

Motivation

Im Oktober 2023 begann im Gazastreifen ein großflächiger Krieg, der zu massiven Zerstörungen der städtischen Infrastruktur führte. Besonders betroffen sind Wohngebiete, öffentliche Gebäude und wichtige Versorgungsstrukturen. Während vor Kriegsbeginn große Teile des Gazastreifens dicht bebaut waren, sind heute viele Stadtviertel durch Luftangriffe und Bodenkämpfe stark beschädigt oder vollständig zerstört.

Ziel dieses Projekts ist es, mithilfe von Satellitendaten und dem Normalized Difference Built-up Index (NDBI) die Veränderungen der Bebauung im Gazastreifen zwischen dem Beginn des Krieges und dem aktuellen Stand zu quantifizieren. Der NDBI ermöglicht es, bebaute Flächen zu identifizieren und Veränderungen, wie den Verlust von Gebäuden, sichtbar zu machen. Das Untersuchungsgebiet umfasst den gesamten Gazastreifen mit einer Fläche von etwa 365 km². Die Analyse soll einen Beitrag zum besseren Verständnis des Ausmaßes der Zerstörung leisten und die Möglichkeiten der Fernerkundung zur schnellen und objektiven Erfassung von Gebäudeschäden in Krisengebieten demonstrieren.

Methoden

Zur Analyse der baulichen Veränderungen im Gazastreifen wurde eine fernerkundungsgestützte Methodik angewendet, die auf multispektralen Sentinel-2A-Satellitendaten basiert. Es wurden Aufnahmen vom 7.10.2023 (vor Konfliktbeginn) und 13.06.2025 (nach Konfliktbeginn) verwendet.

Die Auswertung erfolgte auf Basis der Bänder 2 (blau), 3 (grün), 4 (rot), 8 (NIR) und 11 (SWIR). Zur Identifikation und Quantifizierung von Bebauung wurde der Normalized Difference Built-up Index (NDBI) berechnet:

$$\text{NDBI} = \frac{\text{SWIR} - \text{NIR}}{\text{SWIR} + \text{NIR}}$$

Für beide Zeitpunkte wurde der NDBI ermittelt. Die Veränderung der Bebauung wurde durch Differenzbildung der NDBI-Werte (dNDBI) quantifiziert:

$$\text{dNDBI} = \text{NDBI}_{\text{nach}} - \text{NDBI}_{\text{vor}}$$

Pixel mit dNDBI-Werten kleiner als -0,025 (Wert experimentell erhoben) wurden als wahrscheinlich zerstört klassifiziert. Die Gesamtfläche der als zerstört markierten Pixel wurde berechnet.

Die überwachte Klassifikation der Landbedeckung erfolgte mithilfe eines Random-Forest-Modells, das aufgrund seiner Robustheit gegenüber Ausreißern und seiner guten Leistung bei hochdimensionalen Klassifikationsaufgaben ausgewählt wurde. Als Merkmale dienten die NDBI- sowie die RGB-Werte, um die Flächenkategorien "Urban", "Brachfläche", "Vegetation" und "Wasser" zu unterscheiden. Die Genauigkeit der Klassifikation wurde mit dem Kappa-Index bewertet.

$$\text{Kappa} = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$$

Abschließend wurde das Ausmaß der Zerstörung durch die prozentuale Veränderung der urbanen und brachliegenden Flächen zwischen 2023 und 2025 quantifiziert:

$$\text{Relative Veraenderung} = \frac{\text{Flaeche}_{2025} - \text{Flaeche}_{2023}}{\text{Flaeche}_{2023}}$$

Positive Werte deuten auf eine Zunahme, negative Werte auf eine Abnahme der jeweiligen Flächenkategorie hin.

Diskussion

Die Analyse der baulichen Veränderungen im Gazastreifen bestätigt die Ausgangsfrage: Es kam zu erheblichen Zerstörungen, sichtbar an einem Rückgang der urbanen Fläche um 9,5% und einer Zunahme der Brachflächen um 26,8%. Diese Ergebnisse sind angesichts der aktuellen Lage von hoher gesellschaftlicher und wissenschaftlicher Relevanz, da sie das Ausmaß der Zerstörung quantitativ belegen. Die hohe Genauigkeit der Klassifikationsergebnisse unterstreicht die Aussagekraft der Analyse. Dennoch ist zu betonen, dass die Auswertung durch die begrenzte räumliche Auflösung der frei verfügbaren Satellitendaten beeinflusst wurde. Höher aufgelöste Daten wären wünschenswert gewesen, waren aber aufgrund der Sicherheitslage, die von der ESA vorgegeben sind, nicht zugänglich. Die Ergebnisse liefern somit belastbare, aber grob aufgelöste Hinweise auf die Zerstörung.

Insgesamt zeigt die Arbeit, dass auch mit eingeschränkten Datenquellen wichtige Erkenntnisse gewonnen werden können. Für zukünftige Analysen wäre der Zugang zu bessereren Daten essenziell, um die Auswirkungen auf die urbane Infrastruktur noch präziser zu erfassen.

Literatur

- <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/arcpy/spatial-analyst/ndbi.htm> (Abgerufen: 15.06.2025)
- https://opendata.uni-halle.de/bitstream/1981185920/103875/1/2_6%20ICAII_T2023_paper-5059.pdf (Abgerufen: 16.06.2025)
- https://www.esrl Lebanon.com/content/dam/esrisites/education/higher-education/Masters/Projects/2024/Samah/Thesis_Report_Samah_Termos.pdf (Abgerufen: 19.06.2025)

Die Analyse der baulichen Veränderungen im Gazastreifen ergab deutliche Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten. Die Gesamtfläche der als zerstört klassifizierten Gebiete beträgt 5705,98 km², was einem Anteil von 21,16% der ursprünglich bebauten Fläche entspricht. Zu dieser Fläche gehören auch Straßen und landwirtschaftlich genutzte Flächen.



Abbildung 1:
Klassifikation der
zerstörten und
intakten Flächen
in Gaza-Stadt
mittels dNDBI
(2023-2025)

Die Veränderung der urbanen Fläche zwischen 2023 und 2025 beträgt -9,5%. Die Veränderung der brachliegenden Fläche liegt bei +26,8%. Die Klassifikationsergebnisse wurden mit einer Kreuzmatrix überprüft.

Die Accuracy von 2023 beträgt 91,16%, der Kappa-Index liegt bei 0,88. Die Producer's Accuracy für die Klasse "Brachfläche" beträgt 77,72%, für "Urban" 97,08%. Die User's Accuracy für "Brachfläche" beträgt 98,99%, für "Urban" 74,54%.

Für 2025 liegt die Accuracy bei 92,5%, der Kappa-Index liegt bei 0,90. Die Producer's Accuracy für die Klasse "Brachfläche" beträgt 92,31%, für "Urban" 99,73%. Die User's Accuracy für "Brachfläche" beträgt 83,25%, für "Urban" 89,74%.

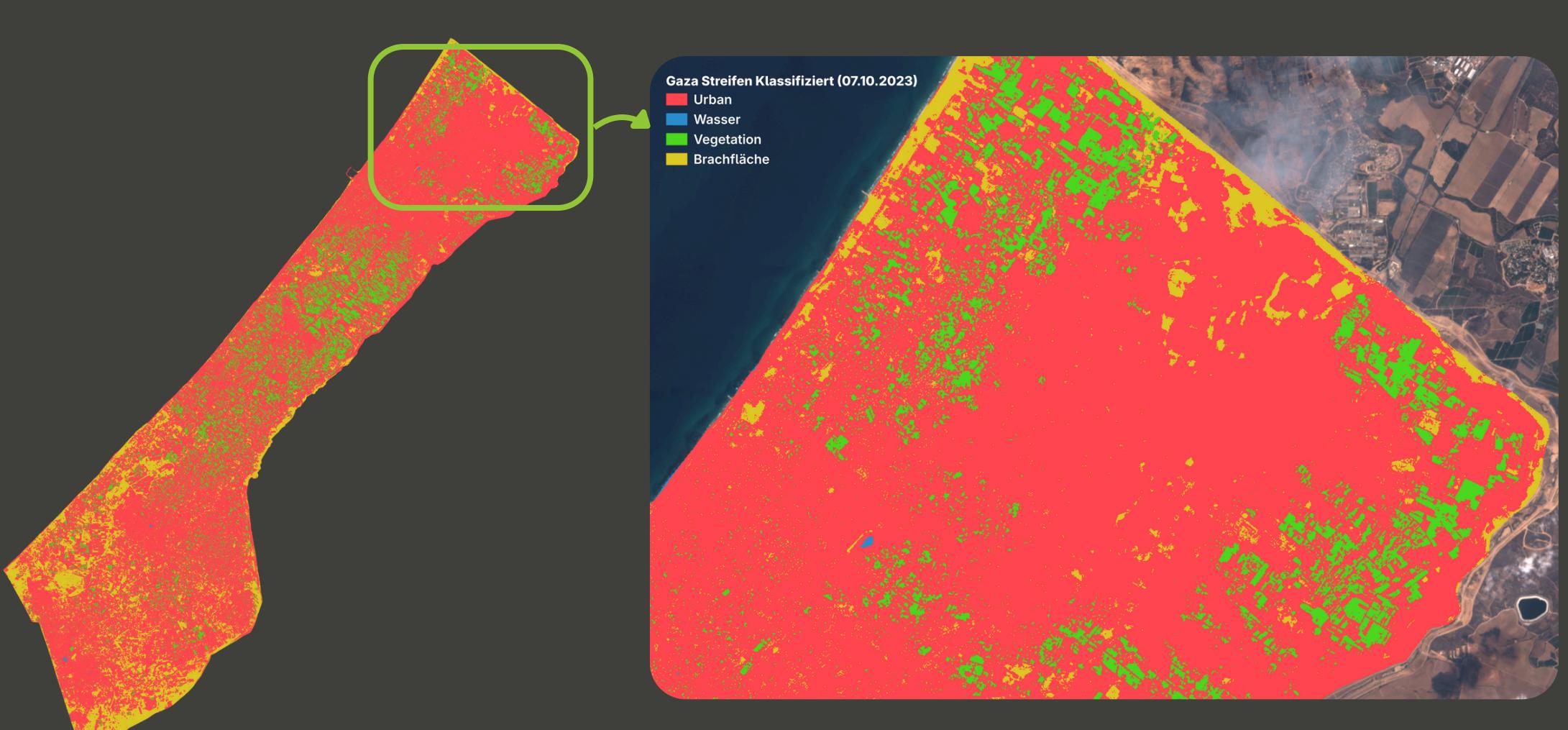


Abbildung 2:
Klassifikation der
unterschiedlichen
Flächenkategorien
in Nord-Gaza
(07.10.2023)

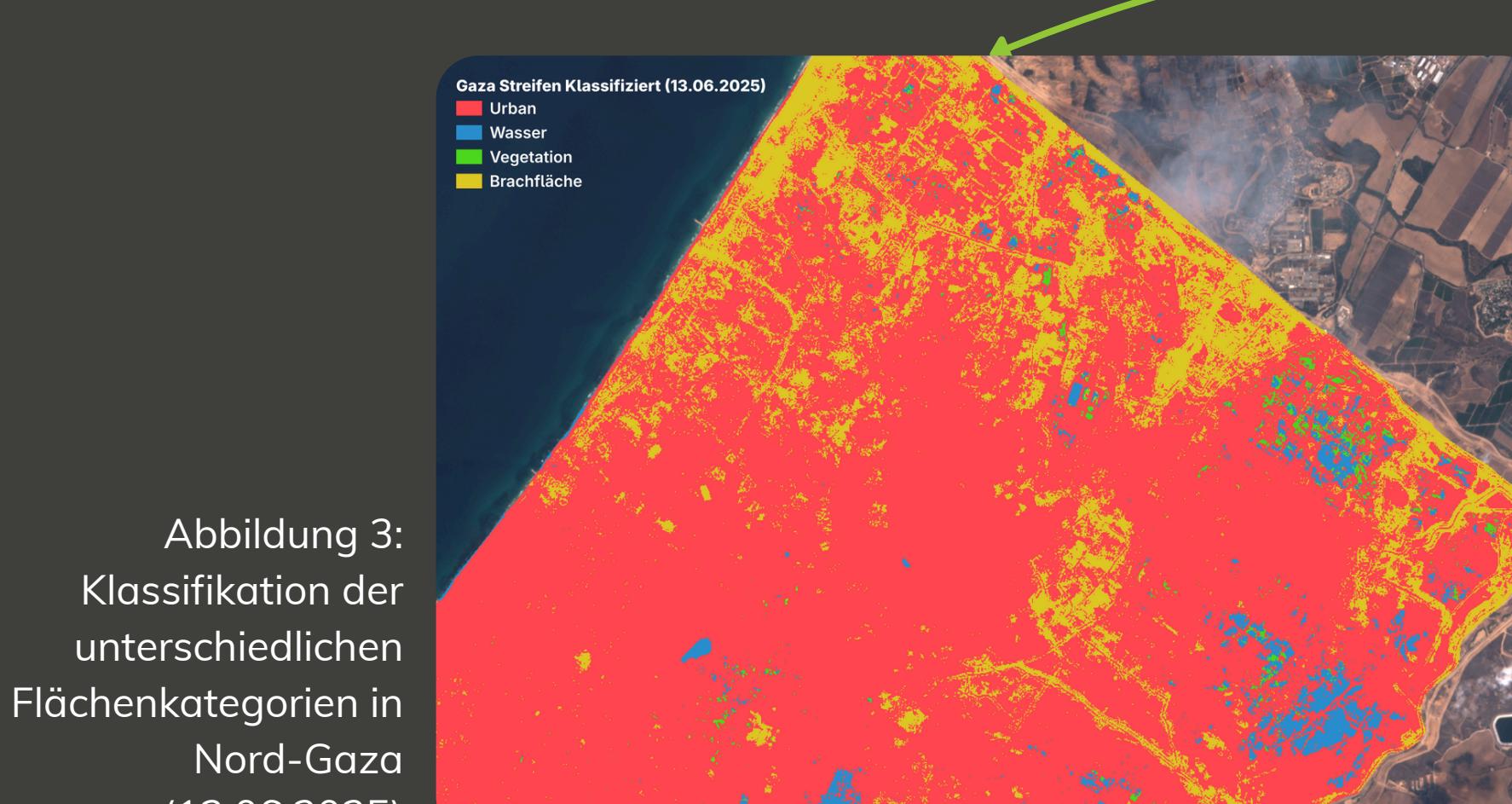


Abbildung 3:
Klassifikation der
unterschiedlichen
Flächenkategorien
in Nord-Gaza
(13.06.2025)

Die Klassifizierungen für die Jahre 2023 und 2025 zeigten eine sehr hohe Accuracy und nahezu perfekte Übereinstimmung über den Zufall hinaus. Insbesondere die Klasse "Urban" wurde mit Producer's Accuracy von bis zu 99,73% extrem zuverlässig erfasst, was eine solide Basis für die Veränderungsanalyse bildet. Die daraus abgeleitete Reduzierung der urbanen Fläche um 9,5% und die Zunahme der Brachflächen um 26,8% sind somit robuste Indikatoren für das Ausmaß der Zerstörung.

Open Source

Projekt Daten öffentlich
Zugänglich unter:
https://github.com/Mammutor/FE_Gaza_SS25

