

11.22

lizenziert für Herrn Christian Werner.
Die Inhalte sind urheberrechtlich geschützt.
In Kooperation mit:



73. Jahrgang
November 2022
ISSN 2199-7330
1424

sicher ist sicher

www.SISdigital.de



Ruhe bewahren

Grundwissen zum Erstellen guter Explosionsschutzdokumente

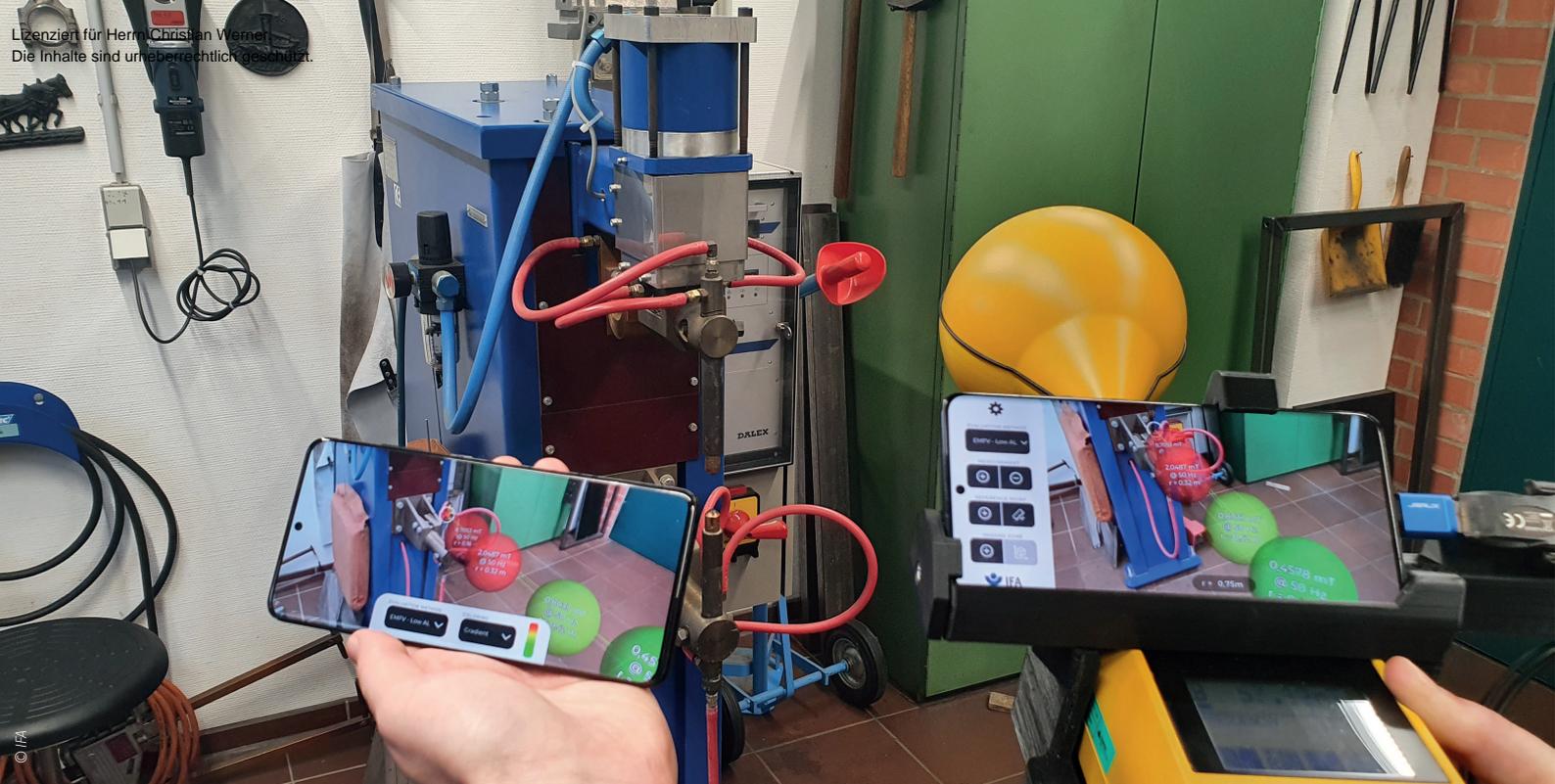
Von Dr. Wolfgang J. Friedl und Dipl.-Ing. Thomas Keckstein
2022, 234 Seiten, € 49,90. ISBN 978-3-503-20036-8
eBook: € 45,40. ISBN 978-3-503-20037-5

www.ESV.info/19993

Risikokonzept für krebs-
erzeugende Stoffe des AGS 464
Augmented Reality unterstützt
Messung von Magnetfeldern 475

Leistungs- und
Verhaltenskontrolle der
Beschäftigten durch Cloud
Plattformen 489

ESV ERICH
SCHMIDT
VERLAG



CHRISTIAN WERNER · FLORIAN SOYKA

Augmented Reality unterstützte Messung von Magnetfeldern

Magnetische Felder sind durch die Vielzahl an elektronischen Geräten in unserem Alltag allgegenwärtig. An Maschinen und Anlagen an denen hohe Ströme fließen, können hohe Magnetfelder auftreten, die unter dem Aspekt der Arbeitssicherheit bewertet werden müssen. Um es den Anlagenbetreibern und Beschäftigten zu erleichtern, magnetische Felder am Arbeitsplatz besser zu erfassen und zu verstehen, wurde eine Augmented Reality (AR)-Anwendung zur Visualisierung der Messwerte, der Bewertung und der nötigen Sicherheitsabstände vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) entwickelt.

Das Gefährdungspotenzial von magnetischen Feldern am Arbeitsplatz ist für Beschäftigte oft schwierig einzuschätzen und zu erfassen, da magnetische Felder nicht direkt wahrnehmbar sind. Vielen Betriebsmitteln sieht man es nicht direkt an, ob von ihnen eine Gefährdung ausgeht oder diese gefahrlos betrieben werden können. Gerade bei älteren Maschinen und Anlagen fehlt oft der Nachweis über eine Messung der magnetischen Felder und den daraus gegebenenfalls abzuleitenden Maßnahmen, welche zu einem sicheren Betrieb der Maschine notwendig sind. Da die Auswertung der Messergebnisse nicht trivial ist, sollte die Beurteilung von Betriebsmitteln hinsichtlich magnetischer Felder nur von fachkundigen Personen durchgeführt werden.

Bei manchen Maschinen und Anlagen kann eine sichere Einschätzung des Gefährdungspotenzials nur durch eine Messung der mag-

netischen Felder erfolgen. Aber selbst nach erfolgter Beurteilung der magnetischen Felder können Beschäftigte die Abmessungen des ermittelten Expositionsbereichs oft nicht richtig einschätzen. Abstandsregelungen zum Schutz der Beschäftigten, zum Beispiel bei Personen mit Körperhilfsmitteln (z. B. Herzschrittmacher), können ohne klare Bezugspunkte zur Umgebung in der Praxis nicht immer problemlos umgesetzt werden.

Aus diesem Grund hat das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) das „AURA“ System entwickelt, welches in der Lage ist, aufgenommene Messwerte der magnetischen Flussdichte direkt auf einem Smartphone in Verbindung mit der realen Umgebung (Augmented Reality) darzustellen und somit den Beschäftigten eine bessere Einschätzung des Sicherheitsbereichs zu vermitteln. Das

DIE AUTOREN



Christian Werner,
Bereichsleiter „Maschinensicherheit, Industrial Security und Implantate“
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
christian.werner@dguv.de



Dr. Florian Soyka,
Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sachgebiet Elektromagnetische Felder, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA)
Abteilung Unfallprävention: Digitalisierung – Technologien, Bereich Maschinensicherheit, Industrial Security und Implantate
florian.soyka@dguv.de

derzeitige AURA System kann magnetische Felder zwischen 10 Hz und 32 kHz erfassen.

Für spätere Begehungen oder die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung können Screenshots oder Videos gemacht werden. Wenn die Visualisierung in die Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung eingebunden wird, trägt diese zu einem besseren Verständnis der Expositionssituation und zu mehr Sicherheit am Arbeitsplatz bei.

Rechtliche Grundlagen

Im Arbeitsschutz werden unter dem Oberbegriff „Elektromagnetische Felder“ (EMF) elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder bis zu einer Frequenz von 300 GHz zusammengefasst und zählen zur nicht ionisierenden Strahlung. Hierbei wird zwischen statischen, niederfrequenten und hochfrequenten Feldern unterschieden, wobei der Übergang zwischen dem nieder- und hochfrequenten Bereich fließend ist (zwischen 100 kHz und 10 MHz).

Magnetische Felder sind durch die Vielzahl an elektronischen Geräten im betrieblichen Umfeld allgegenwärtig. Gerade an Maschinen mit einer sehr hohen Stromaufnahme können hohe magnetische Felder auftreten, die unter dem Aspekt der Arbeitssicherheit bewertet werden müssen.

Eine Reihe von Vorschriften und die darin enthaltenen zulässigen Werte bilden die Grundlage für eine Beurteilung der Exposition durch magnetische Felder. Die Richtlinie 2013/35/EU des europäischen Parlaments beschreibt dabei Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch elektromagnetische Felder. Die Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch elektromagnetische Felder (EMFV) dient dann der Umsetzung der EU-Richtlinie in Deutschland.

Zusätzlich zur EMFV existieren in Deutschland noch technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (TREMf) [1]. Diese geben den aktuellen Stand der Technik wieder und werden vom Ausschuss für Betriebssicherheit unter Beteiligung des Ausschusses für Arbeitsmedizin erstellt. Diese technischen Re-

geln lösen die Vermutungswirkung aus, was bedeutet, dass der Betreiber bei Anwendung der technischen Regeln davon ausgehen kann, auch die Anforderungen der EMFV und somit der EU-Richtlinie zu erfüllen.

Weiterhin ist jeder Arbeitgeber gemäß § 5 des Arbeitsschutzgesetzes (Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit – ArbSchG) verpflichtet für seine eigenen Mitarbeitenden eine Gefährdungsbeurteilung des Arbeitsplatzes und der zur Verfügung gestellten Arbeitsmittel durchzuführen. Träger von Körperhilfsmitteln sind bei der Gefährdungsbeurteilung hinsichtlich auftretender magnetischer Felder dabei besonders zu beachten. Hierfür stellt das Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Forschungsbericht 451 Schwellenwerte zur Beurteilung der Exposition bereit. Diese Werte wurden in die TREMF übernommen.

Zudem ist der Betreiber nach § 6 des Arbeitsschutzgesetzes dazu verpflichtet, die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung zu dokumentieren, aufzubewahren und die festgelegten Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zu überprüfen.

Augmented-Reality-Messwertaufnehmer (das AURA System)

Bei der Augmented Reality (erweiterte Realität, AR) handelt es sich um eine computergestützte Erweiterung der vom Menschen wahrnehmbaren Realität. Hierbei werden dem Bedienenden in der Regel zusätzliche Informationen zur eigentlichen Umgebung eingeblendet. Dabei kann es sich zum Beispiel um Einblendungen der Entfernung von Gegenständen oder von nützlichen Einblendungen hinsichtlich nicht zu betretender Sicherheitsbereiche handeln. In der gezeigten AR-Umgebung in Abbildung 1 sind beispielhaft einige aufgenommene Messwerte des AURA Systems mit Abstand zu einer Feldquelle zu sehen. Gleichzeitig wurde ein virtueller Sicherheitsbereich definiert, der als schwarz-gelber Kubus dargestellt ist.

Die meisten Messungen von magnetischen Feldern erfolgen im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung indem um die Feldquelle in unterschiedlichen Entfernungen und Höhen die Feldstärken gemessen werden. Je nach auftretender Feldstärke, Form und Größe der Feldquelle sind hier eine Vielzahl von Messungen durchzuführen und zu dokumentieren. Zur Bestimmung des Abstands zwischen Feldquelle und Messpunkt wird meist ein einfacher Gliedermaßstab verwendet. Die möglichen Wertebereiche werden im Vorfeld der Messungen anhand der Maschinendaten abgeschätzt. Dies ist notwendig, um den Messaufbau auf die erwarteten Messwerte abzustimmen und den Eigenschutz zu gewährleisten.

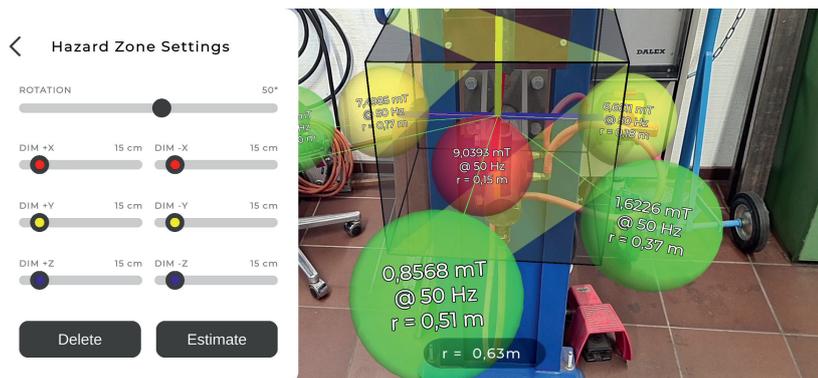


Abb. 1: Augmented Reality unterstützte Messwertaufnahme an einer Widerstandsschweißanlage

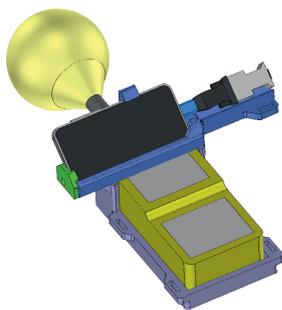


Abb. 2: CAD-Modell des Augmented-Reality-Messwert-
aufnehmers für magnetische Felder

Die ermittelten Messwerte werden mit den zulässigen Werten verglichen und, wenn notwendig, Sicherheitsabstände für Beschäftigte festgelegt. Die Erstellung von zum Beispiel Skizzen oder Grafiken erweist sich in der Praxis jedoch oft als aufwändig und ist aufgrund der zweidimensionalen Darstellung teilweise nicht einfach verständlich. Dieser Messablauf kann durch eine AR-unterstützte Messwertaufnahme stark vereinfacht und effizienter gestaltet werden. Hierfür hat das IFA eine neue AR-unterstützte Messwertaufnahme entwickelt, die in Abbildung 2 schematisch zu sehen ist. Die benötigte Hardware besteht aus einem kalibrierten Messgerät samt Messsonde, einem Smartphone und einer Halterung, die das Smartphone in einer definierten und nicht veränderbaren Ausrichtung zur Messsonde fixiert.

Eine solche AR-unterstützte Messwertaufnahme bietet viele Vorteile. Zum einen hat die Messsonde in Bezug zur Feldquelle immer eine fest definierte Position im virtuellen Raum. Damit lassen sich die ermittelten Messwerte ohne weitere Hilfsmittel, wie zum Beispiel ein Gliedermaßstab, mit Angabe der räumlichen Entfernung zur Feldquelle erfassen, speichern und auswerten. Zudem können die Messergebnisse online im dreidimensionalen Raum dargestellt werden (siehe hierzu Abbildung 1).

Die Augmented Reality Anwendung zur Visualisierung der aufgenommenen Messwerte, der Auslöseschwellen und der Sicherheitsabstände

soll es Betreibern und Bedienpersonal von Maschinen und Anlagen erleichtern, magnetische Felder am Arbeitsplatz besser zu erfassen und einzuordnen.

Mit Hilfe einer vom IFA entwickelten Software lässt sich in einem ersten Schritt die Feldquelle und deren Umgebung als virtueller Raum auf einem Smartphone einlernen. Hierbei muss das Smartphone mehrfach um die Feldquelle herum bewegt werden, um eine möglichst genaue Karte zu erstellen (circa 30 Sekunden). Wenn genügend Daten für einen detaillierten virtuellen Raum vorhanden sind, wird die Einlernphase automatisch von der Software beendet. Ein großer Vorteil vom AURA System ist, dass keine extra Marker in der Umgebung benötigt werden. Die Software findet visuelle Features im Bild und erkennt diese in der Umgebung wieder. Zusammen mit den Inertialsensoren und einer „Time of Flight“ Tiefenkamera ist es somit möglich die AR Darstellung ohne externe Marker zu ermöglichen.

Vor Beginn der Messung der magnetischen Felder muss noch der Ursprung der Feldquelle angegeben werden. Dieser Ursprung definiert den Nullpunkt des Koordinatensystems für die Aufnahme der Messwerte.

In Abbildung 1 und Abbildung 3 sind die aufgenommenen Messwerte zu erkennen. Diese werden als farbig codierte Kugeln angezeigt, wobei die Form der Geometrie der Messsonde nachempfunden ist. Die Farben (grün bis rot) geben an, ob zulässige Werte gemäß einem ausgewählten Regelwerk überschritten sind. In der Software sind die Auslöseschwellen aus der EMFV und die Schwellenwerte für aktive und passive Körperhilfsmittel aus dem Forschungsbericht 451 hinterlegt. Beim Wechseln der Bewertungsgrundlage (zum Beispiel beim Wechsel zwischen zulässigen Werten für Menschen mit oder ohne Körperhilfsmittel) wird die Farbcodierung direkt angepasst.

Weiterhin ermöglicht es die Augmented-Reality-Technologie des Smartphones, die Position des Smartphones zu verändern, während die Messwerte im Videobild weiterhin an der kor-



Abb. 3: Messwertanzeige mit definiertem Kubus für den Sicherheitsabstand

rekten Stelle im Raum dargestellt werden (Abbildung 1 und Demo-Video unter [2]). Mit dieser Technik ist es möglich, neue Messwerte aufzunehmen und sich dabei an den vorangegangenen Messungen im Raum zu orientieren.

Eine weitere Option der Software ist die Darstellung der erforderlichen Sicherheitsabstände. Sollte bei einer Expositionsbeurteilung festgestellt werden, dass Sicherheitsabstände zur Feldquelle festgelegt werden müssen, kann ein solcher Sicherheitsbereich durch einen Kubus direkt in der AR-Umgebung angezeigt werden (siehe Abbildung 3). Die Abstände können aktuell in 5 cm Schritten frei konfiguriert werden. Es empfiehlt sich gleiche Sicherheitsabstände für die unterschiedlichen Raumrichtungen zu wählen, beispielsweise grundsätzlich 20 cm um die Feldquelle herum, auch wenn die gemessenen Felder nicht überall gleich hoch sind. In der Praxis hat sich gezeigt, dass diese Vorgehensweise für Beschäftigte praktikabler umzusetzen ist, als wenn man unterschiedliche Sicherheitsabstände an verschiedenen Seiten festlegt.

Die Anwendung kann parallel zum Messsystem auf einem zweiten Smartphone zum Einsatz kommen. Wie auf dem Titelbild zu sehen, ist rechts das AURA Messsystem und links ein zweites Smartphone mit der gleichen Szenerie und den ermittelten Messwerten zu erkennen. Der Vorteil hierbei ist, dass die aufgenommenen Messergebnisse den Mitarbeitenden vor Ort gezeigt werden können und so die Beschäftigten mit dem zweiten Smartphone die Expositionsbedingungen aus ihrer eigenen Perspektive erleben. So können sie zum Beispiel die Ergebnisse eigenhändig und gefahrlos aus der Nähe betrachten, nachdem die Feldquelle abgeschaltet ist. Einmal aufgenommene Werte bleiben auf beiden Smartphones erhalten. Durch dieses Vorgehen konnten bereits gute Ergebnisse in Betrieben erzielt und das Bewusstsein für die notwendigen Sicherheitsabstände erhöht werden.

Ob die Anwendung ein besseres Verständnis der Expositionssituation am Arbeitsplatz schafft, wurde mit Hilfe einer Online-Umfrage im Rahmen einer Masterarbeit überprüft. Bei dieser wurde ein klassischer Messbericht mit einem durch augmentierte Bilder erweiterten Messbericht verglichen. Die Auswertung zeigt, dass es den Teilnehmenden mit dem erweiterten Bericht subjektiv bewertet leichter fiel, die ihnen gestellten Aufgaben zu lösen, weil sie die Inhalte des erweiterten Berichts besser aufgenommen und verstanden haben. Zudem schnitt die Gruppe mit dem erweiterten Bericht beim Lösen der Aufgaben auch objektiv insgesamt besser ab als die Vergleichsgruppe. Die Ergebnisse der Masterarbeit wurden zusammen mit einer technischen Beschreibung des AURA Systems veröffentlicht [3].

Ausblick

Das AURA System wird zurzeit durch das IFA und die Berufsgenossenschaften im praktischen Einsatz erprobt. Erste AR-unterstützte Messungen konnten bereits realisiert werden und zeigten keine signifikanten Unterschiede bei der Festlegung von notwendigen Sicherheitsabständen im Vergleich zur „klassischen“ Messmethodik. Die AR-unterstützten Messungen wurden sehr positiv von den Beschäftigten aufgenommen und halfen dabei ein besseres Verständnis für die Expositionssituation zu schaffen. Zudem werden die erzeugten Bilder in Messberichten verwendet, um den Beschäftigten einen besseren Eindruck von der Exposition und den nötigen Sicherheitsabständen zu vermitteln. Eine vom IFA durchgeführte Befragung der Leser von Messberichten ergab, dass durch die verwendeten Bilder des AURA Systems das Bewusstsein für die ermittelten Sicherheitsbereiche gestiegen ist und Inhalte der Messberichte besser verstanden werden. Durch den Einsatz von dreidimensionalen Bildern des AURA Systems fällt es den Lesern leichter, Dimensionen und Sicherheitsabstände einzuschätzen. Aus diesem Grund wird das AURA System auch zukünftig bei Messungen von magnetischen Feldern vom IFA eingesetzt werden.

Aktuell prüft das IFA, ob AURA auch auf andere physikalische Messgrößen erweitert werden kann. Interessant sind dabei besonders Gefährdungen, die von den Beschäftigten nicht direkt wahrgenommen werden können. Denkbar ist auch ein Einsatz in Expositionsbereichen, wo Langzeiteffekte von den Beschäftigten falsch eingeschätzt werden, wie zum Beispiel bei der Lärmexposition.

Zudem besteht die Idee, AURA mit anderen Technologien zur Messung und Darstellung der Messwerte, Auslöseschwellen und Sicherheitsabstände zu kombinieren. Hierfür könnten zum Beispiel Datenbrillen sowohl zur Datenerfassung in Kombination mit einem Messmittel als auch zur Visualisierung verwendet werden. Denkbar wäre auch, dass über eine Datenbrille zuvor ermittelte Sicherheitsbereiche dem Beschäftigten online angezeigt werden und eine Warnung erfolgt, wenn man in den Bereich eindringt.

LITERATUR

- [1] Technische Regel zur Arbeitsschutzverordnung zu elektromagnetischen Feldern (TREMf), <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TREMf/TREMf.html>.
- [2] IFA Projekt AURA mit Demo-Video <https://www.dguv.de/webcode.jsp?query=dp1318505>.
- [3] Soyka, Florian, and Julian Simons. 2022. „Improving the Understanding of Low Frequency Magnetic Field Exposure with Augmented Reality“ *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19, no. 17: 10564. <https://doi.org/10.3390/ijerph191710564>.