

Evaluierung aus der Vogelperspektive: Innovativer Einsatz von Fernerkundungstechniken

Leppert, Gerald; Lech, Malte; Ghaffarian, Saman; Kerle, Norman

Veröffentlichungsversion / Published Version

Arbeitspapier / working paper

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Leppert, G., Lech, M., Ghaffarian, S., & Kerle, N. (2022). *Evaluierung aus der Vogelperspektive: Innovativer Einsatz von Fernerkundungstechniken*. (DEval Policy Brief, 4/2022). Bonn: Deutsches Evaluierungsinstitut der Entwicklungszusammenarbeit (DEval). <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-79586-5>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY-NC-ND Lizenz (Namensnennung-Nicht-kommerziell-Keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY-NC-ND Licence (Attribution-Non Commercial-NoDerivatives). For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

EVALUIERUNG AUS DER VOGELPERSPEKTIVE: INNOVATIVER EINSATZ VON FERNERKUNDUNGSTECHNIKEN

Zusammenfassung

Im November 2013 waren die Philippinen mit einem der stärksten jemals gemessenen tropischen Wirbelstürme konfrontiert. Der Taifun Haiyan verwüstete weite Teile des zentralen philippinischen Archipels und forderte landesweit über 6 000 Todesopfer. Der Taifun, als jüngste gravierende Episode extremer Wetterereignisse, offenbart die hohe Klimavulnerabilität des Landes. In solchen Katastrophensituationen ist ein Blick aus der Vogelperspektive erforderlich, um die Situation genau zu erfassen: um das Ausmaß der Schäden zu kartieren, Nothilfe zu leisten und den Wiederaufbau zu unterstützen. Der Einsatz von Fernerkundung (remote sensing, RS) ist dafür unverzichtbar. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für eine RS-Analyse der Schäden in der vom Taifun verwüsteten Stadt Tacloban.

Die Vogelperspektive bietet auch für Evaluierungen große Chancen. Ein räumlicher Eindruck von Veränderungen der lokalen Bedingungen (z. B. Waldbestand, Wiederaufbau oder Klimawandel) ermöglicht ein besseres Verständnis der Wirksamkeit von Entwicklungsprogrammen. Eine systematische Nutzung von RS-Daten ermöglicht durch Hinzunahme einer räumlichen Dimension eine bessere Beantwortung der Evaluierungsfragen. In diesem Policy Brief wird der methodische Ansatz von DEval zur Analyse von hochauflösenden RS-Daten unter Anwendung von Bildklassifizierungstechniken und Techniken des maschinellen Lernens (ML) vorgestellt. DEval hat den Ansatz in enger Zusammenarbeit mit RS-Fachleuten der Fakultät für Geoinformationssysteme und Erdbeobachtung (ITC) an der Universität Twente in den Niederlanden entwickelt.

Ziel des Einsatzes innovativer RS-Techniken ist es, durch eine Erweiterung des methodologischen Instrumentariums von Mixed-Methods-Designs die Evaluierbarkeit zu verbessern. RS-basierte Ansätze bieten typischerweise diese Vorteile:

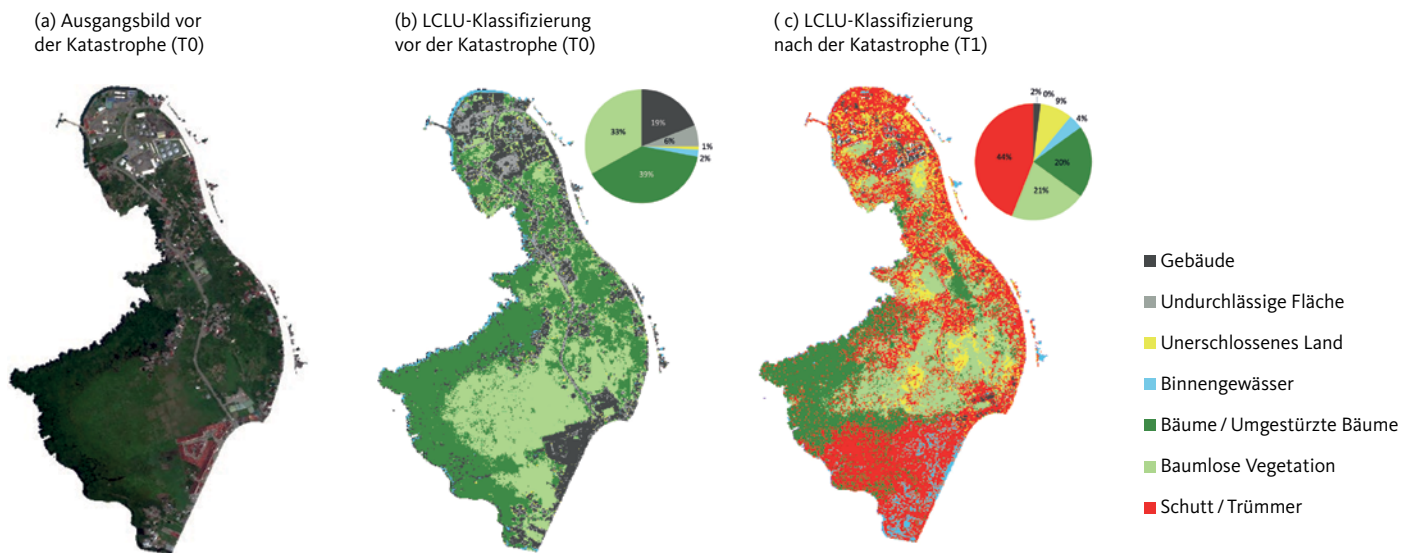
- Der Zeitrahmen der Evaluierung kann ausgeweitet werden, da archivierte RS-Daten häufig über längere Zeiträume vor und nach einer Entwicklungsmaßnahme oder einem bestimmten Ereignis (z. B. einer Naturkatastrophe) verfügbar sind;
- Es ist möglich, schwer zugängliche Gebiete (z. B. aufgrund von Konflikten oder Katastrophen) zu erfassen;
- Unmittelbare, aber auch graduelle Veränderungen in den menschlichen und physischen Rahmenbedingungen können verfolgt werden.

Die Studie zum Katastrophenrisiko-Management (disaster risk management, DRM) in der Region Tacloban diente als Fallbeispiel für die Anwendung eines innovativen Klassifizierungssystems für Landbedeckung und Landnutzung (land-cover and land-use, LCLU), unterstützt durch modernste ML-Techniken. Der methodische Ansatz ermöglichte die Messung komplexer Indikatoren für die Katastrophenresilienz und den sozioökonomischen Wandel. Durch den Einsatz eines Systems zur (fast) automatischen Erkennung und Messung von Landnutzungsänderungen konnten wir den Wiederaufbau anhand von Proxy-Indikatoren bewerten. Der ML-basierte Ansatz ermöglichte die Anwendung in einem größeren geografischen Maßstab. Der auf Proxy-Indikatoren basierende Ansatz ebnet den Weg für weitere Wirkungsevaluierungen unter Verwendung von RS-Daten, zum Beispiel im Bereich der Anpassung an den Klimawandel (climate change adaptation, CCA) – ein zunehmend wichtiges, aber methodisch anspruchsvolles Thema für die Evaluierungsgemeinschaft.

Innovative Nutzung von Fernerkundung für komplexe Evaluierungszwecke

Die Entwicklungszusammenarbeit (EZ) und die Evaluierung der EZ sind damit konfrontiert, dass die Maßnahmen immer komplexer werden, eine immer größere räumliche Dimension haben und die Nachfrage nach rigorosen Wirkungsevaluierungen steigt. Ein

Abbildung 1 LCLU-Klassifizierung von Barangay 69 in der Stadt Tacloban vor und nach dem Taifun Haiyan



Beispiel ist der Bereich CCA: Durch den Klimawandel verstärkte extreme Wetterereignisse, Veränderungen der Vegetation und Landnutzung erfordern Anpassungsmaßnahmen. Daher müssen Evaluator*innen Interventionen zum Klimaschutz, zu CCA und DRM bewerten können.

Evaluierungsfragen, die raumbezogene Daten und Analysen erforderlich machen, sind eine Herausforderung für das derzeitige evaluatorische Instrumentarium. Jenseits von Karten und vorklassifizierten geografischen Daten ermöglicht der innovative Einsatz von RS-Techniken die Bewertung von Maßnahmen und menschlichen Reaktionen, einschließlich schrittweiser und weitreichender Veränderungen.

RS ist eine Methode zur Sammlung von Geodaten, bei der eine Vielzahl von Sensoren auf verschiedenen Trägersystemen wie Satelliten, unbemannten Luftfahrzeugen oder Flugzeugen eingesetzt werden. Die Spektralbänder der verschiedenen Sensoren reichen von sichtbarem Licht über Nahinfrarot bis hin zu Radarsignaturen. Die gesammelten Daten können mithilfe geografischer Informationssysteme (GIS) und Bildanalysealgorithmen ausgewertet werden. Der Anwendungsbereich kann von einer sehr kleinen merkmalsbasierten Bewertung (z. B. der Struktur von Gebäuden und Dächern) bis hin zur Landbedeckung im globalen Maßstab reichen. Ein ML¹-Algorithmus ermöglicht die Identifizierung komplexer und variabler Merkmale, wie z. B. eine bestimmte Landnutzung oder Katastrophenschäden, aus einer kleinen

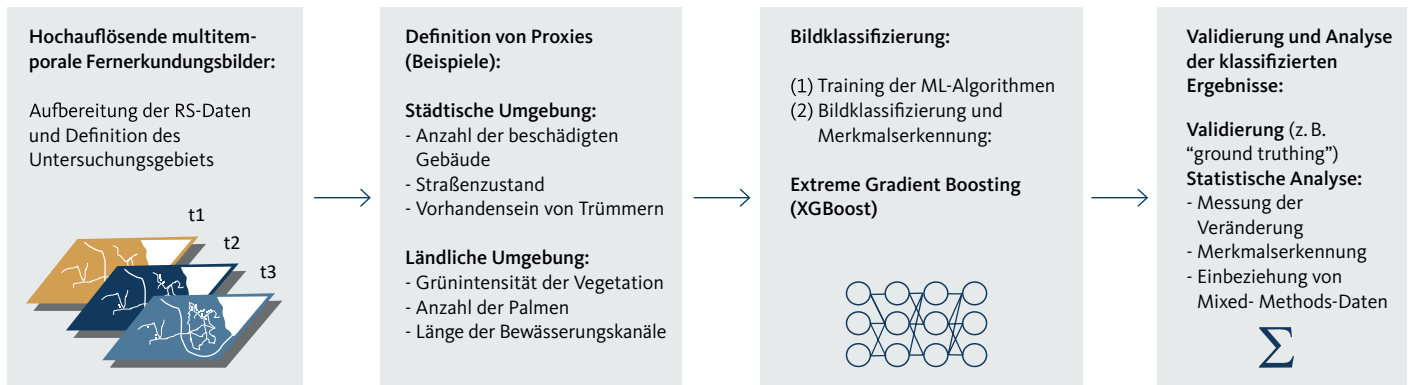
Anzahl von Stichproben des Zielmerkmals in Verbindung mit sehr großen bestehenden Bilddatenbanken, wodurch die lokale Analyse auf einen größeren Maßstab ausgeweitet wird.

Die Flexibilität von RS-Daten ermöglicht vielfältige Anwendungen in Evaluierungen. Die Erhebung von RS-Daten erfolgt unabhängig vom Evaluierungsprozess, und sie liefern auch wichtige Basisinformationen vor einer EZ-Maßnahme, die sonst nicht verfügbar wären. Bildmaterial aus unterschiedlichen Zeiträumen macht Veränderungen sichtbar und ermöglicht präzise Wirkungsmessungen. RS-Daten aus verschiedenen Spektralbändern erlauben die Erfassung nicht nur sichtbarer Merkmale, sondern auch vieler anderer Informationen, z. B. über Baumaterial, Vegetation oder physikalische Veränderungen.

DEval und ITC haben einen methodischen Ansatz entwickelt, der modernste ML-Methoden zur Landnutzungsklassifizierung für die Messung der Katastrophenresilienz verwendet (Lech et al., 2020; Kerle et al., 2019). Durch ML können große Datensätze (z. B. Landflächen) basierend auf trainierten und selbstoptimierenden Berechnungsverfahren zuverlässig, effizient und genau klassifiziert werden. DEval hat den Ansatz an einer Fallstudie auf den Philippinen getestet, die auf der Evaluierung einer Intervention zur umfassenden Landnutzungsplanung basiert (Leppert et al., 2018). Die Studie folgte einem Mixed-Methods-Design, das Längsschnittumfragedaten zu Planung und DRM in Kommunen mit Informationen aus hochauflösenden RS-Daten kombinierte. Ziel der

¹ Maschinelles Lernen ist eine Form der künstlichen Intelligenz. Seine Algorithmen verbessern schrittweise ihre Leistung bei einer bestimmten Aufgabe, zum Beispiel bei der Erkennung von Mustern in großen Datensätzen. Mit zunehmender Erfahrung werden sie bei der Vorhersage von Ergebnissen immer genauer.

Abbildung 2 Stilisierter Arbeitsablauf der Proxy-basierten RS-Analyse



Quelle: DEval, eigene Abbildung

Fallstudie war die Entwicklung eines Verfahrens zur Methodenintegration, bei der RS in ML und ökonometrische Evaluierungsmethoden integriert wird, um Performanz des Wiederaufbaus und Resilienz zuverlässig zu bewerten.

Methodischer Ansatz zur Verknüpfung von Fernerkundungsdaten mit maschinellem Lernen

In unserem methodischen Ansatz zur Messung der Katastrophenresilienz haben wir bestimmte sichtbare Muster als Proxies für den Wiederaufbau nach einer Katastrophe und den sozioökonomischen Wandel definiert, die von der Schadensbewertung bis zur landwirtschaftlichen und sozioökonomischen Erholung reichen.

Wir nutzten Spektraldaten von kommerziellen Satelliten wie WorldView-2/3 und Pleiades. Diese Satelliten liefern Bilder im visuellen und nahen Infrarot-Spektralbereich mit einer räumlichen Auflösung von bis zu 50 cm – eine Detailgenauigkeit, um auch kleine Objekte wie einzelne Fahrzeuge, Baumaterial oder kleinflächigen Anbau zu erkennen.

Aus einer eingehenden Analyse der LCLU-Daten leiteten wir einen Katalog von Proxies ab. Bei diesem Ansatz identifizierten die Evaluator*innen visuell verschiedene Landklassen in den RS-Daten, wählten manuell Trainingsgebiete für jede Klasse aus und implementierten die Klassifizierungsmethode auf Grundlage dieser Gebiete. Die Indikatoren reichten von allgemeinen LCLU-Klassen, wie Gebäudestrukturen oder mit Schutt oder Trümmern bedeckten Flächen, bis hin zu Bedachungsmustern. Der Proxy-Katalog ermöglichte nicht nur die Messung von Schäden, sondern auch funktionale Bewertungen und eine Einschätzung des sozioökonomischen Status, z. B. durch die Identifizierung informeller Siedlungen. Ein auf Bildanalyse spezialisierter ML-basierter

Klassifikator wendete dann das Trainingsmodell auf die Klassifizierung von wesentlich größeren Gebieten an. Wir verwendeten hauptsächlich den ML-Algorithmus Extreme Gradient Boosting (XGBoost) – ein überwachtes Lernmodell, das durch intensives, progressives Lernen eine Klassifizierung mit hoher Präzision und Leistung ermöglicht. Die ML-basierte Analyse hat insbesondere Vorteile bei größeren Landflächen und erkennt auch komplexe Merkmale oder Muster, die nicht einfach oder eindeutig beschrieben werden können, anders als bei traditionelleren Klassifizierungstrainingsansätzen.

Die multitemporale Analyse nutzte RS-Daten von vier Zeitpunkten um Veränderungen zu messen: Die Situation vor der Katastrophe, unmittelbar nach dem Taifun und zu zwei Zeitpunkten in der Phase nach der Katastrophe. Dies ermöglichte eine Bewertung der Schäden und des Wiederaufbauprozesses.

Chancen und Herausforderungen

Der Proxy-basierte Ansatz zur Analyse von RS-Daten eröffnet neue Möglichkeiten für Evaluierungen: Er erlaubt es, jegliche Veränderungen der LCLU zu erkennen, von kleinräumigen bis hin zu großräumigen Veränderungen. Spektrale Informationen, die über den visuellen Bereich des menschlichen Auges hinausgehen, erweitern den Anwendungsbereich, z. B. für die Analyse ökologischer Systeme oder der landwirtschaftlichen Produktion. Der Ansatz ermöglicht eine Extrapolation der sozioökonomischen Bedingungen von Gebieten, für die keine Erhebungsdaten vorliegen, z. B. die Charakteristika von Häusern, die Funktionalität der Straßeninfrastruktur oder das Vorhandensein öffentlicher Einrichtungen. Zudem lassen sich auch subtilere, großräumige Veränderungen, wie der Zusammensetzung landwirtschaftlichen Anbaus, identifizieren, die vor Ort nur schwer zu beurteilen sind.

Obwohl RS-Daten inzwischen weithin verfügbar sind und ML-Techniken bei der Klassifizierung immer effizienter und genauer werden, sind validierte Proxies immer noch selten (Lech et al., 2020). Auch das sogenannte "ground-truthing", d. h. die Triangulation mit detaillierteren, lokalen Informationen zur Verbesserung der Qualität des ML-Algorithmus-Trainings, ist weiterhin wichtig, z. B. zur Überprüfung von Projektdaten. Die hohen Kosten für kommerzielle (sehr) hochauflösende RS-Daten, die sich auf 25-35 US-Dollar pro Quadratkilometer belaufen, erschweren großräumige Analysen. Andererseits gibt es immer mehr geeignete, frei zugängliche RS-Daten, z. B. die Daten des Sentinel oder Planet Labs.

Künftige Entwicklungen: Es ist an der Zeit, Ihr Instrumentarium durch RS-Analysen zu ergänzen

Durch die Erschließung der räumlichen Dimension birgt die ML-basierte Klassifizierung von RS-Daten großes Potenzial für Evaluierungen. Ihre Anwendung geht (weit) über Umwelt-, DRM- oder CCA-Maßnahmen hinaus und umfasst auch solche zur städtischen und ländlichen Entwicklung, zur Migration und transformativen Ansätzen. Weiterentwicklungen werden es ermöglichen, die aktuelle Wirtschaftstätigkeit, die Nutzung von Infrastrukturen und Anbautechniken detailliert zu messen.

Literaturhinweise

Lech, M., S. Ghaffarian, N. Kerle, G. Leppert, R. Nawrotzki, K. Moull und S. Harten (2020), *A Proof-of-Concept of Integrating Machine Learning, Remote Sensing, and Survey Data in Evaluations. The Measurement of Disaster Resilience in the Philippines. DEval Discussion Paper 1/2020*, Deutsches Evaluierungsinstitut der Entwicklungszusammenarbeit (DEval), Bonn.

Kerle, N., S. Ghaffarian, R. Nawrotzki, G. Leppert und M. Lech (2019), "Evaluating Resilience-Centered Development Interventions with Remote Sensing", *Remote Sensing*, Vol. 11, No. 21, p. 2511.

Leppert, G., L. Hohfeld, M. Lech und T. Wencker (2018), *Impact, Diffusion and Scaling-Up of a Comprehensive Land-Use Planning Approach in the Philippines*. Deutsches Evaluierungsinstitut der Entwicklungszusammenarbeit (DEval), Bonn.

Unsere Fallstudie zum DRM auf den Philippinen war relativ einfach, da der Wiederaufbauprozess gut lokalisierbar ist und durch ein klar definiertes Ereignis (d. h. den Taifun) ausgelöst wurde. Graduellere ökologische Prozesse und verschiedene menschliche Eingriffe oder Aktivitäten erfordern weitere technologische Fortschritte sowie neue, optimierte Proxies. Daher streben wir eine Ausweitung der Proxy-Indikatoren auf andere ökologische und sozioökonomische Indikatoren wie Vegetationsveränderungen, landwirtschaftliche Produktion und Bodenfruchtbarkeit an. In einer Evaluierung zu CCA führen wir zum Beispiel eine räumliche Wirkungsanalyse zu den Auswirkungen der Bewässerungsmaßnahmen der deutschen EZ in Mali durch. Eine bessere Integration von ground-truthing und eine systematische Einbeziehung von RS-basierten Analysen in Mixed-Methods-Designs sind weitere relevante Bereiche.

RS-Daten sind vielfältiger und hochwertiger geworden, gleichzeitig sind die Kosten für RS-Daten gesunken. Mit zunehmender Rechenleistung und ausgefeilten ML-Klassifizierungsmethoden erweitert sich das Spektrum möglicher Anwendungen ständig. Es ist an der Zeit, innovative RS-Techniken als integralen und flexiblen Bestandteil in das Instrumentarium der Evaluator*innen aufzunehmen.

Dr. Gerald Leppert, Teamleiter, DEval

Dr. Malte Lech, Ehem. Evaluator, DEval

Dr. Saman Ghaffarian, Wageningen University

Prof. Dr. Norman Kerle, ITC, University of Twente



Das Deutsche Evaluierungsinstitut der Entwicklungszusammenarbeit (DEval) ist vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) mandatiert, Maßnahmen der deutschen Entwicklungszusammenarbeit unabhängig und nachvollziehbar zu analysieren und zu bewerten. Mit seinen Evaluierungen trägt das Institut dazu bei, die Entscheidungsgrundlage für eine wirksame Gestaltung des Politikfeldes zu verbessern und Ergebnisse der Entwicklungszusammenarbeit transparenter zu machen.