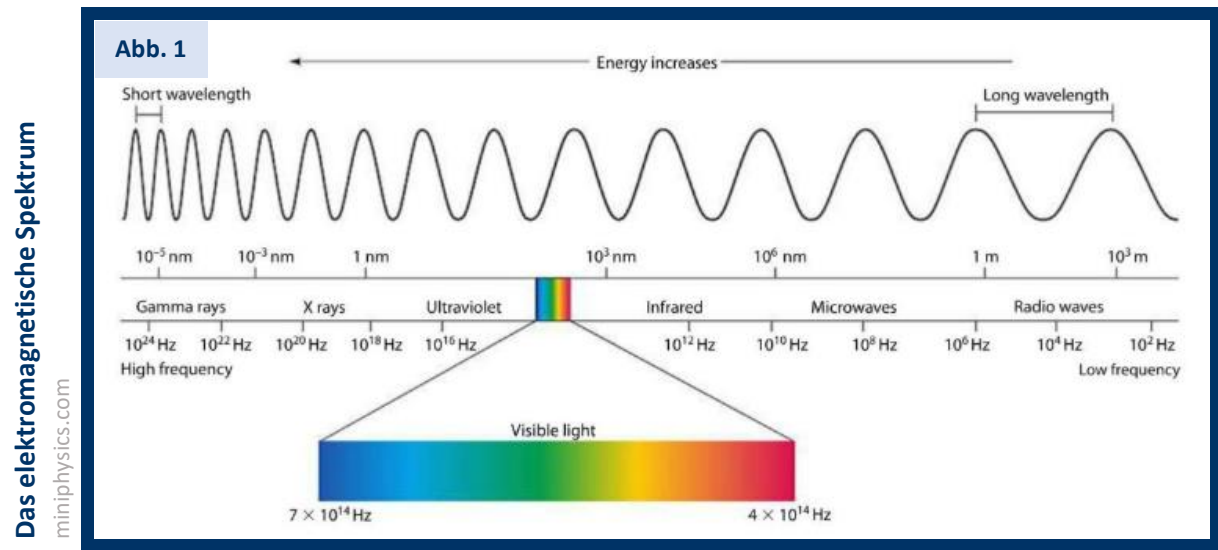


Hyperspektrale Fernerkundung – All das Licht das wir nicht sehen

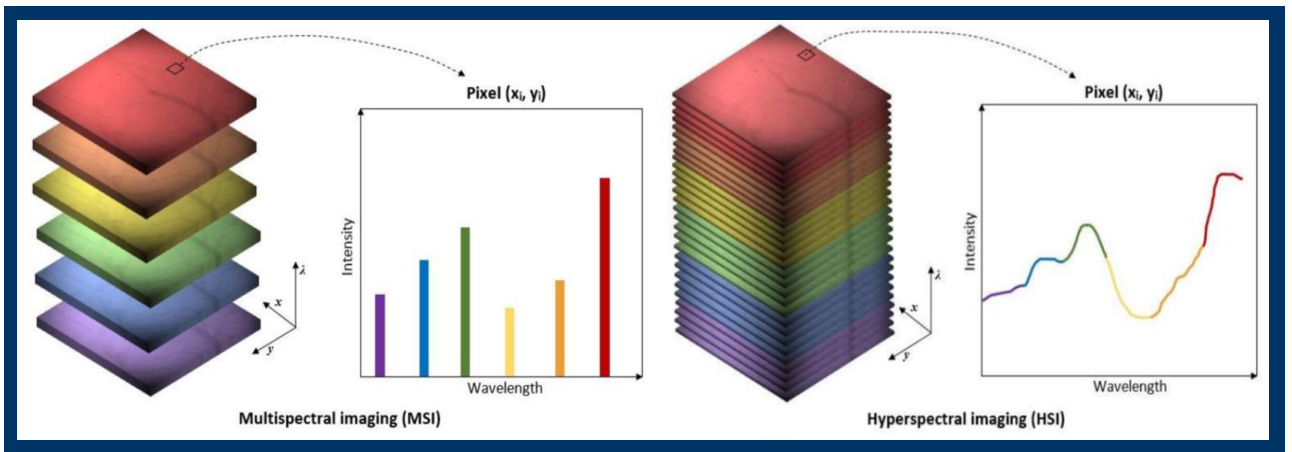
Was ist hyperspektrale Fernerkundung?

Das **elektromagnetische Spektrum** beschreibt die Gesamtheit aller Wellenlängen, angefangen bei den kurzwelligen, nur wenigen Mikrometer großen Röntgenwellen, bis hin zu langwelligen Radiowellen im Meterbereich. Die physikalischen Eigenschaften der Strahlung werden durch die Wellenlänge (λ) und die Frequenz (ν) bestimmt. Abhängig davon, wird das elektromagnetische Spektrum in **Spektralbereiche** unterteilt, wie beispielsweise das sichtbare Licht zwischen 400 und 780 nm oder das Nahe Infrarot zwischen 780 und 1300 nm (siehe **Abbildung 1**). Dabei können die einzelnen Spektralbereiche in einander übergehen und so den gesamten kontinuierlichen Bereich des Spektrums abbilden. Jedes Objekt reflektiert und absorbiert Strahlung unterschiedlich stark. Das reflektierte Signal einer Oberfläche ist ähnlich wie der individuelle Fingerabdruck eines Menschen. Diese sogenannte spektrale Signatur, ermöglicht es Sensoren, wie beispielsweise Satelliten, zwischen verschiedenen Oberflächentypen zu unterscheiden. So kann Licht sichtbar gemacht werden, das außerhalb des für Menschen sichtbaren Wellenlängenbereichs liegt.



Ein üblicher **multispektraler Satellit** misst nur bestimmte Abschnitte dieses kontinuierlichen Spektrums durch die Nutzung so genannter Spektralkanäle. Die Sentinel-2 Mission des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus misst die von der Erdoberfläche reflektierte Strahlung in 13 verschiedenen Kanälen, die einen jeweils unterschiedlich großen Wellenlängenbereich abdecken. Abzugrenzen von der multispektralen Fernerkundung ist die **hyperspektrale Fernerkundung**, auch bildgebende Spektroskopie genannt. Ein hyperspektraler Sensor verfügt oft über Hundert sehr schmale spektrale Kanäle, die es ermöglichen, die Kontinuität des elektromagnetischen Spektrums besser aufzunehmen (siehe **Abbildung 2**).

Abb. 2



Aufgabe 1

Nutze dein bislang erlangtes Wissen und die Informationen aus **Abbildung 2** um die untenstehenden Aussagen dem jeweils passenden Verfahren, Multispektral oder Hyperspektral, zuzuordnen, indem du sie durch Linien verbindest.

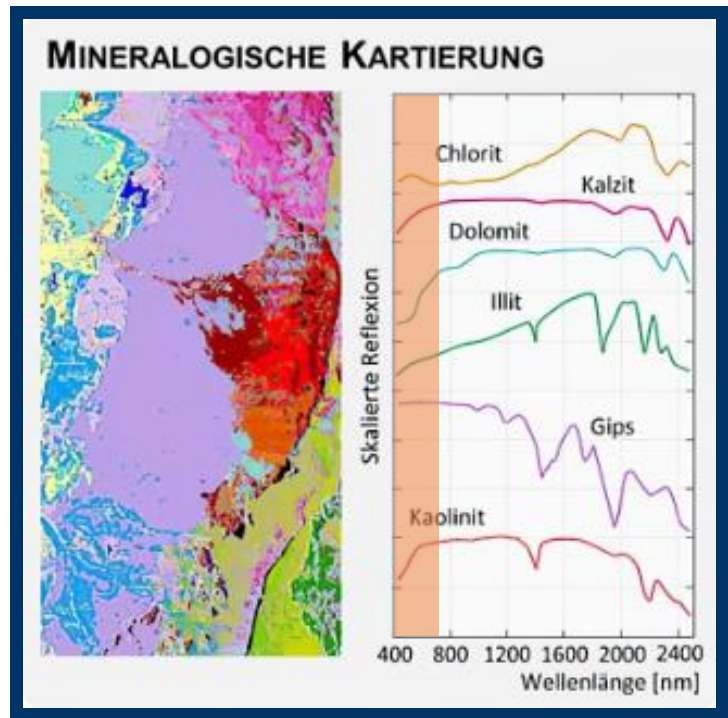
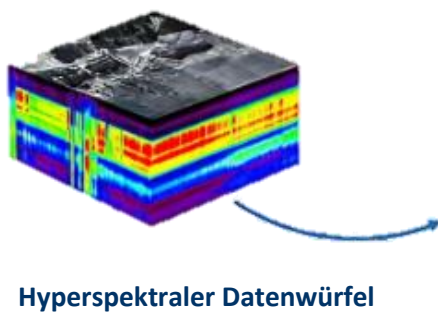
Um die 100 Kanäle	
Geringere Komplexität & Datenmenge	
Kanal bildet schmalen spektralen Bereich ab	Multispektrale Fernerkundung
Um die 10 Kanäle	
Hohe Komplexität & Datenmenge	
Kanal bildet breiteren spektralen Bereich ab	Hyperspektrale Fernerkundung
Geringeres Level an Detail der spektralen Informationen	
Sehr detaillierte spektrale Informationen	

Anwendung hyperspektraler Daten – Teil 1

Durch hyperspektrale Sensoren kann ein großer Teil des elektromagnetischen Spektrums mit einer sehr hohen **spektralen Auflösung** und **Abtastfrequenz**, also mit vielen nahaneinander liegenden Kanälen, abgebildet werden. Dies ermöglicht es, feinste Unterschiede der Landoberfläche zu identifizieren. Während ein multispektraler Sensor häufig genutzt wird, um zwischen verschiedenen Landoberflächentypen wie Wasser, Vegetation oder Urbaner Fläche zu unterscheiden, kann ein hyperspektraler Sensor zusätzlich zum Beispiel verschiedene Mineralen im Boden differenzieren.

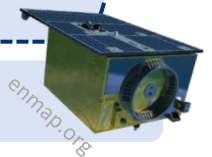
Abb. 3

Hyperspektrale Mineralogische Kartierung
EnMAP 2022



In **Abbildung 3** siehst du die **spektralen Signaturen** von sechs verschiedenen Mineralen. Die spektrale Signatur beschreibt, wie stark bestimmte Wellenlängen von einem Objekt reflektiert, beziehungsweise absorbiert werden. Unser Auge sieht von dieser Signatur nur den Teil des sichtbaren Lichts, in der Abbildung orange hinterlegt. Ein hyperspektraler Sensor kann einen viel größeren Teil des Spektrums „sehen“ und so zwischen den Mineralen unterscheiden. Diese Signaturen können dann mit Datensätzen in so genannten **Spektralbibliotheken** abgeglichen werden, um das jeweilige Mineral zu bestimmen. So kann eine **mineralogische Kartierung** erstellt werden.

EnMAP – Die erste deutsche hyperspektrale Raummission



EnMAP steht für *Environmental Mapping and Analysis Program* und ist die erste in Deutschland entwickelte **hyperspektrale Raummission**. Sie liefert wichtige Daten über Veränderungen unserer Umwelt, besonders in Bezug auf den Klima- und Landnutzungswandel. Der Satellit startete seine Mission im April 2022 und soll für mindestens fünf Jahre im Orbit kreisen. EnMAP misst die Oberflächensignale in 246 Spektralkanälen mit einer räumlichen Auflösung von 30m. Das bedeutet, dass jeder Pixel des Satellitenbildes einen 30x30m großen Abschnitt der Erdoberfläche in 246 verschiedenen spektralen Bereichen abbildet. Du kannst dir diesen Pixel wie einen **Datenwürfel** vorstellen, der aus 246 verschiedenen Bildern besteht (siehe **Abbildung 3**).

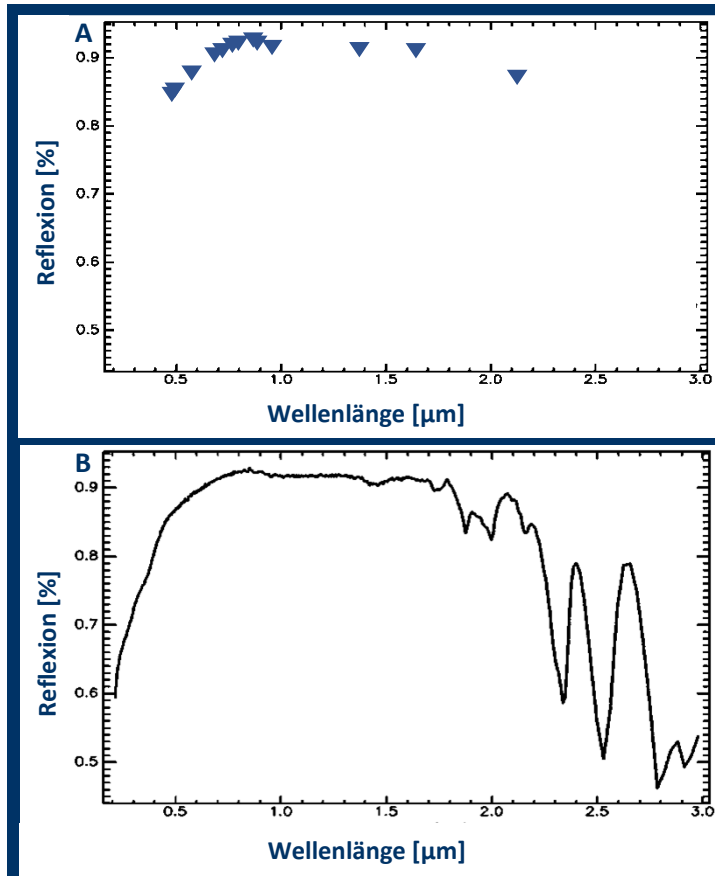


Spektrale und räumliche Auflösung?

Die **spektrale Auflösung** beschreibt die Größe des Wellenlängenbereichs der von einem bestimmten Kanal aufgezeichnet wird. Je höher die spektrale Auflösung desto schmaler ist dieser Bereich und desto detaillierter können Objekte spektral unterschieden werden.

Die **räumliche Auflösung** beschreibt die Größe der einzelnen Pixel in einem Bild. Je höher die Auflösung, desto kleiner sind die einzelnen Pixel und desto detaillierter kann die Erdoberfläche dargestellt werden.

Abb. 4



Multispektrale und hyperspektrale Signatur von Kalzit

Kokaly et al. 2017

In **Abbildung 4** siehst du die spektrale Signatur von Kalzit wie sie A) ein multispektraler Satellit wie Sentinel-2 mit seinen 13 Kanälen messen kann und B) das gesamte kontinuierliche Spektrum, dass von einem hyperspektralen Sensor aufgenommen werden kann.

Aufgabe 2

Vergleiche die beiden Signaturen in **Abbildung 4** mit einander und diskutiere mit einem Partner, ob man allein durch multispektrale Daten Kalzit von anderen Mineralien unterscheiden könnte. Schau dir dazu nochmal die Signaturen der anderen Mineralien aus **Abbildung 3** an.

Aufgabe 3

Lies dir das Interview über EnMAP von Dr. Walther Pelzer durch und beantworte die folgenden Fragen. Das Interview findest du hier: [Umweltschutz aus dem All: EnMAP-Entwickler im Gespräch - ZDFheute](#).

Was ist das Ziel der EnMAP Mission?

Was sind konkrete Anwendungsbeispiele, in denen die Daten von EnMAP nützlich sein werden?

Anwendung hyperspektraler Daten – Teil 2

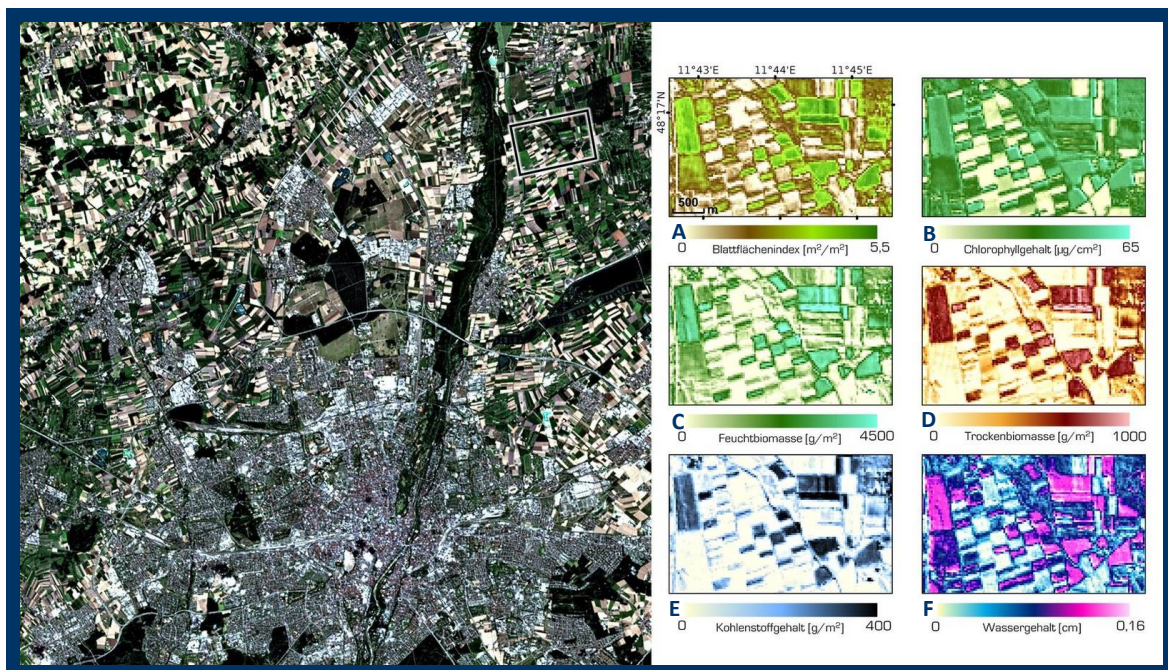
Die wachsende Weltbevölkerung und zunehmende Unsicherheiten durch den Klimawandel stellen die Landwirtschaft vor große Herausforderungen. Prognosen der Vereinten Nationen zufolge wird die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2100 auf mehr als 11 Mrd. Menschen ansteigen¹. Um die Ernährung der globalen Bevölkerung zu sichern, muss die Effizienz der nur begrenzt verfügbaren landwirtschaftlichen Flächen folglich gesteigert werden.

Hyperspektrale Sensoren wie EnMAP ermöglichen es, hochpräzise Daten über den Zustand und die Gesundheit von Nutzpflanzen zu erheben. Diese Daten werden zum Beispiel in der **Präzisionslandwirtschaft** („Precision Farming“) verwendet. Hier werden durch den Einsatz neuester Technologien und Datensätzen standortangepasste Anbauverfahren ermittelt, die Parameter wie zum Beispiel den Feuchtegehalt des Bodens, den Chlorophyllgehalt der Pflanzen oder Schädlingsbefall berücksichtigen (siehe **Abbildung 5**). So können landwirtschaftliche Flächen effizient bewirtschaftet werden, um die Erträge zu optimieren.

¹ United Nations World Population Prospects 2022

Abb. 5

Hyperspektrales Monitoring der Landwirtschaft
dlr.de



In **Abbildung 5** siehst du eine Aufnahme vom 18. Juli 2022 des EnMAP Satelliten vom Raum München. Durch die Anwendung bestimmter Algorithmen konnten verschiedene **biophysikalische** und **biochemische Parameter** erhoben und kartiert werden: A) der Blattflächenindex B) der Chlorophyllgehalt der Pflanzen, C) die Menge an Feuchtbioasse, D) die Menge an Trockenbiomasse, E) den Kohlenstoffgehalt und F) den Wassergehalt.



Biochemische & biophysikalische Parameter

Ausgewählte biochemische oder biophysikalische Parameter helfen uns dabei, den Zustand der Vegetation besser zu bewerten. Eigenschaften wie der Chlorophyll- oder der Wassergehalt können aus den individuellen Absorptionseigenschaften einer Oberfläche abgeleitet werden.

- **Blattflächenindex:** beschreibt das Verhältnis zwischen der Gesamtfläche und der von Vegetation bedeckten Fläche. Der Blattflächenindex ist also ein Indikator für die Belaubungsdichte einer Fläche.
- **Chlorophyllgehalt:** Chlorophyll ist der grüne Farbstoff in den Chloroplasten der Pflanzen, welcher Licht absorbiert, um Energie für die Photosynthese bereitzustellen. Der Chlorophyllgehalt einer Pflanze ist also ein Indikator für die photosynthetische Aktivität.
- **Feuchtbiomasse:** Gesamtgewicht des Pflanzenmaterials inklusive des Wassergehalts der Pflanzen.
- **Trockenbiomasse:** Gesamtgewicht des Pflanzenmaterials exklusive des Wassergehalts der Pflanzen.
- **Kohlenstoffgehalt:** Um Biomasse aufzubauen nehmen Pflanzen bei der Photosynthese Kohlenstoff aus der Atmosphäre auf. Der Kohlenstoffgehalt der Pflanzen ist also ein weiterer Indikator für die photosynthetische Aktivität der Vegetation.
- **Wassergehalt:** Neben Kohlenstoff ist Wasser ein maßgeblicher Baustein für die Photosynthese. Längere Trocken- bzw. Hitzeperioden können zu einem Wasserdefizit und somit zu einer verminderten photosynthetischen Aktivität führen.

Abb. 6

Spektrale Signatur Grüne und Trockene Vegetation
esa.de

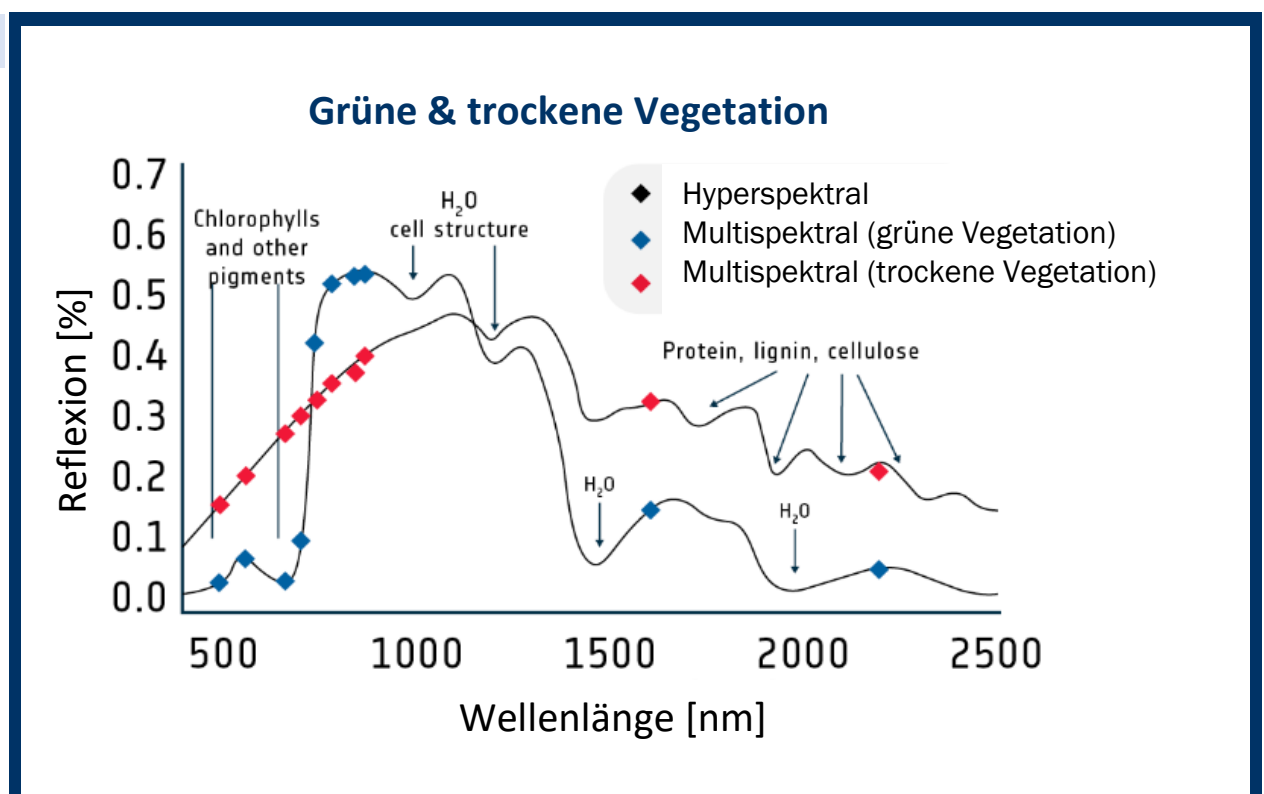


Abbildung 6 zeigt die Spektrale Signatur von gesunder Vegetation (Linie mit blauen Markierungen) und trockener Vegetation (Linie mit roten Markierungen). Die spektrale Signatur wird von verschiedenen **Absorptionseigenschaften** beeinflusst. So sorgt das Chlorophyll in gesunden Blättern dafür, dass große Teile des blauen und roten Lichts absorbiert wird, während Licht im grünen und Infrarotbereich reflektiert wird. Bei trockener Vegetation mit einem geringeren Chlorophyllgehalt findet diese Absorption nicht statt und die unterschiedlichen Wellenlängenbereiche des sichtbaren Lichtes werden ungefähr gleich stark reflektiert. Deswegen erscheint gesunde Vegetation für uns grün und trockene Vegetation braun. Wasser und andere Parameter wie das Lignin in den Pflanzen absorbieren eher in längeren Wellenlängenbereichen.

Aufgabe 4

Schaue dir **Abbildung 6** noch einmal genau an. Vergleiche welche Schlüsse aus den Daten der multispektralen Messungen (rote und blaue Rauten) und den Daten der hyperspektralen Messungen (schwarze Linie) ziehen kann. Ordne den untenstehenden Aussagen die passende Methode zu.

Es kann zwischen gesunder und trockener Vegetation unterschieden werden

Der Einfluss der Absorption durch Wasser kann gemessen werden

Der Einfluss der Absorption durch Lignin, Proteinen und Cellulose kann gemessen werden

Der Einfluss der Absorption durch Lignin, Proteinen und Cellulose kann gemessen werden

Der Chlorophyllgehalt der Vegetation kann bestimmt werden

Multi- & hyperspektrale Fernerkundung

Nur hyperspektrale Fernerkundung