

Citizen Science – gemeinsam Wissen schaffen

Doris Dransch¹, Christopher C. M. Kyba¹, Kai Schröter¹, Bin Yang¹, Danijel Schorlemmer¹, Björn Barz², Joachim Denzler²

¹ Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

² Friedrich-Schiller-Universität, Jena

Involving citizens into science has long tradition; examples are bird watching or weather observation. Digital technologies foster citizen science by providing easy to use apps via the Internet serving specific scientific tasks. At GFZ we develop and test approaches to receive data provided by citizens for various scientific applications: Examples are the quantification of light pollution during the night, and the assessment of damages to buildings caused by flood. Data provided by citizens should complement scientific data collected by sensors and thus overcome shortcomings sensors have. In the case of quantifying light pollution an app allows participants to use their visual system as a sensor to measure the brightness of the sky. The app directs participants to find a particular star in the sky, and then report whether it is visible or not. To assess flood damage we develop a system that filters relevant images from the huge amount of information available in social media and to extract suitable information such as inundation depth and area or water pollution. It also supports scientists to judge reliability and usefulness of the information derived from social media. In several studies we already could show the scientific value of data provided by citizens.



Die Beteiligung von interessierten Bürgerinnen und Bürgern an wissenschaftlichen Beobachtungen hat eine lange Tradition. Beispiele dafür sind die Vogel- oder Wetterbeobachtung. Das Einbeziehen Interessierter in die wissenschaftliche Datenerhebung oder auch Auswertung nimmt durch die neuen Möglichkeiten der digitalen Technologien weiter zu. Zum Beispiel helfen Tausende von Laien dabei, astrophysikalische Bilder, die über das Internet zur Verfügung gestellt werden, auf komplexe Muster hin zu analysieren und leisten damit einen wertvollen Beitrag zur Forschung. Am Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ werden Verfahren entwickelt und erprobt, wie geeignete Daten mittels Bürgerbeteiligung – Citizen Science – für die Quantifizierung von nächtlicher Lichtemission, die schnelle Schadensabschätzung bei Flutereignissen, oder die dynamische Modellierung der Gefährdung von Gebäuden bezüglich Erdbeben erhoben und genutzt werden können.

Dabei stellt sich die Frage, warum die von Bürgerinnen und Bürgern erhobenen Daten für die Wissenschaft überhaupt interessant sind. Normalerweise stehen für wissenschaftliche Erhebungen hoch spezialisierte und exakte Sensoren zur Verfügung. „Menschliche Sensoren“ haben trotz Einschränkungen einige Vorteile: Sie können Daten liefern, die von Sensoren nicht erfasst werden. Sensornetze sind teilweise zu weitmaschig, um alle auftretenden Ereignisse zu erfassen, z. B. treten Hagelereignisse oft lokal und damit in Gebieten zwischen vorhandenen Sensoren auf. Sensoren können auch zerstört sein – beispielsweise Abflusspegel, die durch ein Hochwasser hinweggerissen wurden. Hinzu kommt, dass Sensoren nur bestimmte, vordefinierte Merkmale und Perspektiven erfassen; Menschen können fehlende Merkmale und Perspektiven ergänzen. Zum Beispiel haben Satelliten Limitationen in der Erfassung des sichtbaren Lichts, da sie die Erde nur von oben beobachten. Menschen dagegen schauen von unten und können damit ergänzende Informationen liefern. Ein weiterer Vorteil ist, dass Menschen als Augenzeugen eines Ereignisses sehr schnell aktuelle Daten bereitstellen können.

„Menschliche Sensoren“ haben aber auch Einschränkungen: Die Menge der Beobachtungen ist abhängig von der Beteiligung, dies erfordert gezielte Strategien zur Motivation. Außerdem ist

die Qualität der durch Laien erhobenen Daten für die wissenschaftliche Verwendung sicherzustellen. Dazu ist ein sorgfältiges Design der Datenerhebungs- und Bewertungsverfahren wichtig, das die bestehenden Anforderungen berücksichtigt. Wie bei traditionellen Sensoren ist die Effektivität von „menschlichen Sensoren“ für wissenschaftliche Anwendungen zu untersuchen; die Erhebungsverfahren müssen daher getestet und entsprechend angepasst werden.

Digitale Technologien bieten verschiedene Verfahren, um Citizen Science zu unterstützen. Spezifische Internetanwendungen (Apps) ermöglichen eine gezielte Erfassung von Daten durch Freiwillige für definierte Anwendungen. Ein bekanntes Beispiel ist Open Street Map (OSM), dessen Ziel es ist, eine für alle zugängliche digitale Karte der Welt zu schaffen (<https://www.openstreetmap.org>). Eine andere Möglichkeit ist, Informationen, die allgemein im Internet zur Verfügung stehen, für spezifische Zwecke zu nutzen und in Wert zu setzen. Ein Beispiel dafür ist die Auswertung der Information in sozialen Medien für die Bewertung der Lage bei besonderen Ereignissen wie Naturkatastrophen (Fohringer et al., 2015). Die im Folgenden vorgestellten Citizen-Science-Verfahren nutzen diese beiden Optionen. Das Beispiel zur Lichtverschmutzung erfasst über eine spezifische App gezielt Informationen zur Lichtintensität, das Beispiel zur schnellen Abschätzung von Schäden bei Flutereignissen wertet Bilder aus sozialen Netzwerken aus.

Beispiel Lichtverschmutzung

Wie andere Umweltschadstoffe hat auch Kunstlicht dramatische Auswirkungen auf einzelne Tiere und Pflanzen und wirkt damit auf gesamte Ökosysteme ein. Trotz der starken Effekte, wie etwa der bekannten Anziehungskraft von Licht auf Insekten, ist die professionelle Erforschung von Kunstlicht in der Nacht erst seit kurzem als ein wichtiges aufkommendes Forschungsthema im Rahmen der globalen Umweltveränderung anerkannt. Ein grundlegender Schritt zum Verständnis der Folgen jeglicher Umweltveränderung ist die Quantifizierung des Status Quo und der aktuellen Veränderungsrate. Einfach ausgedrückt: Werden die Nächte auf der Erde heller oder dunkler? Auf den ersten Blick mag diese Frage beinahe trivial erscheinen, da die industrielle Entwicklung zweifellos mit zunehmender Helligkeit einhergeht. Während dies in den Entwicklungsländern mit hoher Wahrscheinlichkeit auch zutrifft, könnte die Realität in den hell erleuchteten, reichen Ländern Europas, Nordamerikas und Ostasiens eine andere sein. Zum einen wächst hier das Bewusstsein der Öffentlichkeit für die hohen Kosten der Lichtverschmutzung, die von Schäden der Umwelt bis hin zu kulturellen Schäden reichen: 42% der Deutschen und 60% der Europäer haben von ihrem Zuhause aus keine Sicht auf die Milchstraße (Falchi et al., 2016). Darüber hinaus hat die Kombination aus kommunalen Haushaltsengpässen und der Entwicklung weißer LEDs dazu geführt, dass immer häufiger Beleuchtungskonzepte eingesetzt werden, die unnötiges Licht minimieren.

Links: Citizen Science bezieht Bürgerinnen und Bürger in die Forschung mit ein, indem diese Daten erheben oder die Auswertung von Daten unterstützen.

Left: Citizen Science engages citizens into research activities. Mostly scientists use data that has been collected by citizens; however, citizens can also participate in data analysis.



Kontakt: D. Dransch
(dransch@gfz-potsdam.de)

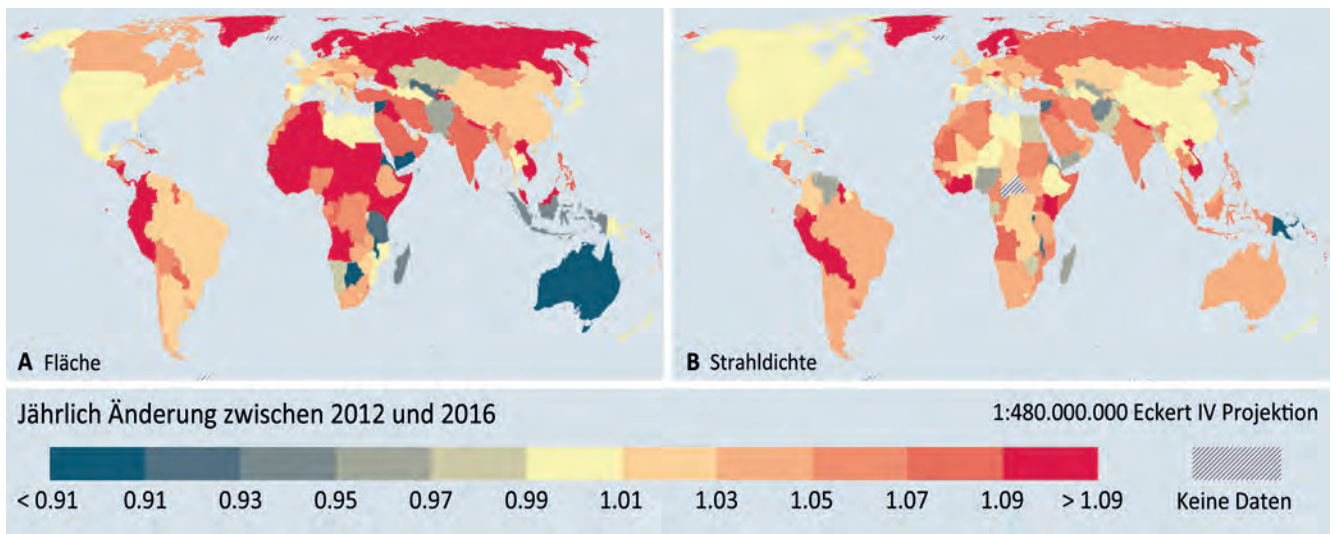


Abb. 1: Nationale jährliche Veränderungsraten der gesamten beleuchteten Fläche (A) und Ausstrahlung gleichmäßig beleuchteter Regionen (B) im Zeitraum 2012 bis 2016 (Abbildung aus Kyba et al., 2017a; CC BY-NC)

Fig. 1: National annual rates of change in total lit area (A) and the radiance of stably lit regions (B), during the period 2012-2016

In einer GFZ-Studie konnte an einem globalen Datensatz von Nachlichtemissionen des „Day Night Band“ (DNB)-Sensors an Bord des Suomi-NPP-Satelliten gezeigt werden, dass trotz der Einführung von LEDs die Beleuchtungsstärken weltweit zunehmen (Kyba et al., 2017a; Abb. 1). Während die Veränderungsrate in den Entwicklungsländern am höchsten ist, nehmen die Werte auch in den meisten reichen, hell erleuchteten Ländern zu. Diese Tendenz ist jedoch uneinheitlich: Während die Mehrzahl der deutschen Bundesländer an Helligkeit zunimmt, ist in Thüringen ein Rückgang zu verzeichnen (Kyba et al., 2017b). Die Gründe hierfür sind noch unbekannt, es wird jedoch vermutet, dass die vermehrte Praxis des Dimmens und Ausschaltens der Lichter in den Nachtstunden, um Energie und Geld zu sparen, für diesen Rückgang verantwortlich ist. Es ist nicht möglich, die Ursachen allein durch Fernerkundung zu ermitteln, da die mit diesem Verfahren erhobenen Nachlichtdaten mehreren Einschränkungen unterliegen.

Eine der größten Einschränkungen des DNB ist, dass dieser mit einem einzigen Breitbandkanal mit einer Empfindlichkeit von etwa 500 bis 900 nm ausgestattet ist. Ist eine Stadt von orangefarbenen Natriumdampflampen auf weiße LEDs umgestiegen, ohne dabei die Beleuchtungsstärke auf Straßenniveau zu reduzieren, misst der Satellit eine verminderte Helligkeit, da der Sensor nicht in der Lage ist, blaues Licht (unter 500 nm) wahrzunehmen. Dies deutet auf einen weiteren Grund für den Rückgang der Werte in Thüringen hin: Möglicherweise ist das Land in größerem Maße auf LEDs umgestiegen. Die Tatsache, dass der DNB-Sensor blaues Licht nicht erkennt, stellt für die Erforschung der Lichtverschmutzung eine große Herausforderung dar.

Dieses Problem kann durch eine Reihe von Projekten, an denen Citizen Scientists beteiligt sind, zumindest teilweise eingedämmt werden. Eines dieser Projekte wird derzeit vom GFZ koordiniert.

Die „Verlust der Nacht“-App ermöglicht den Nutzern, ihr eigenes Sehsystem als Sensor zur Messung der Himmelshelligkeit zu nutzen. Die App weist die Nutzer an, einen bestimmten Stern am Himmel zu suchen und anzugeben, ob dieser für sie sichtbar ist oder nicht (Abb. 2). Die App schlägt Sterne unterschiedlicher Helligkeit vor und zielt darauf ab, eine Grenze zwischen sichtbaren und nicht sichtbaren Sternen zu ziehen. Insgesamt korrelieren die Beobachtungen hinsichtlich dieser Grenze gut mit der vorhergesagten Himmelshelligkeit an Standorten weltweit (Kyba, 2018). Die Daten der „Verlust der Nacht“-App ergänzen die Satellitendaten, da das menschliche Auge auf Licht im sichtbaren Bereich reagiert, welches der Satellit nicht messen kann.

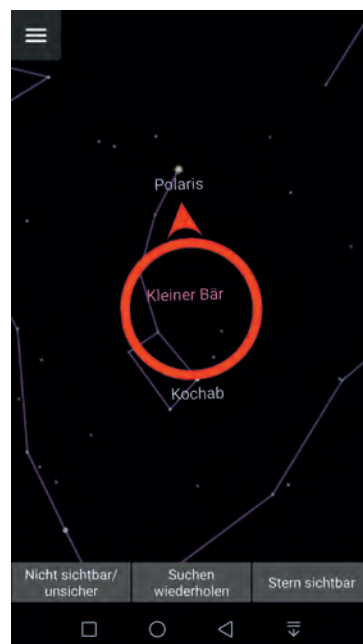


Abb. 2: Die „Verlust der Nacht“-App lenkt den Blick auf den Polarstern und erfragt, ob der Stern sichtbar ist oder nicht.

Fig. 2: The „Verlust der Nacht“ app directing a participant to the Polarstern, and asking them whether they are able to see it or not.

Eine Besonderheit der „Verlust der Nacht“-App ist, dass es möglich ist, die Stimmigkeit der Beobachtungen einzelner Nutzer zu überprüfen. Es gibt gelegentlich Fälle, in denen Beobachter angeben, dass sie einige der sehr hellen Sterne nicht sehen können, gleichzeitig aber in der Lage sind, manche sehr schwach leuchtende Sterne zu sehen. Aufgrund der mangelnden Stimmigkeit in einem solchen Fall können diese Daten verworfen werden. Die hochpräzisen Daten anderer Nutzer der „Verlust der Nacht“-App beweisen hingegen auch, dass Citizen Scientists in der Lage sind, sorgfältige, quantitative Beobachtungen anzustellen.

Es gibt einen deutlichen Zusammenhang zwischen künstlichem Licht und menschlicher Aktivität. Neben den oben genannten Beispielen wird am GFZ im Rahmen der EU-Horizon-2020-Projekte „GEOessential“ und „iCUPE“ der Zusammenhang zwischen Kunstlicht und Rohstoffgewinnungsorten in Entwicklungsländern und Polarregionen untersucht. Derartige Projekte werden auch in den kommenden Jahren aufzeigen, wie wertvoll die Einbeziehung der nächtlichen Beobachtung von sichtbarem Licht in Erdbeobachtungsprogrammen ist. Dies könnte zu künftigen Satellitenmissionen führen, die eine hohe Sensitivität im Bereich des sichtbaren Lichts haben und Multispektralbeobachtungen bei Nacht in höherer Auflösung ermöglichen. Aber auch in diesem Fall werden Beobachtungen von Citizen Scientists notwendig sein, um die Nachtlichtdaten aus der Fernerkundung zu ergänzen. Aufgrund ihrer weltumspannenden Umlaufbahn liefern Satelliten nicht permanent Daten zu einem bestimmten Ort, sondern nur für bestimmte Zeitfenster. Hinzu kommt, dass es einen Unterschied gibt zwischen der von Satelliten erfassten und der von Tieren, Pflanzen und Menschen am Boden wahrgenommenen Lichtintensität. Zum Beispiel strahlen Gebäude in Städten viel Licht nach oben, das von Satelliten erfasst, von Lebewesen am Boden aber kaum wahrgenommen wird. Die Beobachtungen von Citizen Scientists liefern also zusätzliche Daten, die zum einen zeitliche Lücken in den Daten schließen und zum anderen Information zur Lichtintensität aus unterschiedlicher Perspektive beitragen.

Beispiel Schadensabschätzung nach Flutereignissen

Die Flutereignisse der letzten Jahre an Elbe, Donau und Rhein führen die verheerenden Auswirkungen solcher Ereignisse deutlich vor Augen. Mit Hilfe von Schadensmodellen, wie sie am GFZ entwickelt werden, erfolgt eine Abschätzung der entstandenen Schäden. Die Abschätzung von Schäden an Wohngebäuden erfordert Daten zu Ausbreitung, Höhe und Dauer der Flut sowie zur Verschmutzung des Gewässers. Quellen für diese Informationen sind Pegelmessungen (Höhe), Satellitendaten (Ausbreitung), temporäre, besondere Messkampagnen wie Überfliegungen (Verschmutzung) und hydraulische Simulationsmodelle. Diese Quellen liefern eine breite Datenbasis, sie haben jedoch auch Defizite. Pegel sind räumlich in weiten Abständen und nur linear am Fluss entlang vorhanden und liefern lediglich Informationen an einem Punkt. Satelliten stellen flächenhaft Informationen zur Ausbreitung der Flut bereit, allerdings enthalten diese keine Daten über die Fluthöhe. Zudem werden die Daten mitunter be-

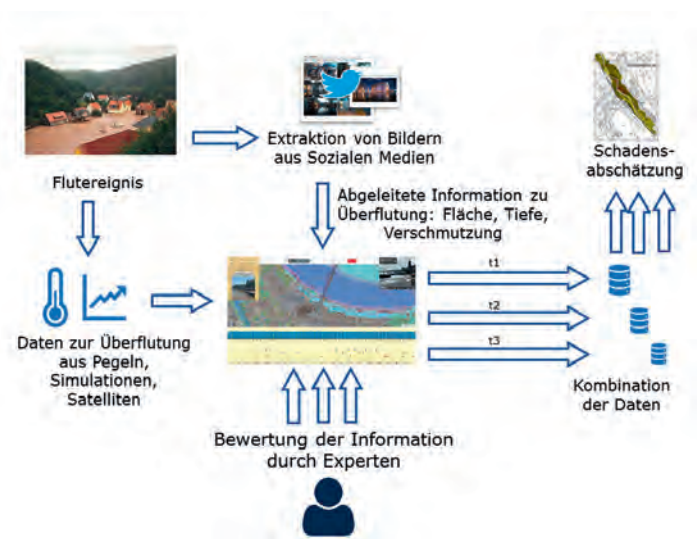


Abb. 3: Konzept für ein Werkzeug zur Extraktion und Bewertung von Bildern aus sozialen Medien für die Schadensabschätzung bei Flutereignissen

Fig. 3: Concept for a tool to extract and assess images form social media for damage estimation during floods

reits vor oder nach dem Scheitelpunkt des Hochwasserereignisses erfasst. Besondere Messkampagnen, die Informationen zur Verschmutzung liefern, werden nicht regelmäßig durchgeführt. Simulationsmodelle sind Annäherungen und können daher je nach Modellausprägung abweichende Informationen erzeugen. Bürgerinnen und Bürger können Informationen bereitstellen, die die Sensor- und Modelldaten ergänzen und ihre Defizite verringern. Die Informationen können Datenlücken schließen und Daten aus Modellen oder Interpolationen verifizieren.

Die GFZ-Sektion „Geoinformatik“ entwickelt und erprobt in enger Zusammenarbeit mit der Sektion „Hydrologie“ Verfahren, die Informationen aus sozialen Medien wie Twitter und Flickr für die Schadensabschätzung von Flutereignissen verfügbar und nutzbar machen. Diese Arbeiten wurden im Rahmen des Projekts CEDIM (Center for Disaster Management and Risk Reduction) begonnen und werden derzeit in dem DFG-Schwerpunktprogramm Volunteered Geographic Information fortgesetzt. Im Mittelpunkt stehen dabei mehrere Herausforderungen: Das Filtern der relevanten Informationen aus der großen Datenflut der sozialen Medien, die Bewertung von Nutzen und Zuverlässigkeit der Informationen aus sozialen Medien im Kontext aller verfügbaren Datenquellen sowie die dynamische Kombination der verschiedenen Datenquellen, die zu verschiedenen Zeitpunkten zur Verfügung gestellt werden und verschiedene Zuverlässigkeiten aufweisen.

Zur Filterung der relevanten Information wurde in einer ersten Ausbaustufe der „Postdestiller“ entwickelt (Fohringer et al., 2015), der aufgrund von textlichen Metadaten relevante Twitter-Posts aus der Gesamtdatenmenge selektiert. Um die Subjektivität der selektierten Information so gering wie möglich zu halten, werden

als Datenquelle nur Bilder ausgewertet, die in Twitter vorliegen und deren Metadaten Informationen zu Hochwasser beinhalten. Aus Bildern lassen sich mittels Auswertung durch Expertinnen und Experten oder Algorithmen objektive Informationen zu Ausbreitung, Höhe und Verschmutzung der Flut gewinnen. In der zweiten Ausbaustufe werden geeignete Bilder nicht nur über Metadaten, sondern über die Bildinhalte über ein sogenanntes content-based image retrieval selektiert und Werte zu Ausbreitung, Höhe und Verschmutzung automatisiert aus den Bildern abgeleitet. Dazu werden Verfahren aus dem Bereich Computer Vision (Machine Learning, z. B. Deep Learning) eingesetzt und weiterentwickelt. Dieser Schritt erfolgt in Kooperation mit dem Fachbereich Informatik an der Universität Jena.

Um Nutzen und Zuverlässigkeit der Informationen aus sozialen Medien im Vergleich mit anderen Datenquellen bewerten zu können, wird derzeit ein visuelles Datenexplorationswerkzeug entwickelt, das alle Daten aus den verschiedenen Datenquellen in ihrer räumlichen Ausdehnung und zeitlichen Gültigkeit zeigt. Damit werden Konflikte in den Daten, wie z. B. Widersprüche oder große Abweichungen in den Werten, sowie räumliche und zeitliche Datenlücken sichtbar. Auf dieser Basis können Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Nutzen und Zuverlässigkeit von einzelnen Daten aus sozialen Medien bewerten, sie als zusätzliche Datenquelle auswählen und mit anderen Daten kombinieren.

Die generelle Brauchbarkeit von Citizen-Science-Daten für die Schadensabschätzung bei Hochwasser konnte im Rahmen gemeinsamer Forschungsarbeiten in verschiedenen Untersuchungen gezeigt werden. *Poser et al. (2010)* haben die Brauchbarkeit von Daten von Betroffenen des Elbe-Hochwassers 2002, die über Telefoninterviews erhoben wurden, bewertet. Die Studie vergleicht Werte der Überflutungstiefe, die aus Daten von Telefoninterviews, Pegelmessungen und einem hydraulischen Modell abgeleitet wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass die ermittelten Werte der Überflutungstiefe aus den verschiedenen Datenquellen in einem

sehr ähnlichen Wertebereich liegen (Abb. 4). *Fohringer et al. (2015)* zeigen, wie Daten der Überflutungsfläche, die aus Bildern in sozialen Medien abgeleitet wurden, als zusätzliche Datenquelle herangezogen werden können, um Widersprüche in Informationen aus Satellitendaten, hydraulischen Modellen und Pegeldaten zu diskutieren und aufzulösen.

Zusammenfassung und Ausblick

Citizen-Science-Ansätze können wissenschaftliches Arbeiten unterstützen, indem sie wertvolle ergänzende Daten liefern. Erforderlich sind digitale Verfahren und Technologien, die die Vorteile von Citizen Science in Wert setzen und Lösungen für den Umgang mit den Einschränkungen anbieten. Diese werden am GFZ in interdisziplinären Projekten entwickelt.

Citizen-Science-Ansätze können neben der Erhebung zusätzlicher Daten, wie in den beiden ausgeführten Beispielen gezeigt, noch weitere Ziele unterstützen. So wird am GFZ ein neuer Ansatz zur Erstellung von Expositionsmodellen für Erdbeben auf Basis von Datenbeständen, die von Bürgerinnen und Bürgern erhoben wurden, wie z. B. Wikipedia oder Open Street Map (OSM) entwickelt. Expositionsmodelle beschreiben Gebäude und Gebäudetypen in einer Region und liefern damit die Datenbasis für die Abschätzung der Vulnerabilität von Gebäuden bezüglich Erdbeben. In dem neuen Global Dynamic Exposure (GDE)-System des GFZ werden anders als in klassischen Ansätzen, die auf Katasterdaten und Experteneinschätzungen basieren, von Bürgern bereitgestellte Datenbestände verbunden und diese Daten im Hinblick auf Expositions- und Vulnerabilitätsindikatoren für jedes einzelne Gebäude separat interpretiert. Die Hauptquelle hierbei ist Open Street Map mit seinen weltweit 300 Millionen Gebäudeumrissen. Im Schnitt steigt diese Anzahl um rund 150 000 pro Tag. Diese Daten werden, wie bei Wikipedia, von Millionen Freiwilligen im Gelände erfasst oder aus offenen Datenquellen nach OSM importiert. Der OSM-Datenbestand ist daher sehr dynamisch, Veränderungen in der

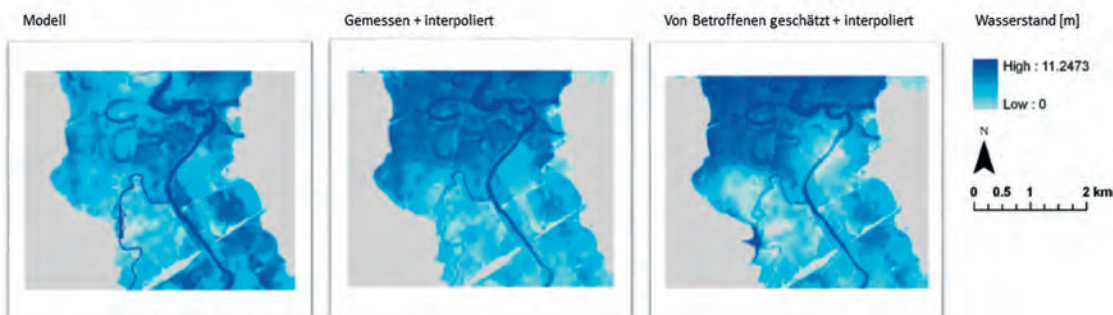


Abb. 4: Überflutungstiefe abgeleitet aus a) einem hydraulischen Modell, b) gemessenen Werten für einzelne Punkte, die in die Fläche interpoliert wurden, d) von Betroffenen geschätzten Werten für einzelne Punkte, die in die Fläche interpoliert wurden (Abbildung aus Poser und Dransch, 2010)

Fig. 4: Inundation depth derived from a) hydraulic model, b) measured at buildings and interpolated, and c) estimated by the affected people and interpolated (Figure from Poser und Dransch, 2010)

Realität werden schnell erfasst. Aus den Daten werden einfache und sichtbare Eigenschaften der Gebäude durch Algorithmen abgeleitet. Beispiele solcher Eigenschaften sind die Form und Lage des Gebäudeumrisses, die Anzahl der Stockwerke, die Dachform und die Nutzung des Gebäudes. Diese Parameter werden auf der Webseite OpenBuildingMap.org dargestellt. Durch von Experten festgelegte Regeln werden die Gebäude klassifiziert und ihre Vulnerabilität bzw. weitere Expositionsparameter, wie Anzahl Personen im Gebäude zur Tageszeit der Katastrophe oder der Wert des Gebäudes, berechnet. Dies geschieht laufend mit jeder Änderung, den ein Gebäudedatensatz erfährt (etwa eine Million Änderungen an Gebäuden pro Tag). Der Vorteil des neuen „Global Dynamic Exposure“-Ansatzes ist, dass durch die schnelle Aktualisierung der Datenbestände durch Bürgerinnen und Bürger und deren Auswertung dynamische aktuelle Expositionsmodelle erstellt werden können.

Citizen-Science-Ansätze können Bürgerinnen und Bürger auch in die Auswertung von Daten einbeziehen. Ein Beispiel aus der Meeresforschung zeigt, wie Citizen Scientists Datenklassifikationsaufgaben unterstützen können. Unterwasserbilder und Videos werden mittels Machine-Learning-Algorithmen automatisiert ausgewertet und klassifiziert, anschließend wird die Zuordnung der Bilder zu Klassen durch Bürgerinnen und Bürger über eine Internet-App überprüft. Erste Erfahrungen mit diesem Citizen-Science-Ansatz am Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung GEOMAR zeigen gute Ergebnisse.

Um das Potenzial von Citizen Science zukünftig in Wert zu setzen, sind mehrere Herausforderungen anzugehen: Für die Wissenschaft sind Bereiche und Aufgaben zu formulieren, für die eine Bürgerbeteiligung einen Mehrwert liefert. Die Bürgerinnen und Bürger müssen überzeugt werden, sich in ausreichender Zahl an den formulierten Vorhaben zu beteiligen. Dazu müssen die wissenschaftlichen Themen und Aufgaben verständlich, nachvollziehbar und interessant sein. Und es müssen Verfahren entwickelt werden, die die Bürgerbeteiligung so gestaltet, dass wissenschaftlich verwertbare Ergebnisse erzielt werden können. Citizen Science ist ein spannendes Feld an der Schnittstelle von Wissenschaft und Gesellschaft, das neue Möglichkeiten, aber auch neue Herausforderungen für beide Seiten mit sich bringt.

Danksagung: Wir danken Canadian Science Publication für die Publikationsgenehmigung der Abb. 4, die folgendem Artikel entnommen ist: Poser, K., Dransch, D. (2010): Volunteered geographic information for disaster management with application to rapid flood damage estimation. - Geomatica, 64, 1, pp. 89-98. © Canadian Science Publishing or its licensors.

Literatur

- Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C., Elvidge, C. D., Baugh, K., Portnov, B. A., Rybnikova, N. A., Furgoni, R. (2016): The new world atlas of artificial night sky brightness. - *Science Advances*, 2, 6, e1600377. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>
- Kyba, C., Küster, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennie, J., Elvidge, C. D., Gaston, K. J., Guanter, L. (2017a): Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent. - *Science Advances*, 3, 11, e1701528. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>
- Kyba, C., Küster, T., Kuechly, H. U. (2017b): Changes in outdoor lighting in Germany from 2012-2016. - *International Journal of Sustainable Lighting*, 19, 2, pp. 112–123. DOI: <https://doi.org/10.26607/ijsl.v19i2.79>
- Kyba, C. (2018): Is light pollution getting better or worse? - *Nature Astronomy*, 2, pp. 267–269. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41550-018-0402-7>
- Fohringer, J., Dransch, D., Kreibich, H., Schröter, K. (2015): Social media as an information source for rapid flood inundation mapping. - *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 15, pp. 2725–2738. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2725-2015>
- Poser, K., Dransch, D. (2010): Volunteered geographic information for disaster management with application to rapid flood damage estimation. - *Geomatica*, 64, 1, pp. 89–98

Link

Citizen-Science-Projekte der Helmholtz-Gemeinschaft:
www.helmholtz.de/citizenscience