeit von 60 s erhöht sich bei der Mehrzahl der Applikationen die negative Messabweichung. Die absoluten Abweichungen betragen bei $t = 0\text{ s}$ zwischen $-0,2^{\circ}\text{C}$ und $-1,2^{\circ}\text{C}$ und steigen nach $t = 60\text{ s}$ auf $-0,4^{\circ}\text{C}$ bis $-1,8^{\circ}\text{C}$ an.

Fazit: Klimamessung mittels Applikationen

Mit Hilfe von Klima-Applikationen lassen sich bei konstanten Bedingungen in geschlossenen Räumen relativ exakte Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsmessungen durchführen.

Bei wechselnden klimatischen Bedingungen sind schwankende und höhere Abweichungen messbar. Hierbei spielt die Reaktionszeit der Applikation und des Smartphones eine wichtige Rolle.

Grundsätzlich können orientierende Messungen mit Hilfe der Applikationen durchgeführt werden. Hierbei stellt ein Smartphone mit Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensor eine zwingende Voraussetzung dar.

7. Ergebniszusammenfassung und Ausblick

Ziel der Untersuchung war die Überprüfung der Einsetzbarkeit von Applikationen zum Messen der Arbeitsumweltfaktoren Lärm, Beleuchtung und Klima.

Im Gesamtfazit ist festzuhalten, dass die auf Smartphones installierbaren Applikationen für orientierende Messungen verwendet werden können. Hierbei ist jedoch eine fachliche Auswahl von geeigneten Applikationen aus der Vielzahl verfügbarer Applikationen notwendig. Insbesondere im Bereich der Schalldruckpegelmessungen sind erhebliche Abweichungen zwischen den einzelnen Applikationen und Smartphones feststellbar. Bei Lichtmessungen kann eine mittlere Genauigkeit im Bereich von 100 bis 1.000 lux mit der Mehrzahl der getesteten Applikationen erreicht werden. Bei der Klimamessung sind bei konstanten Bedingungen geringe Messabweichungen für die Temperatur sowie bei der Luftfeuchtigkeit messbar. Bei wechselnden Rahmenbedingungen steigen die feststellbaren Abweichungen wesentlich an.

Unabhängig von diesen Analyseergebnissen sollte die Chance betrachtet werden, dass durch zertifizierte messtechnische Erweiterungen von Smartphones eine engmaschigere und einfachere Überprüfung ergonomischer Arbeitsbedingungen möglich sein kann. Da es sich bei Smartphones vordergründig um Geräte zur Aufbereitung von Informationen handelt, verweist die Studie auf die Kopplung geeigneter Messsonden mit einem Smartphone. In dieser Kombination könnten Messsysteme zur Arbeitssystembeurteilung mit integrierter Anleitung entstehen, welches es vor allem ermöglicht nicht nur korrekt zu messen sondern die Ergebnisse auch richtig zu interpretieren und einzuordnen.

8. Literatur

- ASR A3.5: Technische Regeln für Arbeitsstätten – Raumtemperatur. Online unter: <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Arbeitsstaetten/ASR/ASR-A3-5.htm>.
- DIN 5032-7:1985 :Lichtmessung; Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemeßgeräten.
- DIN EN ISO 9612:2009 Akustik - Bestimmung der Lärmexposition am Arbeitsplatz-Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren) (ISO 9612:2009); Deutsche Fassung EN ISO 9612.
- Kardous, C. A., Shaw, P.B. (2014) Evaluation of smartphone sound measurement applications. J. Acoust. Soc. Am. 135, EL186, <http://dx.doi.org/10.1121/1.4865269>.
- Maisonneuve, N.; Stevens, M.; Nissen, M. E.; Hanappe, P.; Steels, L. (2009) Citizen noise pollution monitoring. In Proceedings of the 10th Annual International Conference on Digital Government Research: Social Networks: Making Connections between Citizens, Data and Government, Digital Government Society of North America, S. 96–103.
- Rana, R.; Chou C.T.; Bulusu, N.; Kanhere, S. (2014) Hu, W.: Ear-Phone: A context-aware noise mapping using smart phones. Pervasive and Mobile Computing, doi:10.1016/j.pmcj.2014.02.001.
- Sust, C. (1987) Geräusche mittlerer Intensität – Bestandsaufnahme ihrer Auswirkung. Forschungsbericht Fb 497. In Schriftenreihe Bundesanstalt für Arbeitsschutz (Hrsg), Dortmund, Bremerhaven, Wirtschaftsverlag NW, ISBN 3-88314-604-8.