





Abb. 1: Foto einer typisch verschmutzten grauen Dachfläche durch atmosphärische Einflüsse (Foto: Fabian Waltisberg)

## Ausgangslage

Die untersuchten Industrieflächdächer sind mit einer Kunststoffabdeckung versehen, welche die oberste Schicht bildet. Dieses Kunststoffmaterial ist sowohl Verschmutzung als auch Sonneneinstrahlung ausgesetzt.

Durch eine Verschmutz verdunkelt sich das Material, weniger Sonnenlicht wird reflektiert und die Oberflächentemperatur steigt.

Diese erhöhte Oberflächentemperatur führt zu einer Beschleunigung der chemischen Reaktion des Kunststoffes, was zu einer schnelleren Zersetzung des Kunststoffmaterials führt. (Berdahl et al. 2008)

- Ziel der Arbeit: Die Verschmutzung der Dachflächen anhand von Satellitenbildern erkennen und die daraus folgende Abnahme der Reflektivität über eine Zeitreihe darstellen.

# Satellitenvergleich

| Satellitenbezeichnung  | Landsat-8  |                      |         |
|------------------------|--|----------------------|---------|
| Datenerfassung         | 2013 - Jetzt   |                      |         |
| GSD & spektrale Bänder | Bandname   | Spektralbereich [nm] | GSD [m] |
|                        | Küstenblau   | 435 – 451            | 30      |
|                        | Blau   | 452 – 512            | 30      |
|                        | Grün   | 533 – 590            | 30      |
|                        | Rot  | 590 - 673            | 30      |
|                        | NIR  | 673 - 851            | 30      |
|                        | SWIR-1   | 1566 - 1651          | 30      |
|                        | SWIR-2   | 2107 - 2294          | 30      |
|                        | Pan  | 503 - 676            | 15      |
|                        | Cirrus   | 1363 - 1384          | 30      |
| Schwadbreite           | 190 Kilometer  |                      |         |
| Max. Off-Nadir Winkel  | Normalerweise Nadir Aufnahmen  |                      |         |
| Anzahl Satelliten      | 1  |                      |         |
| Wiederbesuchszeit      | 16 Tage  |                      |         |
| Äquatorüberquerung     | 10:11 Uhr (MLST)   |                      |         |
| Betreiber              | National Aeronautics and Space Administration (NASA) / US Geological Survey (USGS) |                      |         |
| Quelle                 | (U.S. Geological Survey 2019)  |                      |         |
| Downloadplattform      | earthengine.google.com   |                      |         |
| Kosten                 | kostenlos  |                      |         |

Tabelle 1: Landsat-8 Spezifikationen



Abb. 2: Landsat-8 Satellitenbild

| Satellitenbezeichnung  | Sentinel-2                   |                      |         |
|------------------------|------------------------------|----------------------|---------|
| Datenerfassung         | 2018 - Jetzt                 |                      |         |
| GSD & spektrale Bänder | Bandname                     | Spektralbereich [nm] | GSD [m] |
|                        | Küstenblau                   | 443                  | 60      |
|                        | Blau                         | 490                  | 10      |
|                        | Grün                         | 560                  | 10      |
|                        | Rot                          | 665                  | 10      |
|                        | Red Edge                     | 705                  | 20      |
|                        | Red Edge                     | 740                  | 20      |
|                        | Red Edge                     | 783                  | 20      |
|                        | NIR                          | 842                  | 10      |
|                        | Red Edge                     | 865                  | 20      |
|                        | Wasserdampf                  | 940                  | 60      |
|                        | SWIR                         | 1375                 | 60      |
|                        | SWIR                         | 1610                 | 20      |
|                        | SWIR                         | 2190                 | 20      |
|                        | Schwadbreite                 | 290 Kilometer        |         |
| Max. Off-Nadir Winkel  | nur Nadir Aufnahmen          |                      |         |
| Anzahl Satelliten      | 2                            |                      |         |
| Wiederholungszyklus    | 5 Tage                       |                      |         |
| Äquatorüberquerung     | 10:30 Uhr (MLST)             |                      |         |
| Betreiber              | European Space Agency (ESA)  |                      |         |
| Quelle                 | (European Space Agency 2024) |                      |         |
| Downloadplattform      | earthengine.google.com       |                      |         |
| Kosten                 | kostenlos                    |                      |         |

Tabelle 2: Sentinel-2 Spezifikationen



Abb. 3: Sentinel-2 Satellitenbild

| Satellitenbezeichnung  | PlanetScope SuperDove (PSB.SD)                          |                      |         |
|------------------------|---|----------------------|---------|
| Datenerfassung         | März 2020 - Jetzt                                       |                      |         |
| GSD & spektrale Bänder | Bandname  | Spektralbereich [nm] | GSD [m] |
|                        | Küstenblau  | 431 - 452            | 4.1     |
|                        | Blau  | 465 - 515            | 4.1     |
|                        | Grün 1  | 513 - 549            | 4.1     |
|                        | Grün  | 547 - 583            | 4.1     |
|                        | Gelb  | 600 - 620            | 4.1     |
|                        | Rot   | 650 - 680            | 4.1     |
|                        | Red Edge  | 697 - 713            | 4.1     |
|                        | NIR   | 845 - 885            | 4.1     |
|                        | Schwadbreite  | 32.5 Kilometer       |         |
| Max. Off-Nadir Winkel  | 5°  |                      |         |
| Anzahl Satelliten      | ca. 130 (gesamte Konstellation)                         |                      |         |
| Wiederholungszyklus    | 1 Tag   |                      |         |
| Äquatorüberquerung     | 7:30 – 11:30 Uhr (MLST)                                 |                      |         |
| Betreiber              | Planet Labs   |                      |         |
| Quelle                 | (Planet Labs 2023)                                      |                      |         |
| Downloadplattform      | skywatch.com  |                      |         |
| Kosten                 | 2.50 \$ pro km² bei einer Mindestbestellgröße von 5 km² |                      |         |

Tabelle 3: PlanetScope Spezifikationen

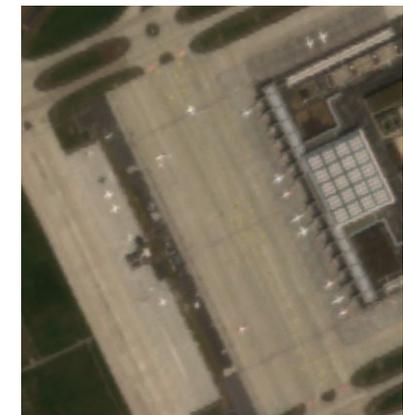


Abb. 4: PlanetScope Satellitenbild



Abb. 5: Dachfläche mit GeoJSON-Fläche (Luftbild earth.google.com)

### Sentinel-2 Satellitenbilder | hellgraue Dachfläche

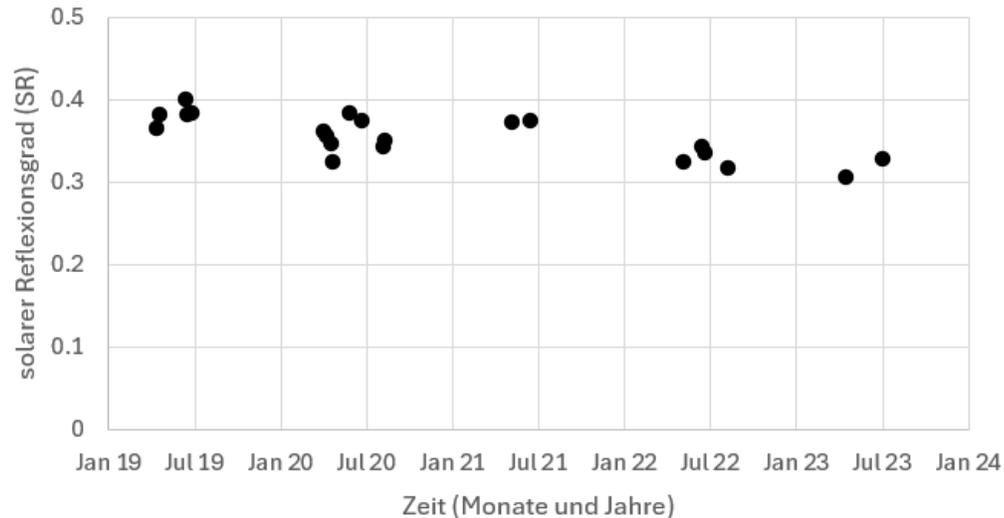


Abb. 6: Auswertung Reflektivität

## Bestimmung Reflektivität

- Erstellung einer GeoJSON-Datei mit der Dachfläche
- Python-Code
  - Verwendung der nur vollständig innerhalb der GeoJSON-Fläche liegenden Pixeln
  - Berechnung des durchschnittlichen Reflektivitätswertes für jedes Spektralband über die gesamte GeoJSON-Fläche
  - Export der durchschnittlichen Reflektivitätswerte pro Spektralband in eine CSV-Datei
- Berechnung des Mittelwertes aus den Spektralbänder Blau, Grün, Rot und NIR
- Reflektivität der Dachfläche pro Bild

# Reflektivität – Testmessungen

- **Unterschiede Satellitensysteme**

Analyse der spektralen Histogramme über identischen Ausschnitt (gelbe Fläche Abb. 7) der Satellitensysteme:

- PlanetScope
- Sentinel-2
- Landsat-8

- **Beton Referenzfläche**

Analyse einer Betonfläche mit zeitlich konstantem Grauwert (blaue Fläche Abb. 7) der Satellitensysteme:

- Sentinel-2
- Landsat-8

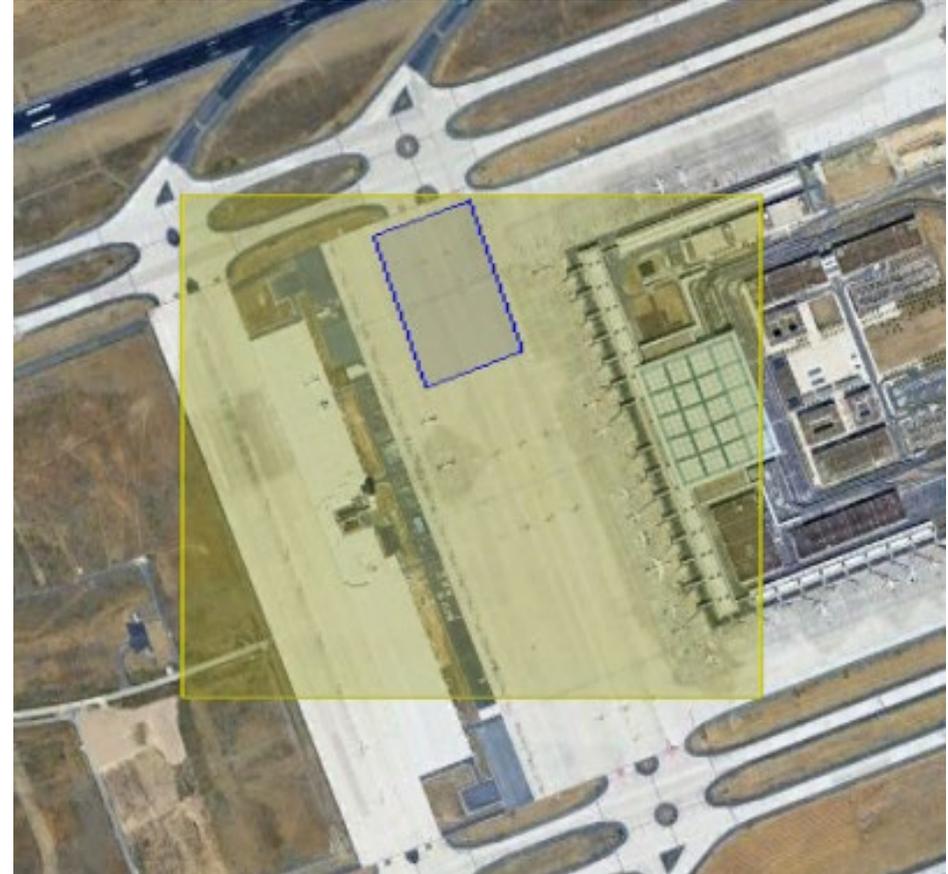


Abb. 7: Testmessungsfläche Flughafen Berlin Brandenburg (Luftbild: earth.google.com)

# Reflektivität – Unterschiede Satellitensysteme

**Messung der Reflektivität** über identischem Ausschnitt (gelbe Fläche Abb.7)

→ spektrale Histogramme

- 4 spektrale Bereiche (Blau, Grün, Rot, NIR)
- 3 Satellitensysteme

## Ergebnis

- breiteres Spektrum für PlanetScope, Sentinel-2
- schmaleres Spektrum Landsat-8

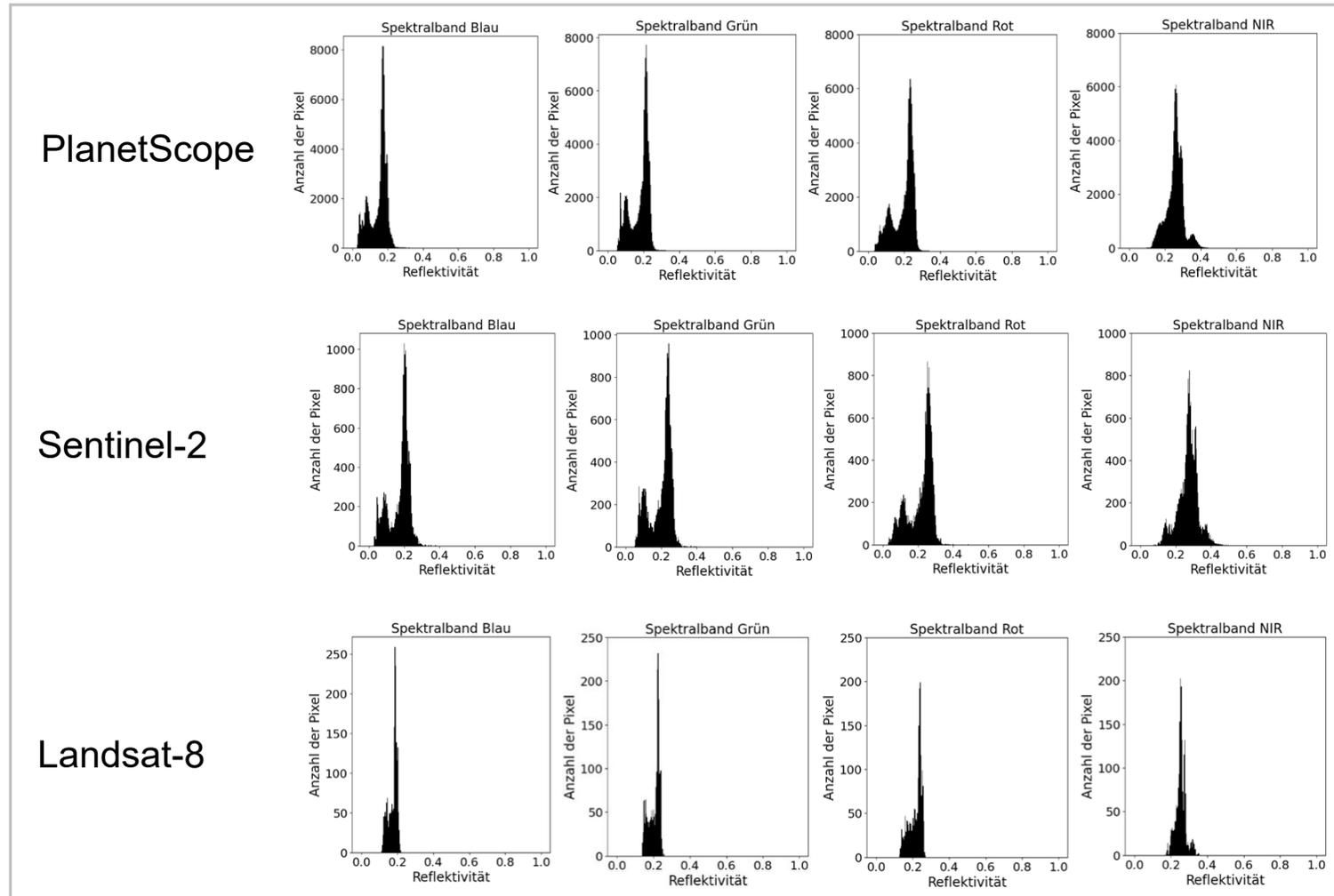


Abb. 8: spektrale Histogramme der untersuchten Satellitenbilder

# Reflektivität – Beton Referenzfläche

Betonfläche (blaue Fläche Abb. 7) mit zeitlich konstantem Grauwert

→ zeitlich konstante Reflektivität erwartet

## Ergebnis

- saisonale Schwankung erkennbar
  - Sommer: höhere Reflektivität
  - Winter: tiefere Reflektivität
- Sentinel-2 vs. Landsat-8: saisonale Schwankung bei Sentinel-2 ausgeprägter
- Wolken führen zu falschen Messerwerten
- **Reflektivität zeigt keinen Langzeittrend**

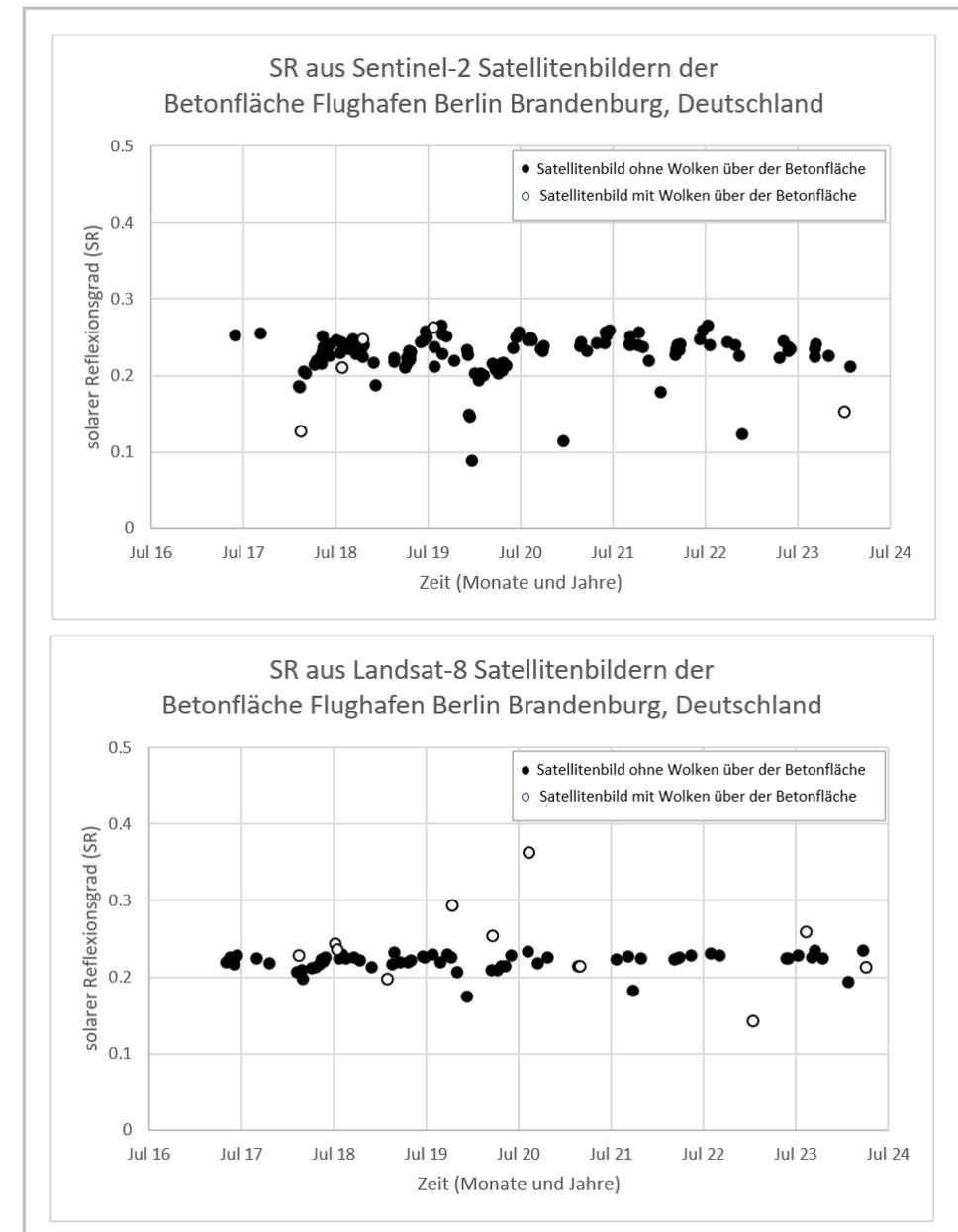


Abb. 9: Analyse einer im Grauwert konstanten Betonfläche über eine Zeitreihe

# Reflektivität – Dachflächen

Dachflächen mit zeitlich sinkendem Grauwert  
→ zeitlich sinkende Reflektivität erwartet

## Ergebnis

- bei weisser Dachfläche in Dallas mit Sentinel-2 aufgrund hohen Sonnenstandes Spiegelung im Sommer erkannt
- standortabhängige Reflektivität
- sinkender Grauwert nicht überall gleich gut erkennbar
- insbesondere Sentinel-2 Satellitenbilder zeigen erwarteten Trend

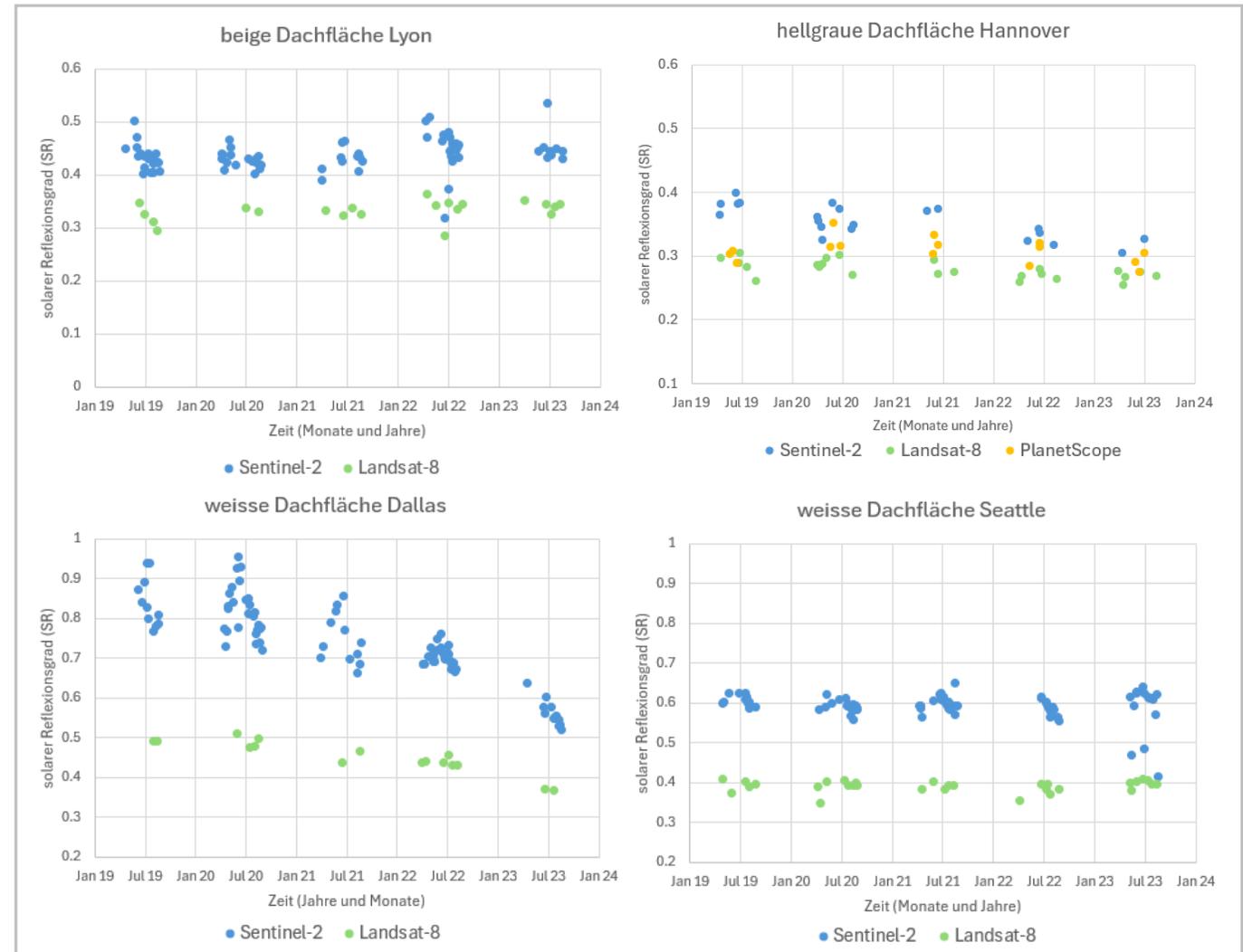


Abb. 10: Reflexion verschiedener Dachflächen über eine Zeitreihe dargestellt

# Reflektivität – Dachflächen

Signatur verschiedener Dachmaterialien im Neuzustand (Sentinel-2)

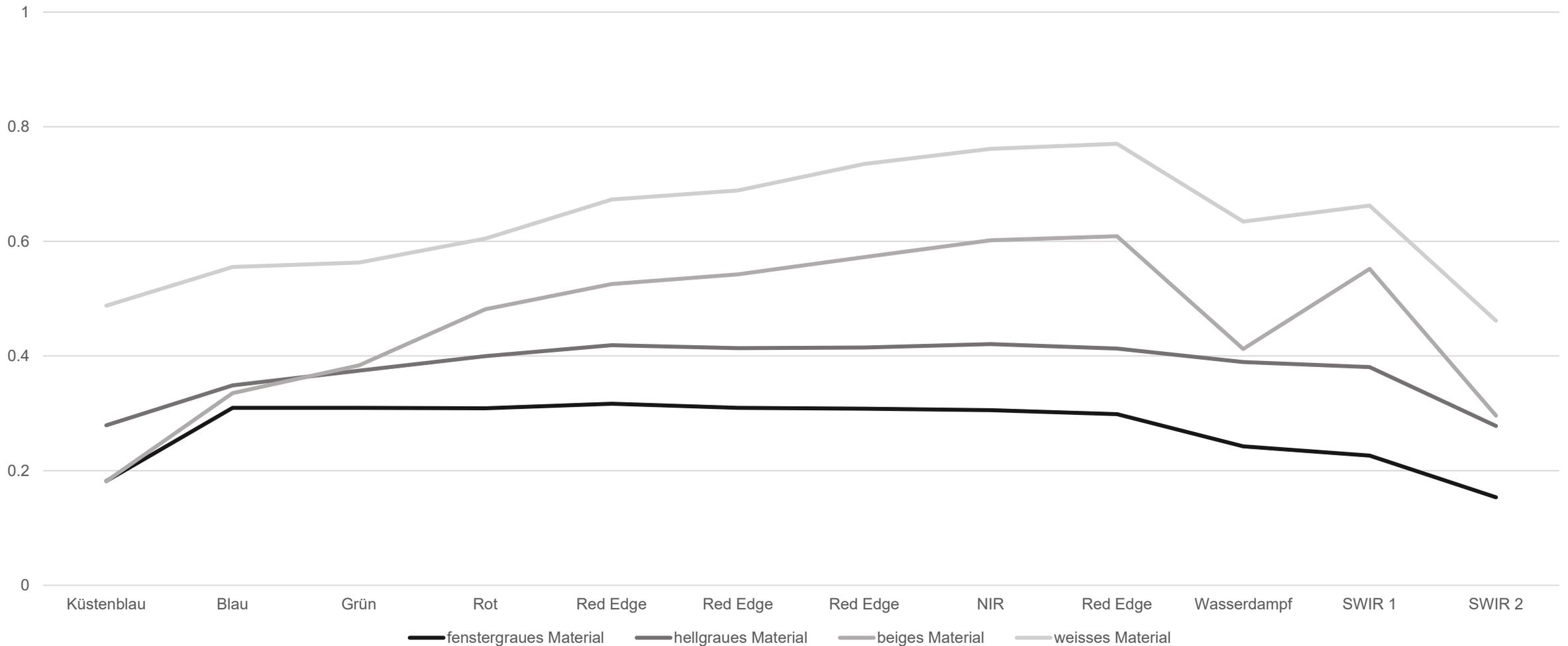


Abb. 11: Signatur der vier untersuchten Dachmaterialien anhand von Sentinel-2 Satellitenbildern dargestellt

# Reflektivität – Dachflächen

Vergleich von Satellitenmesswerten mit Referenzwerten von Dachflächen im **Neuzustand**

## Ergebnis

- Reflektivitätswerte abhängig vom Satellitensystem
- Satellitenmesswerte und Referenzwerte zeigen einen linearen Zusammenhang
  - Dachflächen zwischen 45° und 53° Breitengrad:  $R^2 = 0.96 - 1.00$
  - Dachflächen weltweit  $R^2 = 0.82 - 0.85$
  - keine Übereinstimmung zwischen beiden Messmethoden
- **ausgeprägter linearer Zusammenhang, Modellierung notwendig**

Korrelationsmatrix mit allen ausgewerteten Dachflächen im Neuzustand

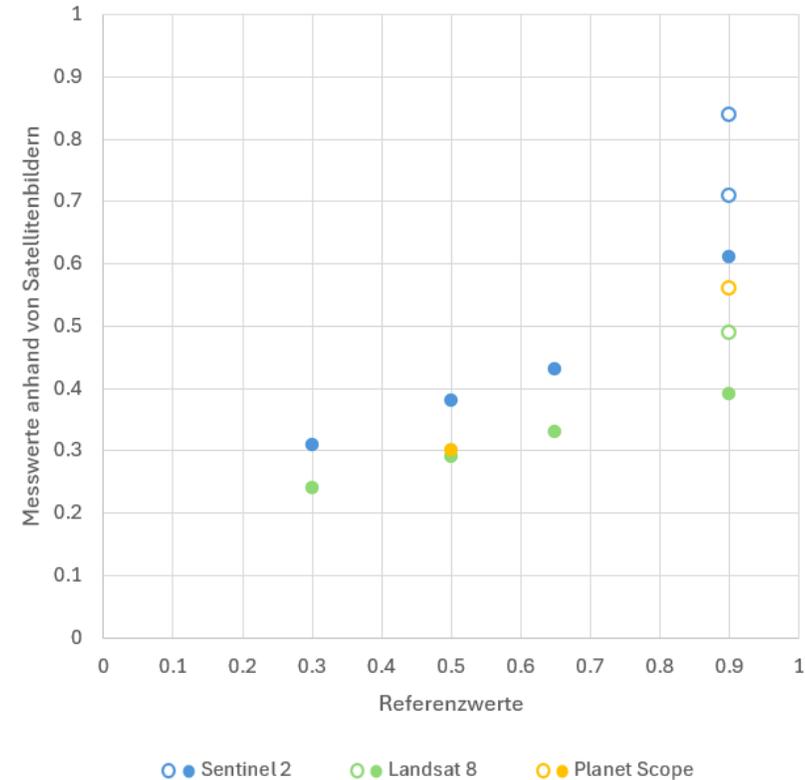


Abb. 12: Korrelationsmatrix aller ausgewerteten Dachflächen im Neuzustand

## Bestimmtheitsmass $R^2$ bei linearer Regression

| Dachflächen                                      | Sentinel-2 | Landsat-8 |
|--|------------|-----------|
| Dachflächen zwischen dem 45° und 53° Breitengrad | 0.96 ●     | 1.00 ●    |
| alle Dachflächen                                 | 0.82 ●○    | 0.85 ●○   |

Tabelle 4: Bestimmtheitsmass  $R^2$  bei linearer Regression

# Fazit

- Reflektivität über die Zeit: Sentinel-2 Bilder zeigen erwarteten negativen Trend
- saisonale Schwankung der Reflektivität: Minimierung durch Verwendung von Sommerbilder
- Korrelation der Reflektivität mit Referenzmessungen: linearer Zusammenhang, Modellierung erforderlich

## Herausforderungen

- inhomogene Struktur der Dachflächen
- Verfälschung der Reflektivitätsmessung durch Wolken
- Breitengradabhängige Reflektivität

# Literatur

Berdahl, Paul; Akbari, Hashem; Levinson, Ronnen und Miller, William A. (2008): «Weathering of roofing materials – An overview». In: *Construction and Building Materials* 22 (2008). Elsevier, S. 423–433.