

Citizen Science für Schüler*innen: Durchführung von Umweltstudien mit Smartphone und mobiler Messtechnik

S. Höfner¹, A. Schütze¹, B. Brück², M. Hirth³, J. Kuhn³

¹Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Messtechnik, Saarbrücken (Deutschland)

²Schülerforschungszentrum Saarlouis (Deutschland)

³TU Kaiserslautern, AG Didaktik der Physik, Kaiserslautern (Deutschland)

Zusammenfassung

Im Rahmen des DBU Projekts „SUSmobil“ (SchülerUmweltStudien mit **mobilen** Endgeräten) wird Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit geboten, mit Hilfe von Wissenschaftlern Umweltstudien durchzuführen. Dabei sind sie angehalten, eigene Fragestellungen zu entwickeln. Zur Vorbereitung und Unterstützung können Schülerinnen und Schüler im Alter von 15 bis 18 Jahren zudem Selbstlernkurse (sog. Module) besuchen, in denen sie die Funktionsweise von Halbleiter-Gassensoren kennenlernen, eine Kalibrierung durchführen und Innenraumlufthqualität messen. Der Beitrag stellt die entwickelten Module vor und präsentiert verschiedene Beispiele von Schülerumweltstudien, die im letzten Jahr durchgeführt wurden.

Keywords: Gassensorik, Citizen Science, Internet of Things, Umweltstudien, Schülerinnen und Schüler

Einleitung

Citizen Science (CS) hat als gemeinschaftliches Bestreben von Bürger*innen und Bürgern, zusammen mit Wissenschaftlern, neue wissenschaftliche Erkenntnisse zu schaffen, einen zunehmend beliebten Weg der wissenschaftlichen Forschung und Praxis eröffnet [1].

Bei der Planung und Durchführung von CS-Projekten ergeben sich jedoch mehrere Herausforderungen. Zum einen muss es leicht sein, eigene Daten beizutragen, damit die Motivation erhalten bleibt. Zum anderen muss die Qualität der aufgenommenen Daten gesichert werden. Um dies zu erreichen, ist es wichtig, dass Sensorsysteme nicht einfach nur verwendet werden, um Daten zu sammeln, sondern auch zu vermitteln, wie diese funktionieren und wie die aufgenommenen Daten zu interpretieren sind [2]. Je mehr diese Punkte erfüllt sind, umso wahrscheinlicher ist es auch, Bürger transformativ weiterzubilden und so eine nachhaltige Wirkung z.B. auf deren eigenes Umweltverhalten zu erreichen. Im von der DBU geförderten Projekt „SUSmobil“ werden diese Ansprüche in insgesamt vier Modulen verfolgt. Das Projekt hat das Ziel, das Umweltbewusstsein von Schülerinnen und Schülern im Alter zwischen 12 und 18 Jahren zu stärken. Dies soll durch die Sensibilisierung für umweltschädliche Schadstoffe und vor allem durch die

Durchführung eigener Umweltstudien erreicht werden [3].

1. Selbstlernmodule

1.1 Funktionsweise von Halbleiter-Gassensoren

Im ersten Modul wird den Schülerinnen und Schülern zunächst die Funktionsweise von Halbleiter-Gassensoren nähergebracht. Dazu wurde eine Platine entwickelt, die es erlaubt, sowohl die Temperatur des Sensors über Potentiometer zu kontrollieren als auch die Sensorreaktion (die Änderung des elektrischen Widerstands) mit einem Multimeter auszulesen, siehe Abbildung 1.

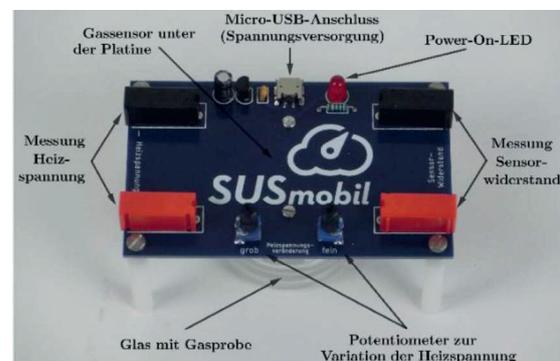


Abb. 1: Versuchsplatine zu Modul 1: Funktionsweise eines Halbleiter-Gassensors.

Verschiedene Flüssigkeitsproben, z.B. Apfelsaft, alkoholfreies und alkoholhaltiges Bier, können in Gläser gefüllt und unter die Platine geschraubt werden. Dabei lernen die Schülerinnen und Schüler, dass der Sensor auf verschiedene Stoffe unterschiedlich reagiert und dass diese Reaktion ebenfalls temperaturabhängig mit. Diese Beobachtungen werden anschließend durch ein schülergerechtes Modell erklärt. Die Erkenntnisse sollen die Grundlage und Motivation zur Nutzung eines temperaturzyklischen Betriebs zur Verbesserung von Sensitivität und Selektivität der Sensoren bilden [4].

1.2 Kalibrierung von Halbleiter-Gassensoren

Im zweiten Modul geht es um die Wichtigkeit einer korrekten Kalibrierung von Gassensoren zur Sicherung der Datenqualität. Die Schülerinnen und Schüler haben die Aufgabe, einen Gassensor, der durch einen Mikrocontroller temperaturzyklisch betrieben wird, auf verschiedene Ethanol-Konzentrationen zu kalibrieren. Dazu erzeugen sie zunächst durch Verdampfen flüssigen Ethanols eine definierte Atmosphäre in einer Gasvorratskammer, siehe Abbildung 2.



Abb. 2: Messkammer mit zu kalibrierendem Sensor (links) und Gasvorratskammer zur Erzeugung einer definierten Ethanol-Konzentration (rechts). Diese kann anschließend in einer Messkammer weiter verdünnt und zur Kalibrierung verwendet werden.

Durch Entnahme einer gewissen Menge des Gasgemischs und Überführen in eine Messkammer kann dort die gewünschte Konzentration eingestellt und durch

wiederholtes Zudosieren schrittweise erhöht werden.

Für jede Konzentration werden nun Temperaturzyklen als Trainingsdaten aufgenommen und aus diesen Mustern besondere Merkmale extrahiert, siehe Abbildung 3.

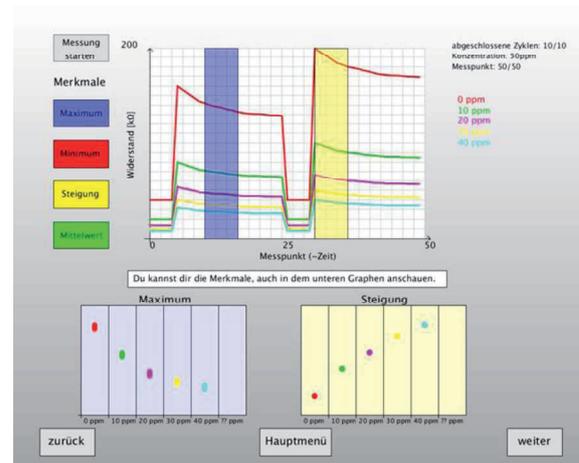


Abb. 3: Software zur Aufnahme von Trainingsdaten, sowie zur Bestimmung besonderer Merkmale der Zyklen bei verschiedenen Gaskonzentrationen.

Schließlich erstellt ein neuronales Netz ein mathematisches Modell, das einen Zusammenhang zwischen den aufgenommenen Merkmalen und der jeweiligen Konzentration bestimmt. Das Modell wird abschließend zur Validierung mit einer unbekanntem Ethanolkonzentration getestet. Die Vorgehensweise der Kalibrierung wird hierbei schrittweise erklärt, gleichzeitig werden Analogien zur Kalibrierung bekannter Sensoren wie z. B. einem Thermometer aufgezeigt.

1.3 Auswirkung verschiedener Gase auf den Menschen und die Umwelt

Neben dem Verständnis der Funktionsweise von Gassensoren und deren Kalibrierung ist es wichtig, Wissen über die Gefahren und Auswirkungen schädlicher Stoffe auf den eigenen Körper und die Umwelt zu vermitteln [5]. Im dritten Modul, das sich zurzeit noch in der Entwicklung befindet, wird diese Thematik aufgegriffen.

Analog zu Modul 1 wurde dafür eine weitere Platine entwickelt, die es ermöglicht, die Ausgasungen verschiedener Stoffe wie Plastikspielzeug, Lösemittel, Lacke, Zigarettenstummel und Bodenbeläge zu untersuchen. Die Messwerte (Gasart und Konzentration) werden direkt auf einem

integrierten Display angezeigt. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 4 dargestellt.



Abb. 4: Platine zur Untersuchung der Ausgasung schädlicher Gase aus verschiedenen Materialien.

Der Fokus liegt hierbei auf der Messung von flüchtigen organischen Verbindungen (engl. VOCs, volatile organic compounds), CO₂ und Kohlenmonoxid, die maßgeblich die Innenraumluftqualität beeinflussen. Gleichzeitig sollen den Schülerinnen und Schülern verschiedene Umweltlabel wie „Blauer Engel“ oder die „Euroblume“ nähergebracht werden. Die Bedeutung der Innenraumluftqualität ist in unserem Alltag besonders hoch, da viele Menschen über 80% der Zeit in Innenräumen verbringen [6].

2. Schülerumweltstudien

Neben den Modulen zur Funktionsweise, Kalibrierung und Messung von Gasen in der Innenraumluft sollen die Schülerinnen und Schüler animiert werden, eigenständig wissenschaftliche Fragestellungen zu entwickeln, um beispielsweise bei „Jugend forscht“ Wettbewerben anzutreten. Unterstützt durch Wissenschaftler werden die Fragestellungen formuliert und bearbeitet. Durch die Verbindung von formellen Lernanlässen in Schülerlaboren (Module 1 bis 3) und informellen Lernanregungen außerhalb dieser Einrichtungen (Schülerumweltstudien) kann ein Mobile Assisted Seamless Learning initiiert werden, wodurch die Initiierung von „Citizen Science“-Projekten ermöglicht wird [7,8].

2.1 Datenübertragung auf das Smartphone und Webseiten

Neben dem Verständnis der Funktionsweise von Gassensoren und der korrekten Art und Weise der Datenaufnahme ist die Visualisierung der Daten ein wichtiger Aspekt.

Das Smartphone ist aus der heutigen Zeit nicht mehr wegzudenken und bietet sich durch seine Mobilität perfekt an, um Daten zu visualisieren. Mittlerweile gibt es zahlreiche „Internet of Things“ Plattformen, die sich auf die Darstellung von Messdaten auf dem Smartphone oder im Internet spezialisiert haben. Ein Beispiel für eine solche Visualisierung ist in Abbildung 5 unter Verwendung der App ThingView [9] gezeigt.

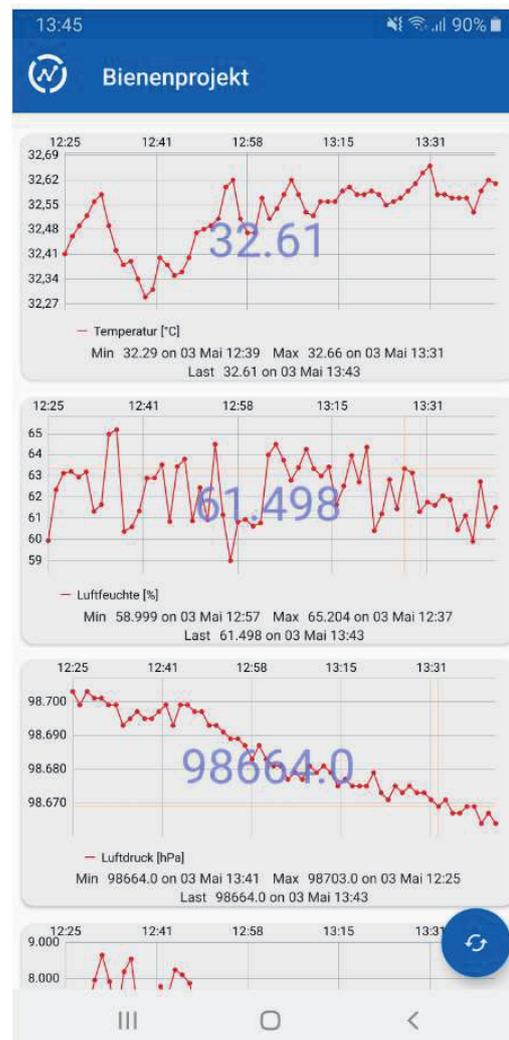


Abb. 5: Visualisierung der Messergebnisse auf der Smartphone App „ThingView“.

Neben der Visualisierung per Smartphone-App gibt es auch die Möglichkeit, alle Messergebnisse verschiedener Umweltstudien zentral auf einer Webseite darzustellen. Dies hat den Vorteil, dass die Ergebnisse für jeden in Echtzeit einsehbar sind, so dass die Projekte eine Multiplikatorwirkung über die direkt beteiligten Schülerinnen und Schüler hinaus erzielen können.

Im Folgenden werden einige der aktuellen Schülerumweltstudien kurz vorgestellt.

2.2 Schadstoffkarte

Im Rahmen des Nachwuchswettbewerbs „Jugend forscht“ wurde eine „Google Maps Schadstoffkarte“ am Schülerforschungszentrum in Saarlouis entwickelt. Mit Hilfe einer 3D-gedruckten Messkammer (siehe Abbildung 6), in der sich verschiedene Gas- und Luftqualitätssensoren sowie ein GPS-Modul zur Lokalisierung befinden, können (unkalibrierte) Luftqualitätsmessungen der Umgebungsluft gemacht werden, um damit relative Schadstoffkonzentrationen zu visualisieren.



Abb. 6: 3D-gedruckte Messkammer mit integrierten Sensoren und GPS-Empfänger.

Die Messdaten werden zusammen mit GPS-Daten an einen Server im Internet gesendet und von einem IoT-Dienst gespeichert. Dieser ermöglicht es, die Daten als Heatmap über Dienste wie „OpenStreetMap“ oder „Google Maps“, wie in Abbildung 7 gezeigt, darzustellen. Die Schüler erreichten mit ihrer Idee den dritten Platz beim Wettbewerb im Saarland.

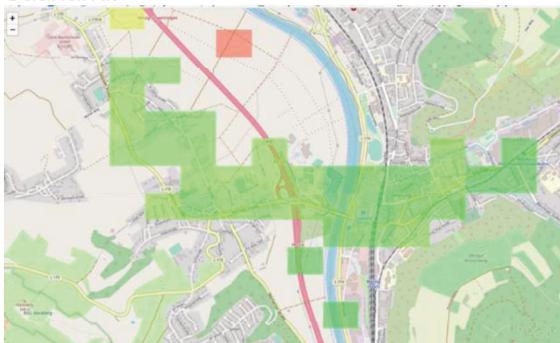


Abb. 7: Darstellung von relativen Luftqualitätsdaten mittels einer Heatmap.

2.3 Untersuchung von Bienenstöcken

In Zusammenarbeit mit Dr. Martin Wörner, einem Mitglied im Landesverband

saarländischer Imker, wurde ein „Jugend forscht“-Projekt zur Untersuchung von Bienenstöcken auf Gase, Temperatur, Luftfeuchte und Luftdruck entwickelt. Schülerinnen und Schülern wird dabei die Möglichkeit geboten, an einem authentischen und hochaktuellen Kontext wissenschaftlich zu arbeiten, indem Daten aufgenommen, ausgewertet und interpretiert werden müssen [10].

Das für den Einsatz im Bienenstock realisierte Sensorsystem umfasst die folgenden Sensoren:

- BME680 (Temperatur, Luftfeuchte, Luftdruck)
- SCD30 (CO₂)
- SGP30 (Multigassensor für Gesamt-VOC-Konzentration (TVOC) und äquivalente CO₂-Konzentration, eCO₂)
- SPS30 (Feinstaub PM2.5 und PM10)

Zur Kontrolle und Vergleich der Daten wurden zwei Messsysteme realisiert, die parallel laufen. Ein System befindet sich dabei in einem bevölkerten Bienenstock (siehe Abbildung 8), das andere in einem leeren Stock. Ein Auszug der bisherigen Messergebnisse ist in Abbildung 9 zu sehen.



Abb. 8: Einsetzen des Messsystems in einen voll besetzten Bienenstock.

Auffällig ist die periodische Änderung der TVOC bzw. CO₂ Konzentrationen, die jeden Tag um etwa 11 Uhr morgens ein Höchstwerte von etwa 1600 ppb (TVOC) bzw. 14000 ppm (CO₂) erreichen und danach sehr schnell abfallen. Dies ist damit zu erklären, dass die Bienen um diese Uhrzeit den Stock verlassen.

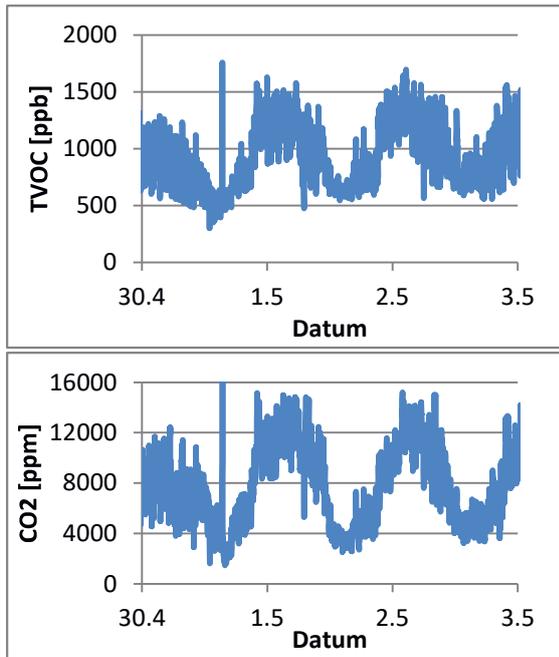


Abb. 9: TVOC-Messwert (oben) und CO₂-Messwert (unten) in einem Bienenstock.

2.4 Auswirkung von Pflanzen auf die Innenraumluftqualität

Ein weiteres Schülerprojekt ist die Untersuchung der Innenraumluftqualität in Abhängigkeit davon, ob sich Pflanzen im Zimmer befinden. Dazu wurden zwei Messboxen konstruiert. In beiden wurden nacheinander verschiedene VOCs verdampft und so eine definierte Gasatmosphäre erzeugt. In eine Messbox wurden die Pflanzen Einblatt und Bogenhanf gestellt, die zweite blieb leer, siehe Abbildung 10.



Abb. 10: Messkammern zur Untersuchung der Auswirkung von Pflanzen auf die Luftqualität.

Anschließend wurde die VOC-Konzentration über einen längeren Zeitraum von 5-7 Stunden gemessen. Es zeigte sich ein deutlicher Abfall der gemessenen TVOC-Konzentration in der

Messkammer mit Pflanzen, wie in Abbildung 11 zu sehen ist. Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass Pflanzen die Luft in Bezug auf die getesteten VOCs, in Abb. 11 Aceton, reinigen können.

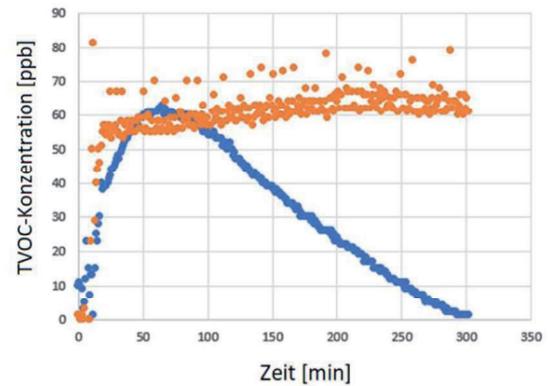


Abb. 11: Verlauf der Aceton-Konzentration in den Messkammern. Orange: ohne Pflanzen. Blau: Mit Pflanzen.

2.5 Feinstaubmessungen

Die Diskussionen um ein Verbot von Pyrotechnik an Silvester aufgrund der erhöhten Feinstaubbelastung werden jedes Jahr mehr, weshalb sich einige Schüler dazu entschlossen haben, selbst eine Feinstaubmessung an Silvester durchzuführen. Um Mitternacht wurde ein PM_{2.5}-Wert von ca. 1800 µg/m³ erfasst. Dies würde dem 72-fachen des täglichen Grenzwerts entsprechen [11], allerdings sind die Sensoren nicht kalibriert und auch nur für Messungen bis max. 70% Luftfeuchtigkeit geeignet. Allerdings ist deutlich erkennbar, dass der Schadstoffpeak weit über den Messwerten vor Mitternacht lag und auch nur wenige Minuten anhielt.

PM 2.5 an Silvester

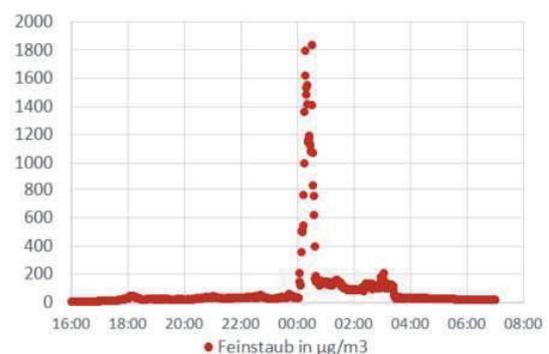


Abb. 12: Unkalibrierte Feinstaub-Messwerte für PM_{2.5} an Silvester 2018

Ausblick

Ein Ziel des Projekts ist die Nachhaltigkeit, weshalb die verschiedenen Selbstlernkurse bis zum Ablauf der Projektzeit (Ende 2020) anderen Schülerlaboren, Schülerforschungszentren und Schulen zur Verfügung gestellt werden sollen. Zudem werden Fortbildungen für Lehrkräfte entwickelt und angeboten, um mit ihnen gemeinsam Schülerinnen und Schüler an die Nutzung von Gassensoren heranzuführen und für Schülerumweltstudien zu motivieren. Auch eine Übersetzung ins Englische wurde bereits für Modul 1 durchgeführt und ist für die weiteren Module in Planung, um die entwickelten Ansätze auch international anbieten zu können. Schließlich sollen weitere Schülerinnen und Schüler für eigene Umweltstudien gewonnen werden. Die Ergebnisse dieser Studien sollen in Schulen präsentiert und im Internet zur Verfügung gestellt werden. Auch besteht die Möglichkeit, dass diese im LeLa-Magazin veröffentlicht werden, um über die direkt beteiligten Schülerinnen und Schüler hinaus ein gesteigertes Umweltbewusstsein zu erzielen.

Literaturnachweis

- [1] Storksdieck, M; Shirk, JL; Cappadonna, JL; Domroese, M; Göbel, C; Haklay, M; Miller-Rushing, AJ; Roetman, P; Sbrocchi, C; Vohland, K. (2016) Associations for Citizen Science: Regional Knowledge, Global Collaboration. *Citizen Science: Theory and Practice*, 1 (2) , Article 10. 10.5334/cstp.55
- [2] Aceves-Bueno, E.; Adeleye, A.; Feraud, M.; Huang, Y.; Tao, M.; Yang, Y.; Anderson, S. (2017). *The Accuracy of Citizen Science Data: A Quantitative Review*, *Bulletin of the Ecological Society of America*, 98(4), pages 278ff.
- [3] Kaiser, F. G., Oerke, B., & Bogner, F. X. (2007). Behavior-based environmental attitude: Development of an instrument for adolescents. *Journal of Environmental Psychology*, 27(3), 242-251.
- [4] Baur, T., Schütze, A., Sauerwald, T. (2015). Optimization of temperature cycled operation of semiconductor gas sensors. *tm - Technisches Messen*, Band 82, Heft 4, Seiten 187–195, ISSN (Online) 2196-7113, ISSN (Print) 0171-8096, DOI: <https://doi.org/10.1515/teme-2014-0007>.
- [5] Moriske, H. J. & Szewzyk, R. (2008). *Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden*. Umweltbundesamt.
- [6] SOER 2015 — The European environment — state and outlook 2015, European Environment Agency, 2015, <http://www.eea.europa.eu/soer> [Stand: 11/2016]
- [7] Wong, L. H., & Looi, C. K. (2011). What seams do we remove in mobile-assisted seamless learning? A critical review of the literature. *Computers & Education*, 57(4), 2364-2381.
- [8] Hirth, M., Kuhn, J., Müller, A., Rohs, M., & Klein, P. (2016). iMobilePhysics: Seamless Learning durch Experimente mit Smartphones & Tablets in Physik. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*, 11(4), 17-37.
- [9] ThingView App: Android: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cinetica_tech.thingview&hl=de; iOS: <https://itunes.apple.com/de/app/thingview/id1284878579?mt=8>
- [10] Human, H., Nicolson, S.W. & Dietemann, V. *Naturwissenschaften* (2006) 93: 397. <https://doi.org/10.1007/s00114-006-0117-y>
- [11] Umweltbundesamt <http://www.umweltbundesamt.at/pm25>