



# (A) Grundlagen der Fernerkundung

Version 1.0 (Mai 2020)

HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM  
**DEUTSCHES**  
**GEOFORSCHUNGSZENTRUM**

**HELMHOLTZ**  
SPITZENFORSCHUNG FÜR  
GROSSE HERAUSFORDERUNGEN

Kontakt: [webinar-fernerkundung@gfz-potsdam.de](mailto:webinar-fernerkundung@gfz-potsdam.de)

## Zitierempfehlung:

Kuechly, H.U., Cozacu, A., G. Kodl, Nicolai, C., Vallentin, C. (2020) Grundlagen der Fernerkundung. Inforeihe SAPIENS: Satellitendaten für Planung, Industrie, Energiewirtschaft und Naturschutz, Deutsches GeoForschungszentrum GFZ. DOI: <https://doi.org/10.2312/sapiens.2020.001>

## Impressum

Projekt SAPIENS  
Deutsches GeoForschungszentrum GFZ

Telegrafenberg  
D- 14473 Potsdam

Veröffentlicht in Potsdam, Deutschland  
Mai 2020

<https://doi.org/10.2312/sapiens.2020.001>



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons  
Namensnennung 4.0 International Lizenz  
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## Inhalt

---

Worum geht es? - Einführung in die Fernerkundung	4
Was sehen Satelliten? - Grundprinzip der Sensoren	6
Mehr als der Mensch sehen kann? - Das elektromagnetische Spektrum	8
Wie sehen Satellitendaten aus und wie beschreibt man diese?	9
Auflösung	9
Weitere Parameter	10
Warum erscheint Wasser blau? Reflexionseigenschaften von Objekten	11
Warum hat ein Satellit mehr Bänder als Rot-Grün-Blau (RGB)? – Optische Fernerkundungsdaten am Beispiel Sentinel-2	13
Nutzen von optischen Fernerkundungsdaten	15
Durch Wolken sehen? – Radarfernerkundung am Beispiel von Sentinel-1	17
Nutzen von Radarfernerkundungsdaten	18
Thermometer aus dem All – Thermalfernerkundung	20
Nutzen der Daten – Monitoring von Lebewesen, Wasser, Klima & Feuer	20
Was sehe ich? – Auswertungsverfahren mit Indizes	21
Der normalisierte differenzierte Vegetationsindex (NDVI)	22
Der normalisierte differenzierte Red Edge Index (NDRE)	23
Der Enhanced Vegetation Index EVI	23
Der normalisierte differenzierte Wasser Index NDWI	23
Literatur	24

## Worum geht es? - Einführung in die Fernerkundung

Die Fernerkundung, engl. „remote sensing“, ist ganz allgemein die kontaktlose Informationsgewinnung

Die Fernerkundung, engl. „remote sensing“, ist ganz allgemein die **kontaktlose Informationsgewinnung**, also die Aufnahme, Messung oder Analyse ohne physischen Kontakt zu dem zu beobachteten Objekt <sup>1</sup>. In der Praxis wird der Begriff häufig für die Betrachtung von Objekten anhand ihrer Reflexionseigenschaften (Sonnenstrahlung, Radarstrahlen etc.) verstanden. Ihren Ursprung hat die Fernerkundung in der Interpretation von Luftbildern, heute werden die Aufnahmen meist vom Weltall aus mit Hilfe von Satelliten und den darauf angebrachten Sensoren erfasst. Aktuell gewinnen auch unbemannte Luftfahrzeuge [engl. „unmanned aerial vehicle (UAV)“], oft auch als Drohnen bezeichnet und Kleinsatelliten (engl. „CubeSat“) immer mehr Bedeutung. Hier soll es aber vor allem um die frei verfügbaren Satellitendaten im Copernicus Programm gehen.

Um aus der Vielfalt der verfügbaren Daten die Richtigen für die eigene gewünschte Anwendung auszuwählen, sind grundlegende Kenntnisse der Fernerkundung notwendig. Nur so hat man ein Verständnis dafür, was genau die Sensoren aufnehmen - viel mehr als für das menschliche Auge sichtbar ist.

Zur weiteren Vertiefung in das Thema empfehlen wir folgende Informationsquellen:

### Bücher:

- + Deutsch: Albertz, J. (2016). **Einführung in die Fernerkundung: Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern**. 5., aktualisierte Auflage. WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft). 254 Seiten (Neuaufgabe für 2023 geplant)
- + Englisch: Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). **Remote sensing and image interpretation**. 7., aktualisierte Auflage. Wiley. 736 Seiten: <https://doi.org/10.2307/634969>

### Broschüren:

- + Deutsch: Hohmeister, C., Seissiger, S., Fuchs, T., & Lenhardt, J. (2018). **Copernicus für das Umweltmonitoring. Eine Einführung**. (I. Ehlert & C. Schweitzer, Eds.). 104 Seiten: [https://www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Tutorial\\_Copernicus\\_online.pdf](https://www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Tutorial_Copernicus_online.pdf)
- + Englisch: ESA (2020). **Newcomers Earth Observation Guide**: <https://business.esa.int/newcomers-earth-observation-guide>

### Internetlexikon:

- + Deutsch: Baldenhofer, K. G. (2020). **Lexikon der Fernerkundung – Stichwortverzeichnis**: <http://www.fe-lexikon.info/FeLexikon.htm>

**Online Trainingsmaterial:**

- + Englisch: ESA Earth Online. (2020). **EO Education and Training:** <https://earth.esa.int/web/guest/eo-education-and-training>
- + Englisch: **YouTube Kanal von Copernicus EU:** <https://www.youtube.com/channel/UCpuwnbuwGG20enAdE50g6TA/playlists>

**Online Kurse:**

- + Englisch: **Copernicus MOC:** <https://mooc.copernicus.eu/>
- + Englisch: **SAT-EDU** Radarfernerkundung Online Kurs der Uni Jena: <http://sar-edu.uni-jena.de/wp/> & <https://eo-college.org/landingpage/>
- + Deutsch: **OpenGeoEdu** Online Kurs der Universität Rostock, dem Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung, dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie und dem Deutschen Biomasseforschungszentrum GmbH: <https://www.opengeo-edu.de/index.html>

**ESA Copernicus Programm und Informationen zu den Sentinel Satelliten:**

**Hauptseite Copernicus:**

- + Deutsch: <https://www.d-copernicus.de/>

**Informationsmaterialien zu Copernicus:**

- + Deutsch: <https://www.d-copernicus.de/infothek/medien/infomaterialien/>

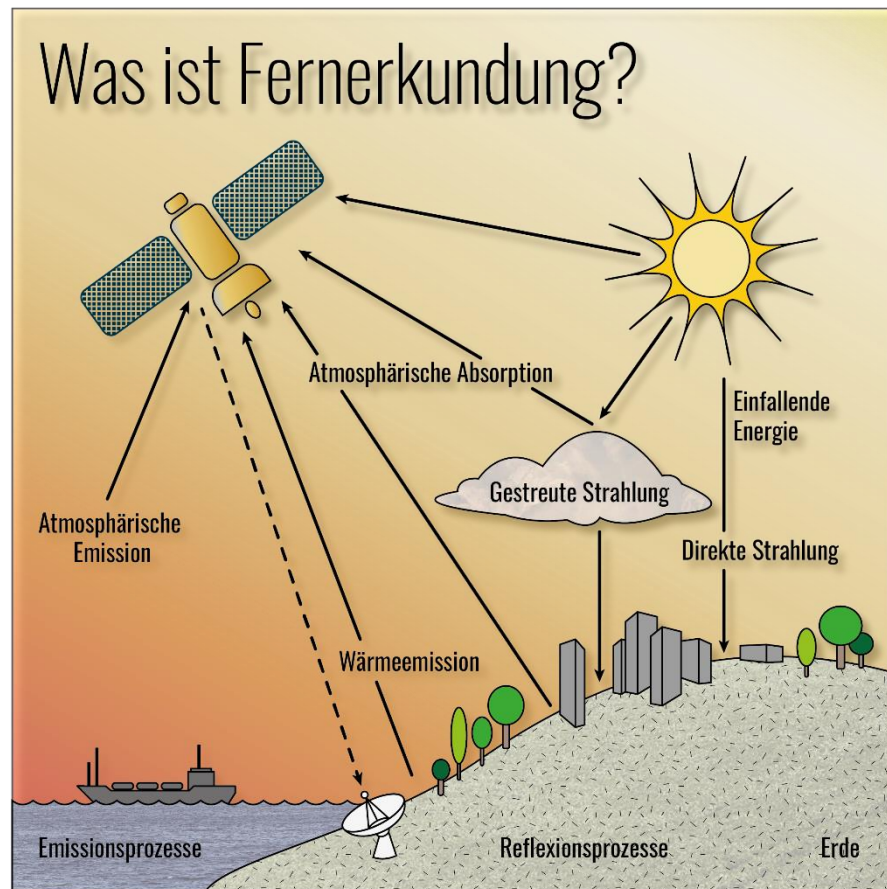
**Copernicus-Kerndienste** (engl. Services) mit einer Vielzahl an weiteren Grundlageninformationen, die aus den Satellitendaten gewonnen wurden:

- + Deutsch: <https://www.d-copernicus.de/daten/fernerkundungsdienste/copernicus-kerndienste/>

**Weitere Dienste:**

- + Englisch: Datenbank aller Satelliten weltweit: <http://database.eohandbook.com/database/missiontable.aspx>

## Was sehen Satelliten? - Grundprinzip der Sensoren



Quelle: Eigene Darstellung nach Original von Spatial IT Solutions Pvt. Ltd.<sup>2</sup>

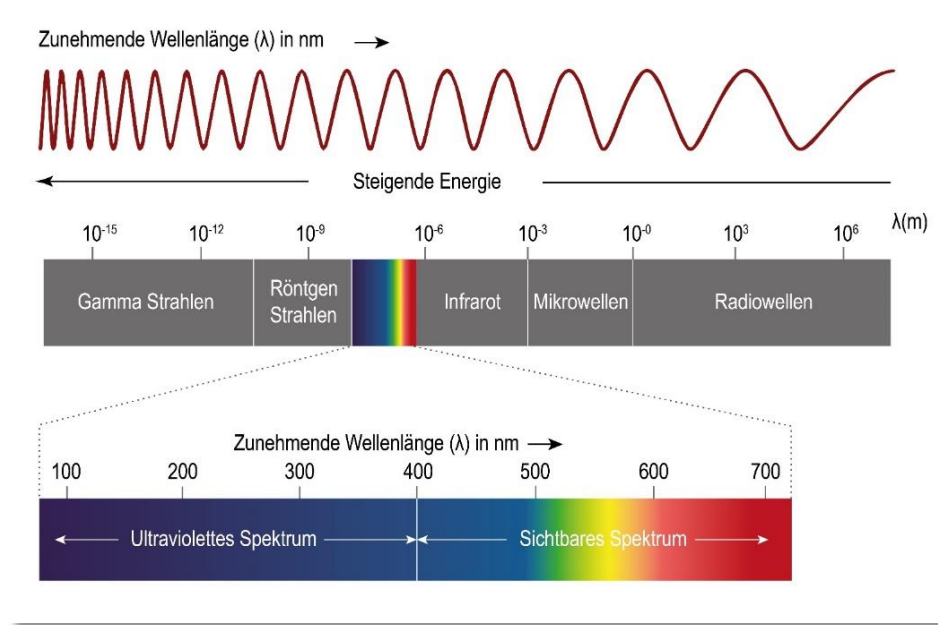
Sensoren können reflektiertes Sonnenlicht (= elektromagnetische Strahlung) von Objekten **empfangen**. Während einer Satellitenaufnahme registriert der Sensor eine Summe verschiedener Strahlungen, aber der Reihe nach: Von der Sonne ausgehende Strahlung (**einfallende Energie**) stößt auf ihrem Weg zur Erde zunächst als erstes auf die Schichten der Erdatmosphäre, wo ein Teil der Strahlung direkt wieder in den Weltraum reflektiert wird. Zudem wird die Strahlung von Partikeln wie Wassertröpfchen und Ozon absorbiert (**Atmosphärische Absorption**) oder in die Atmosphäre reflektiert (**gestreute Strahlung**). Neben dieser diffusen Himmelsstrahlung erreicht ein Teil der Strahlung ohne Änderung der Frequenz (Transmission) die Erdoberfläche direkt (**direkte Strahlung**), zusammen bilden sie die Globalstrahlung. Trifft die Globalstrahlung auf ein Objekt auf der Erde, wird sie von diesem **absorbiert, gestreut oder reflektiert**. Bei der Absorption und Streuung wird die Strahlung zudem in Energie (z.B. Wärmeemissionen) umgewandelt. Auch auf dem Weg zum Sensor wird die reflektierte Strahlung erneut gestreut, absorbiert und reflektiert. Den Satellitensensor erreicht also nur ein reduzierter Anteil der ursprünglichen Strahlung. Dabei stellt die Reflektion und Absorption an Wolken ein großes Problem für die Fernerkundung dar. Denn nur bei wolkenfreiem Himmel können Objekte, die sich auf der Erdoberfläche befinden, in Satellitenaufnahmen abgebildet werden.

Sensoren, die die elektromagnetische Strahlung empfangen, werden auch als passive Systeme bezeichnet. Zu ihnen zählen die Satelliten der Sentinel-2 Mission der ESA. Die Landsat Satelliten der NASA, an denen Sentinel-2 angelehnt ist, nehmen zudem noch die emittierte Wärmestrahlung (Thermalstrahlung) mit auf.

Daneben gibt es auch Satellitensysteme, die Strahlung aktiv an die Erdoberfläche **senden** und diese dann nach der Reflektion an der Erdoberfläche wieder **empfangen**. Diese vom Sensor gesendete Strahlung können Mikrowellen (**Radar**, engl. radio detection and ranging) oder Laserstrahlen (**Lidar**, engl. light detection and ranging) sein.

## Mehr als der Mensch sehen kann? - Das elektromagnetische Spektrum

Das elektromagnetische Spektrum, das von Sensoren aufgenommen werden kann, erstreckt sich vom ultravioletten über das sichtbare bis zum infraroten Bereich. Entscheidend ist, dass nur der Wellenlängenbereich gemessen werden kann, für den die Atmosphäre durchlässig ist.



Quelle: Eigene Darstellung

Je nach Sensor wird dabei ein bestimmter Spektralbereich aufgenommen. Man spricht von **Multispektralbildern**, wenn ein Sensor unterschiedliche Wellenlängenbereiche in einzelnen Kanälen (auch Bändern genannt) aufnimmt. Vergleichbar sind diese Aufnahmen mit den allseits bekannten Bildern von Digitalkameras, wobei sich Satellitenaufnahmen nicht nur auf die Kanäle des blauen, grünen und roten Spektrums beschränken.

Bei Satellitenaufnahmen, die mehr als 20 Spektralkanäle haben, spricht man von **hyperspektralen** Systemen.



## Wie sehen Satellitendaten aus und wie beschreibt man diese?

Satellitendaten werden fast immer als **Rasterdaten** gespeichert. Jede Zahl einer Rasterzelle (Pixel) steht dabei für die Intensität der von der Erdoberfläche reflektierten Strahlung im jeweiligen Spektralbereich. Ein schwarzer Körper zum Beispiel absorbiert viel Licht, sodass die Pixelwerte, die diesen Körper abdecken, im sichtbaren Bereich nur sehr kleine Werte haben.

Satellitendaten werden mit bestimmten Parametern beschrieben, die es erlauben, die richtigen Daten für eine Fragestellung auszuwählen und Daten verschiedener Sensoren miteinander zu vergleichen.

### Auflösung

In der Fernerkundung wird die Auflösung anhand von vier Charakteristika unterschieden.

1. Die **Radiometrische Auflösung** (engl. radiometric resolution) gibt die unterscheidbaren Grautonstufen eines Sensors an, z.B. bei 8 Bit sind 256, bei 12 Bit 4096 Grautonstufenwerte möglich.
2. Die **Räumliche Auflösung** (engl. spatial resolution) gibt die Fläche an, die eine Rasterzelle (Pixel) auf der Erdoberfläche entspricht, die sogenannte Bodenauflösung (engl. ground sample distance (GSD)). Je kleiner die Bodenauflösung, desto weniger Objekte der Erdoberfläche werden in einem Raster zusammengefasst, wodurch Einzelobjekte wie Autos zum Beispiel differenziert werden können. Grob kann die Pixelbreite unterteilt werden in:
  - a. **Gering**: größer als 300m
  - b. **Mittel**: 30-300m
  - c. **Hoch**: 5-30m
  - d. **Sehr hochaufgelöst** (engl. very high resolution (VHR)): kleiner als 5m

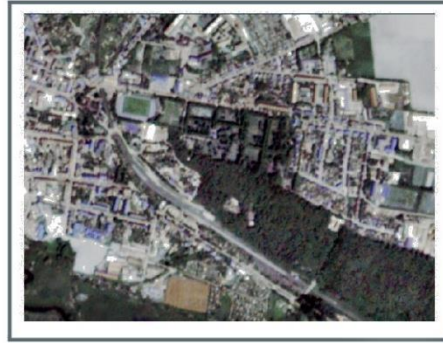
Daneben haben Satelliten auch unterschiedliche Streifenbreiten (engl. swath width), also die Fläche, die von einer Satellitenaufnahme abgedeckt wird.

3. Die **Zeitliche Auflösung** (engl. temporal resolution) gibt die Wiederholungsrate an, d.h. die Zeitdauer zwischen zwei Überflügen von einem Gebiet. Dabei gibt es Systeme, die auf Abruf Aufnahmen machen oder Satelliten, die je nach Umlaufbahn in einem bestimmten zeitlichen Abstand Aufnahmen machen (Sentinel-2 aktuell alle 5 Tage).
4. Die **Spektrale Auflösung** (engl. spectral resolution) gibt die Anzahl der Bänder und deren Wellenlängenbereich des elektromagnetischen Spektrums (Breite) an.

Luftbild 20 cm



Planetscope 3m



Sentinel-2 10m



Landsat 30m



Quelle: Eigene Darstellung aus Luftbilddaten, Planetscope von Planet Labs, Copernicus Sentinel-2 der ESA und Landsat-8 der U.S. Geological Survey.

### Weitere Parameter

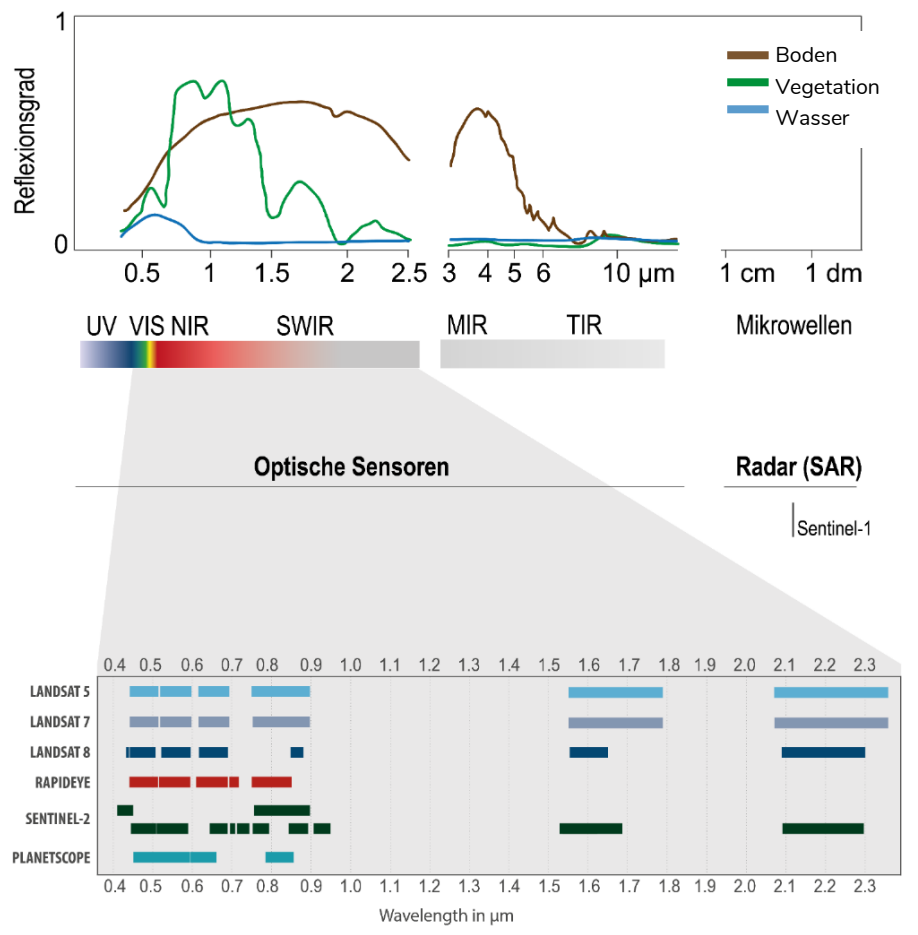
Die **Bildneigung**, also die Abweichung des **Betrachtungswinkels** vom lotrechten Fußpunkt (engl. Off-nadir angle) gibt an, inwieweit die Aufnahme von dem senkrechten Blick nach unten abweicht. Durch den seitlichen Blickwinkel können z.B. bestimmte Objekte von den davor gelagerten Gebäuden/Bergen verdeckt werden und so in der Aufnahme nicht abgebildet sein.

Die **Sonnenhöhe** (engl. sun-elevation) gibt den Stand der Sonne an (Tages- & Jahreszeit abhängig), je niedriger dieser ist, desto mehr ist die Aufnahme von Schattenwurf beeinflusst.

Ein weiterer wichtiger Parameter bei optischen Aufnahmen ist die **Wolkenbedeckung** (engl. cloud cover), da nur wolkenfreie Bereiche spektrale Informationen der Erdoberfläche liefern können.

## Warum erscheint Wasser blau? Reflexionseigenschaften von Objekten

Die Fernerkundung macht sich die grundlegende Reflexionseigenschaft der Objekte je nach Material und Oberflächenbeschaffenheit zu nutzen. Dabei weisen Objekte, wie Wasser, Vegetation oder Boden, charakteristische Reflexionsmuster auf, sogenannte **Spektralsignaturen**.



Quelle: Eigene Darstellung

In einem Spektralkanal eines optischen passiven Sensors wird der Reflexionsgrad über den Wellenlängenbereich, in dem es aufnimmt, gemittelt. Die hier gezeigten Reflexionskurven sind Durchschnittskurven für die dargestellten Materialien:

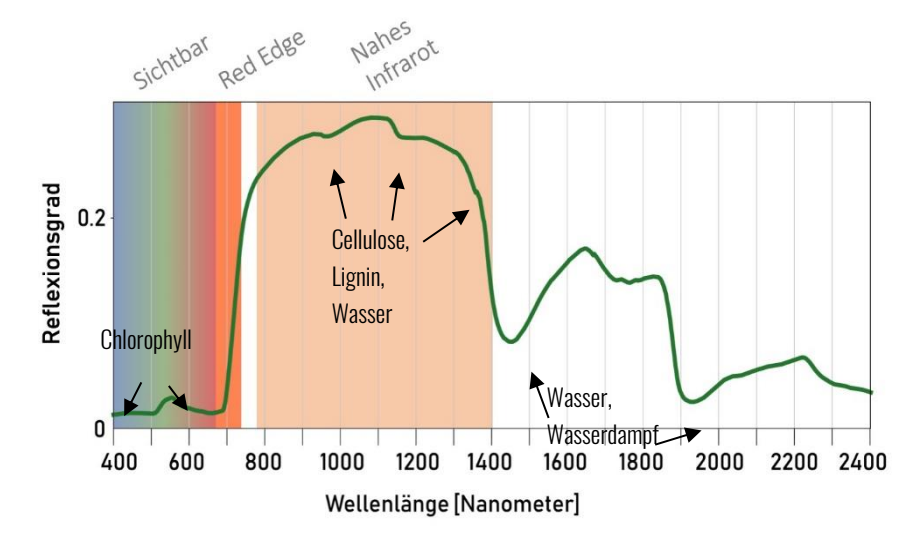
- + Die spektrale Reflexionskurve von kahlem **Boden** nimmt vom sichtbaren zum Infrarot-Bereich leicht zu.
- + Vitale **Vegetation** hat eine unverwechselbare Signatur: ein Minimum im sichtbaren (roten) Wellenlängenbereich mit einem starken Anstieg zum nahen Infrarot.
- + Wasser ist charakterisiert durch eine hohe Absorption vom nahen bis thermalen Infrarot mit einem Maximum im blauen Bereich. Diese charakteristische Absorptionseigenschaft zeigt sich auch mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt von anderen Objekten (Boden, Vegetation): der **Reflexionsgrad** der Reflexionskurve nimmt im infraroten Spektralbereich ab.

Je nachdem, welchen Wellenlängenbereich die Spektralkanäle eines Sensors abdecken, können Objekte voneinander unterschieden werden oder nicht.



## Warum hat ein Satellit mehr Bänder als Rot-Grün-Blau (RGB)? – Optische Fernerkundungsdaten am Beispiel Sentinel-2

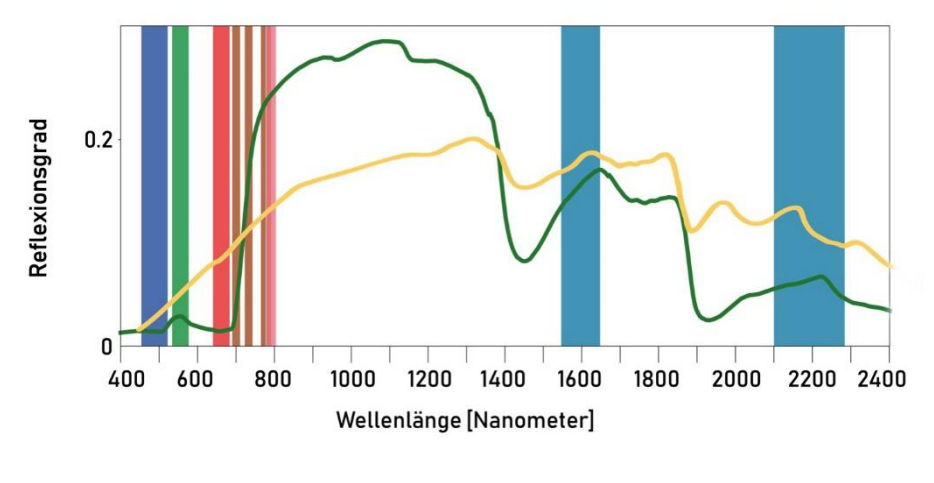
Die Sentinel-2 Satelliten nehmen das reflektierte Licht im sichtbaren und infraroten Spektrum in 13 Kanälen auf. Die Bänder mit 10m Auflösung (Band 2, 3, 4 und 8) bauen auf den bestehenden Satellitenmissionen Spot-5 und Landsat-8 auf und eignen sich gut für Landbedeckungsanalysen. Die Auswahl der Kanäle wurde für die Beobachtung von Vegetation mit den Bändern mit 20m Auflösung optimiert (Band 5, 6, 7, 8a, 11 und 12). Dies wird deutlich, wenn wir uns die Reflexionseigenschaften von einer gesunden Pflanze (grün) im Vergleich ansehen:



Quelle: Eigene Darstellung

Im sichtbaren Bereich absorbieren Blätter durch die Photosynthese besonders das blaue und rote Licht (und erscheinen uns daher folglich grün). Dagegen reflektieren sie die nahe Infrarotstrahlung fast vollständig (Somit schützen sich die Pflanzen vor Überhitzung).

Der Bereich dazwischen (690-730nm), in dem sich die Reflexionseigenschaften „sprunghaft“ ändern, bezeichnet man auch als **rote Kante** oder geläufiger ist die englische Bezeichnung **Red-Edge**. Je höher die Chlorophyllkonzentration der Pflanze desto größer ist die Absorption in diesem Bereich. Sentinel-2 hat im Red-Edge Bereich 3 Kanäle und 2 im Nahen Infrarot:



Quelle: Eigene Darstellung

Bei der bildlichen Darstellung der Satellitenbilder werden meist drei Kanäle ausgewählt und diese in den RGB (Rot-Grün-Blau) -Farben wiedergegeben. Für Vegetationsbetrachtungen eignen sich besonders eine Kombination der Kanäle Nahe Infrarot (Band 8) in Rot, Rot (Band 4) in Grün und Grün (Band 3) in Blau dargestellt, diese Darstellung nennt man auch Falschfarbenbild. Je vitaler, desto mehr Reflexion im NIR-Bereich, folglich weniger Blauanteil. Dadurch erscheinen diese Flächen in der Kombination knallrot.



„Echt“Farbenkomposit

„Falsch“Farbenkomposit

R: Band 4 (rot), G: Band 3 (grün), B: Band 2 (blau) R: Band 8 (nir), G: Band 4 (rot), B: Band 3 (grün)

Quelle: Eigene Darstellung mit Copernicus Sentinel-2 Daten der ESA

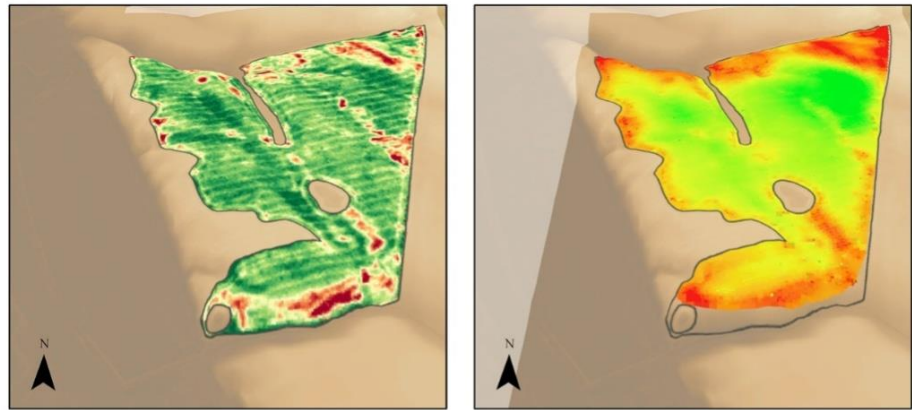
## Nutzen von optischen Fernerkundungsdaten

Sentinel-2 Daten finden Anwendung in so gut wie allen Bereichen, die einen räumlichen Bezug haben. Einen guten Überblick bieten folgende Dokumente:

- + Copernicus (2020). **Beispiele und Anwendungen:**  
<https://www.d-copernicus.de/daten/beispiele-und-anwendungen/>
- + Dousse, T., Dübendorfer, C., Leiss, I., & Tratschin, R. (2017). Anwendungsbeispiele satellitenbasierter Erdbeobachtung für Behördenaufgaben - Analyse der Anwendungen in Österreich, Norwegen und Großbritannien:  
[https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/daten-karten/externe-studien-berichte/anwendungsbeispiele-satellitenbasierter-erdbeobachtung-fuer-behoerdenaufgaben.pdf.download.pdf/Copernicus\\_AnwendungsbeispieleBehoerden.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/daten-karten/externe-studien-berichte/anwendungsbeispiele-satellitenbasierter-erdbeobachtung-fuer-behoerdenaufgaben.pdf.download.pdf/Copernicus_AnwendungsbeispieleBehoerden.pdf)

Hier einige Beispiele für verschiedene Anwendungsbereiche:

- + **Gewässer & Meere:** Oberflächentemperatur, Trübung, Wasserstände, Überflutungsflächen, Eisbedeckung, Kunststoffmüll
- + **Land Monitoring:** zeitliche Veränderung der Landoberfläche (Eisbedeckung, Waldflächen, Ackerflächen, Bebauung etc.), Umweltmonitoring
- + **Landwirtschaft:** Vorhersagen zu Pflanzenwachstum, Ernteerträge, Bodenparameter, Schadensevaluation, Ackerkulturen
- + **Georessourcen & Georisiken:** Bodenbewegung, mineralische Rohstoffe, Planung der Energiewende
- + **Katastrophen & Krisenmanagement:** Lageerfassung, Lagebeurteilung, Risikoanalyse, Schadensabschätzung und der Katastrophenbewältigung von Hochwasser, Sturmschäden etc.
- + **Umwelt & Naturschutz:** Vegetationsbestimmung und -Monitoring, Kontamination, Natura2000
- + **Wald & Forstwirtschaft:** Kohlenstoffquantifizierung, Entwicklungsphasen, Biomasseparameter, Baumarten, Stresssymptome, Sturmschäden



Kulturart Roggen

▭ Schlaggrenzen 360-01

NDVI Vegetationsindex 31.05.2018

hohe Vitalität

geringe Vitalität

DGM 1 (vertikale Überhöhung 10 m)

48,185 m

-0,026 m

Ertrag

7,3 t/ha

5,3 t/ha

Quelle: Eigene Darstellung mit RapidEye Daten aus dem RESA Archiv, DGM aus GFZ Lidar Daten und Ertragsdaten einer Erntemaschine

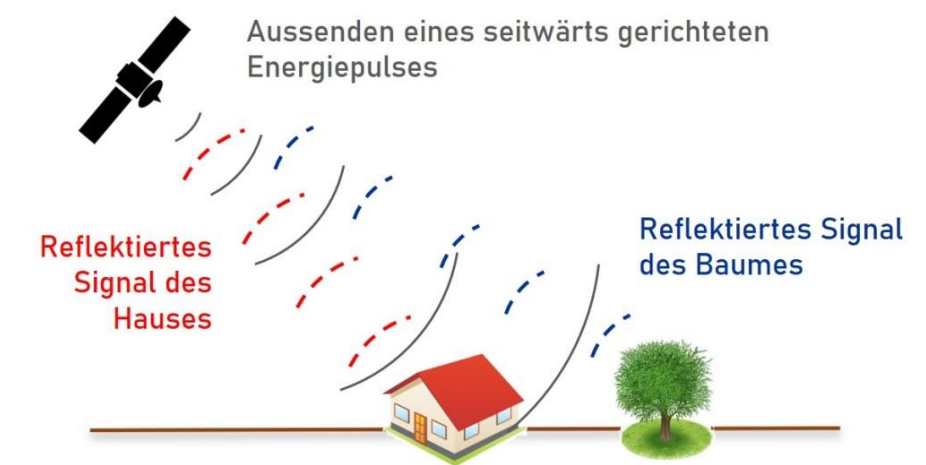




## Durch Wolken sehen? – Radarfernerkundung am Beispiel von Sentinel-1

Aktive Systeme, die **Energieimpulse** (Mikrowellen) **selbst senden** und die dann **reflektierte und gestreute Strahlung wieder empfangen** nennt man **Radarsysteme** (engl. radio detection and ranging). Somit sind Radarsatelliten nicht auf die (passive) Sonneneinstrahlung angewiesen. Zudem können die Wellen in diesem elektromagnetischen Spektrum die Wolkendecke durchdringen. Dadurch bringen solche Systeme den entscheidenden Vorteil zu jeder Wetterlage und Tageszeit Aufnahmen machen zu können.

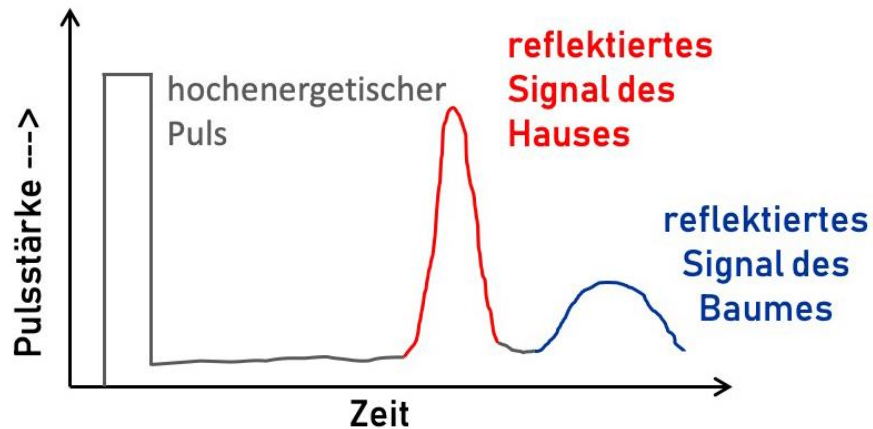
Weiterhin können die Strahlen bei einigen Systemen bis zu einigen Zentimetern in die Objekte selbst eindringen und so auch Informationen über den Boden und Vegetation liefern (Wassergehalt, Zusammensetzung etc.). Auch in der Copernicus Flotte gibt es einen Radarsensor, den **Sentinel-1**.



Quelle: Adaptiert von Julia Neelmeijer, GFZ<sup>3</sup>

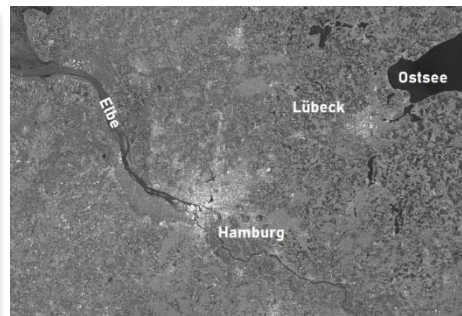
Oberflächeneigenschaften (Rauigkeit, Geometrie, Wassergehalt etc.) und der Auftreffwinkel bestimmen dabei die Werte der einzelnen Pixel. Die dem Sensor abgewandten Seiten haben dabei niedrigere Werte (Radarshadowen), da sie vom Sensor nur sehr schlecht erreicht werden können.

## Signaländerung



Quelle: Adaptiert von Julia Neelmeijer, GFZ<sup>3</sup>

Die Strahlungswerte von Radardaten hängen somit von einigen Faktoren ab, wodurch die Interpretation der Daten nicht trivial und Gegenstand der aktuellen Forschung ist.



Passiv, Lichtspektrum: Google Earth/Landsat

Aktiv, Radar: Sentinel-1

Quelle: Eigene Darstellung mit Copernicus Sentinel-2 und Sentinel-1 Daten der ESA

### **Nutzen von Radarfernerkundungsdaten**

Sentinel-1 werden in immer mehr Anwendungsbereichen eingesetzt, einen guten Überblick bieten folgende Dokumente:

- + Copernicus (2020). **Beispiele und Anwendungen**  
<https://www.d-copernicus.de/daten/beispiele-und-anwendungen/>
- + Englisch: ESA (2020): User Guide **Sentinel-1 Applications**  
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/applications>

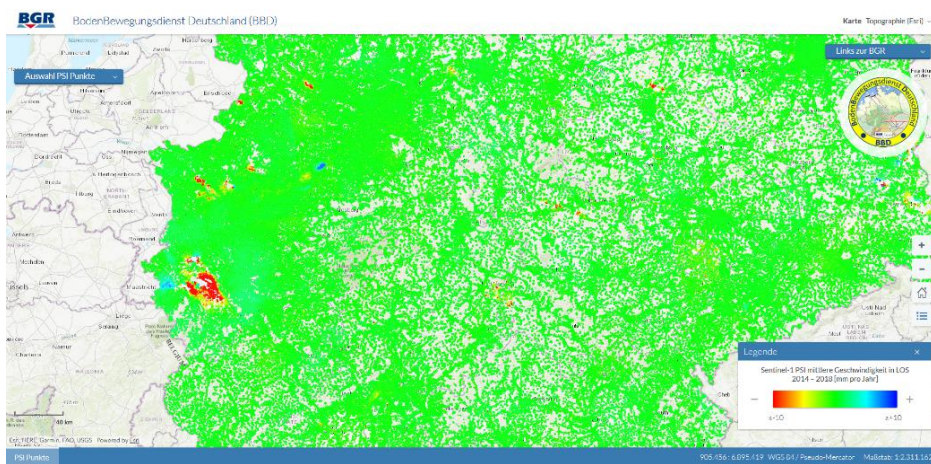
Fertige Produkte:

Radardaten werden auch für die Betrachtung der Bodenfeuchte in der Landwirtschaft eingesetzt. Fertige Produkte des Sentinel-1 können zum Beispiel hier direkt heruntergeladen werden:

- + Bodenfeuchte (engl. Soil Water Index) (SWI) in acht Bodentiefen  
<https://land.copernicus.eu/global/products/swi>
- + Oberflächenfeuchtigkeit (engl. Surface Soil Moisture) (SSM):  
<https://land.copernicus.eu/global/products/ssm>

Hier einige Beispiele für verschiedene Anwendungsbereiche:

- + **Gewässer & Meere:** Wasserstände, Überflutungsflächen, Eisbedeckung
- + **Land Monitoring:** Oberflächenveränderungen und zeitliche Veränderung der Landoberfläche (Eisbedeckung, Waldflächen, Ackerflächen, Siedlungsaktivitäten etc.), Umweltmonitoring
- + **Landwirtschaft:** Vorhersagen zu Pflanzenwachstum, Bodenparameter, Schadensevaluation, Ackerkulturen, Bodenfeuchte
- + **Georessourcen & Georisiken:** Bodenbewegung, mineralische Rohstoffe
- + **Katastrophen & Krisenmanagement:** Lageerfassung, Lagebeurteilung, Risikoanalyse, Schadensabschätzung und der Katastrophenbewältigung von Hochwasser, Sturmschäden etc.
- + **Umwelt & Naturschutz:** Vegetationsbestimmung und -Monitoring
- + **Wald & Forstwirtschaft:** Entwicklungsphasen, Baumarten, Sturmschäden



Quelle: BGB Bodenbewegungsdienst URL: <https://bodenbewegungsdienst.bgr.de/mapapps/resources/apps/bbd/index.html?lang=de><sup>4</sup>

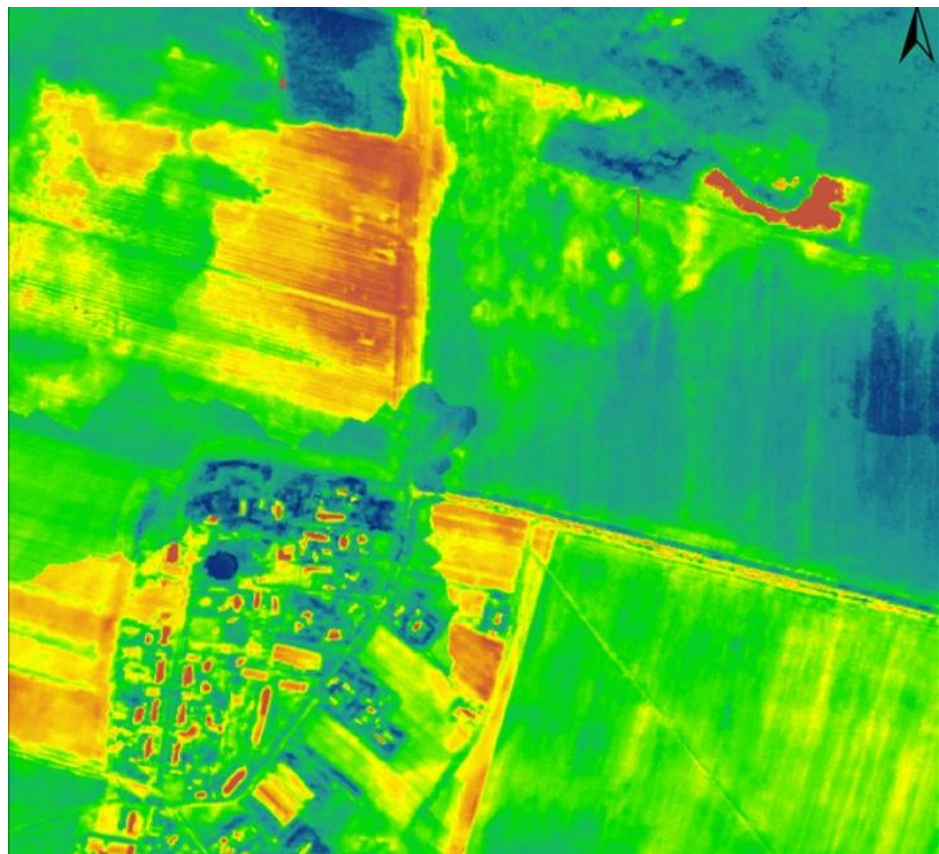
## Thermometer aus dem All – Thermalfernerkundung

Wärmedetektoren and Satelliten, die Wellenlängen im langwelligen Infrarot-Bereich aufzeichnen, können Informationen über die Oberflächen-temperaturen liefern. Einen Thermalkanal bieten seit den 1980er Jahren die Landsat Satelliten (4-8), deren Daten jedoch nur eine relativ grobe räumliche Auflösung (60-120m) besitzen. Auch in der Copernicus Flotte gibt es den Sentinel-3, der allerdings nur eine Auflösung von 1000m hat.

### Nutzen der Daten – Monitoring von Lebewesen, Wasser, Klima & Feuer

Thermalbilder werden für das Monitoring von Gewässern und den Meeren, Feuerereignissen und in der Stadtklimaforschung eingesetzt. In der Landwirtschaft können die Informationen zur Bestandstemperatur / Trockenstress von Schlägen genutzt werden.

Aktuelle frei verfügbare Satelliten mit Thermalsensoren haben im Gegensatz zu optischen- und Radar-Daten eine relativ geringe Auflösung: Landsat-8 100m und Sentinel-3 1000m und MODIS mit 1000m.



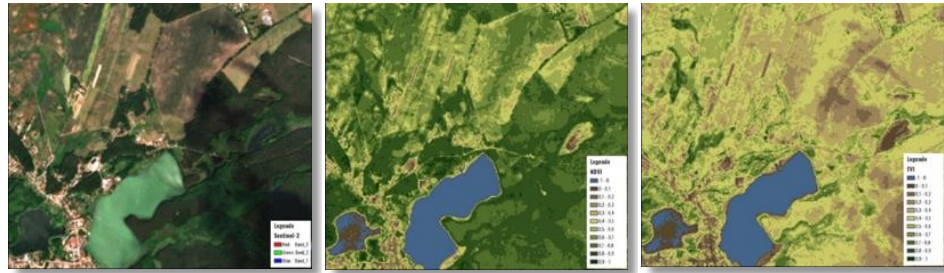
Quelle: Eigene Darstellung mit Luftbilddaten (VarioCam, Hubschrauber Überfliegungskampagne vom GFZ und BGR) im Juli 2013

## Was sehe ich? – Auswertungsverfahren mit Indizes

Anhand der unterschiedlichen Reflexionseigenschaften von Objekten können zum Beispiel Aussagen über die Vegetation, deren Biomasse und Vitalität, aber auch Wasserflächen mit Satellitendaten getroffen werden. Die einfachste Methode ist die Kombination bzw. Verknüpfung von einzelnen Spektralkanälen. In einigen Datenportalen können verschiedene Indizes direkt betrachtet werden im Folgenden näher beschrieben:

- + **Übersicht über die einzelnen Kanäle, deren Kombinationsmöglichkeiten und Anwendungsbeispiele und verschiedene Vegetationsindizes** [https://www.sentinel-hub.com/develop/documentation/eo\\_products/Sentinel2EOproducts](https://www.sentinel-hub.com/develop/documentation/eo_products/Sentinel2EOproducts)
- + Onlinekarte mit Sentinel-2 Vegetationsindizes und Kanalkombinationen: **CODE-DE EO BROWSER** <https://browser.code-de.org/> : NDVI, moisture index (NDWI nach Gao), MNDWI nach McFeeters, NDSI
- + Onlinekarte mit Sentinel-2 Vegetationsindizes über das Projekt **AGRO-DE** für Deutschland monatliche Kompositis <https://geoservice.dlr.de/web/maps/de:agrode:monthly#> und jährliche Kompositis <https://geoservice.dlr.de/web/maps/de:agrode:yearly> : NDVI, EVI, NDRE, NDWI (MNDWI nach McFeeters), HA56, PSRI, REIP
- + **Weitere Vegetationsindizes** mit Daten der Satelliten PROBA- und SPOT als Teil der Copernicus Dienste für Vegetation: <https://land.copernicus.eu/global/products/vpi> und Wasser: <https://land.copernicus.eu/global/themes/water>

Mit die umfangreichste **Datenbank zu Indizes** ist die englische **Index DataBase (IDB)** <https://www.indexdatabase.de/> auf der Formeln von Indizes nach Anwendung und Sensor ausgewählt werden können, die danach mit einer geeigneten Software (z.B. QGIS oder SNAP) mit dem Satellitenbild selbst berechnet werden können.



„Echt“Farbenkomposit

NDVI

EVI

Quelle: Eigene Darstellung von Vegetationsindizes aus Copernicus Sentinel-2 Daten (2020)

## Der normalisierte differenzierte Vegetationsindex (NDVI)

$$NDVI = \frac{nir - rot}{nir + rot}$$

(bei Sentinel-2: rot: Band 4; nir: Band 8)

Die Vitalität von Vegetation (oder genauer der Chlorophyllgehalt) kann in einfacher Weise mit dem Unterschied der Reflektanz im sichtbaren roten Bereich und im nahen Infrarotbereich ermesen werden. Der normalisierte differenzierte Vegetationsindex, engl. normalized difference vegetation index (NDVI)<sup>5</sup> ist einer der am häufigsten angewandten Indizes, der sich diese Eigenschaft zu Nutzen macht.

Durch die Normierung nimmt er Werte zwischen -1 und +1 an. Vitale dichte Vegetation hat einen Wert nahe +1. Andere Oberflächen wie Gestein oder tote Vegetation haben keinen Anstieg des Reflexionsgrades im Red Edge Bereich (690–730nm) somit sehr geringe NDVI Werte (0-0,2 wird häufig als vegetationsfrei definiert). Negative Werte bezeichnen Wasserflächen.

NDVI	Landbedeckungsarten
< 0,1	Gewässer, Böden, Gestein, Sand oder Schnee
0,2 bis 0,3	Vegetation geringer Vitalität
0,3 bis 0,6	Mittlere bis dichte Vegetationsbedeckung
> 0,6	Sehr dichte Vegetation hoher Vitalität

Da der NDVI allein die Vitalität der Vegetation bestimmt kann zwischen toter Vegetation und z.B. offenem vegetationsfreien oder asphaltiertem Boden nicht unterschieden werden. Ein weiterer Nachteil ergibt sich in Regionen mit stark bewachsenen Flächen, wie z.B. tropischen Regenwäldern. Der rote Wellenlängenbereich wird stark von den oberen Blattschichten absorbiert, d.h. darunter liegende Schichten, zum Beispiel unterhalb der Baumkronen, tragen weniger zum NDVI bei. Zudem steigt der NDVI in dichten Beständen, ab einem bestimmten Anteil an grüner Blattoberfläche nicht weiter, beispielsweise in einem dichten Getreidebestand mit dem Maximum an grünen Blättern. Der NDVI sättigt in diesem Bereich und Unterschiede in der Vitalität können dann kaum mehr festgestellt werden. Weiterhin wird dieser Index auch von Bodeneigenschaften und den atmosphärischen Bedingungen beeinflusst.

## Der normalisierte differenzierte Red Edge Index (NDRE)

$$NDRE = \frac{nir - redEdge1}{nir + redEdge1}$$

(bei Sentinel-2: redEdge1: Band 5; nir: Band 8 oder Band 9)

Der normalisierte differenzierte Red Edge Index (NDRE)<sup>6</sup> wird besonders dort eingesetzt, wo der NDVI gesättigte Werte von +1 beträgt. Anstatt des roten Kanals wird der Red Edge Kanal verwendet, der weniger stark von der oberen Blattfläche beeinflusst wird.

## Der Enhanced Vegetation Index EVI

$$EVI = 2.5 * \frac{nir - rot}{(nir + C1 * rot - C2 * blau) + L}$$

(bei Sentinel-2: blau: Band2; rot: Band4; nir: Band8; Standardwerte der NASA für L: Boden=1; C1 Aerosole=6; C2 Aerosole=7,5)

Um die Einflüsse von Boden und Atmosphäre auf den Vegetationsindex zu minimieren wird häufig der „verbesserte Vegetationsindex“, engl. Enhanced Vegetation Index (EVI)<sup>7</sup> eingesetzt. Er hat zudem den Vorteil, dass er sensitiv auf Vegetationsveränderungen auf Flächen mit hoher Biomasse reagiert.

## Der normalisierte differenzierte Wasser Index NDWI

Wasser absorbiert mehr im Bereich des kurzwelligen Infrarots als im nahen Infrarot und hat dadurch positive Werte. Der NDWI nach Gao<sup>8</sup> ist gut, um den Blatt-Wassergehalt / Wasserstress von Blattoberflächen zu untersuchen. Er schließt dabei offene Wasserflächen mit ein.

$$NDWI(Gao) = \frac{nir - swir}{nir + swir}$$

(bei Sentinel-2: nir: Band8; swir: Band11)

Daneben gibt es auch noch den modifizierten Wasser Index MNDWI nach McFeeters<sup>9</sup> um Wasserflächen zu kartieren. Vegetation, Boden und bebauten Gebiete auf der anderen Seite reflektieren mehr im NIR Bereich und haben dadurch kleinere Werte.

$$MNDWI(McFeeters) = \frac{grün - nir}{grün + nir}$$

(bei Sentinel-2: grün: Band3; nir: Band8)

**MNDWI<sub>McFeeters</sub>**  
 < 0,3  
 > 0,3

**Landbedeckungsarten**  
 Keine Wasserflächen  
 Wasserflächen

**VORSICHT!**  
 Sowohl Gao als auch McFeeters nannten ihren Index NDWI, es herrscht daher keine einheitliche Namensgebung. Sofern die Daten direkt als Index von anderen Quellen bezogen werden sollte die zugrundeliegende Formel recherchiert werden.

## Literatur

1. Lillesand, T., Kiefer, R. W. & Chipman, J. Remote sensing and image interpretation. Remote sensing and image interpretation. (Wiley, 2015). <https://doi.org/10.2307/634969>.
2. Spatial IT Solutions Pvt. Ltd. What is remote sensing?. (2018). URL: [www.discoverpatial.in/wp-content/uploads/2018/08/remote.jpg](http://www.discoverpatial.in/wp-content/uploads/2018/08/remote.jpg) [abgerufen am 06.05.2020].
3. Neelmeijer, J. Gletschermonitoring mit Radarfernerkundung – Die satellitenbasierte Detektion der Fließgeschwindigkeiten und Höhenänderungen des Inylchek Gletschers, Kirgisistan. (2019).
4. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). BodenBewegungsdienst Deutschland (BBD). (2020). URL: <https://bodenbewegungsdienst.bgr.de/mapapps/resources/apps/bbd/index.html?lang=de> [abgerufen am 06.05.2020].
5. Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sens. Environ. 8, 127–150 (1979) [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0).
6. Barnes, E. M. et al. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. in Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture vol 1619 (2000). <https://doi.org/10.1.1.463.8007>.
7. Huete, A., Didan, K., van Leeuwen, W., Miura, T. & Glenn, E. MODIS Vegetation Indices. in Vegetation Index and Phenology Lab vol. 3 579–602 (2010). [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6749-7\\_26](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6749-7_26).
8. Gao, B.-C. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sens. Env. 7212, 257–266 (1996) [https://doi.org/10.1016/s0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/s0034-4257(96)00067-3).
9. McFeeters, S. K. Using the normalized difference water index (ndwi) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: A practical approach. Remote Sens. 5, 3544–3561 (2013) <https://doi.org/10.3390/rs5073544>.





## Autoren:

Helmholtz-Zentrum Potsdam  
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ  
Stiftung des öff. Rechts Land Brandenburg

Helga U. Kuechly <https://orcid.org/0000-0001-6449-1644>

Antonia Cozacu <https://orcid.org/0000-0003-2225-4522>

Georg Kodl <https://orcid.org/0000-0002-6387-5205>

Clara Nicolai <https://orcid.org/0000-0001-9950-6981>

Claudia Vallentin <https://orcid.org/0000-0003-2587-556X>

Telegrafenberg  
D- 14473 Potsdam

Website: [www.gfz-potsdam.de/sapiens](http://www.gfz-potsdam.de/sapiens)

E-Mail-Adresse: [webinar-fernerkundung@gfz-potsdam.de](mailto:webinar-fernerkundung@gfz-potsdam.de)

Gefördert durch den Impuls- und Vernetzungsfond der  
Helmholtz-Gemeinschaft.

Copyright © 2020 von Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ.  
Alle Rechte vorbehalten.