

---

Unterrichtsmaterialien zum Thema

# Mikrowellen aus dem All - Die Erde im Radar

JAHRGANGSSTUFE 11

---

Didaktischer Kommentar

# Projektinformation

Diese Unterrichtsmaterialien sind im Rahmen des Projektes „Fernerkundung in Schulen“ (FIS) entstanden. Das Projekt FIS wird von der Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 50 EE 0932 gefördert.

Das übergeordnete Projektziel besteht in der Erarbeitung eines umfassenden Angebots an digitalen Lernmaterialien für den Einsatz im Schulunterricht.

Dieses Angebot umfasst interaktive Lernmodule, sowie Recherche- und Analysetools, die über ein umfassendes und internetgestütztes Lernportal zur Verfügung gestellt werden.

<http://www.fis.uni-bonn.de>



## Übersicht

### Jahrgangsstufe

11

### Niveau



### Zeitbedarf

45 Minuten

### Autoren

Johannes Schultz,  
Andreas Rienow,  
Henryk Hodam,  
Florena Miesen

### Ziele

Die SchülerInnen sollen...

- grundlegende Eigenschaften von elektromagnetischen Wellen und Radarfernerkundungssystemen kennen lernen.
- die Veränderungsdynamik im Braunkohle-Abbau analysieren.
- ein Verständnis für die Zusammenhänge zwischen Landoberfläche, Rückstreuung und Radarfernerkundungssystemen bekommen.

### Themen

Radarfernerkundung

elektromagnetische Wellen

Veränderungsdetektion

Braunkohle-Abbau

### Medien & Material

Didaktischer Kommentar

Musterlösung

# Didaktischer Kommentar

## Einbindung in den Lehrplan & Umsetzung der Unterrichtseinheit

In der modernen Beobachtung der Erdoberfläche und ihrer Veränderungsdynamik sind Radarsysteme von entscheidender Bedeutung. Sie erlauben es, großflächige Oberflächenstrukturen selektiv zu erfassen und zu klassifizieren. Mithilfe von Radarfernerkundung können Veränderungen beispielsweise von Vegetationsverteilungen oder Gletschern detektiert werden. Mit Hilfe von ausgewählten Radarbildern erhalten die Schüler und Schülerinnen (SuS) einen Überblick über die Möglichkeiten zur Erfassung von Veränderungsdynamiken an der Erdoberfläche. Diese Erkenntnisse werden mit Hintergrundwissen zu dem Thema Radarfernerkundung, sowie grundlegendes Wissen über Eigenschaften von Mikrowellen ergänzt.

Das **Ziel der Unterrichtseinheit** „Radar“ ist das Verständnis grundlegender Eigenschaften elektromagnetischer Wellen und ihrer Anwendungsmöglichkeiten in Radarfernerkundungssystemen kennen zu lernen. Ferner schult die Unterrichtseinheit den Umgang mit abstrakten Darstellungen (Satellitenbilder) von bekannten Landschaftseinheiten.

Die Unterrichtseinheit bedient sich der Möglichkeiten des Computers, um die Thematik durch Animation und Interaktion nachhaltig zu vermitteln. Durch die praktische Auseinandersetzung mit dem Themenkomplex über ein computergestütztes und interaktives Lernmodul soll den SuS das Verstehen von Zusammenhängen erleichtert werden.

Das computergestützte Lernmodul berücksichtigt darüber hinaus folgende Aspekte:

- Der Aufbau des Moduls ist wissenschaftsorientiert und fördert somit grundlegend das wissenschaftspropädeutische Lernen.
- Das Lernmodul fördert eine Organisation des Unterrichts, die stark auf die Eigenaktivität und die Selbstverantwortung der SuS setzt.
- Das Lernmodul berücksichtigt die Lebenswirklichkeiten der SuS.
- Das Medium Computer wird als Arbeitsmittel eingesetzt, sodass den SuS der Computer nicht nur als reines Informations- und Unterhaltungsgerät, sondern auch als Werkzeug näher gebracht wird. Darüber hinaus wird der Umgang mit Neuen Medien und somit die Medienkompetenz der SuS gefördert.

## Inhaltlicher Hintergrund

Die Aufnahme der Erdoberfläche mit Mikrowellensystemen, sprich Radarsystemen, unterscheidet sich grundlegend von den photographischen und spektralen Aufnahmearten. Radar ist ein aktives Fernerkundungsverfahren. Das bedeutet, es arbeitet nicht mit der Sonnenstrahlung, sondern mit seinen eigenen Mikrowellen. Ein Radar, montiert an einem Flugzeug oder Satelliten, sendet Mikrowellen aus, die in einem bestimmten Winkel auf die Erdoberfläche treffen. Sie werden dort zurückgeworfen und vom Radarsystem, welches sich in der Zwischenzeit fortbewegt hat, wieder aufgenommen. Gleichzeitig sendet es neue Mikrowellen aus, sodass man die Aufnahme eines ganzen Geländestreifens erhalten kann. Ein sehr hochauflösender Radarsatellit ist z.B. der deutsche TerraSAR-X Satellit, der die Erde in einer Höhe von 514 Kilometern umrundet. Neben ihm gibt es noch den deutschen Satelliten TanDEM-X. Durch die Verwendung beider Radarsensoren wird es erstmalig möglich sein, ein globales, digitales

**Tabelle 1** Thematische Einbindung in den Lehrplan nach Bundesländern

Bundesland	Klasse	Thema
Baden-Württemberg	10/12	Kurstufe Schwerpunkt Astrophysik
Bayern	8/12	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen
Berlin	11/12	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen
Brandenburg	12	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen
Bremen	11/12	Elektromagnetische Wellen
Hamburg	11/12	Elektromagnetische Wellen
Hessen	11/12	Radiowellen, Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen
Mecklenburg-Vorpommern	11/12	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen
Niedersachsen	11/12	Elektromagnetische Schwingungen
Nordrhein-Westfalen	11/12	Elektromagnetische Wellen, Radar
Rheinland-Pfalz	11/12	Elektromagnetische Wellen
Saarland	11/12	Elektromagnetischer Schwingungen und Wellen
Sachsen	11/12	Radartechnik, Radar, Elektromagnetisches Spektrum
Sachsen-Anhalt	11/12	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen, Radar
Schleswig-Holstein	11/12	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen
Thüringen	11/12	Ektromagnetische Schwingungen und Wellen

Höhenmodell mit einer vertikalen Auflösung von zwei Metern zu erstellen.

Die Bereiche des elektromagnetischen Spektrums unterscheiden sich durch ihre Frequenzen und Wellenlängen. Infrarotwellen, haben z.B. eine tausendfach kleinere Wellenlänge als Mikrowellen. Die unterschiedliche Beschaffenheit des Geländes übt einen großen Einfluss auf die Radarbilder aus. Heutige Radarsysteme besitzen die Fähigkeit, verschiedene Arten von Mikrowellen auszusenden, die sich in ihrer Wellenlänge und Polarisation erheblich unterscheiden. So haben „kleine“ Mikrowellen eine Wellenlänge von 0,2 mm, „große“ Mikrowellen hingegen eine von 20 cm. Wellenlänge und Polarisation bestimmen die Eindringtiefe in das beobachtete Gelände.

Die Unterrichtseinheit vermittelt grundlegendes Wissen zu Radarsystemen und zeigt auf, wie man mit Fernerkundungsmethoden Oberflächenstrukturen und -veränderungen detektieren kann.

### Fernerkundung

Unter dem Begriff Fernerkundung versteht man allgemein die berührungslose Beobachtung der Erdoberfläche durch Sensoren an Flugzeugen und vor allem Satelliten. Mit Satellitenbildern kann man großflächig den Zustand der Erdoberfläche und somit den Zustand verschiedener Ökosysteme betrachten. Besonders gut eignen sich Satellitenbilder dazu, Veränderungen an der Landoberfläche zu erfassen, da Satelliten einen bestimmten Ausschnitt der Erdoberfläche in einem definierten zeitlichen Abstand immer wieder überfliegen und entsprechend Bilder von diesem Ausschnitt liefern. Infolgedessen liegt ein bedeutender Vorteil der Fernerkundung gegenüber klassischen Feldmessungen in der kostengünstigen Informationsbeschaffung, ohne direkt vor Ort sein zu müssen.

Bildaufnahme - wie entstehen Farbbilder? Ein Satellitenbild entsteht durch die Aufnahme von Strahlung, die von der Erdoberfläche zurück geworfen wird. Zuerst trifft die von der Sonne ausgestrahlte

elektromagnetische Strahlung (sichtbar und nicht sichtbar) auf die Erde. Trifft die Strahlung nun auf die Oberfläche, so werden je nach Beschaffenheit Teile von der Strahlung durchdrungen (Transmission), aufgenommen (Absorption) und zurück geworfen (Reflexion). Die reflektierte Strahlung enthält Informationen über die Art und Eigenschaften der Oberfläche. Außerdem geht von Objekten selbst (Wärme-) Strahlung aus (Emission). Das Besondere ist also, dass jedes Objekt (in Abhängigkeit seiner physikalischen Eigenschaften) in ganz bestimmter Weise mit der Einstrahlung interagiert. Ein Teil der von der Erdoberfläche zurück geworfenen Strahlung wird von dem Sensor eines Satelliten aufgenommen, gespeichert und zur Erde gesendet. Die Aufnahme der zurück geworfenen Strahlung erfolgt für die verschiedenen Bereiche des elektromagnetischen Spektrums, beispielsweise separat für die drei Bereiche des sichtbaren Lichts blau, grün und rot und den Bereich des infraroten Lichts. Die einzelnen aufgenommenen Bereiche bzw. Kanäle kann man dann am Computer so miteinander kombinieren, dass Farbbilder entstehen.

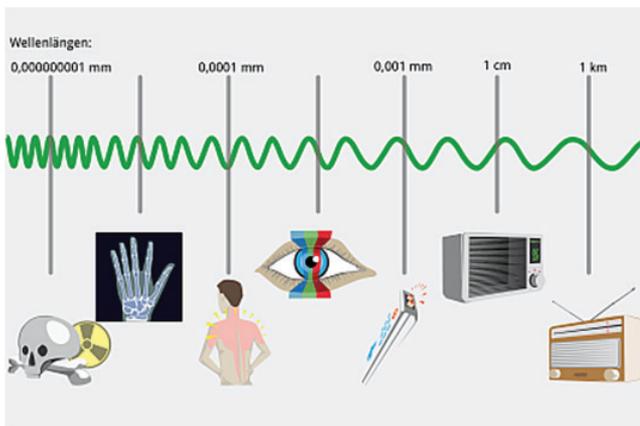
Während die obigen beschriebenen optischen Sensoren der Satelliten ein passives System darstellen handelt es sich bei Radarsystemen um aktive Systeme, da sie Mikrowellen emittieren und deren Rückstrahlung messen.

### Elektromagnetische Wellen

Die Fernerkundung arbeitet mit Sonnenlicht, das von der Erdoberfläche zurückgeworfen wird. Sensoren nehmen dieses Licht auf und speichern es ab. Man bezeichnet das Licht der Sonne oft als Sonnenstrahlen. Eigentlich ist das nicht ganz richtig. Aufgrund von besonderen Eigenschaften müsste man es eher als "Sonnenwellen" bezeichnen.

Eine Welle kann man sich als eine sich bewegende Schwingung vorstellen, die Energie transportiert. Wirft man beispielsweise einen Stein ins Wasser, so entstehen Wasserwellen. Eine andere bekannte Form von Wellen sind die beim Sprechen entstehenden Schallwellen. Das Sonnenlicht ist eine sogenannte

elektromagnetische Welle. Dabei handelt es sich um gekoppelte elektrische und magnetische Felder. In der Natur gibt es neben dem Licht noch andere Arten von elektromagnetischen Wellen, wie z.B. die Radio- und Mikrowellen. Auch die sogenannte Gamma-, Röntgen- und Wärmestrahlung zählen hierzu. All diese Wellen kann man nach der Größe ihrer Wellenlängen in das elektromagnetische Spektrum einordnen. Radiowellen haben z.B. größere Wellenlängen als Mikrowellen. Abbildung 1 zeigt die unterschiedlichen Wellen des elektromagnetischen Spektrums von links nach rechts aufsteigend von kleinen zu großen Wellenlängen.



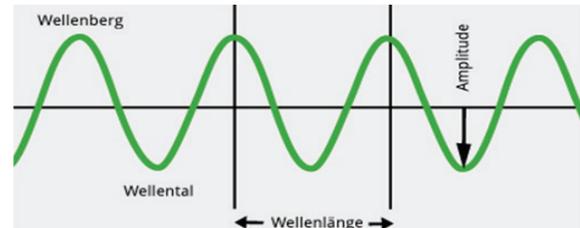
**Abbildung 1** Das elektromagnetische Spektrum aufsteigend von kleinen zu großen Wellenlängen geordnet.

Ganz links im Spektrum befinden sich die kurzwelligen und energiereichen Gammastrahlen. Sie sind für den Menschen gefährlich. In der Mitte liegt das sichtbare Licht und ganz rechts die langwelligen

Radiowellen. Die Wellenlängen reichen von der Größe eines Atoms (mehrere Milliardstel Millimeter) bis hin zu der einer Großstadt (mehrere Kilometer).

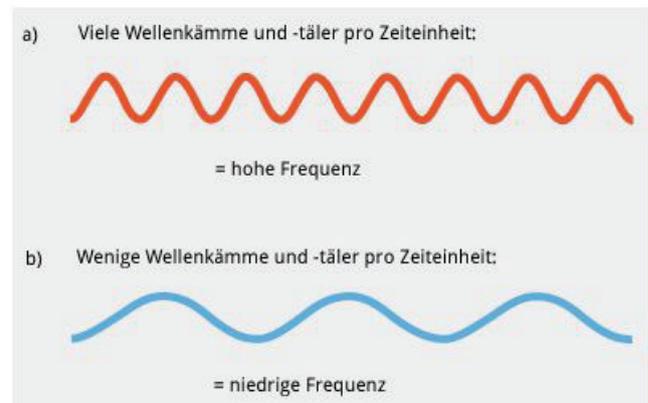
Abbildung 2 zeigt die wichtigsten Charakteristika einer elektromagnetischen Welle. Hierzu gehören der Wellenberg und das Wellental. Diese beiden Schwingungszustände, auch Phasen genannt, wiederholen sich in regelmäßigen Abständen. Der kleinste Abstand zwischen zwei Punkten gleicher Phase, beispielsweise von einem Wellental zum folgenden Wellental, wird Wellenlänge genannt. Der maximale Ausschlag einer elektromagnetischen Welle nennt man Amplitude. Die

Häufigkeit von Wellentälern und Wellenkämmen pro Zeiteinheit wird als Frequenz bezeichnet (Abbildung 3). Generell gilt: Je kleiner die Wellenlänge, desto höher ist die Frequenz und damit die Energie einer elektromagnetischen Welle.



**Abbildung 2** Eigenschaften einer elektromagnetischen Welle.

Die Phase beschreibt den Schwingungszustand der elektromagnetischen Welle, also in welchem Abschnitt zwischen Wellenberg und Wellental sich die Schwingung zu einem bestimmten Zeitpunkt aufhält. Die Phase wird im Winkelmaß angegeben.



**Abbildung 3** Eigenschaften einer elektromagnetischen Welle

Die Polarisation einer elektromagnetischen Welle beschreibt die Richtung ihrer Schwingung. Unpolarisierte Wellen ändern ihre Schwingungsrichtung permanent. Die Schwingungsrichtung horizontal polarisierter Wellen verläuft parallel, die vertikal polarisierter Wellen dagegen senkrecht zur Erdoberfläche.

Die Polarisation von elektromagnetischen Wellen spielt vor allen Dingen bei aktiven Fernerkundungssystemen, wie Radarsystemen, eine sehr wichtige Rolle. Einige dieser Systeme sind in der Lage horizontal polarisierte Wellen auszusenden,

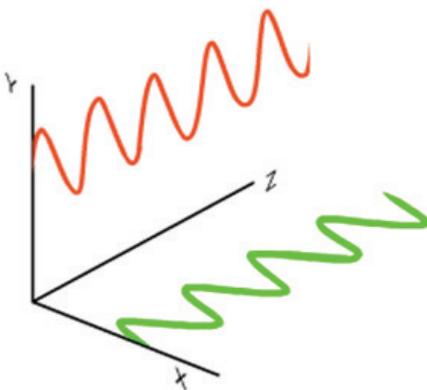
diese dann aber vertikal polarisiert zu empfangen. Dadurch ergeben sich beim Senden und Empfangen vier Polarisationsmöglichkeiten (HH, HV, VH, VV), die unterschiedliche Erkenntnisse über den Zustand der Erdoberfläche liefern.

### Inhalt, Aufbau & Ziele der Unterrichtseinheit

Die Unterrichtseinheit „Radar“ umfasst eine Lerneinheit, die am Computer bearbeitet wird und sich innerhalb einer Schulstunde durchführen lässt. Durch das aktive und selbstständige Arbeiten mit der Lernsequenz wird den SuS Raum zu einer intensiven Auseinandersetzung mit der Thematik gegeben. Zur Bearbeitung der Lernsequenz wird ein Arbeiten in Kleingruppen (zwei Personen) empfohlen, da die SchülerInnen so ihre Erfahrungen und Ergebnisse gemeinsam reflektieren und diskutieren können.

#### Aufbau des Lernmoduls

Zur Durchführung des Lernmoduls „Radar“ kann auf Windows-PCs das Programm „Radar.exe“ aufgerufen



**Abbildung 4** Horizontal und vertikal polarisierte elektromagnetische Wellen.

werden. Unter anderen Betriebssystemen wird die Datei „Radar.swf“ gestartet. Hierfür wird der Flash-Player benötigt (<http://get.adobe.com/de/flashplayer/>). Wichtig ist in beiden Fällen, dass die heruntergeladene Ordnerstruktur erhalten bleibt.

Die meisten Kapitel schließen mit einem Quiz ab, in dem das bisher Gelernte abgefragt wird. Die Bearbeitung des Quiz sollte also erst erfolgen, nachdem die SuS die Hintergrundinformationen durchgearbeitet und die Aufgaben gelöst haben. Erst wenn ein Quiz richtig gelöst wurde, gelangt man ins nächste Kapitel. Durch die beiden Quizze wird die Arbeit mit dem Lernmodul sequenziert, so dass die SuS nicht direkt mit dem gesamten Stoff konfrontiert werden.

#### 1. Einführung - „Radar“

Ein Einführungskasten leitet kurz in das Thema Radar ein und erklärt den Aufbau der Lernsequenz. Das Bild des Mackenzie-Flusses zeigt bereits eine Anwendungsmöglichkeit der Radarfernerkundung auf.

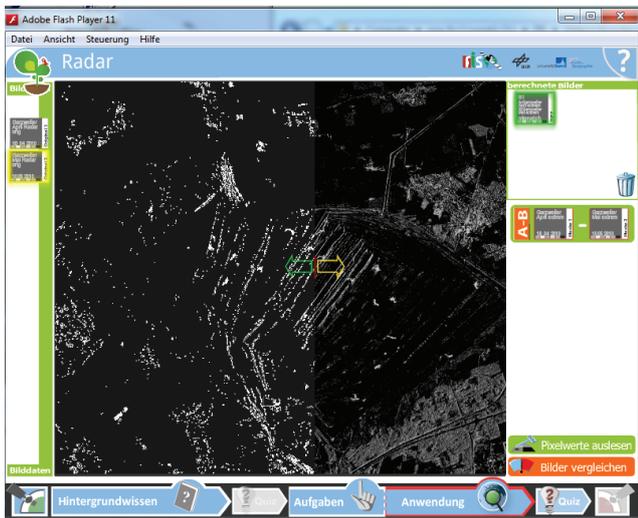
Der anschließende Bereich Hintergrundwissen ist in zwei Kapitel eingeteilt: „Radarfernerkundung“ (1) und „Radardaten“ (2). In Kapitel 1 erfahren die SuS zunächst Grundsätzliches über Radarsysteme und die verwendeten Wellenlängenbereiche. Mithilfe der Animation kann das Verständnis zu Wellenlängen vertieft werden. Durch Aktivieren der verschiedenen Wellenlängenbereiche erfahren die SuS, welche Auswirkungen unterschiedliche Wellenlängen auf die Eindringtiefe der Mikrowellen haben. So werden die Wellen des eher kurzwelligen X-Bandes bereits von den Baumkronen zurück geworfen, während die eher langwelligen Wellen des L-Bandes bis zum Waldboden durchdringen können und erst dort zurück geworfen werden.

In Kapitel 2 werden dann grundlegende Fachbegriffe zur Beschreibung elektromagnetischer Wellen eingeführt. Die verschiedenen Abbildungen sollen die Fachbegriffe verständlicher machen. Gegebenenfalls kann an dieser Stelle noch weiterführendes Material, beispielsweise zum elektromagnetischen Spektrum, bereit gestellt werden, um Unterschiede in Wellenlängen besser zu veranschaulichen. Im Quiz wird das Erlernte anschließend abgefragt. Hier werden zum einen die erlernten Fachbegriffe abgefragt und zum anderen Bezug auf die Animation genommen.

Erst, wenn das Quiz richtig beantwortet ist, kann mit dem zweiten Teil der Lernsequenz fortgefahren werden.

### 2. Veränderungsdetektion im Braunkohle-Revier

Im zweiten Modulteil stehen den SUS mehrere Einzelbilder zu Verfügung, die zu verschiedenen Monaten aufgenommen wurden. Die aufgenommenen Szenen zeigen das Braunkohle-Abbaugelände Garzweiler am Niederrhein. Deutlich zu sehen sind die terrassenförmigen Abbruchkanten sowie die Bagger (weiß, im rechten Bereich des Gebietes). Die SuS können selbstständig durch Aktivieren der verschiedenen Bilder die Veränderungen der Grube sowie der Posi-



**Abbildung 5** Differenzbild zwischen A und B

tion der Bagger detektieren. Durch Ziehen der Bilder in die Formel  $A - B$  kann die Veränderung pixel-weise berechnet werden.

# Übersicht der Modulteile

## 1. Einführung

- Wie funktioniert die Radar-Fernerkundung und mit welchen Daten arbeitet sie?

### Ziele

- grundlegendes Wissen über Radarsysteme und die verwendeten Wellenlängenbereiche erlangen
- den Zusammenhang zwischen Landoberflächeneigenschaften, Wellenlängen und Eindringtiefe der Mikrowellen erkennen
- die Eigenschaften elektromagnetischer Wellen verstehen

### Inhalte

- Einführung in die Thematik, Radarsysteme, Bänder, Eigenschaften von elektromagnetischen Wellen
- Animation
- Quiz

## 2. Der Braunkohle-Abbau im Satellitenbild

### Ziele

- lernen, wie durch Kombination mehrerer Satellitenbilder Veränderungen detektiert werden können.
- lernen Satellitenbilder zu interpretieren

### Inhalte

- TerraSar-X Bilder vom Braunkohletagebau Gartweiler II
- Differenzbild-Berechnung für die Detektion von Veränderungen
- Swipe-Werkzeug für den visuellen Bildvergleich
- Quiz

# Stundenplanungshilfe

Hinweis: Die folgende Stundenplanung dient der Orientierung und ist nicht als bindend zu betrachten. Erweiterungen, Ergänzungen oder Weglassungen können je nach Klasse nach eigenem Ermessen vorgenommen werden.

## Stunde 1: Mikrowellen aus dem All - Die Erde im Radar

### Stundenziele: Die SuS

- sollen die Funktionsweise von Radar-Fernerkundungssystemen und die Eigenschaften elektromagnetischer Wellen verstehen
- Vergleiche mehrerer Satellitenbildern durchführen, sie interpretieren und aus ihnen Veränderungen der Landoberfläche ableiten

Phase	Inhalt + Feinziele	Durchführung/ Material
Einführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erläuterung zur Unterrichtseinheit/Modul</li> <li>• Einführung in die Thematik</li> <li>• Arbeitsauftrag</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lehrervortrag</li> <li>• Computer, Lernmodul</li> </ul>
Erarbeitung I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagen der Radar-Fernerkundung</li> <li>• Wellenlängenbereiche/Bänder des Fernerkundungsradars</li> <li>• Eigenschaften elektromagnetischer Wellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gruppenarbeit (zu zweit)</li> <li>• Computer, Lernmodul (Modulteil I)</li> </ul>
Ergebnis-sicherung I	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überprüfung des erworbenen Wissens durch ein Quiz am Ende von Modulteil I</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gruppenarbeit (zu zweit)</li> <li>• Computer, Lernmodul (Quiz I)</li> </ul>
Erarbeitung II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifizierung von Landoberflächenveränderungen durch Kombination mehrerer Satellitenbilder basierend auf zwei Hyperion-Bildern (April und Mai 2010)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gruppenarbeit (zu zweit)</li> <li>• Computer, Lernmodul (Modulteil II)</li> </ul>

# Stundenplanungshilfe

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auslesen von Pixelwerten</li> <li>• direkter visueller Vergleich von Bildern</li> <li>• Identifizierung von Flächen in denen sich die Landoberfläche stark geändert hat (Braunkohle-Abbau)</li> </ul>	
Ergebnis-sicherung II	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überprüfung des erworbenen Wissens durch ein Quiz am Ende von Modulteil II</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gruppenarbeit (zu zweit)</li> <li>• Computer, Lernmodul (Quiz II)</li> </ul>
Bündelung und Ergebnissicherung III	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusammenfassen der Erkenntnisse</li> <li>• Bewertung der Anwendbarkeit von Radar-fernerkundungssystemen</li> <li>• Wiederholung wichtiger Begriffe (Radar, aktives/passives Fernerkundungssystem, elektromagnetische Wellen, Wellenlänge, Wellenlängenbereiche/Bänder, Amplitude, Phase, Frequenz, Polarisation)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klassengespräch</li> <li>• Computer, ggf. Beamer</li> </ul>