



Tobias Schüttler (tobias.schuettler@lmu.de)

Gefördert durch:

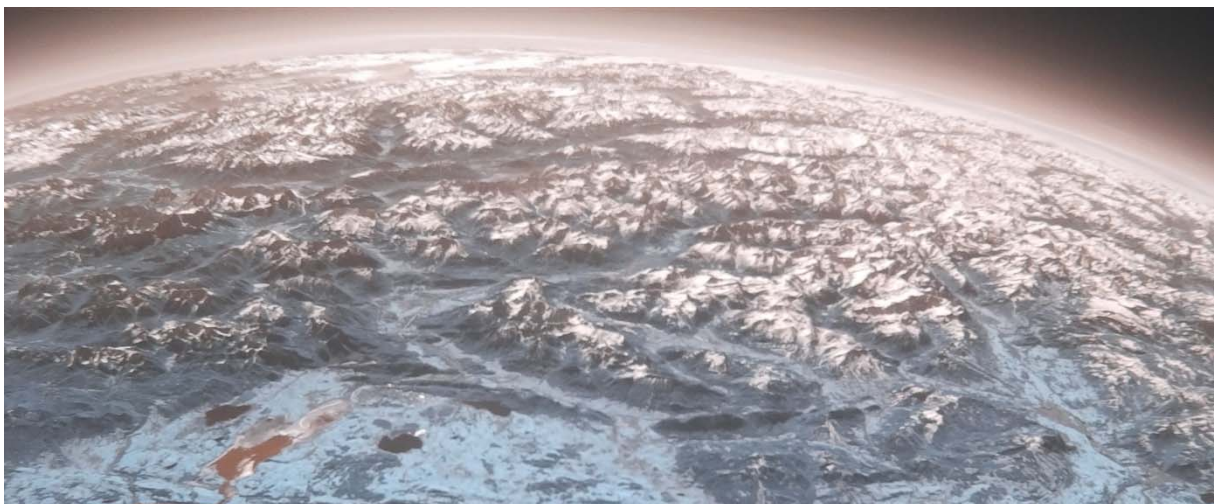


Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Do It Yourself: Optische Umweltfernerkundung



Do It Yourself: Optische Umweltfernerkundung

Tobias Schüttler (tobias.schuettler@lmu.de)

Physikalische Grundlagen

Die elektromagnetische Strahlung der Sonne umfasst einen Bereich, welcher von harter Röntgenstrahlung mit Wellenlängen um 0,1 nm bis weit in den langwelligen Radiowellenbereich geht. Ihr Intensitätsmaximum hat die Strahlung bei etwa 500 nm (blau-grünes Licht). Das menschliche Auge hat sich auf genau diesen Wellenlängenbereich angepasst: Man bezeichnet den nur recht kleinen Bereich von etwa 400 nm (violett) bis 750 nm (rot) als (sichtbares) Licht (Englisch: Visible, VIS). Bei kleineren Wellenlängen spricht man von ultravioletter Strahlung (UV), an welche sich die Röntgenstrahlung anschließt. Diese Strahlungsarten sind durch ihre hohe Photonenenergie gekennzeichnet und können menschliche Zellen beschädigen oder zerstören. Die langwelligere Infrarotstrahlung (IR) wird grob in die Bereiche „nahes IR“ (NIR), „mittleres IR“ (MIR) und fernes IR (FIR) untergliedert und geht bei größeren Wellenlängen in die Mikro- und Radiowellen über.

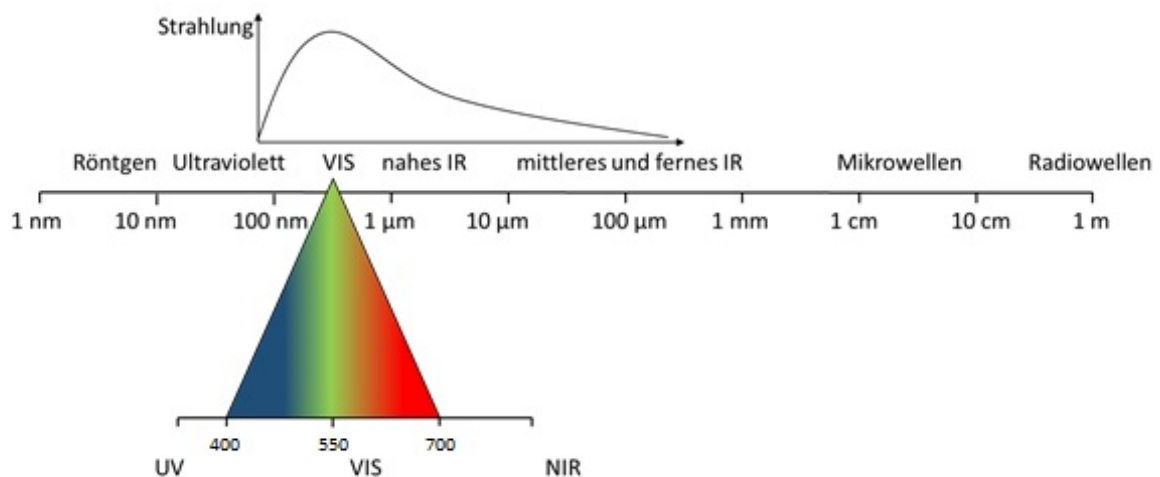


Abbildung 1: Das kontinuierliche Spektrum der Sonne. Neben sichtbarem Licht (etwa 400 bis 750 nm) umfasst es auch für den Menschen unsichtbare kurzwellige und langwellige Strahlung.

Für die Satellitenfernerkundung sind neben dem sichtbaren Licht vor allem der NIR- und MIR- Bereich von großer Bedeutung. Während das nahe Infrarot Aufschlüsse über Oberflächen liefert, befindet sich die Wärmestrahlung (auch als thermales IR bezeichnet) im MIR. Die am Erdboden reflektierte Strahlung wird von Satelliten mit speziellen Sensoren erfasst und anschließend ausgewertet. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass die Erdatmosphäre nur einen bestimmten Teil der Sonnenstrahlung hindurchlässt. So wird beispielsweise der Großteil der schädlichen UV-Strahlung aber auch mittlere und ferne Infrarotstrahlung von der Erdatmosphäre absorbiert. Fernerkundung der Erdoberfläche findet daher in Wellenlängenbereichen statt, in welchen die Erdatmosphäre durchlässig ist (atmosphärisches Fenster).

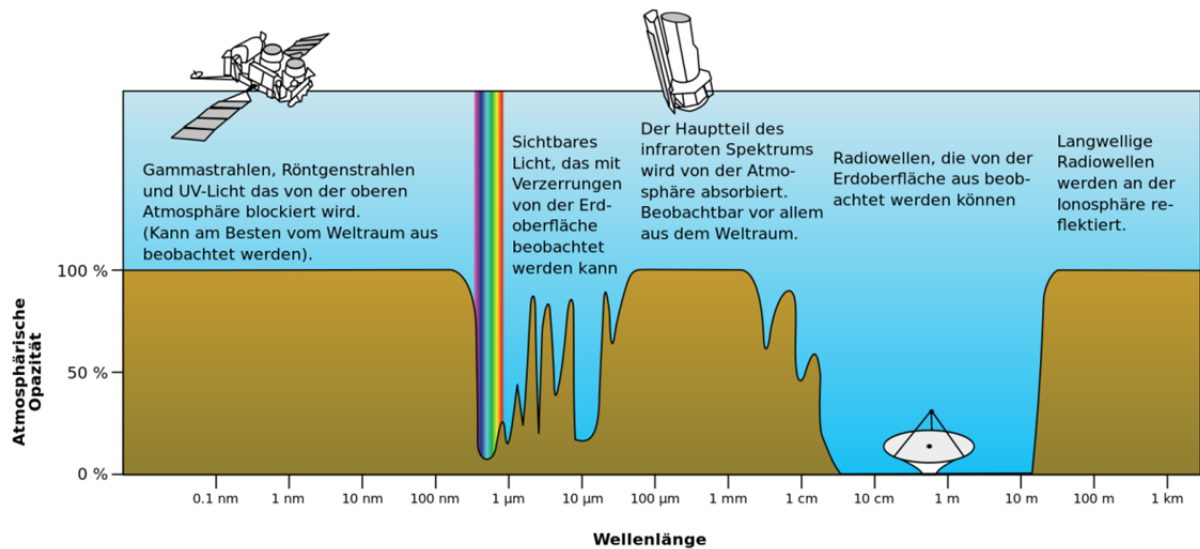


Abbildung 2: Die Erdatmosphäre ist nur für einen bestimmten Teil der elektromagnetischen Strahlung durchlässig (atmosphärisches Fenster).

Mit Spektrometern Licht untersuchen

Das für unser Auge weiß erscheinende Sonnenlicht beinhaltet Licht aller Farben. Besonders schön kann man das bei einem Regenbogen beobachten. Dabei wird durch Lichtbrechung an Wassertröpfchen das weiße Licht in seine Spektralfarben aufgespalten (siehe beispielsweise <https://www.leifiphysik.de/optik/farben/ausblick/regenbogen>). Künstlich aufspalten lässt sich das Sonnenlicht mit Hilfe eines Glasprismas (vgl. Abbildung 3).

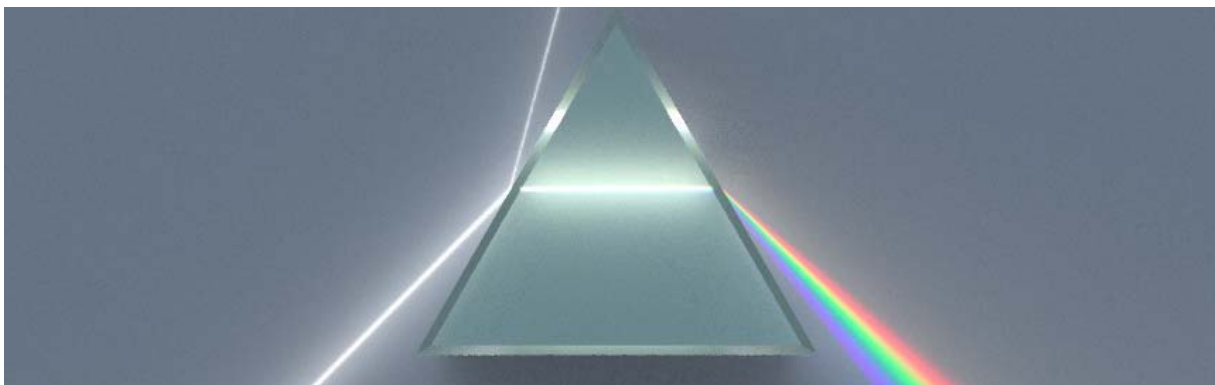


Abbildung 3: Aufspaltung (Dispersion) von weißem Licht mit Hilfe eines Prismas. Quelle: Wikipedia

Eine andere Methode zur Aufspaltung von Licht ist die Verwendung eines so genannten Beugungsgitters (eine etwas anspruchsvollere Betrachtung dazu findet man bei <https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz/gitter>). Ein wichtiger Vorteil der Gittermethode ist dass die Materialien günstiger sind, dafür ist die Lichtintensität bei Beugungsgittern geringer. Mit einer kostengünstigen Gitterfolie kann man sich leicht selbst ein Gitterspektrometer basteln (<https://www.leifiphysik.de/atomphysik/atomarer-energieaustausch/versuche/selbstbau-spektrometer>). Verwendet man als Lichtsensor eine Webcam, so kann man sich das aufgenommene Spektrum direkt auf dem PC ansehen und mit einem Onlinetool untersuchen: <https://spectralworkbench.org>.

Solche einfachen Spektrometer sind leider nicht sonderlich lichtempfindlich. Sie können daher nur die Emissionsspektren aktiver Lichtquellen, wie der Sonne aufnehmen. Für die Aufnahme von Reflexionsspektren von beleuchteten Oberflächen werden sehr teure und aufwändige Präzisionsmessgeräte verwendet. Diese geben dafür sehr interessante und aufschlussreiche Einblicke in das Reflexionsverhalten bestimmter Untergründe. Dabei stellt man fest, dass alle Oberflächen ein ganz spezielles, individuelles Reflexionsverhalten haben – gewissermaßen einen spektralen Fingerabdruck. Abbildung 4 zeigt die Reflexion von gesunder Vegetation. Es fällt auf, dass diese vor allem Strahlung im nahen Infraroten sehr stark reflektiert. Auch das relative Maximum um 500 nm (grün!) fällt auf. Dieses ist aber viel schwächer, als die Infrarotreflexion. Wenn wir mit unseren Augen in diesem Wellenlängenbereich sehen könnten, würden wir Pflanzen demnach nicht als grün sondern als „infrarot“ wahrnehmen (wie auch immer das dann aussähe).

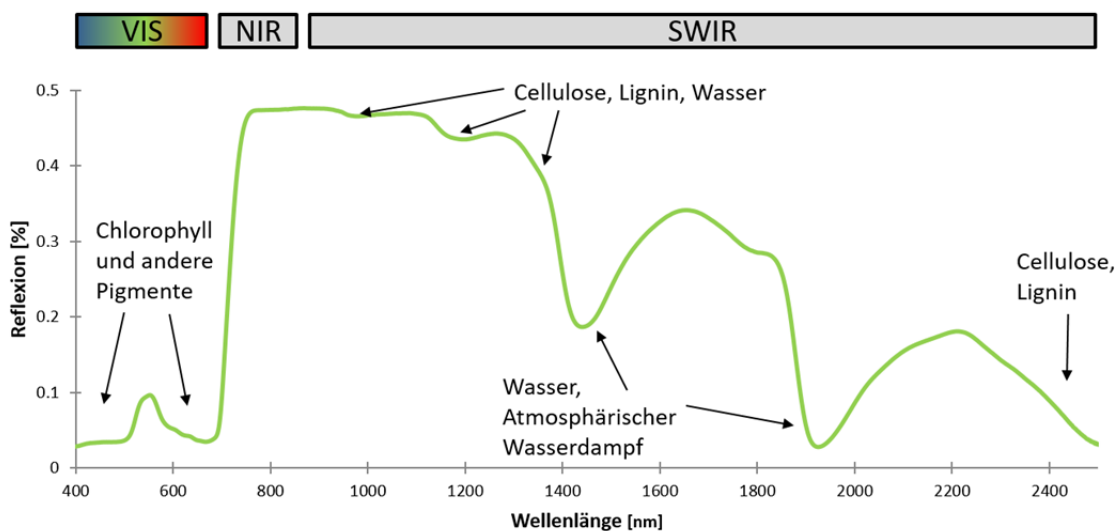


Abbildung 4: Reflektanz einer gesunden Pflanze: Während sichtbares Licht von den Zellen absorbiert wird, reflektiert die Pflanze den NIR-Anteil stark (hohe Reflektanz).

Fernerkundung von Vegetation

Da Pflanzen die Grundlage allen Lebens sind, ist es besonders wichtig, über den Zustand der Vegetation auf der Erde genauestens Bescheid zu wissen. Man macht sich hierzu eine ganz besondere Eigenschaft von gesunden Pflanzen zunutze: Während deren Blätter das sichtbare Licht, vor allem rotes und blaues, bei der Photosynthese stark absorbieren, reflektieren sie nahe Infrarotstrahlung fast vollständig. In diesem Zusammenhang spricht man auch von der Reflektanz ρ einer Oberfläche, welche angibt, wie stark sie Strahlung einer bestimmten Wellenlänge reflektiert. Genauer

$$\rho = \frac{P_r}{P_0}$$

Dabei ist P_r die reflektierte Leistung und P_0 die einfallende Leistung. Im NIR reflektieren gesunde Pflanzen stark, was mit einer hohen Reflektanz einhergeht. Im sichtbaren – insbesondere bei rotem Licht – ist die Reflektanz hingegen gering.

Um die Vitalität von Vegetation großräumig zu erfassen, kann das charakteristische Reflexionsverhalten genutzt werden. Im so genannten normalisierten differenzierten Vegetationsindex NDVI wird der Unterschied zwischen den Reflektanzen im NIR ρ_{NIR} und im sichtbaren roten Bereich ρ_{RED} als Maß für die Vitalität der Vegetation herangezogen:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

Die Differenz der Reflektanzen wird zur Normierung auf ein Intervall von -1 bis +1 durch deren Summe geteilt. Daraus folgt für gesunde Vegetation ein hoher NDVI nahe 1. In der Tabelle sind einige typische NDVI-Werte aufgelistet:

NDVI	Oberfläche
$NDVI < 0$	Wasser, Schnee, Wolken
$NDVI \approx 0$	Erdboden
$0 < NDVI < 0,5$	nicht vitale Vegetation
$NDVI > 0,7$	vitale Vegetation

Fernerkundungssatelliten nehmen Daten in verschiedenen Spektralkanälen auf. Neben sichtbarem Licht in den Kanälen Rot, Grün und Blau, wird auch Infrarotstrahlung gemessen. Um die Komplexität der Bilder zu vermindern und um quantitative Aussagen über die Vegetation zu treffen, wird mit speziellen Computerprogrammen an jedem Bildpunkt (Pixel) der NDVI berechnet. Die Werte bekommen eine Farbzueisung wie in der Tabelle, also meist Grüntöne für hohen NDVI, Braun für Werte um Null und weiß für negativen NDVI. Diese Falschfarbenbilder erlauben eine einfache Analyse der Daten nach dem konkreten Merkmal „Vegetation“. Für andere Oberflächen, wie beispielsweise Schnee oder Wasser aber auf für spezielle Mineralien, existieren viele weitere Indizes, welche auf anderen Spektralkanälen basieren.

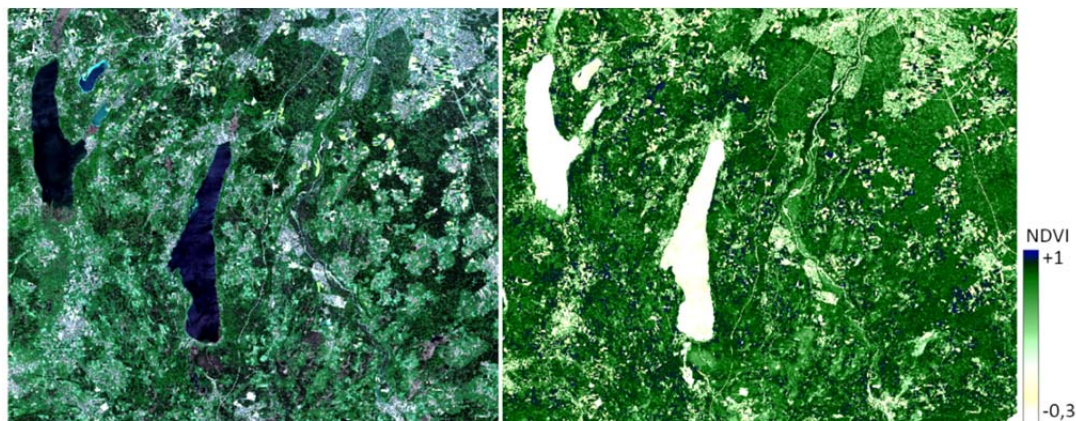


Abbildung 5: Satellitenaufnahmen des Fünf-Seen-Landes südwestlich von München als RGB-Echtfarbenbild (links) und als NDVI-Falschfarbenbild (rechts).

Darstellung der Erdoberfläche mit Falschfarnebildern

Um die Vegetation der Erde großräumig zu untersuchen, werden von Satelliten aus Aufnahmen in unterschiedlichen Spektralkanälen gemacht. Neben dem sichtbaren blauen, grünen und roten Kanal sind dies auch verschiedene Infrarotkanäle vom NIR bis ins thermale MIR und darüber hinaus. Die Daten kann man bei den europäischen Sentinel- und den US-amerikanischen Landsat Satelliten kostenlos im Internet downloaden.

Zur Bearbeitung der Daten empfehlen wir das Programm LEOWorks von der Europäischen Weltraumagentur (ESA, Download unter: <http://leoworks.terrasigna.com/leoworks>). Die kostenlose Software wurde speziell für Schüler weiterführender Schulen entwickelt und ermöglicht die selbstständige Bearbeitung von Satellitenbildern. Durch einfache Bearbeitungstools werden u.a. eine Bildschirmdarstellung, einfache Analysen, die Bearbeitung oder die Auswertung von Satellitenaufnahmen ermöglicht. In unserem Tutorial [Getting Started with LEOWorks](#) sind die grundlegenden Funktionen und Analysetools der Software näher erläutert.

Download von Satellitendaten

Die Satelliten Landsat-7 und Sentinel-2 liefern in regelmäßigen Abständen Aufnahmen unserer Erdoberfläche, welche zur Oberflächenklassifizierung genutzt werden können. Während Sentinel-2 ein Satellitensystem der ESA ist (Download der Daten über die Sentinel Scientific Data Hub: <https://scihub.copernicus.eu/>) erfolgt die Datenbereitstellung der Landsat Satelliten über das amerikanische USGS (U.S. Geological Survey). Die Plattform Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) ermöglicht beispielsweise nach Registrierung den Download verschiedener Landsat-Produkte.

Über eine browserbasierte Benutzeroberfläche kann in der gewünschten Region zwischen allen zeitlich verfügbaren Daten ausgewählt werden. Nach erfolgreichem Download müssen die Daten entpackt werden und können anschließend in LEOWorks dargestellt werden. Die Daten des Satelliten Sentinel-2 müssen vor der Auswertung aufbereitet werden, da diese nicht in einem von LEOWorks lesbaren Format vorliegen. Die Aufbereitung wird in einem Tutorial genauer erläutert.

(http://www.sattec.org/unterrichtsmaterial/inhalte_sattec_lfbs/umwandlung_von_rohdate_n.pdf)

Erstellen von NDVI-Bildern mit LEOWorks

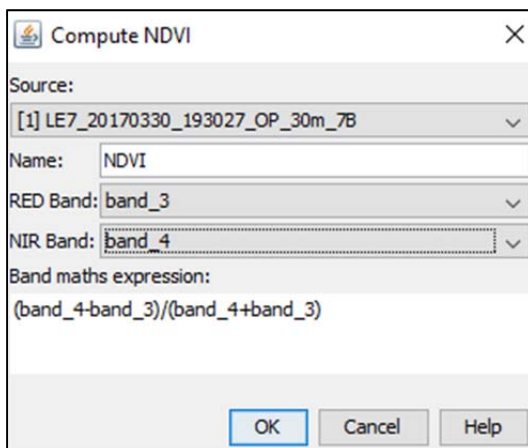


Abbildung 6: Auswahl der zur Berechnung des NDVIs benötigten Kanäle eines Satellitenbildes von Landsat 7. Für den roten Wellenlängenbereich muss der dritte Kanal und für das NIR der vierte Kanal gewählt werden.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Die Berechnung erfolgt automatisch und pixelweise.

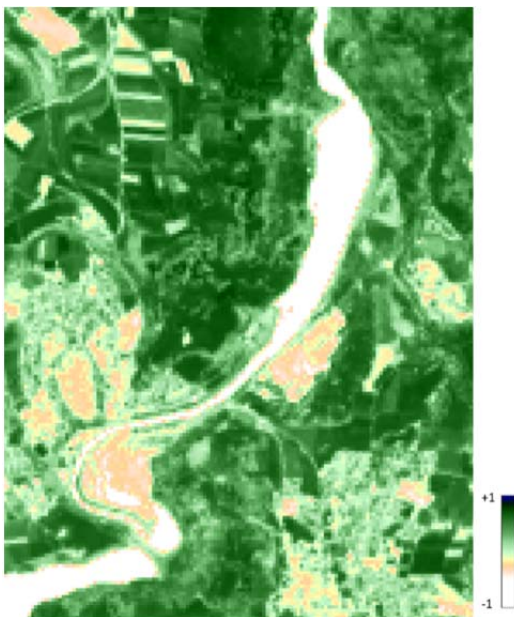


Abbildung 7: Pixelbasiert berechnete NDVIs, dargestellt mit der in LEOWorks automatisch hinterlegten Farbzueweisung.

Die Wertebereiche und dementsprechend auch die farbliche Darstellung können individuell durch das Tool Color Manipulation (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) angepasst werden. Hierzu die Slider mit der Maus verschieben, durch Rechtsklick nicht benötigte entfernen oder zusätzliche Wertebereiche hinzufügen. Auch die farbliche Zuweisung der Klassen kann individuell angepasst werden.

Die Software LEOWorks bietet ein großes Set an Tools, mit Hilfe derer verschiedene Bildauswertungen durchgeführt werden können. Das Tool Compute a NDVI erlaubt die eine einfache Erstellung von NDVI-Falschfarbenbildern. Nach Anklicken des Tools können im hierauf geöffneten Fenster die Kanäle (enlg. „Bands“), welche zur Berechnung des NDVIs benötigt werden, gewählt werden. Bei Landsat 7 muss für den roten Wellenlängenbereich der dritte und für das NIR der vierte Kanal verwendet werden (vgl.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.). Die Berechnung erfolgt automatisch und pixelweise. LEOWorks hinterlegt jeder NDVI-Berechnung automatisch eine voreingestellte Farbzueweisung, sodass die verschiedenen NDVIs des Outputbildes mittels einer Pseudofarbdarstellung visuell gut unterscheidbar sind. Die hinterlegte Farbpalette zeigt negative Werte in Weiß und solche nahe Null in Brauntönen, während hohe Vegetationsindices in unterschiedlichen Grüntönen dargestellt werden (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Die einzelnen Pixelwerte können über das Tool Pixel Info durch Klick auf ein beliebiges Pixel abgerufen werden.

Eigene NDVI-Bilder erstellen

An Stelle der echten Satellitendaten der ESA und NASA kann man mit kostengünstigen, modifizierten so genannten „Mobius ActionCams“ selbst NDVI-Bilder erstellen. Dies ist möglich, da diese Kameras, wie die meisten Digitalkameras, auch für NIR empfindlich sind.

DIY: Eine NDVI-Kamera im Eigenbau

Um eine normale Digitalkamera zur NDVI-Kamera umzubauen, muss zuerst der eingebaute Infrarot-Sperrfilter entfernt werden. Hierzu wird das Kameragehäuse mit einem kleinen Kreuzschraubendreher geöffnet und anschließend das Objektiv herausgeschraubt. Der IR-Sperrfilter (kleines Glasplättchen) kann nun mit einem feinen Schlitzschraubendreher vorsichtig herausgebrochen werden (Abbildung 8).



Abbildung 8: Umbau einer einfachen Digitalkamera zur NDVI-Kamera. Zuerst wird der eingebaute IR-Sperrfilter entfernt.

Der IR-Sperrfilter wird nun durch ein passendes zugeschnittenes Stück roter Filterfolie ersetzt. Dieses erhält man entweder im Spezialhandel, im Internet oder direkt beim SatTec-Projektteam (Email). Am einfachsten ist es, wenn die Filterfolie mit ganz wenig Sekundenkleber an die Stelle des IR-Sperrfilters geklebt wird. Beim Umgang mit dem Klebstoff muss man sehr vorsichtig sein, damit nichts davon auf die Linsen des Objektivs fließt. Das so umgebaute Objektiv wird nun wieder eingeschraubt. Da die Filterfolie dünner ist als der IR-Sperrfilter ändern sich die optischen Eigenschaften der Kamera etwas. Es empfiehlt sich daher, die Kamera nach dem Zusammenbau des Objektivs als Webcam an

einen Computer anzuschließen und die Bildschärfe durch Drehen des Objektivs zu optimieren. Anschließend wird alles wieder zusammengebaut.



Abbildung 9: Der IR-Sperrfilter wird durch ein Stück roter Filterfolie ersetzt.

Funktionsweise der NDVI-Kamera

Bei einer Digitalkamera entsteht ein Farbbild durch einen speziellen Farbfilter, den Bayer-Filter. Dieser liegt als Mosaik mit den Grundfarben Rot, Grün und Blau über einem Lichtsensor (CMOS- oder CCD-Chip). Vom sichtbaren Licht lassen rote Filterbereiche nur rotes Licht, grüne grünes und blaue blaues Licht auf den Lichtsensor hindurch. Andere Farben entstehen durch Mischung der Grundfarben. Im unsichtbaren nahen Infrarot (NIR, ab etwa 750 nm) ist Bildsensor aber ebenfalls empfindlich (Abbildung 10).

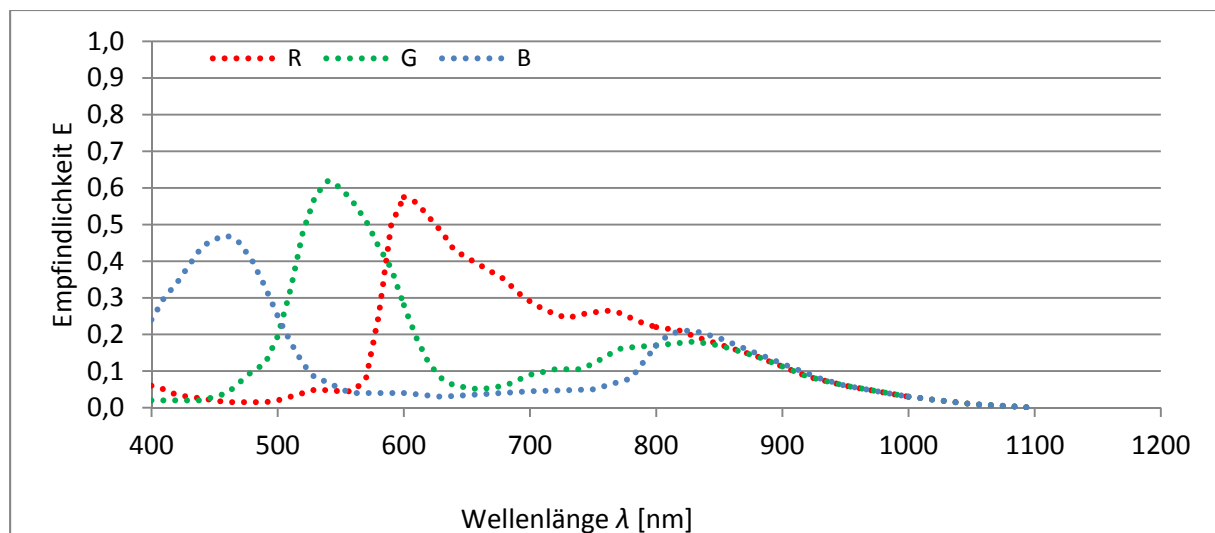


Abbildung 10: Empfindlichkeit eines typischen Bildsensors einer Digitalkamera. Auch im NIR, bei Wellenlängen über 750 nm ist der Sensor empfindlich.

Um mit der Kamera Bilder zu erhalten, welche dem Eindruck des menschlichen Auges entsprechen, werden bei fast allen Digitalkameras Infrarotsperfilter zwischen dem Kameraobjektiv und dem Bildsensor angebracht. Diese lassen sichtbares Licht hindurch aber

keine Infrarotstrahlung. So kommt auf dem Sensor nur Licht an, welches wir mit unseren Augen auch sehen können (Abbildung 11).

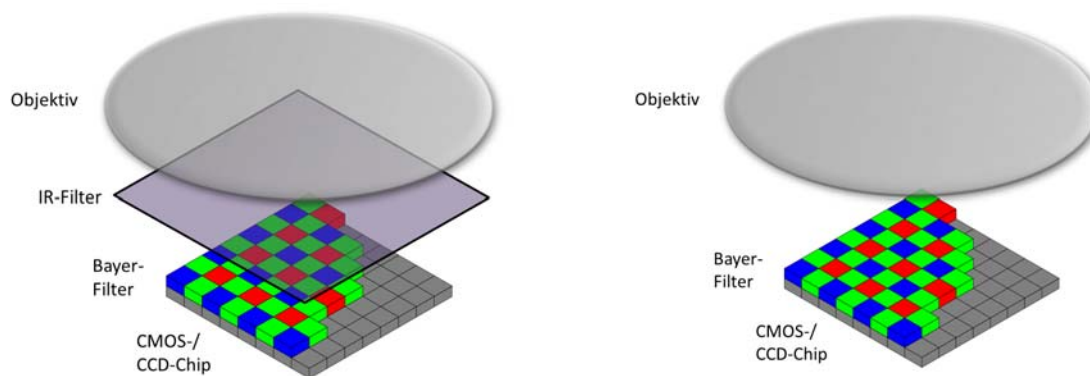


Abbildung 11: Normale Digitalkamera: Zwischen Objektiv und Bildsensor befindet sich ein IR-Sperrfilter.

Modifizierte Digitalkamera ohne IR-Sperrfilter: Nun kann auch NIR-Strahlung empfangen werden.

Für den NDVI benötigt man Aufnahmen im roten Licht und im unsichtbaren nahen Infrarot (NIR). Dies erhält man, wenn man anstelle des IR-Sperrfilters eine rote Filterfolie einbaut. Diese ist für blaues und grünes Licht nahezu undurchlässig, während sie jedoch rotes Licht und NIR hindurch lässt. Auf dem roten Bildkanal kommt somit rotes Licht (und etwas NIR) an, auf dem blauen und grünen Kanal nur noch NIR.

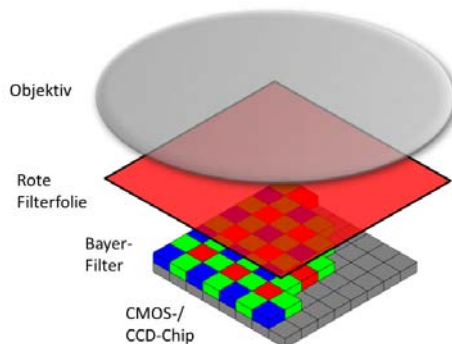


Abbildung 12: Aufbau des modifizierten Bildsensors der NDVI-Kamera. Anstelle des IR-Sperrfilters befindet sich die rote Filterfolie. So kommt nur rotes Licht und NIR

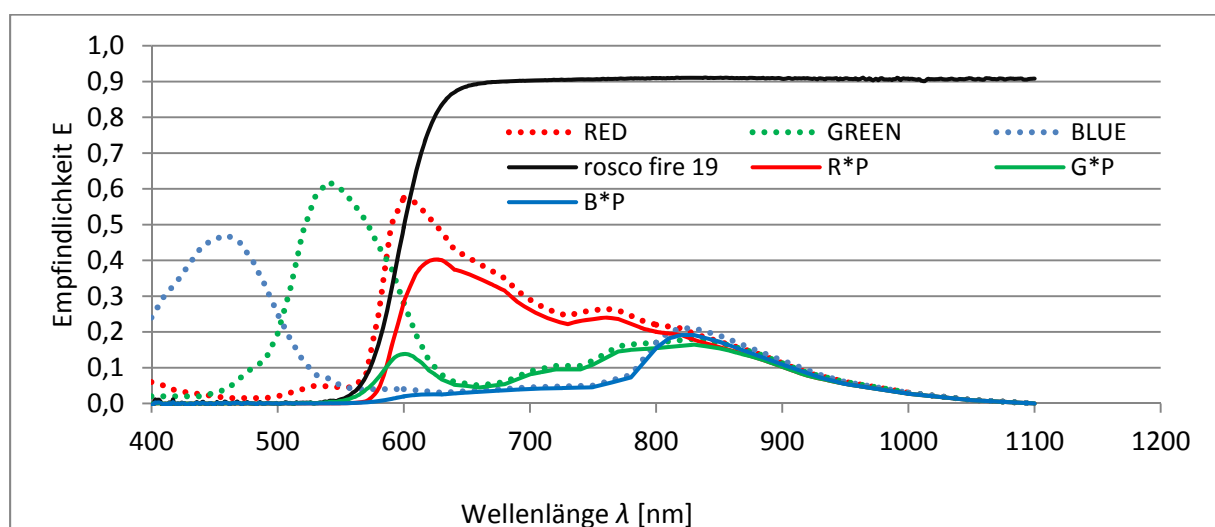


Abbildung 13: Überlagerte Empfindlichkeit mit rotem Filter. Auf dem blauen Bildkanal kommt jetzt nur noch Infrarotstrahlung an.

Auf den Bildern der NDVI-Kamera zeichnet sich gesunde Vegetation durch eine blaue Farbe aus. Dies liegt daran, dass Pflanzen stark im NIR reflektieren. Diese Strahlung wird nun aber gerade auf dem blauen Bildkanal gemessen. Man nennt den blauen Kanal der NDVI-Kamera daher manchmal auch „infrablue“.

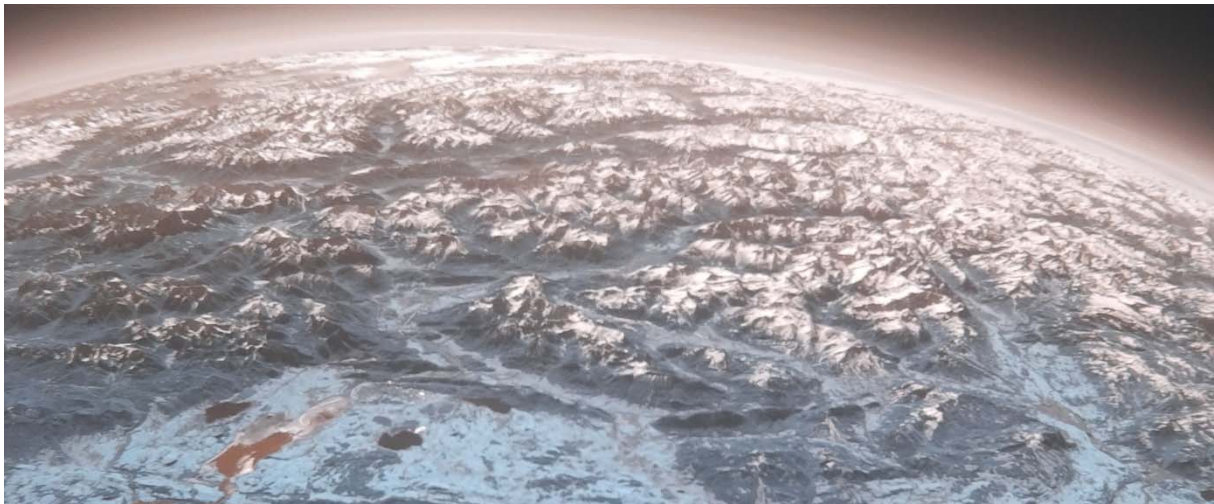


Abbildung 14: Aufnahme der Alpen und des Voralpenlandes mit einer Mobius-NDVI Kamera vom Wetterballon aus. Vegetation erscheint bläulich auf Grund der hohen Infrarotreflektanz.

Wie Abbildung 13 zeigt, wird auf dem roten Bildkanal der NDVI-Kamera nun auch etwas Infrarot gemessen, was die NDVI-Werte verfälscht. Im Ergebnis führt das dazu, dass die Werte gegenüber echten Satellitendaten zu niedrig sind. Etwas Abhilfe kann man schaffen, wenn man den Weißabgleich der Kamera etwas verstellt und dadurch die Empfindlichkeit des Blauen Kanals erhöht. Dazu benötigt man das Freeware Programm [mSetup](#) (Abbildung 15). Bei den „Advanced Image Settings“ stellt man hier den Reiter bei „White Balance“ auf „Custom 1“ und stellt für den Kanal Red den Wert 290, für Green 500 und für Blue 700 ein. Diese Werte wurden durch Ausprobieren ermittelt – es schadet also nicht, eigene Versuchsreihen durchzuführen, um optimale Ergebnisse zu erhalten.

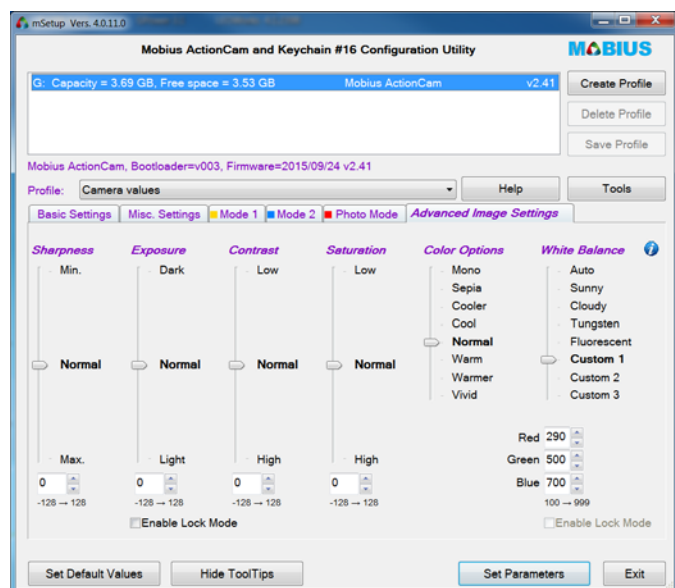


Abbildung 15: Programm mSetup. Der voreingestellte Weißabgleich sollte für die NDVI-Kamera etwas modifiziert werden.

Mit Infrarotkameras Rehkitze retten und andere nützliche Anwendungen

Jedes Jahr werden in Deutschland bei der Frühjahrsmahd über 100.000 Rehkitze durch Mähmaschinen getötet. Da die Jungtiere keinen Fluchtreflex haben sondern sich bei drohender Gefahr im hohen Gras verstecken, sind sie für die Landwirte praktisch unsichtbar. Bisher konnten die Wiesen zum Schutz der Tiere vor der Mahd nur durch sehr aufwändige Begehungen auf versteckte Rehkitze hin untersucht werden. Eine neue, viel praktischere und weniger aufwändige Lösung bietet das Überfliegen der Wiesen mit einem System aus Wärmebild- und normaler Digitalkamera (Abbildung 16).



Abbildung 16: Rehkitz im sichtbaren und im thermalen Infrarot. Die Wärmestrahlung des mittleren Infrarot kann auch höheres Gras gut durchdringen. Dadurch kann man das Kitz auch aus größerer Höhe erkennen.

Auf den Wärmebildern einer Thermalkamera werden wärmere Bereiche meist mit roten bis gelben Farben, kältere Bereiche durch dunkles Blau gekennzeichnet. Dies ist jedoch nur eine mögliche Darstellungsform, da Infrarotstrahlung keine Farbe im engeren Sinne hat. Während die Strahlung Materialien wie dünnen Kunststoff, beispielsweise von Verpackungen oder eines Luftballons fast ungehindert durchdringt, wird sie von Fensterglas reflektiert. Man kann beobachten, dass die Durchlässigkeit für Strahlung stark von der jeweiligen Wellenlänge abhängt. Dies nutzt man auch bei der Erfassung von Waldbränden vom Satelliten aus. Im Gegensatz zum sichtbaren Licht kann die thermale Infrarotstrahlung den beim Brand entstehenden Rauch durchdringen, wodurch Brandherde sichtbar werden.

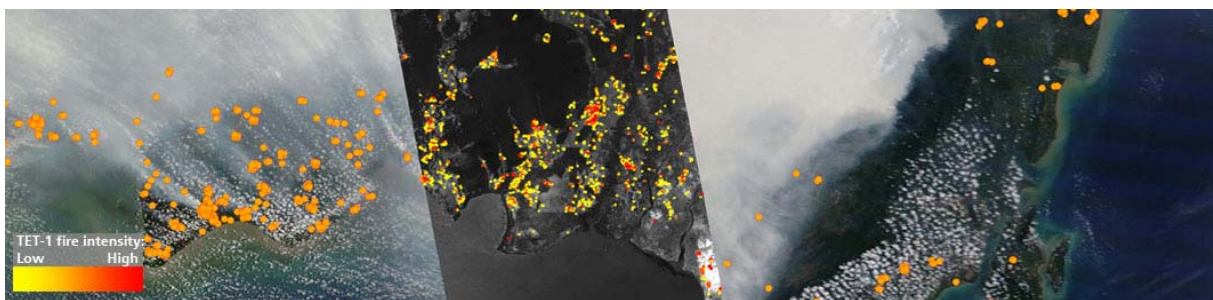


Abbildung 17: Waldbrände vom Satelliten aus gesehen. Quelle: DLR

Do it yourself: Infrarotmessungen selbst durchführen

Nicht nur Satelliten können Temperaturen über größere Distanzen berührungslos messen. Mit einem so genannten Pyrometer (Abbildung 18 – auch Infrarotthermometer genannt) kann man ohne direkten Kontakt die Temperatur von unterschiedlichen Körpern bestimmen. Dabei macht man sich zunutze, dass jeder Körper mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt (ca. -273°C) (Wärme-) Strahlung abgibt.



Abbildung 18: Einfaches, kostengünstiges Pyrometer.
Quelle: Wikipedia, Hedwig Storch

Nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz ist die Strahlungsleistung abhängig von der Oberfläche A des Strahlers und dessen absoluter Temperatur T (in Kelvin gemessen):

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Dabei ist $\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$ die Stefan-Boltzmann-Konstante. Die obige Formel besagt, dass ein Körper umso mehr Strahlungsleistung abgibt, je größer und je heißer er ist. Wenn man beispielsweise die Temperatur eines Glühdrahtes von 300 K (Zimmertemperatur) auf 600 K (noch nicht sichtbare Infrarotstrahlung) verdoppelt so versechzehnfacht sich die abgegebene Strahlungsleistung ($2^4 = 16$).

Dieser Zusammenhang wird bei Pyrometern zur berührungslosen Temperaturmessung genutzt. Mit entsprechenden Sensoren wird die Strahlungsleistung gemessen und daraus die Temperatur abgeleitet. Wer's ganz genau wissen möchte findet eine ausführliche Erklärung der Technik unter <http://www.nbn-elektronik.ch/shop/files/Optris-Grundlagen-Temperaturmessung-mit-Infrarot-Pyrometer-und-Waermebildkamera.pdf>.

Einfache Pyrometer gibt es bereits für etwa 10 € im Internetversand, so dass diese Technik immer stärker Einzug in unseren Alltag findet.

Zur Erstellung eigener Infrarotbilder kann man entweder spezielle Kameras, wie die relativ kostengünstige FLIR ONE fürs Smartphone verwenden oder man baut selbst eine Digitalkamera um. Hierzu muss zuerst der IR-Sperrfilter entnommen werden. Um die IR-Empfindlichkeit zu erhöhen, muss das sichtbare Licht mit einem entsprechenden Filter herausgefiltert werden. Hierzu eignet sich beispielsweise ein belichteter, entwickelter Fotofilm oder das so genannte LUXACRYL (<https://www.go-ttv.de/luxacryl-ir>).



Abbildung 19: Umbau einer Mobius Action Cam zur NIR-Kamera. Der IR-Sperrfilter wird ersetzt durch Material, welches kein sichtbares Licht aber Infrarotstrahlung hindurchlässt.

Mit solchen Kameras sieht man beispielsweise eine heiße Herdplatte oder einen Haartrockner im Infraroten leuchten. Allerdings nur, wenn diese bereits recht heiß sind. Interessant sind auch Aufnahmen vom menschlichen Körper. Besonders schön sind aber Naturaufnahmen: Wegen ihrer starken Infrarotreflektanz scheinen Pflanzen auf Infrarotbildern hell zu leuchten, wodurch ein geradezu mystischer Effekt entsteht. Infrarotbilder sind damit nicht nur aus wissenschaftlicher Sicht zur Satellitenfernerkundung interessant sondern in ihrer Ästhetik auch sehr ansprechend und faszinierend.



Abbildung 20: Pflanzen leuchten hell im nahen Infrarot. Quelle: Wikipedia

Das Projekt SatTec, zu dem die vorliegende Arbeit zuzuordnen ist, wird mit Mitteln des Bundes-Ministeriums für Wirtschaft und Energie durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) unter dem Förderkennzeichen 50RO1601 gefördert.

Literatur

- [1] Von Bueren, S. K., Burkart, A., Hueni, A., Rascher, U., Tuohy, M. P. & Yule, I. J. (2015). Deploying four optical UAV-based sensors over grassland: challenges and limitations. *Biogeosciences*, 12(1), 163.
- [2] Danner, M. & Schüttler, T. (2017). Rückgang der alpinen Vergletscherung. Das Beispiel der Öztaler Alpen. *Praxis Geographie*, 46(9), 4-9.
- [3] Duit, R. & Mikelskis-Seifert, S. (2010). Piko-Brief Nr. 5 Kontextorientierter Physikunterricht. Duit, R.: Piko-Briefe –Der fachdidaktische Forschungsstand kurzgefasst, <http://www.ipn.unikiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-derphysik/piko/pikobriefe032010.pdf> – abgerufen am 20.07.2017.
- [4] Girwidz, R. (2008). Berührungslose Temperaturmessung im Physikunterricht. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1(7), 01-08.
- [5] Girwidz, R. & Rubitzko, Th. (2008). Einblicke in die Welt der nahen Infrarotstrahlung. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 8/(57), 31-37.
- [6] Jones, H. & Vaughan, R. (2010). Remote Sensing of Vegetation. Oxford University Press, Oxford.
- [7] Mangold, K., Shaw, J. & Vollmer, M. (2013). The physics of near-infrared photography. *European Journal of Physics* 34 (2013), 51-71.
- [8] Molz, A., Kuhn, J. & Wilhelm, T. (2016). Das Unsichtbare sichtbar machen: Smartphones als Wärmebildkamera. *Physik in unserer Zeit* 47 (5), 255-256.
- [9] Nordmeier, V., Strahl, A., Kirstein, J. & Müller, R. (2008). Spannende Versuche mit der Wärmebildkamera. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule* 8/(57), 15-20.
- [10] Optiris (2017). Grundlagen der berührungslosen Temperaturmessung. http://www.optiris.de/fachartikel?file=tl_files/pdf/Downloads/Zubehoer/IR-Grundlagen.pdf
- [11] Primicerio, J., Di Gennaro, S. F., Fiorillo, E., Genesio, L., Lugato, E., Matese, A. & Vaccari, F. P. (2012). A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. *Precision Agriculture*, 13(4), 517-523.
- [12] Schüttler, T., Girwidz, R. & Zepp, S. (2017). [Validierung von NDVI-Messungen mit einer modifizierten Digitalkamera – Fernerkundung von Vegetation als Thema des Physikunterrichts](#). Physik und Didaktik in Schule und Hochschule PhyDid A. (pp. 81-90)
- [13] Vollmer, M. & Möllmann, K.-P. (2010). *Infrared thermal imaging: fundamentals, research and applications*. John Wiley & Sons, Weinheim.

Abbildungen

Abbildung 1: Das kontinuierliche Spektrum der Sonne	2
Abbildung 2: Atmosphärisches Fenster.....	3
Abbildung 3: Aufspaltung (Dispersion) von weißem Licht. Quelle: Wikipedia.....	3
Abbildung 4: Reflektanz einer gesunden Pflanze	4
Abbildung 5: Satellitenaufnahmen des Fünf-Seen-Landes südwestlich von München	5
Abbildung 6: NDVI-Kanäle eines Satellitenbildes von Landsat 7	7
Abbildung 7: NDVI, dargestellt mit der in LEOWorks automatisch hinterlegten Farbuweisung.....	7
Abbildung 8: Umbau einer einfachen Digitalkamera zur NDVI-Kamera	8
Abbildung 9: Der IR-Sperrfilter wird durch ein Stück roter Filterfolie ersetzt.	9
Abbildung 10: Empfindlichkeit eines typischen Bildsensors einer Digitalkamera.	9
Abbildung 11: Zwischen Objektiv und Bildsensor befindet sich ein IR-Sperrfilter.....	10
Abbildung 12: Aufbau des modifizierten Bildsensors der NDVI-Kamera.	10
Abbildung 13: Überlagerte Empfindlichkeit mit rotem Filter.	10
Abbildung 14: Alpen und Voralpenland mit einer NDVI Kamera vom Wetterballon aus	11
Abbildung 15: Programm mSetup.	11
Abbildung 16: Rehkitz im sichtbaren und im thermalen Infrarot.	12
Abbildung 17: Waldbrände vom Satelliten aus gesehen. Quelle: DLR.....	12
Abbildung 18: Einfaches, kostengünstiges Pyrometer. Quelle: Wikipedia, Hedwig Storch.....	13
Abbildung 19: Umbau einer Mobius Action Cam zur NIR-Kamera.....	14
Abbildung 20: Pflanzen leuchten hell im nahen Infrarot. Quelle: Wikipedia.....	14