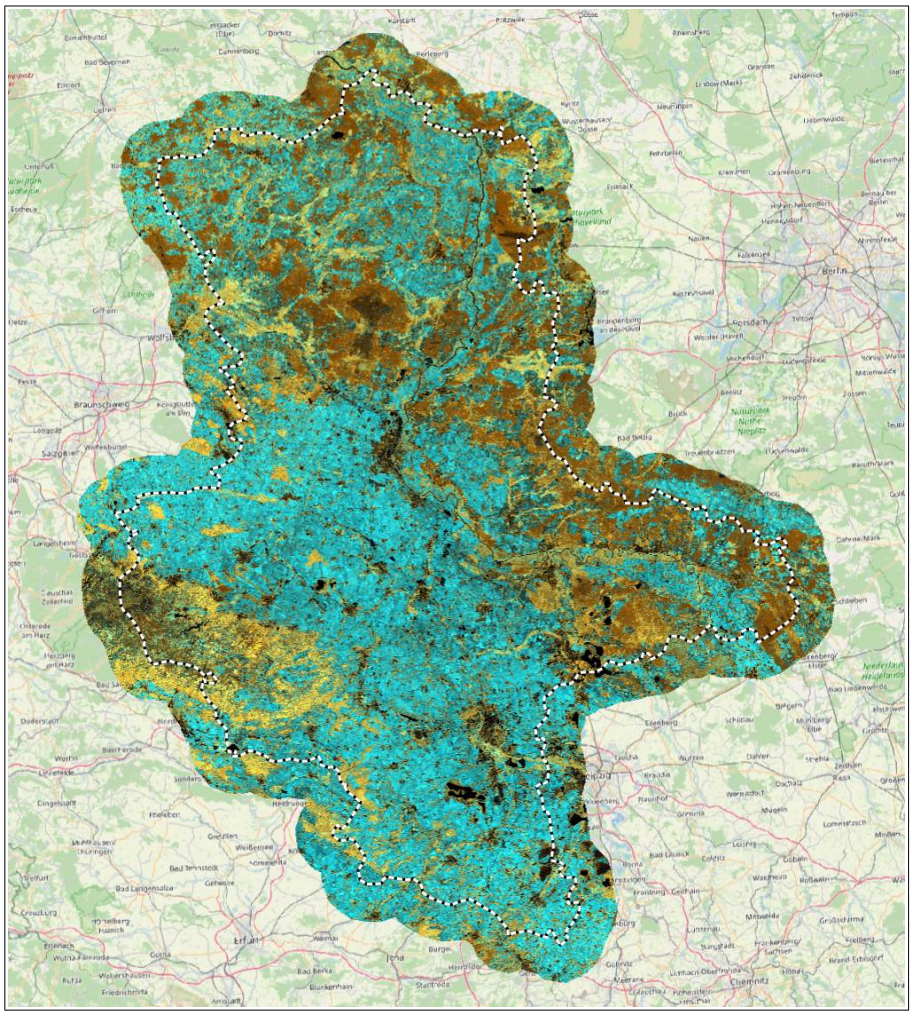
ESIS Traits zur Vegetationsanalyse

Natürliche Vegetation und Ackerbau

Die Wirkung atmosphärischer Schadstoffe auf die langfristige Entwicklung natürlicher Vegetation ist weitgehend unbekannt. Für AIAMO sollten räumliche und zeitliche Zusammenhang erfasst und das Ergebnis mit Arbeiten zur Renaturierung von Agrarlandschaften und klinischen Daten zur menschlichen Gesundheit verknüpft werden.



RGB Farbkomposit der drei neuen Traits für Sachsen-Anhalt 2023.

Landwirtschaftlich genutzte Flächen werden Türkis abgebildet und natürliche Vegetation Orange bis Hellbraun. Gewässer und Siedlungen sind sehr dunkel.

Dazu mussten Ackerflächen zuverlässig von natürlicher Vegetation getrennt werden. Für diesen Zweck wurden drei neue Traits (Indikatoren) definiert. Die neuen Traits sollten die Intensität landwirtschaftlicher Nutzung und den Zustand natürlicher Vege-

tation anzeigen. Versiegelung und Gewässer sollten keine Reaktion erzeugen.

Die Versuche haben gezeigt, dass die Dynamik des Vegetationsindex innerhalb einzelner Jahre genug Information enthält um Landwirtschaft und natürliche Vegetation zu unterscheiden.

Sensoren und Kanäle

Zur Analyse wurden Landsat Daten aus den Jahre 1984 bis 2024 verwendet. Die lange Tradition dieser Serie war dabei der entscheidende Grund für die Auswahl. Die optischen Kanäle sind bei allen Landsat-Sensoren (TM, ETM, OLI) weitgehend gleich, allerdings wurde der Frequenzbereich für nahes Infrarot beim OLI Sensor (Landsat 8-9) deutlich geändert.

Kanal Namen und Frequenzbereiche der Sensoren TM und ETM auf Landsat 4-7

Band name	**calibration**	**spectral range**
B1 (blue)	surface reflectance	0.45-0.51 µm
B2 (green)	surface reflectance	0.53-0.59 µm
B3 (red)	surface reflectance	0.64-0.67 µm
B4 (near infrared)	surface reflectance	0.85-0.88 µm
B5 (shortwave infrared 1)	surface reflectance	1.57-1.65 µm
B7 (shortwave infrared 2)	surface reflectance	2.11-2.29 µm

Abweichender Frequenzbereich des OLI Sensors für near infrared auf Landsat 8-9

B5 (near infrared)	surface reflectance	0.77-0.90 µm

Da Nahes Infrarot der entscheidende Indikator für die Stoffwechselaktivität grüner Pflanzen ist, müssten mögliche Differenzen noch speziell untersucht werden.

Eingangsdaten und Masken

Als Eingangsdaten wurden alle verfügbaren Bilder der TM, ETM und OLI Sensoren auf Landsat 4-9 verwendet. Bilder mit mehr als 50% Wolkenbedeckung innerhalb des gewählten Ausschnitts wurden verworfen, alle anderen mit Masken für Wolken $300 ($2^8+2^9$), Wolken-Schatten $C00 ($2^{10}+2^{11}$), Eis und Schnee $3000 ($2^{12}+2^{13}$) sowie Cirren $C000 ($2^{14}+2^{15}$) gefiltert. Die Eis- und Schnee-Maske war vor allem dem Vegetationsindex ge-

schuldet. Die Filter sind Teil der Metadaten des USGS, von dem die Bilddaten übernommen wurden.

Datendichte und Kontrolle

Die Analyse jahreszeitlicher Dynamik benötigt mindestens eine hochwertige Aufnahme pro Vierteljahr. In Mitteleuropa sind oft über Zeiträume von mehr als einem Monat keine vollständig klaren Bilddaten von öffentlich zugänglichen Sensoren verfügbar.

Masken

Um die notwendige Datendichte zu erreichen, wurden zwei Strategien verwendet. Zum Einen wurden auch Bilder mit bis zu 50% Störungen akzeptiert, die gestörten Bereiche maskiert und die verbliebenen klaren Bereiche für ein interpoliertes Bild verwendet. Da Wolken aber auch Rauchfahnen und andere Störungen selten ortsfest sind, lassen sich in Mitteleuropa meistens mehr als drei klare Pixel pro Vierteljahr finden und auswerten.

Median

Alle akzeptierten Pixel wurden mit dem Median[4] zum häufigsten Wert innerhalb eines Vierteljahrs zusammengefasst. Der Median wurde verwendet, da er relativ robust gegenüber Ausreißern ist, die trotz der Maskierung der Bilddaten auftreten. Der Median gibt den häufigsten Wert zurück. Er bildet damit den „typischen“ Zustand der Landschaft ab, unabhängig von konkreten Zeitpunkt.

Interpolation

Wenn weniger als drei Werte aus einem Vierteljahr zur Verfügung standen, wurde das Endprodukt interpoliert:

- als Mittelwert, wenn zwei Aufnahmen mit weniger als 10% Qualitäts-Unterschied der gesamten Szene zur Auswahl stehen
- die bessere von zwei Aufnahmen, wenn der Qualitäts-Unterschied der Szenen mehr als 10% beträgt.

Zeitreihen

In Mitteleuropa enthalten solche Vierteljahres-Ergebnisse trotzdem Lücken, die bei Bedarf durch einemin copy zweite Interpolation geschlossen wurden. Dazu wurden Aufnahmen aus aufeinander folgenden Jahren aber gleicher Jahreszeit (→Zeitreihen) gesammelt und aus allen verfügbaren Aufnahmen charakteristische Werte (→Eingangsdaten…) für das gewählte Vierteljahr gebildet. Zeiträume von 3-5 Jahren erwiesen sich als ausreichend um 6-8 gültige Werte zu erhalten.

Kontrolle

Für alle Datenprodukte wurden Kontroll-Kanäle gebildet, die die Anzahl der akzeptierten Aufnahmen pro Pixel dokumentieren. Störungen und zweifelhafte Qualität sind damit leicht zu erkennen.

Abbildung?

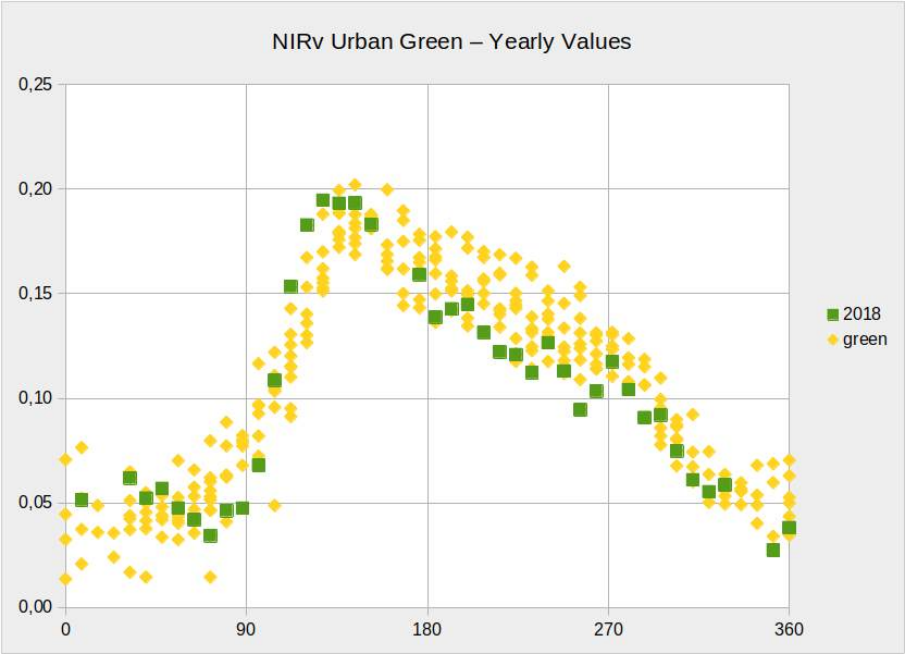
Perioden:

Jahreszeiten

Um die Dynamik der Stoffwechselrate innerhalb einer Vegetationsperiode zu erfassen, wurden alle Bilddaten für die Monate Mai bis Juli und August bis Oktober getrennt erfasst. Die Perioden werden im folgenden auch als „Sommer“ und „Herbst“ bezeichnet. Die Sommer-Periode enthält das Maximum der Stoffwechselrate im Juni, die Herbst-Periode den langsamen Abstieg der Aktivität.

Vegetationsperiode

Die Einteilung stützt sich auf eine 10 Jahres-Analyse von MODIS-T Daten im Raum Leipzig. Auf Flächen mit natürlichem Grün lag die Stoffwechselaktivität grüner Pflanzen mit guter Näherung zwischen Anfang Mai und Ende Oktober über der Hälfte des maximalen Werts. Dieser Zeitraum wurde als „Vegetationsperiode“ verwendet.



Vegetationsindex NirV für die Jahre 2010-2020 aus MODISt Daten, dargestellt als Jahresperiodik.

Das Trockenjahr 2018 ist farblich abgesetzt (grün). Datenbasis sind Grünflächen in der Umgebung von Leipzig ohne landwirtschaftliche Nutzflächen.

Ernte oder Aufwuchs auf landwirtschaftlich genutzten Flächen liegt fast immer in mindestens einer dieser Perioden. Mit der schnellen Veränderung des Klimas müssen die Perioden aber möglicherweise angepasst werden.

Vegetationsindex

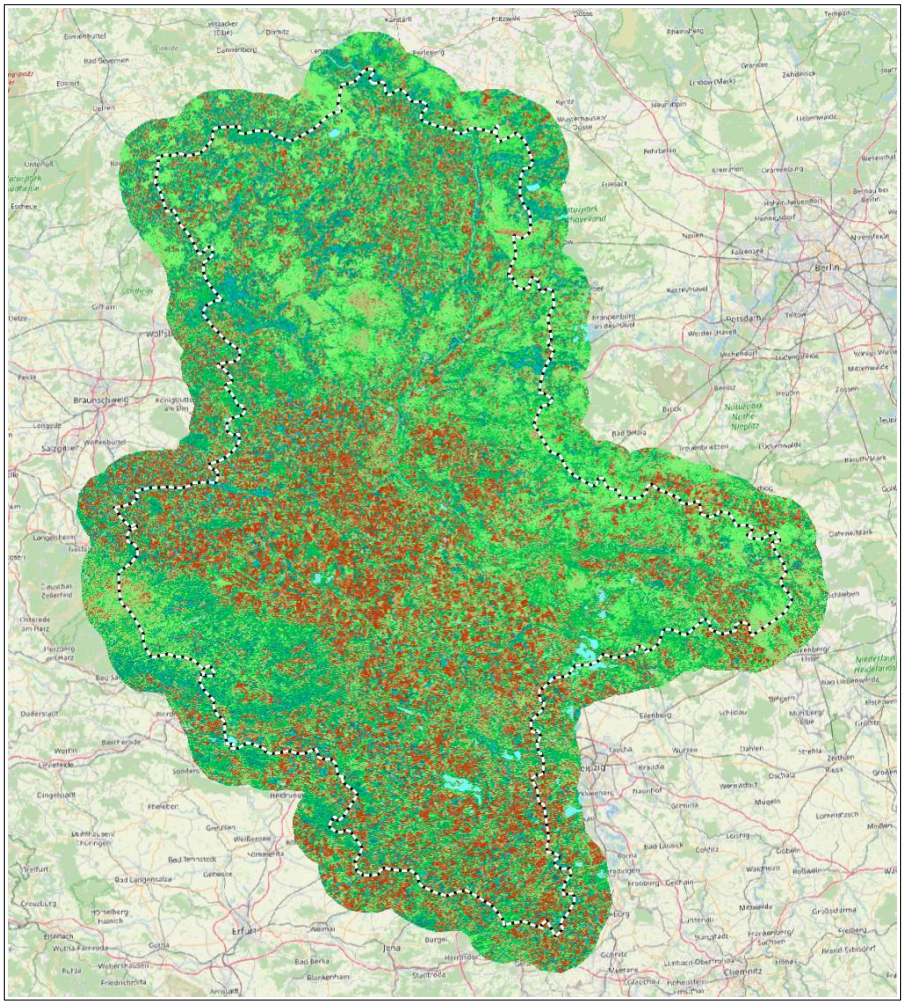
Version

Als Vegetationsindex wurde der NirV[1] Index gewählt, um eine möglichst gute Schätzung der verzögerten Fluoreszenz (SIF[5]) bei der Photosynthese grüner Pflanzen zu erzielen.

Der Vegetationsindex „NirV“ ist als

NirV = (NIR-RED) / (NIR+RED) * NIR

definiert. Für den NirV-Index wurden jeweils die Bilddaten von drei aufeinander folgenden Monaten verwendet. Wolken und andere Bildstörungen wurden maskiert. Die verbleibenden klaren Pixeln wurden interpoliert und als Ergebnis für das jeweilige Vierteljahr weiterverwendet (→Datendichte).



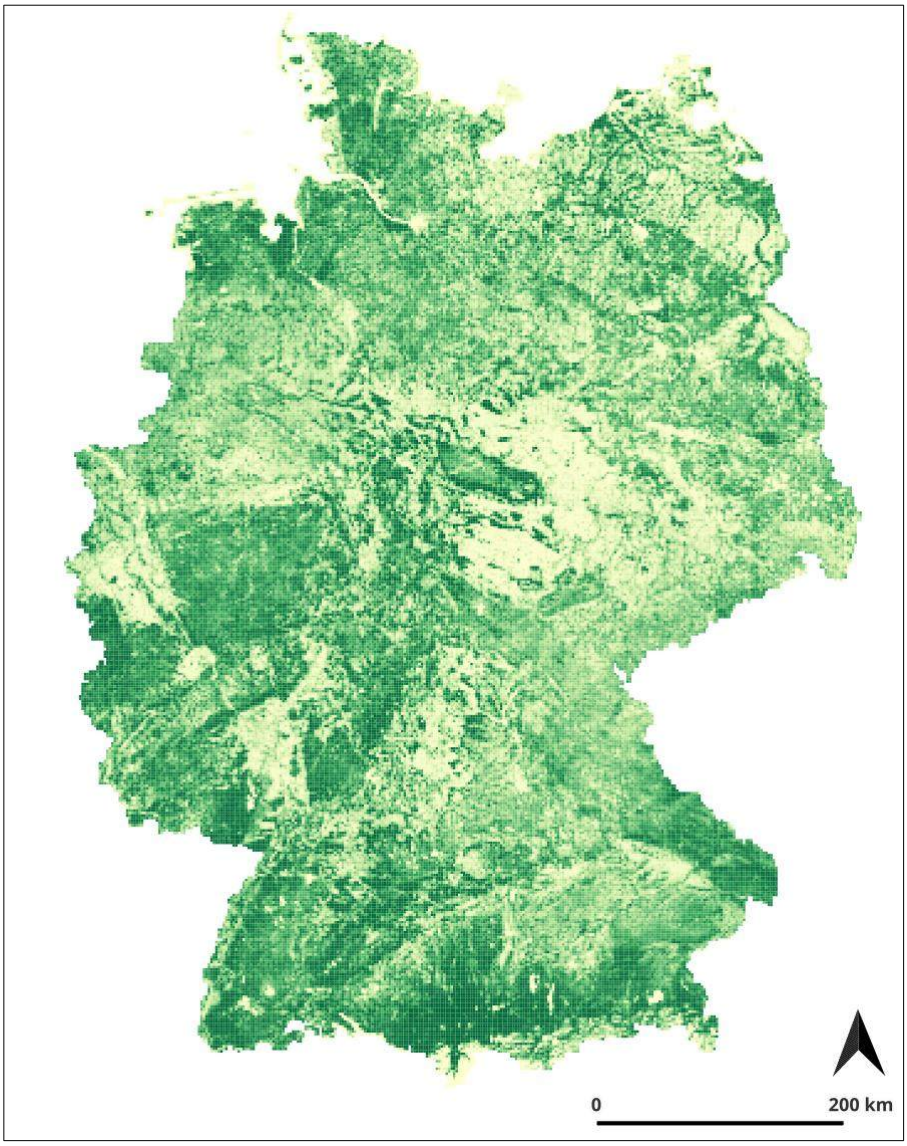
Vegetationsindex NirV von Sachsen-Anhalt im Herbst 2023 (August bis Oktober).

Darstellung mit Farbpalette (Türkies = kein Stoffwechsel, Braun = gering, Grün = kräftig, Dunkelgrün = maximal)

„AIR“ Indices

Vegetationsindices, vor allem der NDVI[2] werden schon lange verwendet um aus Daten der Fernerkundung Dichte und Stoffwechselrate grüner Pflanzen zu schätzen[3]. Die neuen Traits

verwenden neben der Stoffwechselrate auch seine Veränderung innerhalb der Vegetationsperiode um natürliche Grünflächen und menschliche Aktivität in der Landwirtschaft abzubilden.



Dauerhaftes Grün in der BRD, abgeleitet aus dem Minimum der Stoffwechselrate im Sommer und Herbst der Jahre 2019-2023

Akronym

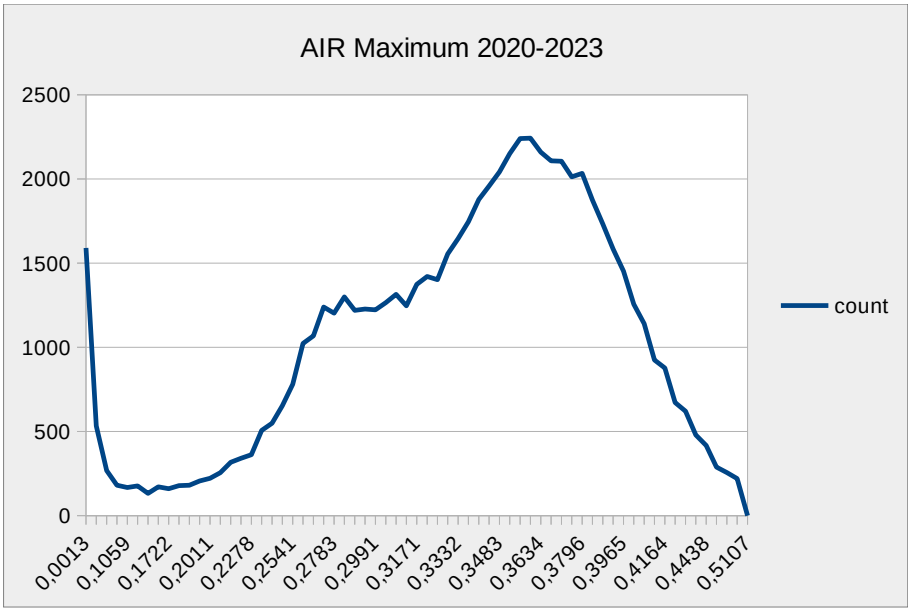
Aus der jahreszeitlichen Schwankung der Stoffwechselrate grüner Pflanzen wurde die maximale und die minimale Aktivität innerhalb einer Vegetationsperiode abgeleitet (MaxV, MinV) sowie die Differenz zwischen beiden (Range).

Intensive Landwirtschaft, gesunde Vegetation, Gewässer und Versiegelung bilden sich jeweils auf unterschiedlichen Werten der neuen Traits ab (→Diagramme). Das Akronym „AIR“ ergibt sich aus M(a)xV – M(i)nV – (R)ange

MaxV

Der höchste Wert der Stoffwechselrate NirV innerhalb der gesamten Vegetationsperiode (Mai bis Oktober) wird als „MaxV“ bezeichnet. Die höchsten Werte werden auf intensiv bewirtschafteten Ackerflächen erreicht, Wälder, Dauergrünland und besonders Nadelwälder zeigen etwas geringere Werte. Gewässer, Siedlungen, Straßen, Abgrabungen und anderweitig versiegelte Flächen zeigen Werte nahe Null (kein Stoffwechsel).

Haufigkeitsverteilung der „MaxV“ Werte in ganz Deutschland für die Jahre 2020-2023



Fazit

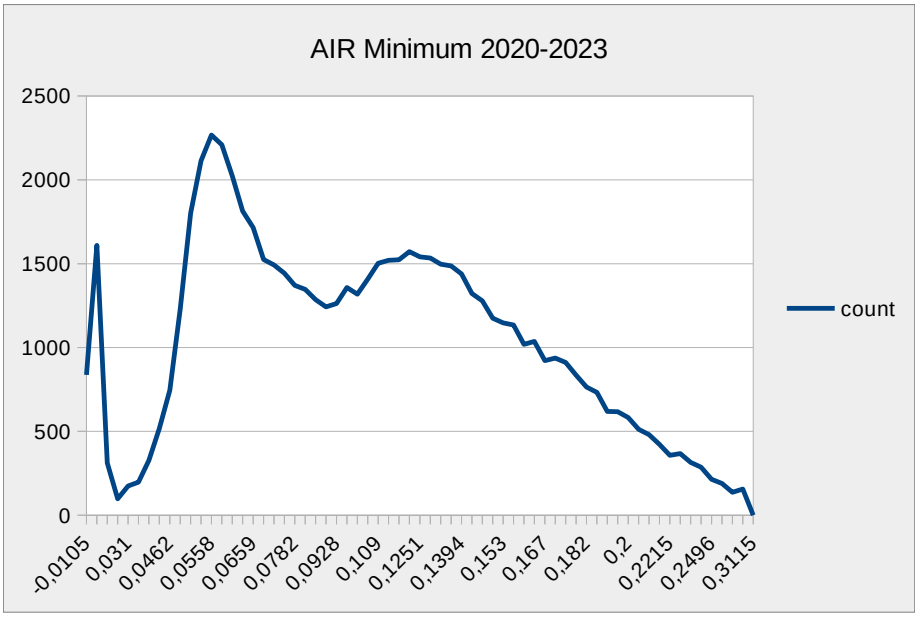
Der MaxV-Wert trennt Flächen mit und ohne Pflanzenbewuchs. Er ist aber auch ein empfindlicher Indikator für Degradierung, Trockenstress und andere Einschränkungen der natürlichen Vitalität der Pflanzen. Höhenprofile (Wetterseite) bilden sich deutlich ab.

MinV

Der niedrigste Wert der Stoffwechselrate NirV innerhalb der gesamten Vegetationsperiode (Mai bis Oktober) wird als „MinV“ bezeichnet. Das Minimum entspricht dem Anteil des dauerhaften Grüns in der Landschaft. Hohe MinV-Werte sind spezifisch für Wälder und Offenland. Niedrige Werte entstehen in der Landwirtschaft durch Umbruch und Ernte. Versiegelung und Gewässer haben immer niedrige Werte.

Haufigkeitsverteilung der „MinV“ Werte in ganz Deutschland für die Jahre 2020-2023.

Die Verteilung zeigt von liks nach rechts eine Wasser- eine Acker- und eine Wald-Spitze



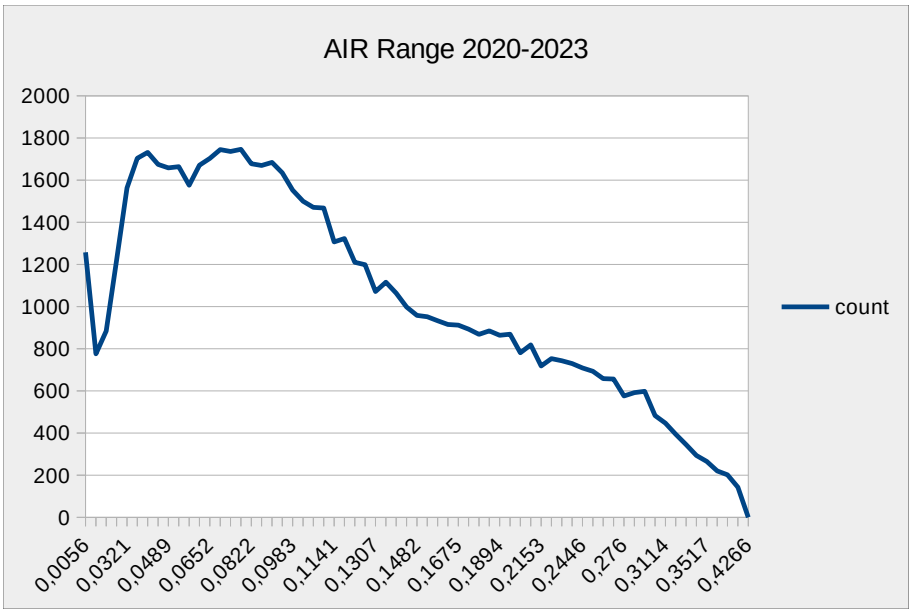
Fazit

Der MinV-Indikator trennt natürliches Grün von allen anderen Landnutzungen. Auch er reagiert empfindlich auf Trockenstress oder Degradierung. Der MinV-Indikator könnte als Maß für Ökosystem-Dienstleistungen entwickelt werden.

Range

Die absolute Differenz zwischen MinV und MaxV innerhalb der Vegetationsperiode (Mai bis Oktober) wird als „Range“ bezeichnet. Hohe Werte sind spezifisch für die schnellen Veränderungen durch Aufwuchs und Ernte in der Landwirtschaft. Bei natürlichen Grün ist der Unterschied zwischen Sommer und Herbst gering. Gewässer und Versiegelung bleiben unverändert.

Haufigkeitsverteilung der „Range“ Werte in ganz Deutschland für die Jahre 2020-2023



Fazit

Range-Werte sind vor allem geeignet um landwirtschaftliche Nutzung zu erkennen. Die starken Veränderungen zwischen Aussaht, Reife und Ernte könnten als Maß für die Intensität der landwirtschaftlichen Nutzung erweitert werden, wenn man die Produktion von Biomasse als Maß für die Intensität akzeptiert. Bei einjährigen, schnell wachsenden Pflanzen dominiert der Baustoffwechsel, so dass die Veränderung der Stoffwechselrate ein Maß für die produzierte Biomasse darstellt. Mehrjährige Kulturen (Obst, Wein) müssten anders bewertet werden.

Zeitreihen:

Jahreszeiten

Für die Basisdaten wurde der Median aus Zeitreihen über jeweils drei Monaten gebildet um flächendeckende und weitgehend unterbrechungsfreie Bildprodukte zu erzeugen. Ein weiterer Aspekt war der Wunsch nach charakteristischen Werten, die nicht von der zufälligen Konstellation einer einzelnen Aufnahme abhängig sein sollten. Datenlücken wurden ignoriert.

Entwicklung

Für die längerfristige Entwicklung einer Landschaft wurden Zeitreihen von 3-5 Jahren gebildet. Eingangsdaten waren die „Sommer“ und „Herbst“ Produkte einzelner Jahre. Bei Zeitreihen sind die MinV und MaxV Produkte in den AIR Kompositen keine Mittelwerte sondern geben die Extremwerte aus allen erfassten Jahren zurück.

Interpolation

Die Datenprodukte aus einzelnen Jahren sind nicht immer vollständig und Ausreißer sollten abgefangen werden. Die Interpolation führt zu geringerer Dynamik, erhöht aber die Zuverlässigkeit. Da die neuen Traits auf Extremwerten beruhen (Minimum / Maximum) und die Extremwerte in allen Fällen aus einem Vierteljahr stammen, sollte der Verlust nur Einzelfälle betreffen. Zu bedenken bleibt, dass Extremwerte aus unterschiedlichen Jahren den Range-Wert verzerren könnten.

Fazit

Der Zeitraum von 5 Jahren mag lang erscheinen, aber in Mitteleuropa sind die jahreszeitlichen Schwankungen an fast allen Orten wesentlich größer als Veränderungen im Lauf der Jahre. Einmalige Ereignisse müssen getrennt erfasst werden. Auch der Wechsel der verschiedenen Landsat-Sensoren (TM, ETM, OLI) könnte die Ergebnisse beeinflusst haben.

AIR-Farbkomposit

Um die Höhe der Stoffwechselaktivität, Ackerbau und natürliche Vegetation gleichzeitig zu visualisieren, wurde ein RGB-Farb-

komposit aus den drei neuen Traits (MinV, MaxV, Range) gebildet. Dabei sind Mischfarben möglich. Bezogen auf die einzelnen Grundfarben steht:

~ Rot (MinV) für natürliche Vegetation
~ Grün (MaxV) für Vitalität
~ Blau (Range) für Landwirtschaft

Im Ergebnis sind die Merkmale fast immer kombiniert. Landwirtschaft erscheint Türkis (MinV+Range), natürliche Vegetation Gelb bis Braun (MinV+MaxV), Gewässer und versiegelte Gebiete sind fast Schwarz (alle Indikatoren nahe Null).

Die Reihenfolge MinV – MaxV – Range = Rot – Grün – Blau ergab angenehme Farben.

Literatur

[1] Badgley, C. B. Field, J. A. Berry, Canopy near-infrared reflectance and terrestrial photosynthesis. Sci. Adv. 3, e1602244 (2017).
[2] NDVI: Compton J. Tucker, Remote Sensing of Environment 8:127-150 (1979) Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation
[3] Gina H. Mohammeda & Co: Remote sensing of solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) in vegetation: 50 years of progress; Remote Sensing of Environment 231 (2019) 111177
[4] Median: Papula, Mathematik für Dumme
[5] SIF: Solar induced chlorophyll fluorescence