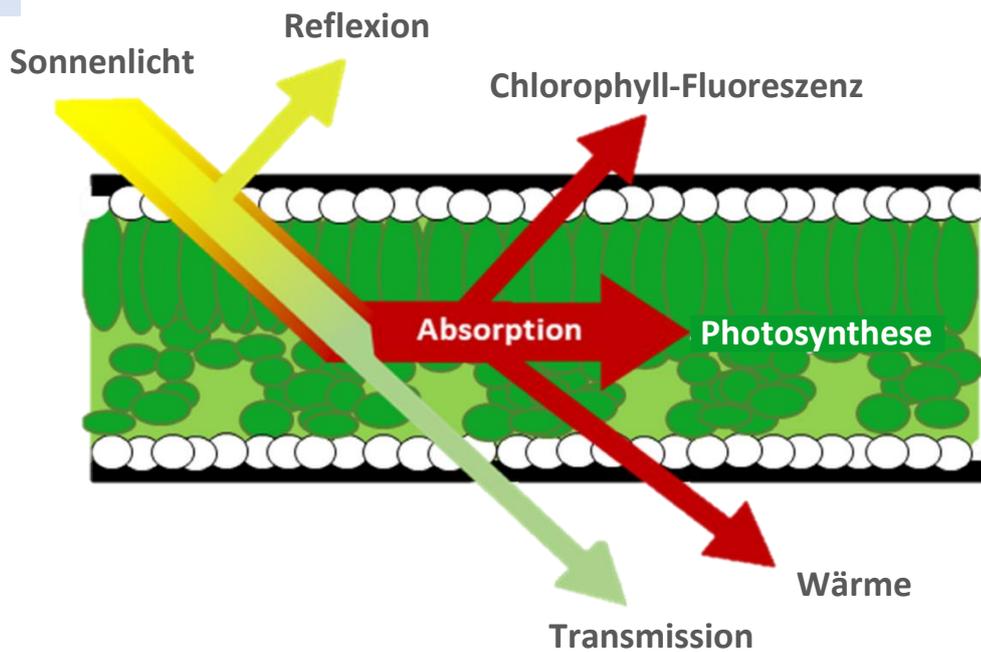


Leuchtende Pflanzen – Photosynthese aus dem All beobachten

Wenn Pflanzen leuchten

Für die **Photosynthese** benötigen Pflanzen Sonnenlicht als Energiequelle, um Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) in Zucker und andere organische Verbindungen umzuwandeln. Steht der Pflanze mehr Licht zur Verfügung, als sie für die Photosynthese verwerten kann, wird das Chlorophyll in den Pflanzen in einen angeregten Zustand überführt. Beim Zurückfallen in den normalen Zustand wird diese zusätzliche Energie als Strahlung wieder abgegeben. Dieses Phänomen bezeichnet man als **Chlorophyll-Fluoreszenz**. Das Fluoreszenz Signal ist meistens zu schwach, um es mit dem menschlichen Auge erkennen zu können. Spezielle Sensoren können dieses Signal jedoch messen, sogar aus großer Entfernung wie etwa von einem Satelliten und so das „Leuchten“ der Pflanzen erkennen. Das Fluoreszenz Signal der Pflanzen gibt Forschern und Forscherinnen einen direkten Einblick in die photosynthetische Aktivität der Pflanzen. So kann zum Beispiel die Länge einer Vegetationsperiode gemessen werden.

Abb. 1



Lichtabsorption im Blatt
Akbar Andi Arief et al. 2023

Die Abbildung zeigt den Prozess der Lichtabsorption in einem Blatt. Ein Teil der Sonnenenergie wird an der Oberfläche reflektiert (**Reflexion**) oder durch das Blatt durchgelassen ohne absorbiert zu werden (**Transmission**). Das Licht, welches von den Chloroplasten im Blatt absorbiert wird, wird bei einem gesunden Blatt zu 80% für die **Photosynthese** verwendet. Etwa 18% werden als **Wärmestrahlung** abgegeben. Nur 2% der absorbierten Sonnenenergie werden als **Fluoreszenz** wieder abgestrahlt.

Bedeutung der Fluoreszenz

Vor dem Hintergrund der global wachsenden Nachfrage an Nahrungsmitteln, ist die Überwachung des Gesundheitszustandes der Vegetation ein wichtiger Forschungsgegenstand. **Terrestrische Ökosysteme**, also alle Ökosysteme der Landoberfläche ausgenommen der Ozeane, absorbieren jedes Jahr ca. 120 Gigatonnen Kohlenstoff. Etwa 50% davon werden durch Atmungsprozesse wieder ausgestoßen. Die restlichen 50% werden in Form von **Biomasse** gespeichert. Werden diese Ökosysteme jedoch durch Eingriffe oder langfristige Veränderungen des Klimasystems gestört, werden Teile dieses gespeicherten Kohlenstoffes wieder abgegeben. Informationen über den Zustand der globalen Vegetation, helfen uns also auch dabei, den Austausch von Kohlenstoff zwischen der Atmosphäre und der Landoberfläche besser zu verstehen und Veränderungen zu erkennen.

Wie in **Abbildung 1** zu sehen, wird bei der Photosynthese ein Teil des Lichts als Fluoreszenz abgestrahlt. Die Stärke dieses Fluoreszenz-Signals steht im direkten Zusammenhang zur photosynthetischen Aktivität und ist somit ein direkter Indikator für die Gesundheit oder Stress der Pflanze.

Fluoreszenz aus dem All messen

Jedes Lichtphoton welches auf die Erdoberfläche trifft kann einen von drei Prozessen unterlaufen: Es wird von der Oberfläche absorbiert und in langwellige Strahlung umgewandelt, es durchdringt die Oberfläche oder es wird an der Oberfläche reflektiert. Diese Prozesse geschehen Wellenlängenabhängig, das bedeutet jeder Oberflächentyp absorbiert und reflektiert die solare Strahlung unterschiedlich. Ein Satellit kann bestimmte Wellenlängenbereiche dieses zurück reflektierten Signales messen und liefert uns so Informationen über den Zustand und die Zusammensetzung der Oberfläche. Auch der Teil der Strahlung, die in **Abbildung 1** an der Blattoberfläche reflektiert wurde und der Teil, der als Fluoreszenz zurückgestrahlt wurde ist für den Satelliten sichtbar.

Aufgabe 1

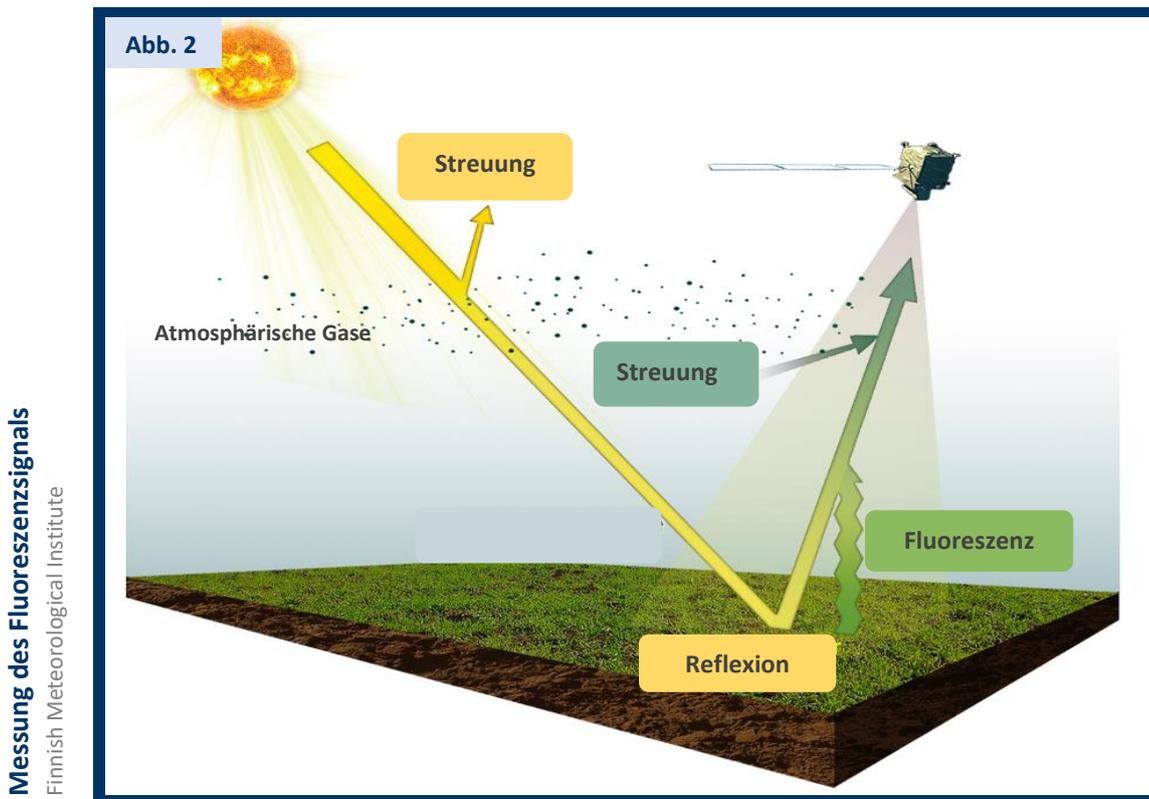
Schau dir das Video zur Chlorophyllfluoreszenz vom Forschungszentrum Jülich an und beantworte die folgenden Fragen:

Link zum Video: <https://www.youtube.com/watch?v=3Doj6Behc2s> („Chlorophyllfluoreszenz: Das Leuchten der Pflanzen“)

Welche Voraussetzungen benötigt man, um die Chlorophyllfluoreszenz in dem Experiment sichtbar zu machen?

Beschreibe in deinen eigenen Worten den Prozess der Chlorophyllfluoreszenz. Welchen Einfluss hat Beschattung auf die Fluoreszenz?

Beschreibe in deinen eigenen Worten, wie man das Fluoreszenzsignal für das menschliche Auge sichtbar machen kann.



Aufgabe 2

Schau dir **Abbildung 2** an. Welche Schwierigkeiten ergeben sich bei der Messung der Fluoreszenz durch einen Satelliten. Welche Störfaktoren könnten die Messung erschweren?

Fluoreszenz mit Satelliten messen

Wie in **Abbildung 2** zu sehen, empfängt der Satellit nicht nur das Fluoreszenz Signal, sondern auch die Reflexion der Oberfläche. Hier stellt sich nun die Herausforderung, die beiden Signale voneinander zu trennen.

Abb. 3

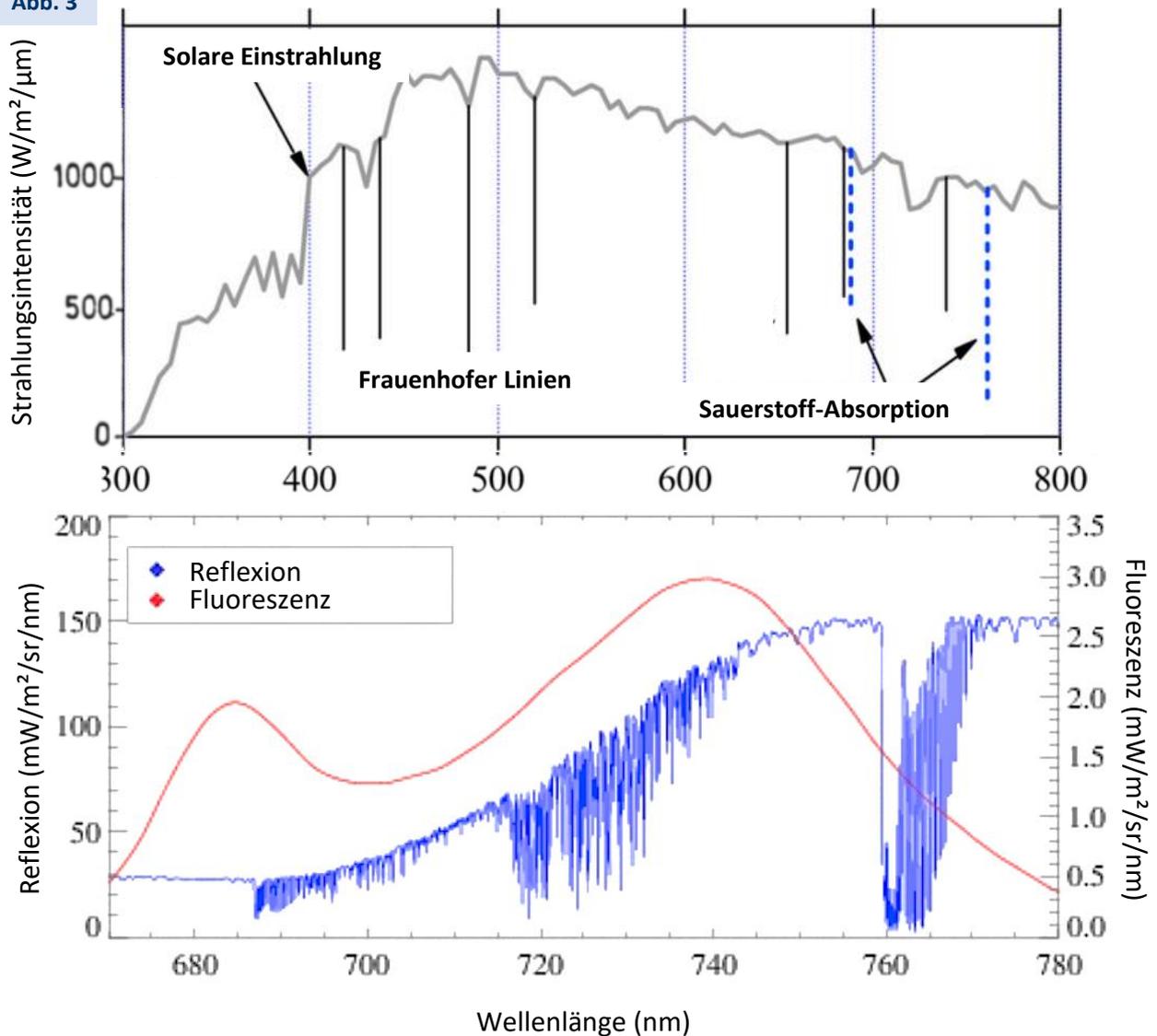


Abbildung 3 verdeutlicht wie das Fluoreszenz Signal von der Reflexion der Oberfläche unterschieden werden kann. Im oberen Teil der Abbildung sieht man das Spektrum der solaren Einstrahlung an der Erdoberfläche. Die eingezeichneten Linien symbolisieren die Position von so genannten Absorptionslinien. Das sind Wellenlängenbereiche in denen ein Großteil der Strahlung durch Gase in der Sonnenatmosphäre (Fraunhofer Linien) oder in der Erdatmosphäre (Sauerstoff Absorption) absorbiert werden. In diesen Bereichen kann das von den Pflanzen ausgestrahlte Fluoreszenz Signal besonders deutlich von der reflektierten Sonnenstrahlung unterschieden werden. Die FLEX Satellitenmission der ESA misst Fluoreszenz, indem die spektralen Kanäle des Satelliten eng um diese Sauerstoff-Absorptionslinien angeordnet sind. Ein weiterer Hinweis ist die unterschiedliche Form der Fluoreszenz- und der Reflexions- Signatur. Im unteren Teil der Abbildung ist in Blau die spektrale Signatur von grüner Vegetation zusehen und in Rot das Fluoreszenz Spektrum. Achte bei beiden Abbildungen auf die Achsenbeschriftung.

Aufgabe 3

Vergleiche die Signatur des Fluoreszenz Signals und der Reflexion grüner Vegetation im unteren Teil von **Abbildung 3**. Welche Unterschiede zwischen den Signaturen fallen dir auf?

In welchen Wellenlängenbereichen liegen die zwei Höhepunkte der Fluoreszenz Kurve?

Aufgabe 4

Öffne die Plattform „Copernicus Sentinel-5P Mapping Portal“ unter diesem Link: <https://maps.s5p-pal.com>

Die Plattform bietet Visualisierungen für die verschiedenen Datenprodukte der Sentinel-5P Mission auf unterschiedlichen zeitlichen Skalen. Wählt unter „Quantity“ SIF aus. Nun seht ihr ein Durchschnittsprodukt der „Solar Induced Fluorescence“ (SIF) (deutsch: Solarinduzierte Chlorophyllfluoreszenz), welches vom Sentinel-5P TROPOMI Sensor gemessen wurde.

Beantworte die folgenden Fragen.

1. Wählt unter „Period“ die jährliche Darstellung („Year“) aus. In welchen Regionen der Erde hat TROPOMI im jährlichen Durchschnitt am meisten Fluoreszenz gemessen? Womit könnte das zusammenhängen?

2. Wählt unter „Period“ die saisonale Darstellung („Season“) aus. Unter der Karte könnt ihr nun zwischen verschiedenen Zeitabschnitten wählen. Vergleicht die verschiedenen Jahreszeiten miteinander. Welchen Zusammenhang zwischen der Fluoreszenz und der Saisonalität könnt ihr feststellen? Gibt es globale Unterschiede?



Zukunftsausblick:

Eine neue Satellitenmission steht in den Startlöchern:

Die FLuorescence EXplorer Mission (FLEX) der Europäischen Weltraumorganisation ESA wird erstmalig die Chlorophyllfluoreszenz der globalen Vegetation direkt aus dem All messen. Ziel ist es, Aussagen über den globalen Kohlenstoffkreislauf zu treffen und Entwicklungen in der Landwirtschaft zu unterstützen. Hier findest du mehr Informationen zu der Mission:

<https://flex-mission.eu/flex-mission-de>

<https://visuals.earth.esa.int/satellites/flex>