

Moderne Technologien und Resilienz

Steffen Haesler & Christian Reuter

Wissenschaft und Technik für Frieden und Sicherheit (PEASEC),
Technische Universität Darmstadt

In: Andreas H. Karsten, Stefan Voßschmidt, Uwe Becker (Hrsg.): Resilienz und Schockereignisse. Kohlhammer, 183–190, 2024.

Abstract

Da in Krisen oft auch Infrastrukturausfälle zu verzeichnen sind, ist ein Ansatz die Resilienz zu erhöhen, dezentrale Systeme zu nutzen. Für den Bereich der Internet-basierte Kommunikation für die Selbstorganisation von Bürger:innen bietet sich hier zum Beispiel *Disruption-Tolerant-Networking (DTN)* an, das Nachrichten von Gerät zu Gerät überträgt. Hierbei ist es nicht nur wichtig, dass es technisch funktioniert, sondern auch für Nutzer:innen gebrauchstauglich ist. Wir verfolgen mit dem ReSON-Prototypen im Projekt *emergenCITY* daher den Ansatz einer hybriden Kommunikation (zentral und dezentral), und ganzheitlichen Anwendung (im Alltag und in Krisen) damit die App bereits etabliert ist, wenn sie in einer Krise besonders wichtig wird.

Einleitung

Wenn man sich mit Server-basierter Chat-Kommunikation in Krisen beschäftigt, kommt man schnell zu der Frage, warum Chat-Nachrichten an Nachbar:innen über einen Server in Kalifornien gesendet werden müssen. Bei der Resilienz von IKT-Systemen, kommt man um Begriffe wie Redundanz, Härtung, die $(n - 1)$ -Regel oder Robustheit nicht herum. Was dabei oft betrachtet wird, ist, wie man ein einzelnes System flexibler und ausfallsicherer gestalten kann, indem man es besonders schützt oder redundant macht. Mit anderen Worten werden Komponenten oder sogar das gesamte System mehr als einmal betrachtet, um im Notfall Ersatz zur Verfügung zu haben. Diese Maßnahmen sind in vielen Fällen sinnvoll und ein Baustein für resiliente Systeme, können jedoch bei weitreichenden Schadenslagen, wie der Flutkatastrophe im Ahrtal 2021, dennoch verwundbar sein. Dies tritt auf, wenn entweder durch die Ausbreitung direkt das gesamte System einschließlich seiner Redundanzen funktionsunfähig wird oder eine ausgefallene notwendige Komponente, wie zum Beispiel die Internet-Konnektivität, das Gesamtsystem unbrauchbar macht. Ein solches Szenario betrifft auch die Nachrichtenübermittlung an Nachbar:innen, die zwar nur 90 Meter entfernt sind, jedoch aufgrund des Ausfalls eines 800 Meter entfernten Sendemasts nicht mehr erreichbar sind. Ein Extrembeispiel wäre etwa, den Server in 9132 Kilometern Entfernung (Frankfurt – San Francisco) anzusteuern.

Es zeigt sich in Krisen, dass Bürger:innen in verschiedenen Weisen Selbstorganisation und Freiwilligenarbeit aufnehmen und hierbei auf digitale Tools und soziale Medien zurückgreifen, die sie auch im Alltag gewohnt sind [Haesler et al. 2021 a]. Dafür werden vorhandene oder neue Chatgruppen in Messengern genutzt oder Communities und Hashtags in sozialen Medien verwendet.

Digital unterstützte Selbstorganisation

Selbstorganisation von Bürger:innen findet immer statt. Sowohl im Alltag als auch in Krisen, wie es sich immer wieder beobachten lässt. Hierbei nutzen Bürger:innen ganz selbstverständlich digitale Tools, wie soziale Medien oder Messenger-Apps. Durch die Techniknutzung im Alltag sind Bürger:innen nicht nur geübte Nutzer:innen für Kollaboration, um z.B. das nächste Nachbarschaftsfest zu organisieren, das Paket bei den Nachbar:innen abzuholen oder um nach Vorräten zu fragen, sondern haben auch wichtige Krisenfähigkeit erworben. Denn gerade auch in Krisen werden digitale Tools verwendet, um z.B. Freiwilligenarbeit zu organisieren. Im Jahr 2018 untersuchten wir in einer Meta-Studie mehr als 50 Arbeiten zur Nutzung sozialer Medien in Krisen der letzten zwei Jahrzehnte und konnten die steigende Bedeutung illustrieren [Reuter et. al 2018]. Die Nutzung von sozialen Medien in verschiedenen Krisen, Katastrophen und Notfällen zeigt, dass Bürger:innen einen starken Bedarf haben, sich selbst digital zu organisieren und zu kommunizieren. Da aber Infrastrukturen oft miteinander verwoben sind und in Folge sogenannte Kaskadeneffekte auftreten können, führt der Ausfall einer Infrastruktur oft zur Störung einer anderen, wie z.B. der Ausfall der Internetkonnektivität durch einen Stromausfall [Aceto et al. 2018]. Dies macht die Nutzung von klassischen sozialen Medien oder Messenger-Apps die das Internet nutzen unmöglich und damit das Zurückgreifen auf Erfahrungen aus dem Alltag.

Resilienz durch dezentrale Systeme

Ein anderer Ansatz besteht darin, auf kleinere dezentrale Instanzen zu setzen und so ein Netz von Systemen zu haben, bei dem nicht zwingend alle Instanzen funktionsfähig sein müssen, damit das Gesamtsystem funktioniert. Einen solchen Ansatz möchten wir an dieser Stelle für die Kommunikationsfähigkeit von Bürger:innen in Krisen und Katastrophen im Rahmen des Forschungsprojekts emergenCITY beschreiben [Hollick et. al 2019]. Hierbei möchten wir den besonderen Fokus auf den Nutzungskontext und die Perspektive der Bürger:innen legen. Eine solche Betrachtung erfolgt innerhalb der Disziplin der *Mensch-Computer Interaktion*¹ und ist insbesondere wichtig bei Systemen, die bei Fehlnutzung Schaden anrichten können oder deren Funktionsfähigkeit in einer Krisensituation unabdingbar ist.

Technik sollte dabei immer holistisch, also ganzheitlich im Kontext mit anderen Aspekten wie der Perspektive der Nutzenden, betrachtet werden. Bei Anforderungen an diese Systeme spricht man von *sicherheitskritischer Mensch-Computer Interaktion* [Reuter, 2021]. Hierbei betrachten wir nicht nur die Technik im Hinblick auf die Ausfallsicherheit, sondern auch, wie Menschen diese Technik fehlervermeidend und unter angemessenem mentalen Aufwand nutzen können.

Wie zu Beginn erwähnt, stellen dezentrale Systeme einen Ansatz dar, um die Resilienz zu verbessern. Ein solcher Ansatz wird im Bereich der Kommunikation durch sogenanntes Peer-to-Peer Messaging verfolgt, wie es beispielsweise aus den frühen 2000er Jahren vom Filesharing bekannt ist. Hierbei werden Daten von einem Peer (User) zu einem anderen Peer gesendet, ohne dabei über einen zentralen Server zu gehen. Ein spezielles dezentrales

¹ <https://fb-mci.gi.de/fachbereich/was-ist-mci>

Protokoll ist *Disruption-Tolerant-Networking (DTN)*, mit dem sogenannten Store-Carry-Forward-Prinzip [Penning et al. 2023], das es sogar ermöglicht Nachrichten über mehrere Peers an eine:n Empfänger:in zu senden. In der einfachsten Variante sendet jede:r Nutzer:in Nachrichten an alle anderen Nutzer:innen in der eigenen Umgebung. Sobald ein Smartphone in die Reichweite eines anderen Smartphones kommt, das am *DTN* teilnimmt, werden Nachrichten automatisch ausgetauscht. Darüber hinaus tragen Nutzer:innen Nachrichten mit sich, wenn sie sich mit ihren Smartphones bewegen. Auf diese Weise können Nachrichten im gesamten Netzwerk verbreitet werden, auch wenn viele Nutzer:innen zu weit voneinander entfernt sind, um direkt zu kommunizieren. Die Übertragung der Nachrichten kann hier je nach Anwendungsfall verschlüsselt erfolgen und nur von einem oder einer bestimmten Empfänger:in lesbar sein oder aber für alle Nutzer:innen lesbar sein.

Im ersteren Fall bedeutet dies, dass Nutzer:innen "in der Mitte" die verschlüsselte Nachricht weiterverarbeiten können, ohne sie zu lesen und sogar als sogenannte „Data-Mules“ (Daten-Maultiere) fungieren, indem sie Nachrichten weiterleiten oder fehlende Verbindungen mit einer kleinen Distanz überbrücken können. Diese dezentrale Kommunikation hat neben der positiven Ausfallsicherheit aber auch Nachteile gegenüber zentraler Kommunikation: Sie ist langsamer, es ist nicht sichergestellt, dass eine Nachricht auch wirklich bei Empfänger:innen ankommt und die Situation ist für Nutzer:innen oft schwer einzuschätzen.

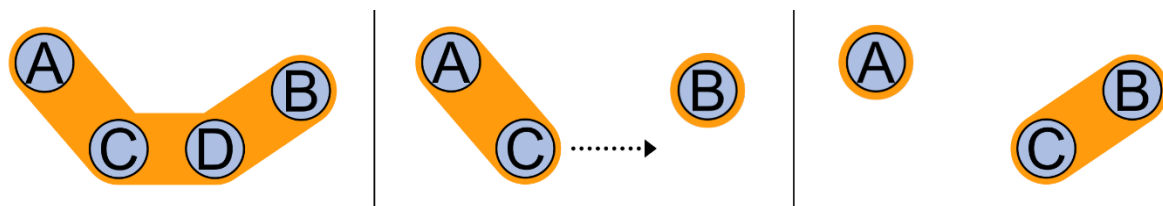


Abbildung 1 - Das "Store-Carry-Forward"-Prinzip von DTN ist für die Nutzer:innen schwer zu verstehen, stellt aber in Krisensituationen Kommunikation sicher. Links: A kann B nicht direkt erreichen, weil B zu weit entfernt ist, aber mit Hilfe von C und D kann die verschlüsselte Nachricht übertragen werden. Mitte: A kann B nicht direkt erreichen, aber wenn C die verschlüsselte Nachricht speichert und durch Bewegung in Richtung B zu einem „Data-Mule“ wird, kann die Nachricht übertragen werden. Rechts: Wenn C in der Nähe von B angekommen ist, wird eine Verbindung zu B ermöglicht und die Nachricht von A ist an B übertragen.

Als Beispiel, wenn Nutzer:in A eine Nachricht an Nutzer:in B über Bluetooth oder WiFi-Direct senden möchte und sie 500 Meter voneinander entfernt sind, ist die Entfernung einfach zu groß und damit ist keine direkte Kommunikation möglich. Da DTN auch ermöglicht Kommunikation über Zwischenempfänger:innen zu gewährleisten, kann eine solche Verbindung überbrückt werden (Abbildung 1). Die Laufzeit zwischen dem Senden und dem Empfangen von Nachrichten kann dabei, in scheinbar für Sendende identischen Situationen, drastisch variieren, wenn sich die Topologie der Nutzenden ändert.

Damit dezentrale Kommunikation auch größere Gebiete abdecken kann, ist es auch möglich die Nachrichtenkommunikation nicht nur auf Smartphones auszuführen, sondern auch Langstreckenfunk mit LoRaWAN oder autonome Drohnen, zur Verbreitung einzusetzen. Die Drohne kann so z.B. die neuesten behördlichen Informationen zur Krise in entlegende Bereiche des dezentralen Netzes transportieren.



Abbildung 2 – Der ReSON App Prototyp unterstützt die Nachbarschaftliche Selbstorganisation bereits im Alltag mit Hilfe von auf zentralen Server basierter Kommunikation, wie man es z.B. von Facebook oder Signal gewohnt ist. Die gleichen Funktionen können aber in einer Krise auch zur Selbsthilfe verwendet werden und selbst bei einem Ausfall des Internets ist es möglich weiterhin in der Nachbarschaft zu kommunizieren.

Genau einen solchen Ansatz für nachbarschaftliche Selbstorganisation haben wir im Rahmen des Projekts *emergenCITY* mit dem App-Prototypen *ReSON* (Resilient self-organized neighborhood, also resiliente selbstorganisierte Nachbarschaften) untersucht [Haesler et al. 2021 b]. Dabei liegt unser Schwerpunkt nicht auf der technischen Implementierung – DTN ist gut erforscht – sondern vielmehr auf der Frage, wie sich die Nutzungskontexte in Krisen, Verbreitung, Anwendungsfälle und Gebrauchstauglichkeit verhalten. Denn die beste Technik nützt nichts, wenn sie am Ende nicht genutzt wird. Hierbei handelt es sich dennoch ausdrücklich um einen Forschungsprototypen, wir hoffen aber entsprechende Impulse setzen zu können.

Ein Ziel bei dem Design von Apps ist, dass die Vorstellung der Nutzenden wie eine App funktioniert, das sogenannte mentale Modell, möglichst genau der tatsächlichen Funktion entspricht und gut zugänglich sein sollte. Dies führt unter anderem zu einer Reduktion von unerwartetem Verhalten einer App. Das mentale Modell wird z.B. durch eine gute Gebrauchstauglichkeit durch die Gestaltung der User-Experience und des User-Interfaces erreicht und kann zudem mit anderen Elementen, wie z.B. Tutorials, unterstützt werden. Hier spielen aber auch Vorerfahrungen mit anderen Apps eine Rolle, die aber in dem Kontext von dezentral kommunizierenden Messenger in der Regel bei Bürger:innen nicht vorhanden ist und vielmehr die Erwartung aus der bequemen Nutzung von zentral kommunizierenden Messenger Apps, wie z.B. WhatsApp, im Wege stehen können.

Bisher ist wenig erforscht, wie bessere UX (User-Experience) und die Benutzbarkeit von Systemen mit DTN Kommunikation aussehen könnte. Die breite Öffentlichkeit ist überwiegend an serverbasierte Kommunikation über das Internet gewöhnt, aber die Eigenschaften von DTN unterscheiden sich erheblich. Die Nutzung von DTN kann aber im Extremfall Leben retten. Einige Forscher:innen untersuchen hierfür speziell den Einsatz von DTN in Krisen, wie Lieser et al., die eine auf DTN basierende Architektur entworfen haben, die in Notfällen den Vorrang für wichtige Verkehrsdaten vorsieht [Lieser et al. 2017], oder Höchst et al., die LoRa-basierte Smartphone-Kommunikation für Krisenszenarien implementiert haben [Höchst et al. 202]. Darüber hinaus haben Campillo et al. verschiedene opportunistische Netzwerktechnologien in Katastrophenszenarien verglichen [Campillo et al. 2013], während Stute et al. [Stute et al. 2022] sich mit dem 'RESCUE'-Framework auf Sicherheit in einer Krisensituation konzentriert haben. Keiner von ihnen fokussiert jedoch speziell auf die Benutzbarkeit und das mentale Modell der Nutzer:innen in Krisen, sondern eher auf die technische Umsetzung, die während Krisen erforderlich wäre. Ein falsches mentales Modell oder eine schlechte UX können Unmut hervorrufen. Forschungen zu Katastrophen-Apps zeigen, dass eine schlechte Benutzbarkeit oder Benutzungserfahrung dazu führen kann, dass Nutzer:innen eine Anwendung vollständig aufgeben, selbst wenn sie zu ihrer eigenen Sicherheit beiträgt [Tan et al. 2020]. Ebenso kann ein falsches mentales Modell von Systemen zu möglicherweise fatalen Fehlern führen.

Doke et al. haben eine Notfall-Smartphone-App entwickelt, die Informationen aus nationalen, staatlichen und landesweiten Quellen aggregiert und so die zentrale serverbasierte Infrastruktur und DTN kombiniert, um die Reichweite auf ländliche Gebiete ohne Handyabdeckung auszudehnen [Doke et al. 2021]. Álvarez et al. haben einen groß angelegten Feldtest durchgeführt unter Beteiligung des BBK im Projekt SMARTER [Álvarez et al. 2018], mit 125 Teilnehmer:innen, die eine simulierte Krise erlebt haben und über eine dezentral arbeitende App kommuniziert haben. Die Evaluation konzentriert sich hauptsächlich auf Übertragungseigenschaften, nicht untersucht wurde jedoch die Wahrnehmung der Teilnehmer:innen von DTN-basierten Nachrichten oder deren Erfahrungen bei der Interaktion mit der verwendeten App. Lu et al. haben einen Ansatz entwickelt, um die Kommunikation in der Katastrophenwiederherstellung mithilfe von Peer-to-Peer-basierter Nachrichtenübermittlung zu ermöglichen, wobei ihr Prototyp 'TeamPhone' sich mehr auf technische Details als auf Nutzungsfreundlichkeit konzentriert [Lu et al. 2016]. Ein weiterer Schlüssel für die bessere Krisennutzung einer App ist es, nicht nur ihre Anforderungen und

gewünschten Funktionen, sondern auch ein Erlernen und Nutzen im Alltag vor einer Krise und vorhandenen sozialen Strukturen mit zu berücksichtigen.

Zeiten ohne Krise mitdenken

Eine zentrale Erkenntnis aus der historischen Betrachtung von Krisen ist, dass Menschen sich umfassend selbst organisieren und sich gegenseitig helfen oder sich auch freiwillig vernetzen, um Hilfe zu leisten. Hierbei ist Kommunikation essenziell. Auch wenn sich in einer besonderen Krisensituation unbekannte Menschen völlig neu vernetzen, sollten Sie idealerweise trotzdem „dieselbe Sprache“ sprechen, d.h. zum Beispiel Zugang zu den gleichen Kommunikationstools haben oder besser noch im Umgang geübt sein. Bei ersterem ist durch die immer neuen Einschränkungen bei dem Kurznachrichtendienst X (vormals Twitter) ein zentrales Instrument der Krisenkommunikation und Freiwilligenarbeit in Krisen unbrauchbar geworden, z.B. weil die Feuerwehr aufgrund eines Nachrichtenlimits keine Nachrichten mehr versenden kann².

Konkret heißt das für unseren Ansatz, dass Bürger:innen eine App die in der Krise hilft, bereits vor der Krise heruntergeladen und ausprobiert haben sollten. Es nützt nichts, wenn die wichtige Krisenapp im App-Store verfügbar ist, man diese aber aufgrund des Ausfalls des Internets nicht mehr herunterladen kann. Wir sind in unseren Untersuchungen aber noch einen Schritt weiter gegangen und stehen einer reinen Krisenfunktion skeptisch gegenüber. Vielmehr denken wir, dass im Falle einer funktionierenden Infrastruktur, eine Kommunikationsapp hybrid, also zentral und dezentral kommunizieren soll. Dies ermöglicht auch, bereits vor einer Krise einen Nutzen im Alltag zu haben, z.B. durch die Unterstützung von Nachbarschaftlicher selbstorganisation, denn ein Hoffest zu organisieren oder sich eine Bohrmaschine zu leihen ist von der Organisationsstruktur nicht wesentlich unterschiedlich zum gemeinsamen Sandsäckefüllen oder sich gegenseitig mit einem Stromgenerator auszuhelfen.

Wir stellen immer wieder fest, dass Bürger:innen in Krisen besonders kreativ sind und vorhandene soziale Medien und Messenger-Apps nutzen und diese z.B. mit Hashtags zu strukturieren [Starbird et al. 2011]. Daher ist ein eher offener Ansatz und die Möglichkeit eine Anwendung bereits im Alltag zu nutzen die beste Krisenvorbereitung, wenn die App in einer Krise weiter funktioniert. Hierbei wäre unser Wunsch, dass sich Bürger:innen nicht mit einer neuen speziellen Krisenbezogenen App beschäftigen müssen, sondern dass weiter daran geforscht wird wie Kommunikation hybrid, also wahlweise dezentral und zentral erfolgen kann, damit bereits jetzt im Alltag genutzte Messenger resilienter werden.

²<https://www.rnd.de/medien/twitter-zugriffslimit-feuerwehr-hamburg-wird-waehrend-bombenentschaerfung-eingeschraenkt-CAA6NRUEHZA4DDP7DSCHNUL2FM.html>

Zusammenfassung

Die vorgestellte Technologie von DTN hat großes Potential für die Kommunikationsfähigkeit in Krisen. Da in Krisen immer wieder das Internet ausfällt, ermöglicht DTN es weiterhin mit Menschen in der näheren Umgebung zu kommunizieren. Hierbei funktioniert die Technologie ohne zentrale Instanz und kommuniziert von Gerät zu Gerät. Damit moderne Technik die Resilienz stärken kann, muss aber nicht nur die Technik selbst resilient sein, z.B. durch dezentrale Kommunikation, sondern sie muss für die Bürger:innen zugänglich, verständlich und bedienbar sein, damit die Resilienz in Krisen nachhaltig gestärkt ist. Ein Schlüssel ist das mentale Modell und damit das Verständnis der Nutzer:innen zur Funktionsweise, was durch eine gute Gestaltung der Nutzungserfahrung und der Gebrauchstauglichkeit, aber auch eine Etablierung im Alltag gefördert werden kann. Dafür müssen Kommunikationsapps am Ende beides können: Im Falle von Konnektivität bequem zentral kommunizieren, aber bei einem Internetausfall auch alternative Kommunikationstechnologien wie DTN anbieten. Die Forschung von Technologien sollte sich dabei also nicht nur auf die technischen Aspekte beschränken, sondern holistisch auch historisches Wissen, Bedürfnisse von Nutzer:innen, eine Integration im Alltag außerhalb der Krise im Sinne der Krisenvorbereitung und auch die Gebrauchstauglichkeit mitdenken.

Danksagungen

Diese Arbeit wurde durch die LOEWE Initiative des Landes Hessen im Rahmen des LOEWE Zentrums emergenCITY gefördert.

Referenzen

Haesler, S., Schmid, S., Vierneisel, A. S., & Reuter, C. (2021). Stronger together: how neighborhood groups build up a virtual network during the COVID-19 pandemic. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 5(CSCW2), 1-31.

Haesler, S., Mogk, R., Putz, F., Logan, K. T., Thiessen, N., Kleinschnitger, K., ... & Hollick, M. (2021, October). Connected self-organized citizens in crises: An interdisciplinary resilience concept for neighborhoods. In *Companion Publication of the 2021 Conference on Computer Supported Cooperative Work and Social Computing* (pp. 62-66).

Aceto, G., Botta, A., Marchetta, P., Persico, V., & Pescapé, A. (2018). A comprehensive survey on internet outages. *Journal of Network and Computer Applications*, 113, 36-63.

Reuter, C., & Kaufhold, M. A. (2018). Fifteen years of social media in emergencies: a retrospective review and future directions for crisis informatics. *Journal of contingencies and crisis management*, 26(1), 41-57.

Reuter, C. (Hrsg.) (2021) *Sicherheitskritische Mensch-Computer-Interaktion: Interaktive Technologien und Soziale Medien im Krisen- und Sicherheitsmanagement (2. Auflage)*. Wiesbaden: Springer Vieweg

Reuter, C. (2022). A European Perspective on Crisis Informatics: Citizens' and Authorities' Attitudes Towards Social Media for Public Safety and Security. Springer Nature.

- Hollick, M., Hofmeister, A., Engels, J. I., Freisleben, B., Hornung, G., Klein, A., ... & Pelz, P. (2019). Emergency: A paradigm shift towards resilient digital cities. In World Congress on Resilience, Reliability and Asset Management (WCRRAM) (pp. 383-406).
- Penning, A., Baumgärtner, L., Höchst, J., Sterz, A., Mezini, M., & Freisleben, B. (2019). Dtn7: An open-source disruption-tolerant networking implementation of bundle protocol 7. In Ad-Hoc, Mobile, and Wireless Networks: 18th International Conference on Ad-Hoc Networks and Wireless, ADHOC-NOW 2019, Luxembourg, Luxembourg, October 1–3, 2019, Proceedings 18 (pp. 196-209). Springer International Publishing.
- Lieser, P., Alvarez, F., Gardner-Stephen, P., Hollick, M., & Boehnstedt, D. (2017, October). Architecture for responsive emergency communications networks. In 2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC) (pp. 1-9). IEEE.
- Höchst, J., Baumgärtner, L., Kuntke, F., Penning, A., Sterz, A., & Freisleben, B. (2020, May). Lora-based device-to-device smartphone communication for crisis scenarios. In Proceedings of the 17th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management (ISCRAM).
- Martín-Campillo, A., Crowcroft, J., Yoneki, E., & Martí, R. (2013). Evaluating opportunistic networks in disaster scenarios. *Journal of Network and computer applications*, 36(2), 870-880.
- Stute, M., Kohnhäuser, F., Baumgärtner, L., Almon, L., Hollick, M., Katzenbeisser, S., & Freisleben, B. (2020). RESCUE: A resilient and secure device-to-device communication framework for emergencies. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 19(3), 1722-1734.
- Tan, M. L., Prasanna, R., Stock, K., Doyle, E. E., Leonard, G., & Johnston, D. (2020). Usability factors influencing the continuance intention of disaster apps: A mixed-methods study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101874.
- Doke, K., Affinnih, H. O., Yuan, Q., Gasco-Hernandez, M., Gil-Garcia, J. R., Bogdanov, P., & Zheleva, M. (2021, June). Improving Emergency Preparedness and Response in Rural Areas. In ACM SIGCAS Conference on Computing and Sustainable Societies (pp. 66-78).
- Álvarez, F., Almon, L., Lieser, P., Meuser, T., Dylla, Y., Richerzhagen, B., ... & Steinmetz, R. (2018, October). Conducting a large-scale field test of a smartphone-based communication network for emergency response. In Proceedings of the 13th Workshop on Challenged Networks (pp. 3-10).
- Lu, Z., Cao, G., & La Porta, T. (2016, March). Networking smartphones for disaster recovery. In 2016 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom) (pp. 1-9). IEEE.
- Starbird, K., & Palen, L. (2011, May). "Voluntweeters" self-organizing by digital volunteers in times of crisis. In Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems (pp. 1071-1080).