

Impressum:

Angewandte Fernerkundung mit der Google Earth Engine

Georg Stauch (Hrsg.)

Geographisches Institut der RWTH Aachen

Templergraben 55

52056 Aachen

Aachen, 2024

120 S.

Verfügbar über das institutionelle Repository der RWTH Aachen University:

DOI: [10.18154/RWTH-2024-03408](https://doi.org/10.18154/RWTH-2024-03408)



[CC BY 4.0 Deed | Attribution 4.0 International | Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Dieser Sammelband wird lizenziert unter der CC-BY Lizenz, ausgenommen hiervon sind Teile oder Werke, die ausdrücklich unter einer anderen Lizenz stehen.

Fernerkundung und Cloud-Computing – Eine kurze Einführung

Georg Stauch

Zusammenfassung

In den letzten Jahrzehnten haben sich Fernerkundungsdaten zu einer essentiellen Informationsquelle für geographische Forschung entwickelt und sind heute ein wichtiger Bestandteil der geographischen Ausbildung. Dieser Sammelband stellt einige Ergebnisse eines Kurses zur Analyse von Fernerkundungsdaten aus der Geographie an der RWTH zusammen. Ziel ist es einerseits einen kleinen Überblick über möglichen Anwendungsfelder zu geben und andererseits Studierende schon im Rahmen ihres Studiums an das wissenschaftliche Publizieren heranzuführen. Alle Arbeiten wurden daher im Rahmen eines internen peer-review Verfahrens von den Studierenden selbst begutachtet. Der Sammelband umfasst vier Studien. Von **Werres und Rakers** werden *Sommerliche Dürreereignisse und ihre Auswirkungen auf die Vegetation am Beispiel von Aragonien in Spanien* analysiert. Der zweite Beitrag erfasst *Changes in forest cover in the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia – an analysis with the Google Earth Engine* (**Reichardt**). Waldbrände in Australien werden von **Berg, Buschmeier und Hüsgen** in ihrer Studie *Buschbrandmonitoring auf Grundlage von optischen Fernerkundungsdaten im Bundesstaat Victoria (Australien) – Vegetationsregeneration auf Brandflächen* betrachtet. **Richter** untersucht den *Effekt von El-Niño-Events auf Sea Surface Temperature und Chlorophyll-Gehalt im California Current System*.

1 Einleitung

Während die Analyse von Luftbildern schon seit der Mitte des 20. Jahrhunderts in der geographischen Forschung verankert ist (z. B. Finkel, 1959), führte der Beginn der Landsat-Reihe 1972 zu einer schnellen Erweiterung des Nutzungskreises für Fernerkundungsdaten. Der Einsatz dieser Daten war aber weiterhin durch

die Beschaffung und insbesondere Limitierungen bei der Prozessierung begrenzt. Dennoch entwickelt sich die Fernerkundung schnell zu einer wichtigen Informationsquelle für geographische Fragestellungen. Die Auswertung war jedoch meist auf einzelne oder eine geringe Anzahl an Szenen beschränkt (Casu et al., 2017).

2 Aktuelle Entwicklungen in der Fernerkundung

In den letzten Jahren gab es signifikante Entwicklungen im Bereich der Fernerkundung, die zu einem Paradigmenwechsel geführt haben. Zu diesen neuen Entwicklungen zählen insbesondere deutliche Verbesserungen bei der räumlichen und spektralen Auflösung sowie bei der Anzahl der verfügbaren Sensoren (Toth and Józsków, 2016). Hochauflösende multi- und zum Teil hyperspektrale Systeme sind inzwischen weit verbreitet. So haben Landsat 8 und 9 eine räumliche Auflösung von 30 m im Bereich des sichtbaren Lichts und des nahen Infrarots sowie 15 m im panchromatischen Kanal. Die Satelliten der Sentinel-2 Reihe weisen sogar eine räumliche Auflösung von 10 m auf. Kommerzielle Satelliten erreichen Auflösungen von unter 50 cm (z.B. WorldView, GeoEye oder Pléiades Neo). Hinzu kommen Radarsensoren wie z. B. die europäische Sentinel-1 Satellitenreihe, welche ganz neue Anwendungsmöglichkeiten bieten (Ullmann and Stauch, 2020). Aufgrund der Vielzahl an Systemen ist auch die zeitliche Auflösung bei der Erdbeobachtung deutlich gestiegen (Drusch et al., 2012). In Kombination mit der verbesserten räumlichen und spektralen Auflösung ist es damit aber auch zu einem enormen Anstieg der Datenmengen gekommen (Shirmard et al., 2022). Durch die freie Verfügbarkeit von Geodaten (open-data policy) und insbesondere auch

von Satellitendaten sowie open-source Programmen zu Auswertung stehen den Nutzern in jüngerer Zeit eine Vielzahl von Daten zur Lösung geographische Fragestellungen zur Verfügung. An erster Stelle sind hier die lang zurückreichende Landsat-Reihe und die MODIS-Sensoren auf den NASA Satelliten Aqua und Terra sowie die verschiedenen Plattformen und Sensoren der europäischen Sentinel-Satelliten zu nennen. Diese sind auch in jüngerer Zeit die am häufigsten in der Forschung verwendeten Systeme und es wird erwartet, dass insbesondere die Bedeutung von Sentinel zukünftig deutlich zunehmen wird (Zhao et al., 2022). Als weitere großer Schritt hat der Einsatz von Machine-Learning Methoden die Datenauswertung in vielen Fällen revolutioniert. Insbesondere lassen sich jetzt eine Vielzahl von Kanälen und Sensoren gleichzeitig für eine Fragestellung auswerten (Parente et al., 2019; Shirmard et al., 2022).

3 Cloud Computing

Aufgrund der großen Datenmengen basiert die Auswertung der Daten in den letzten Jahrzehnten in einem immer größeren Maße auf Cloud-Computing. Dabei werden die Daten nicht mehr lokal auf dem eigenen Rechner verarbeitet, sondern es wird für die Datenspeicherung und -verarbeitung auf Server via Internet zugegriffen. Allein die Landsat Satelliten haben seit 1972 ca. 9 Mio. Bilder der Erdoberfläche aufgezeichnet.

Zur bedeutendsten Cloud-Computing-Plattform hat sich in den letzten Jahren die Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com>) entwickelt. Die web-basierte Plattform ermöglicht die Auswertung großer Datenmengen ohne diese auf das lokale Endgerät zu laden (Gorelick et al., 2017). Die Nutzung ist kostenfrei und erfordert nur eine Anmeldung. Die Abfragen erfolgen über die IDE (Integrated Development Environment) entweder in Java Skript (JS) oder in Python. Der Datenexport erfolgt u. a. über Google Drive und die Daten können dann z. B. für das Layout in QGIS weiterverarbeitet werden. Eine Vielzahl von fertigen Skripten und Algorithmen ermöglicht einen schnellen Einstieg in die Datenverarbeitung, allerdings sind diese nicht in allen Fällen nachvollziehbar (Black Box).

4 Anwendung

Aufgrund der einfachen Bedienbarkeit und der Vielzahl an verfügbaren Datensätzen hat sich die Google Earth Engine in den letzten Jahren zu einem bedeutenden Werkzeug für die geographische Forschung entwickelt (Tamiminia et al., 2020; Velastegui-Montoya et al., 2023). Cloud-Computing hat die Analyse von großräumiger und zum Teil die gesamte Landoberfläche umfassenden Forschungsfragen ermöglicht. Diese sind aufgrund der großflächigen sowie lokalen Änderungen auf der Erdoberfläche (Cendrero et al., 2022; Cooper et al., 2018)

durch den globalen Klimawandel (IPCC, 2023) und des zunehmenden anthropogenen Flächenverbrauch (Rockström et al., 2023; Syvitski et al., 2022) von zunehmender Bedeutung.

Eine der ersten dieser Analysen war die Erfassung der globalen Waldflächen (Hansen et al., 2013). Neuere Studien beinhalten die Erfassung von Siedlungsflächen (Liu et al., 2018) oder des Chlorophyllgehaltes von Seen (Zhao et al., 2024). Aber auch für die Erfassung von lokalen Änderungen wird auf Cloud-Computing zurückgegriffen. Studien unter Verwendungen der Google Earth Engine umfassen z.B. den Einfluss von Trockenphasen auf die Wälder in Deutschland (Philipp et al., 2021), die Erfassung von Seen in der Mongolei (Zhou et al., 2019) oder von Dünen in der Sahara (Pradhan et al., 2018). Einen großen Anwendungsbereich stellen verschiedenen Verfahren zur Landnutzungs-klassifikation dar (Phan et al. 2020).

Für die Lehre bietet die Google Earth Engine verschiedene Vorteile. Der Einstieg in die Programmierung ist mit Java Skript vergleichsweise einfach und ermöglicht auch Studierenden ohne Erfahrung im Programmieren einen schnellen Einstieg. Hinzu kommt, dass inzwischen eine Vielzahl von Tutorials auf verschiedenen Plattformen zur Verfügung stehen, die auch ein eigenständiges Lernen der Studierenden z. B. vor Kursbeginn ermöglichen. Die große Anzahl an verfügbaren Datensätzen sowie die relativ gute Dokumentation derselben geben den Studierenden die Möglichkeit, Daten

von verschiedenen Sensoren zu testen und auch zu kombinieren. Des Weiteren entfällt die Installation von Software, welche insbesondere auf privaten Geräten regelmäßig zu Problemen führt und somit den Lehrbetrieb aufhält. Studierende können die Earth Engine mit fast jedem Endgerät nutzen und sind daher in der Lage, auch nach dem Kursende weiter an ihren Projekten oder an eigenen neuen Fragestellungen zu arbeiten. Vier Beispiele für solche Fragestellungen werden in diesem Sammelband vorgestellt.

Im ersten Beitrag werden von Werres und Rakers (2024) *Sommerliche Dürreereignisse und ihre Auswirkungen auf die Vegetation am Beispiel von Aragonien in Spanien* untersucht. Die Autorinnen vergleichen den NDVI als Indikator für den Vegetationszustand mit einem Niederschlagsindex in der Region Aragonien in Spanien. Zusätzlich wurden die durchschnittlichen Temperaturen, der Niederschlag und die Bodenfeuchte der Jahre 2000 bis 2022 ermittelt. Als Datengrundlage wurden MODIS sowie CHIRPS-Daten verwendet. Insbesondere der Sommer 2016 war von einem deutlichen Rückgang der Vegetation gekennzeichnet, allerdings waren die Folgen regional sehr unterschiedlich ausgeprägt.

Der zweite Beitrag von Reichardt (2024) erfasst *Changes in forest cover in the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia – an analysis with the Google Earth Engine*. Die Studie basiert auf MODIS

NDVI Daten, der Copernicus Landnutzungs-kartierung sowie der Jaxa Forest/Non-Forest Map und dem Hansen Global Forest Change Datensatz. Insgesamt zeigt sich in der Region ein deutlicher Rückgang der Waldbedeckung trotz verschiedener Aufforstungsbemühungen.

Waldbrände von außergewöhnlichen Ausmaßen haben in den letzten Jahren die Gesellschaft und das Ökosystem in Australien vor große Herausforderungen gestellt. Berg, Buschmeier und Hüsgen (2024) haben in ihrer Studie *Buschbrandmonitoring auf Grundlage von optischen Fernerkundungsdaten im Bundesstaat Victoria (Australien) – Vegetationsregeneration auf Brandflächen* die Auswirkungen dieser Waldbrände im Südosten Australiens untersucht. MODIS Daten sind auch bei dieser Studie eine wichtige Grundlage. Ausgangspunkt der Studie waren das „Big Desert Fire“ 2002/2003 und die „Great Divide Fires“ 2006/2007. Die Studie zeigt für beide Ereignisse eine relative schnelle Regeneration der Vegetation.

Richter (2024) untersucht den *Effekt von El-Niño-Events auf Sea Surface Temperature und Chlorophyll-Gehalt im California Current System* vor der Küste Kaliforniens. Sowohl die Daten für die Chlorophyll-*a*-Konzentration als auch die Meeresoberflächentemperatur beruhen auf MODIS Daten. Die Ergebnisse zeigen eine negative Korrelation zwischen Chlorophyll und El-Niño-Ereignissen. Allerdings ohne ein klares räumliches Muster.

Literaturverzeichnis

- Berg, E., Buschmeier, J. & Hüsgen, T. (2024): Buschbrandmonitoring auf Grundlage von optischen Fernerkundungsdaten im Bundesstaat Victoria (Australien) – Vegetationsregeneration auf Brandflächen. In Stauch, G. (Hrsg.): *Angewandte Fernerkundung mit der Google Earth Engine*. S. 66 – 99.
- Casu, F., Manunta, M., Agram, P.S. & Crippen, R.E. (2017): Big Remotely Sensed Data: tools, applications and experiences. *Remote Sensing of Environment, Big Remotely Sensed Data: tools, applications and experiences* 202, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.013>
- Cendrero, A., Remondo, J., Beylich, A.A., Cienciala, P., Forte, L.M., Golosov, V.N., Gusarov, A.V., Kijowska-Strugała, M., Laute, K., Li, D., Navas, A., Soldati, M., Vergari, F., Zwoliński, Z., Dixon, J.C., Knight, J., Nadal-Romero & E., Płaczkowska, E. (2022): Denudation and geomorphic change in the Anthropocene; a global overview. *Earth-Science Reviews* 233, 104186. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2022.104186>
- Cooper, A.H., Brown, T.J., Price, S.J., Ford, J.R. & Waters, C.N. (2018): Humans are the most significant global geomorphological driving force of the 21st century. *The Anthropocene Review* 5, 222–229. <https://doi.org/10.1177/2053019618800234>
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F. & Bargellini, P. (2012): Sentinel-2: ESA’s Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment, The Sentinel Missions - New Opportunities for Science* 120, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- Finkel, H.J. (1959): The Barchans of Southern Peru. *The Journal of Geology* 67, 614–647. <https://doi.org/10.1086/626622>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. & Moore, R. (2017): Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O. & Townshend, J.R.G. (2013): High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342, 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- IPCC (2023): AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (accessed 4.6.23).
- Liu, X., Hu, G., Chen, Y., Li, X., Xu, X., Li, S., Pei, F. & Wang, S. (2018): High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine

- Platform. *Remote Sensing of Environment* 209, 227–239. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.055>
- Parente, L., Taquary, E., Silva, A.P., Souza, C. & Ferreira, L. (2019): Next Generation Mapping: Combining Deep Learning, Cloud Computing, and Big Remote Sensing Data. *Remote Sensing* 11, 2881. <https://doi.org/10.3390/rs11232881>
- Phan, T.N., Kuch, V. & Lehnert, L.W. (2020): Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier—The Role of Image Composition. *Remote Sensing* 12, 2411. <https://doi.org/10.3390/rs12152411>
- Philipp, M., Wegmann, M. & Kübert-Flock, C. (2021): Quantifying the Response of German Forests to Drought Events via Satellite Imagery. *Remote Sensing* 13, 1845. <https://doi.org/10.3390/rs13091845>
- Pradhan, B., Moneir, A.A.A. & Jena, R. (2018): Sand dune risk assessment in Sabha region, Libya using Landsat 8, MODIS, and Google Earth Engine images. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 9, 1280–1305. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1518880>
- Reichardt, K. (2024): Changes in forest cover in the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia – an analysis with the Google Earth Engine. In Stauch, G. (Hrsg.): *Angewandte Fernerkundung mit der Google Earth Engine*. S. 41 – 65.
- Richter, E. (2024): Effekt von El-Niño-Events auf Sea Surface Temperature und Chlorophyll-Gehalt im California Current System. In Stauch, G. (Hrsg.): *Angewandte Fernerkundung mit der Google Earth Engine*. S. 100 – 119.
- Rockström, J., Gupta, J., Qin, D., Lade, S.J., Abrams, J.F., Andersen, L.S., Armstrong McKay, D.I., Bai, X., Bala, G., Bunn, S.E., Ciobanu, D., DeClerck, F., Ebi, K., Gifford, L., Gordon, C., Hasan, S., Kanie, N., Lenton, T.M., Loriani, S., Liverman, D.M., Mohamed, A., Nakicenovic, N., Obura, D., Ospina, D., Prodani, K., Rammelt, C., Sakschewski, B., Scholtens, J., Stewart-Koster, B., Tharammal, T., van Vuuren, D., Verburg, P.H., Winkelmann, R., Zimm, C., Bennett, E.M., Bringezu, S., Broadgate, W., Green, P.A., Huang, L., Jacobson, L., Ndehedehe, C., Pedde, S., Rocha, J., Scheffer, M., Schulte-Uebbing, L., de Vries, W., Xiao, C., Xu, C., Xu, X., Zafra-Calvo, N. & Zhang, X. (2023): Safe and just Earth system boundaries. *Nature* 619, 102–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06083-8>
- Shirmard, H., Farahbakhsh, E., Müller, R.D. & Chandra, R. (2022): A review of machine learning in processing remote sensing data for mineral exploration. *Remote Sensing of Environment* 268, 112750. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112750>

- Syvitski, J., Ángel, J.R., Saito, Y., Overeem, I., Vörösmarty, C.J., Wang, H. & Olago, D. (2022): Earth's sediment cycle during the Anthropocene. *Nat Rev Earth Environ* 3, 179–196. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00253-w>
- Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S. & Brisco, B. (2020): Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 164, 152–170. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001>
- Toth, C. & Józków, G. (2016). Remote sensing platforms and sensors: A survey. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Theme issue “State-of-the-art in photogrammetry, remote sensing and spatial information science” 115, 22–36. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.10.004>
- Ullmann, T. & Stauch, G. (2020): Surface Roughness Estimation in the Orog Nuur Basin (Southern Mongolia) Using Sentinel-1 SAR Time Series and Ground-Based Photogrammetry. *Remote Sensing* 12, 3200. <https://doi.org/10.3390/rs12193200>
- Velastegui-Montoya, A., Montalván-Burbano, N., Carrión-Mero, P., Rivera-Torres, H., Sadeck, L. & Adami, M. (2023): Google Earth Engine: A Global Analysis and Future Trends. *Remote Sensing* 15, 3675. <https://doi.org/10.3390/rs15143675>
- Werres, J. & Rakers, S. (2024): Sommerliche Dürreereignisse und ihre Auswirkungen auf die Vegetation am Beispiel von Aragonien in Spanien – eine Untersuchung mit der Google Earth Engine. In Stauch, G. (Hrsg.): *Angewandte Fernerkundung mit der Google Earth Engine*. S. 8 – 40.
- Zhao, D., Huang, J., Li, Z., Yu, G. & Shen, H. (2024): Dynamic monitoring and analysis of chlorophyll-a concentrations in global lakes using Sentinel-2 images in Google Earth Engine. *Science of The Total Environment* 912, 169152. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169152>
- Zhao, Q., Yu, L., Du, Z., Peng, D., Hao, P., Zhang, Y. & Gong, P. (2022): An Overview of the Applications of Earth Observation Satellite Data: Impacts and Future Trends. *Remote Sensing* 14, 1863. <https://doi.org/10.3390/rs14081863>
- Zhou, Y., Dong, J., Xiao, X., Liu, R., Zou, Z., Zhao, G. & Ge, Q. (2019): Continuous monitoring of lake dynamics on the Mongolian Plateau using all available Landsat imagery and Google Earth Engine. *Science of The Total Environment* 689, 366–380.

Stauch, G. (2024): Fernerkundung und Cloud-Computing – Eine kurze Einführung. In Stauch, G. (Hrsg.): *Angewandte Fernerkundung mit der Google Earth Engine*. S. 1 – 7.

DOI: [10.18154/RWTH-2024-03412](https://doi.org/10.18154/RWTH-2024-03412)