

Ableitung eines nationalen LAI-Datensatzes für Kasachstan (Zentralasien) auf Basis von NOAA AVHRR und in situ Messungen

Martin Kappas & Pavel Propastin

Email: mkappas@gwdg.de



Gliederung des Vortrags

- Forschungsziele in Zentralasien und Motivation
- Bedeutung des LAI
- Betrachtung der Messgenauigkeiten von Landoberflächenvariablen
- Unsere Herangehensweise zur Erfassung des LAI im Gelände
- Information über unsere Testgebiete
- Methode zur Ableitung des nationalen LAI-Datensatzes
- Vergleich des LAI-Datensatzes mit den LAI-Felddaten und anderen globalen LAI-Datensätzen
- Zusammenfassung

Forschungsziele in Zentral Asien

1. Untersuchung klimatischer und anthropogener Einflüsse auf die Vegetation
2. Ableitung biophysikalischer Variablen: LAI, fPAR etc.
3. Biomasseabschätzung mittels Fernerkundung (Review und Entwicklung neuer Methoden, z.B. BioStar)
4. Modellierung der Ökosystemproduktion (NPP, GPP, NEP)
5. Kohlenstoff-Sequestrierung in Graslandschaften



Definition Blattflächenindex (LAI, leaf area index)

Der **Blattflächenindex** (**BFI**, englisch **LAI** von *leaf area index*) ist eine Schlüsselgröße bei der Berechnung von globalen Klimaszenarien (Kohlendioxidabgabe der Pflanzen) sowie die Bewertung der ökologischen Struktur von beispielsweise Grünländern.

Der Blattflächenindex wird auch für Erfassung des Einflusses von landwirtschaftlicher, forstlicher und natürlicher Vegetation auf die **Abflussbildung** herangezogen.

Der BFI ist definiert als Blattfläche pro Bodenoberfläche: $BFI = A(\text{Blatt}) / A(\text{Boden})$ (dimensionslos).

Dabei werden Laubblätter einseitig gezählt und Nadelblätter auf den Boden projiziert.

Ein BFI zwischen 0 und 1 bedeutet also, dass sich über einer Einheit Bodenfläche weniger Blattfläche befindet. Bei $BFI = 1$ sind die Flächen gleich, und bei $BFI > 1$ ist mehr Blattfläche vorhanden als Bodenfläche darunter (Quelle: WIKI).

“Usually, the Leaf area index (LAI) is defined as one half the total leaf area per unit ground surface area projected on the local horizontal area“ *

* Quelle: I. Jonckheere, S. Fleck, K. Nackaerts et al., “Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography,” *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 121, no. 1-2, pp. 19–35, 2004.

Motivation für die Ableitung langjähriger LAI-Produkte ?

There is a need for...

“Regional Land Data Products for Energy Budget and Water Cycle Trends and Processes in the future ...” (Quelle: ISLSCP, 2009)

“Produce consistent research quality data sets complete with error descriptions of the Earth's energy budget and water cycle and their variability and trends on interannual to decadal time scales, and for use in climate system analysis and model development and validation.”

ISLSCP: International Satellite Land-Surface Climatology Project

Was können wir messen ?

- **Top of the Atmosphere Radiance**
- **Alles andere ist abgeleitet aus “Algorithmen”:**
 - **Surface Albedo α**
 - **Surface Temperature T_s**
 - **F_{APAR} from NDVI**
 - **Profile Water Vapor and Temperature**
 - **Aerosol Optical Depth**
 - **Short Wave Down**
 - **Soil Moisture? Freeze/Thaw?**
 - **Vegetation Structure (LAI, F_{APAR} , Land Cover Type)**

Ergebnisse aus anderen Projekten: Fife, Boreas, ISLSCP II

- **PAR can be inferred to an accuracy of 8.2 Wm^{-2}**
- **Solar insolation to an accuracy of 21.6 Wm^{-2}**
- **Surface albedo to about 3% absolute, ~15% relative**
- **Downwelling longwave radiation to about 20 Wm^{-2}**
- **Net radiation to roughly 50 Wm^{-2}**

Genauigkeit von Remote Sensing Inputs wie NDVI, F_{APAR} , LAI

- **NDVI = (NIR-VIS) / (NIR+VIS)**
 - **SURFACE NIR ACCURACY \pm 4% ABS**
 - **SURFACE VIS ACCURACY \pm 1% ABS**
- **NDVI TO \pm 5% (0.05 OUT OF 1)**
- **Globale NDVI Anomalie von 0.01 erzeugt eine modellierte globale CARBON FLUX Anomalie von 2.0 Pg/yr (Schulze, 2011)**
- **LAI unterhalb eines Sättigungswerts von \sim 3, \pm 20%**

Unser Ansatz zur Erfassung von Variablen der Vegetationsstruktur (LAI, f_{PAR})

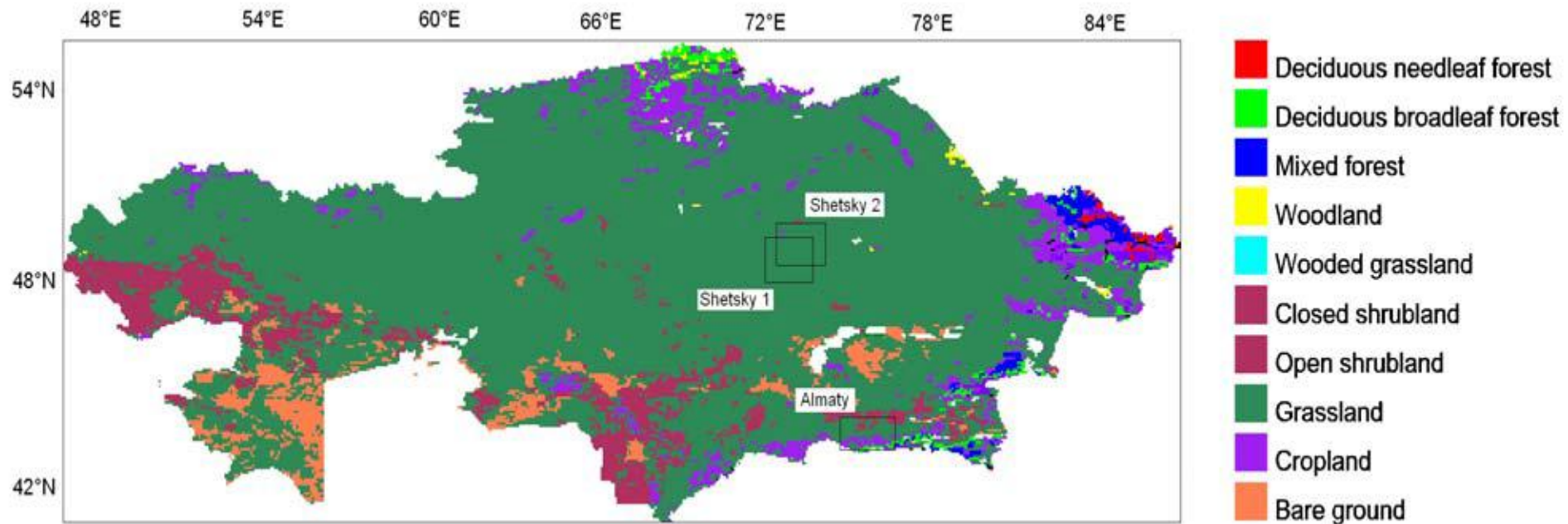
- LAI und f_{PAR} werden gemessen über “**gap fraction Analyse**” **hemisphärischer Fotos**.
- **Li-Cor 2000** Messungen zu LAI / f_{PAR}
- **Destruktive Method** im Feldaufnahmerahmen von 1 m²



- **WinScanopy Image Acquisition instrument** von der Firma REGENT INSTRUMENTS (<http://www.regentinstruments.com>) wurde für die Aufnahme hemisphärischer Fotos eingesetzt.
- **“Can Eye”** software (INRA, France, http://www.avignon.inra.fr/can_eye/) wurde für die Prozessierung der Fotos und Ableitung von LAI genutzt. “Can Eye” nutzt einen look-up-table Ansatz bestehend aus gap fraction Messungen in unterschiedlichen Zenithwinkeln
- Zusätzlich **LI-COR-2000** Messungen



Untersuchungsregionen für die Ableitung eines nationalen LAI-Datensatzes



Landbedeckungsklassifikation nach AVHRR land Cover

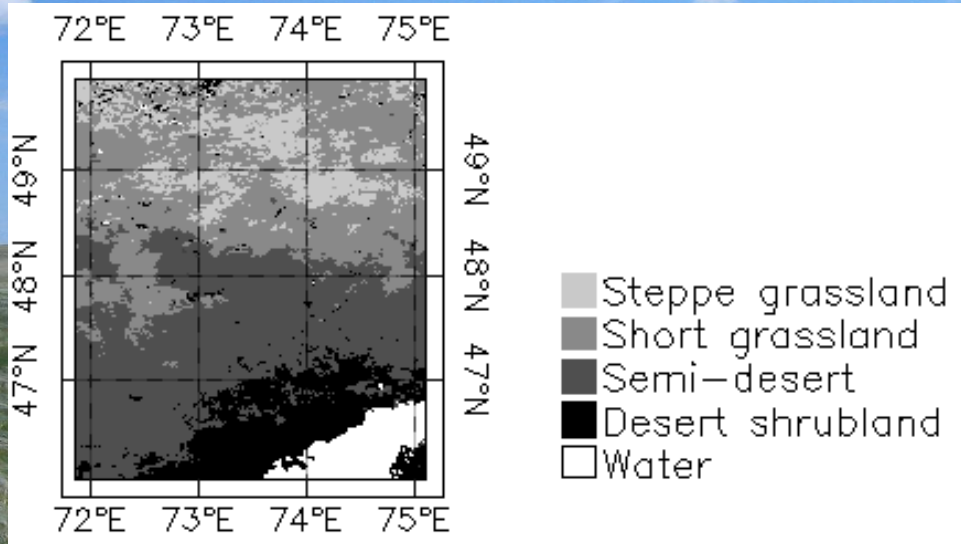


Untersuchungsgebiet / Testregionen

- Erstreckt sich in Kasachstan zwischen **48°20`** bis **49°30`** nördl. Breite und **72°** bis **74°10`** östlicher Länge.
- Beinhaltet den nördlichen Bereich des **Shetsky raion** (Distrikt) in der **Karaganda oblast'** (Provinz).
- Das Klima ist trocken, kalt und hoch-kontinental.
- **Jährliche Niederschlag im Durchschnitt : 250-300 mm (März bis Oktober).**
- Interanuelle Niederschlagsvariabilität liegt bei 20-35 %.
- Temperaturamplitude ist relativ hoch (**Januar unter -12° C** und **Juli +26-28° C**).
- **growing season (April – Oktober).**

Untersuchungsgebiet Shetsky Region

Land cover types



Landscape impressions



Desert



Semi-desert



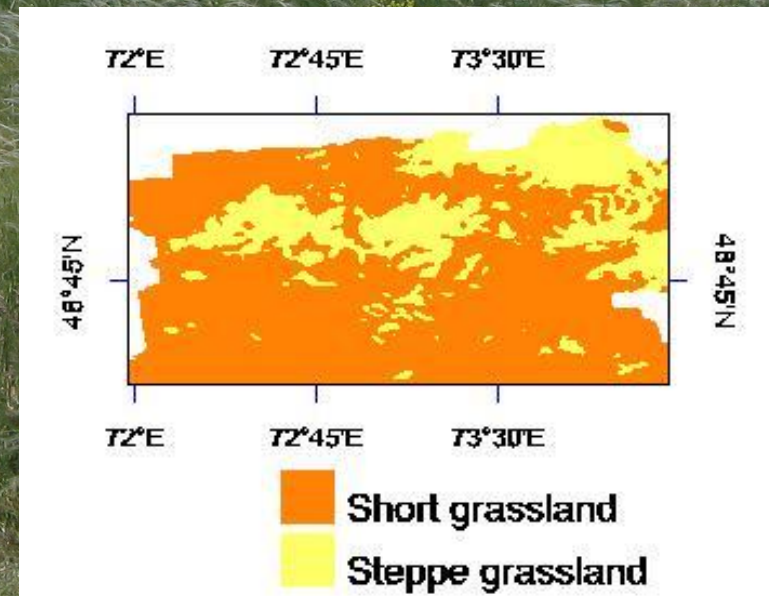
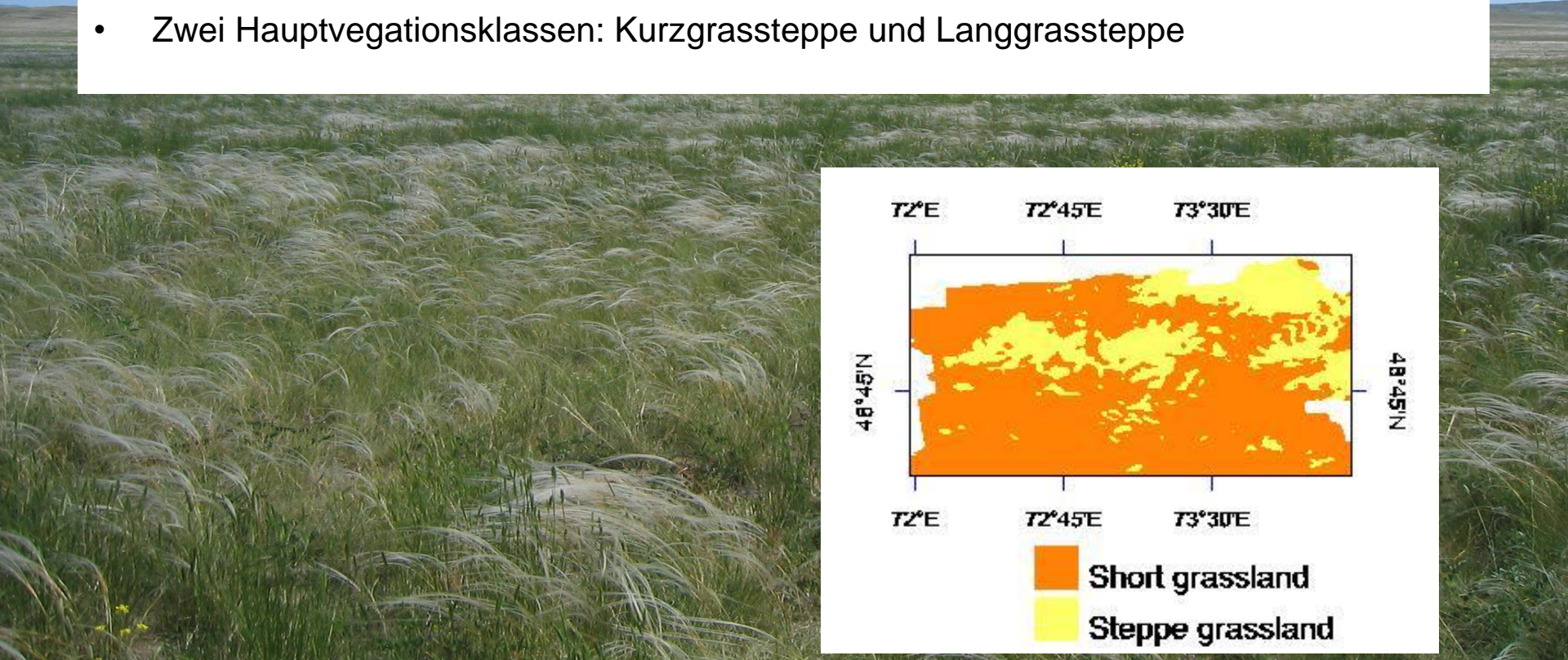
Short grassland



Steppe grassland

Vegetationsbedeckung der Shetsky Region

- Bei den Gräsern dominieren die Gattungen ***Festuca*** und ***Stipa***. Zwergsträucher der Gattung ***Artemisia*** überwiegen neben den Gattungen ***Anabasis*** und ***Salsola***.
- Diversität liegt bei etwa 12-15 Arten / m².
- Bestandshöhen variieren zwischen 30-40 cm im Norden bis zu 15-20 cm im Süden, während die Vegetationsbedeckung von 50-70% im Norden auf 20-30% im Süden abnimmt.
- Zwei Hauptvegationsklassen: Kurzgrassteppe und Langgrassteppe





Short grassland



Short grassland



Steppe grassland



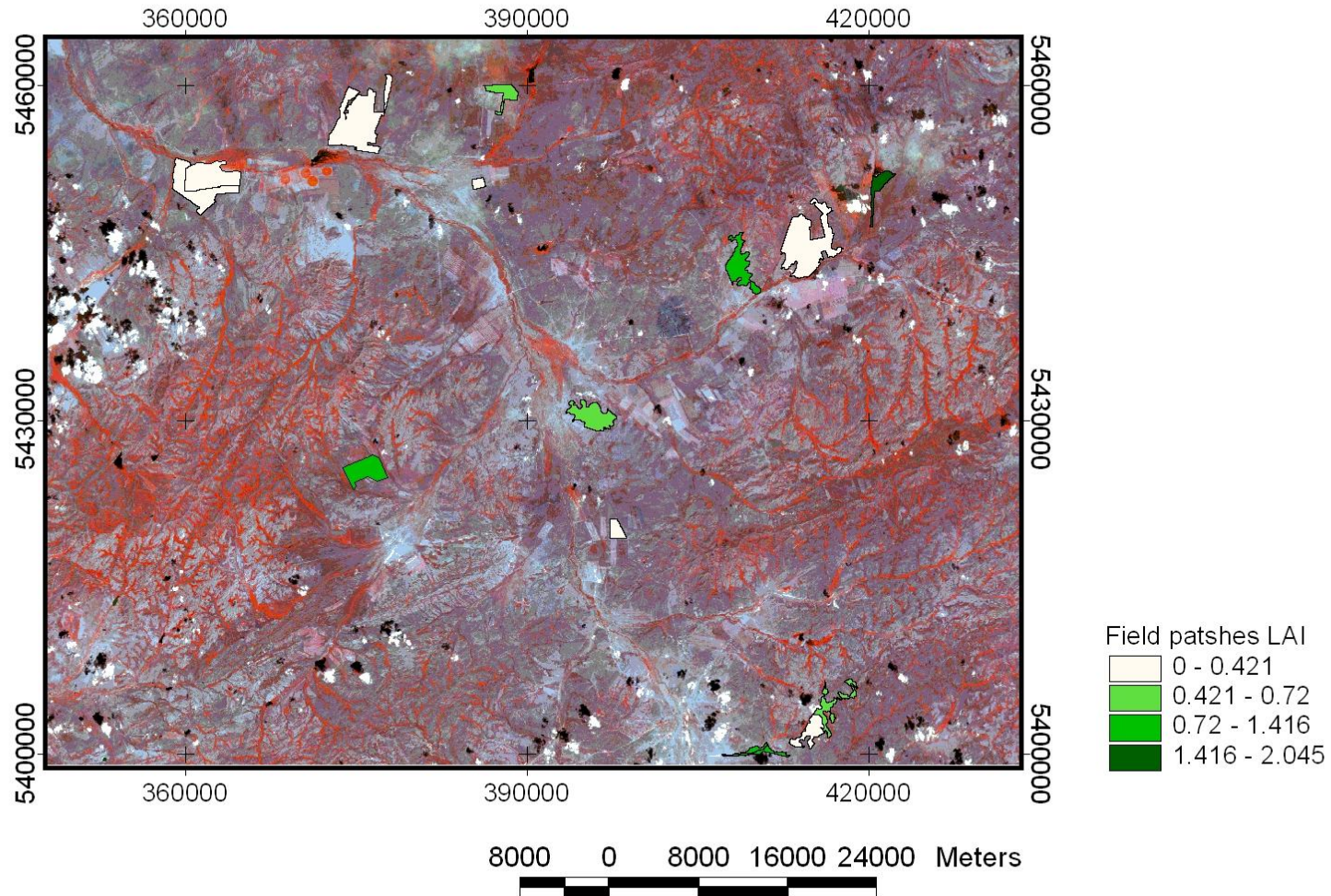
Dwarf Shrub land

LAI- Ergebnisse der Feldmessungen

Test Site and Number of Sampling Plots	Date	Vegetation Type	Measurement Method	LAI Range
Shetsky 1, 14 plots	June 2004	Grassland	Direct contact destructive	0.25–1.12
		Cropland		0.31–0.85
Shetsky 2, 20 plots	June 2008	Grassland	Indirect non- contact optical	0.30–1.55
		Cropland		0.21–0.75
		Shrubland		0.84–2.06
		Mixed forest		3.30–5.90
Almaty, 16 plots	June 2008	Deciduous broadleaf forest	Indirect non- contact optical	3.10–5.10
		Deciduous needleleaf forest		4.35–7.24
		Woodland		2.42–4.10



Beispiele von Messflächen in der Shetsky Region auf Basis von Landsat ETM



Ableitung des nationalen AVHRR LAI Göttingen Datensatzes

- Anwendung eines Strahlungstransfermodells (*Radiative Transfer Model*)*

$$LAI = \frac{-\ln(1 - fC)}{k(\theta)}$$

fC = anteilige (fraktionierte) Vegetationsbedeckung; $k(\theta)$ = Absorptionskoeffizient für einen Sonnenzenithwinkel θ .

- Propastin, P.; Erasmi, S. A physically based approach to model LAI from MODIS 250 m data in a tropical region. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2010**, 12, 47-59.
- *Norman, J.M.; Campbell, S.G. Canopy structure. In *Plant Physiological Ecology. Field Methods and Instrumentation*; Pearcy, R., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Rundel, P.W., Eds.; Chapman and Hall: London, UK, **1989**; pp. 301-325.

Ableitung des AVHRR LAI Göttingen Datensatzes

Fraktionierte Vegetationsbedeckung (fC) wird über NDVI abgeleitet:

$$fC = 1 - \left(\frac{NDVI_v - NDVI}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^b$$

$NDVI_v$: ($fC = 1.0$) und $NDVI_s$: ($fC = 0.0$).

Modellierung Light Extinction Koeffizienten k :

$$k = \frac{G(\theta) \times \Omega(\theta)}{\cos(\theta)}$$

$$LAI = \frac{-\ln(1 - fC)}{k(\theta)}$$

k wurde für jeweiligen Sonnenzenithwinkel θ berechnet als Funktion des Blattflächenprojektionsfaktors (G), dem clumping index (Ω) und Cosinus des Sonnenzenithwinkels (nach Jarvis, P.G. et al. 1983, Jones H.G. 1992)

Ableitung des AVHRR LAI Göttingen Datensatzes

Modellierung Light Extinction Koeffizienten k :

$$k = \frac{G(\theta) \times \Omega(\theta)}{\cos(\theta)}$$

clumping index

$$G(\theta) = \frac{\sqrt{x^2 \cos^2(\theta) + \sin^2(\theta)}}{x + 1.774(x + 1.182)^{-0.733}}$$

- G ist für uniforme Blattverteilung 0.5, für nicht-uniforme Blattverteilung wird G nach der Gleichung von Wang, Y.P.; Jarvis, G.P. Mean leaf angles for ellipsoidal inclination distribution. *Agr. Forest Meteorol.* **1988**, 43, 319-321. berechnet:

$$x = \begin{cases} 151.515 \frac{1 - 0.0107\Theta}{\Theta} & \text{if } \Theta \geq 57.4^\circ \\ 97.087 \frac{1 - 0.0053\Theta}{\Theta} & \text{if } \Theta < 57.4^\circ \end{cases}$$

Ableitung des AVHRR LAI Göttingen Datensatzes

Modellierung des Bestandparameters G :

$$G(\theta) = \frac{\sqrt{x^2 \cos^2(\theta) + \sin^2(\theta)}}{x + 1.774(x + 1.182)^{-0.733}}$$

- x ist das Verhältnis von vertikalen zu horizontalen Projektion von Bestandselementen.
- x wird aus einer empirischen Gleichung der Beziehung Blattneigung zum Sonnenzenithwinkel Θ abgeleitet, nach Kucharik, C.J.; Norman, J.M.; Gower, S.T. Characterization of radiation regimes in non-random forest canopies: Theory, measurements, and simplified modeling approach. *Tree Physiol.* **1998**, 19, 695-706.

$$x = \begin{cases} 151.515 \frac{1 - 0.0107\Theta}{\Theta} & \text{if } \Theta \geq 57.4^\circ \\ 97.087 \frac{1 - 0.0053\Theta}{\Theta} & \text{if } \Theta < 57.4^\circ \end{cases}$$

- sphärische canopies Θ : erectophile
 canopies $57.4^\circ < \Theta < 90^\circ$.
- Ableitung der Blattneigungswinkel aus den hemisphärischen Fotos mittels CanEye-Software

Ableitung des AVHRR LAI Göttingen Datensatzes

Modellierung des clumping index Ω :

$$k = \frac{G(\theta) \times \Omega(\theta)}{\cos(\theta)}$$

$$\Omega(\theta) = \frac{\Omega_{\max}}{1 + c \times \exp(-2.2 \times \theta^p)}$$

- Ω_{\max} ist der maximale clumping index, c ist ein canopy-spezifischer Koeffizient und p ist als Funktion von x gegeben:

$$p = \begin{cases} 1.0 & \text{if } x \leq 0.164 \\ -0.461/x + 3.8 & \text{if } 0.164 < x < 1.0 \\ 3.34 & \text{if } x \geq 1.0 \end{cases}$$

- Clumping index Berechnung nach:
- Kucharik, C.J.; Norman, J.M.; Gower, S.T. Characterization of radiation regimes in non-random forest canopies: Theory, measurements, and simplified modelling approach. *Tree Physiol.* **1998**, *19*, 695-706.

Ableitung des AVHRR LAI Göttingen Datensatzes

Das Modell

$$LAI = \frac{-\ln(1 - fC)}{k(\theta)}$$

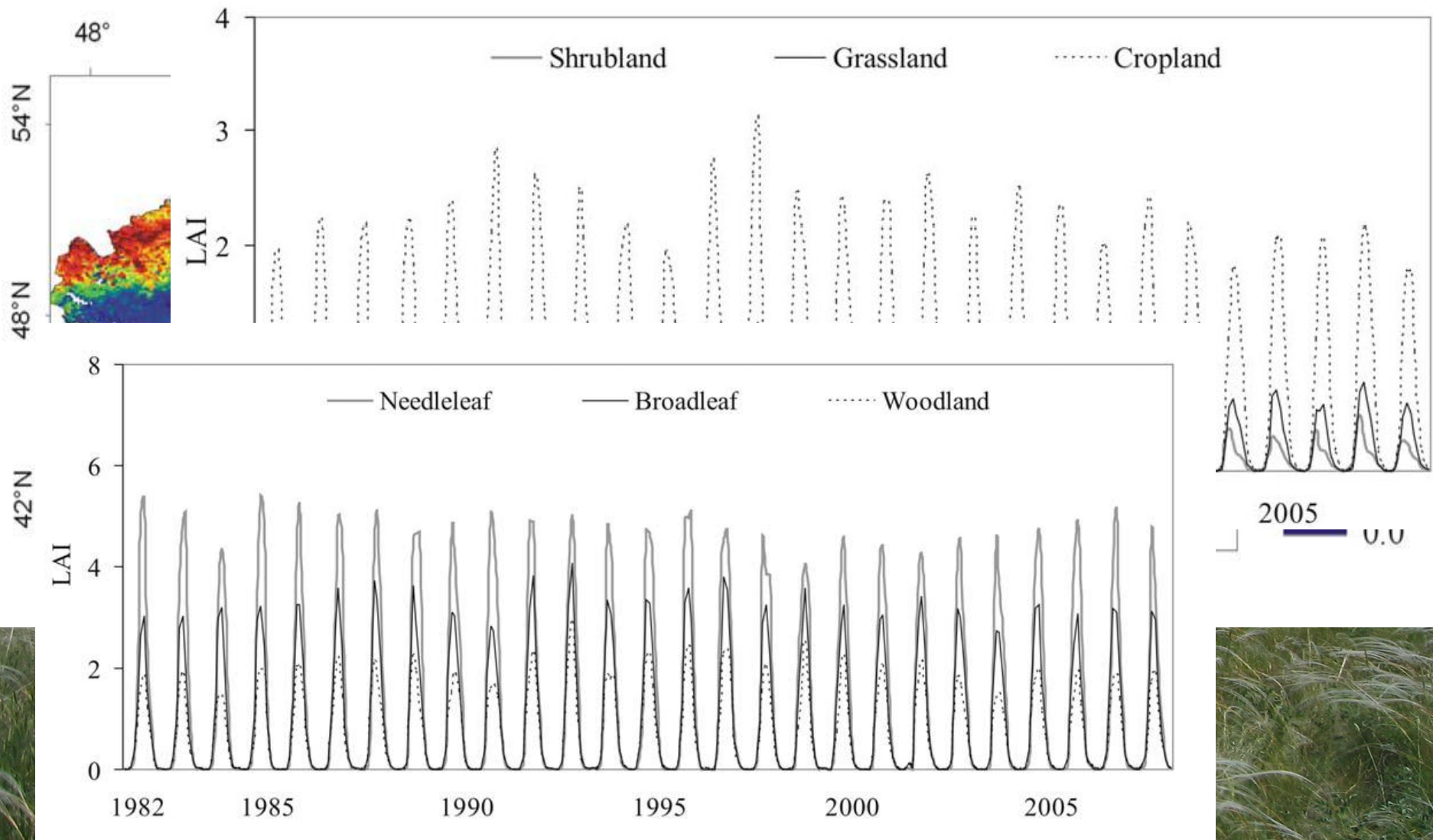
$$fC = 1 - \left(\frac{NDVI_v - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^b$$

$$k = \frac{G(\theta) \times \Omega(\theta)}{\cos(\theta)}$$

wurde angewandt auf Monatskomposite des GIMMS NDVI Datensatzes 1982 - 2008 (2010).

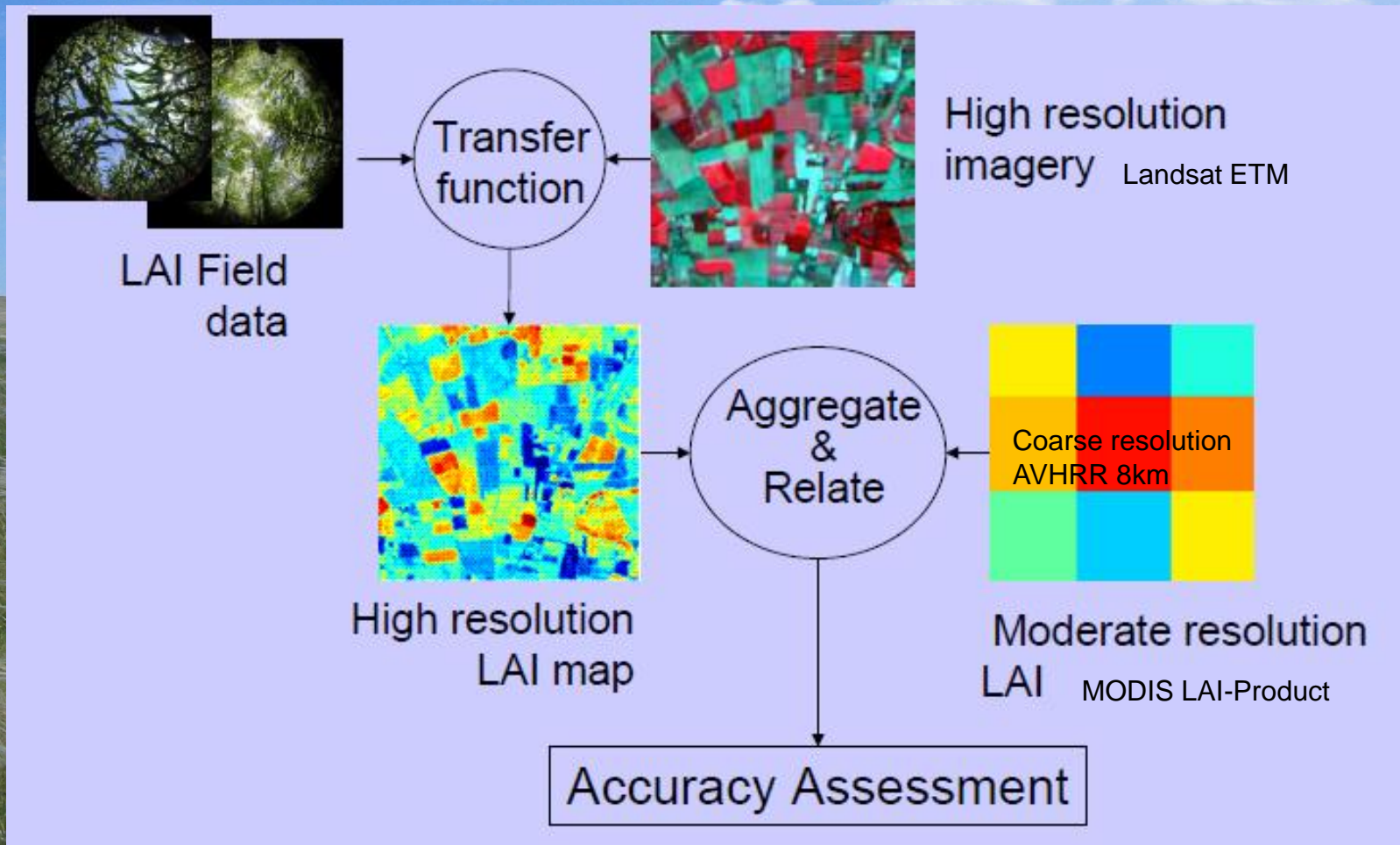
Der *light extinction Koeffizient* k wurde berechnet für die 8-km pixel Auflösung der GIMMS-Daten unter Berücksichtigung der Parameter x , Ω_{max} , c , and Θ für die einzelnen Vegetationsklassen unter Einbindung eines Rasterdatensatzes des mittleren, monatlichen Sonnenzenithwinkels, einer Landbedeckungskarte (NOAA AVHRR Land Cover: Landsat archive. Available online: <http://glovis.usgs.gov/>) und dem Höhenmodell (GTOPO30).

AVHRR LAI CGRS Göttingen Juni 2008

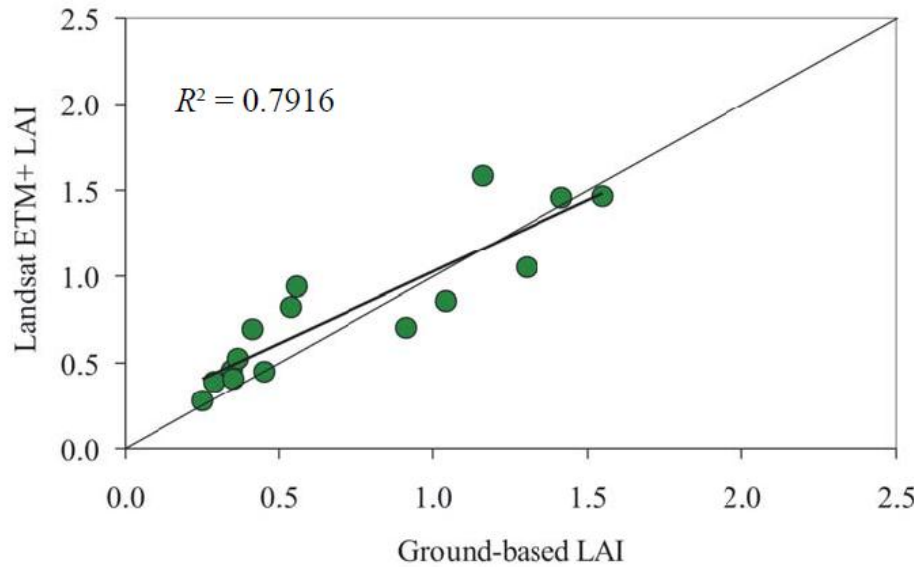


LAI-Datensatz liegt für die einzelnen Monate von 1982 – 2010

Validierungsansatz



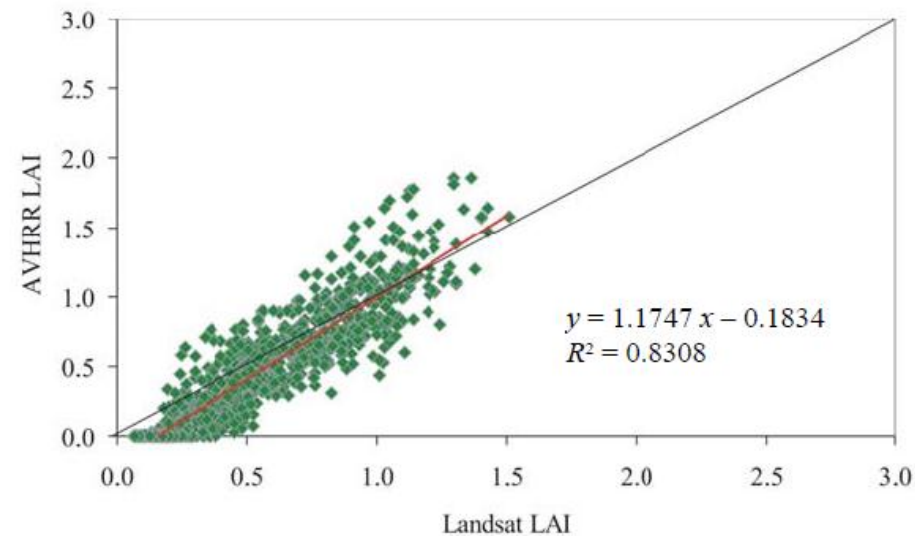
Validierung der AVHRR LAI Werte für die Graslandbiome



1. Schritt: Vergleich der Landsat ETM LAI-Werte mit Feldmessungen des LAI (Jahr 2008, Shetsky)
 $R^2 = 0.79$, RMSE=0.08

2. Schritt: Vergleich der Landsat ETM LAI-Werte mit den AVHRR LAI-Werten (Jahr 2008),

pixel by pixel, $R^2=0.83$,
 RMSE= 0.20



Vergleich des neuen AVHRR Göttingen LAI-Datensatzes mit anderen globalen LAI-Datensätzen

Der **AVHRR LAI-Göttingen-Datensatz** wurde mit **LAI_PAL_BU_V3** und **MOD15A2** verglichen.

Das MODIS LAI-Produkt ist verfügbar vom Earth Observing System Data Gateway:
<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>

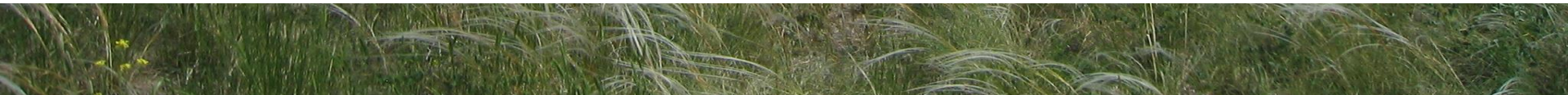
Produktbeschreibung:

Knyazikhin, Y.; Martonchik, J.V.; Diner, D.J.; Myneni, R.B.; Verstraete, M.; Pinty, B.; Gobron, N. Estimation of vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from atmosphere-corrected MISR data. *J. Geophys. Res.* **1998**, *103*, 32239-32256.
Myneni, R.; Hoffman, R.; Knyazikhin, Y.; Privette, J.; Glassy, J.; Tian, H. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from one year of MODIS data. *Remote Sens. Environ.* **2002**, *83*, 214-231.

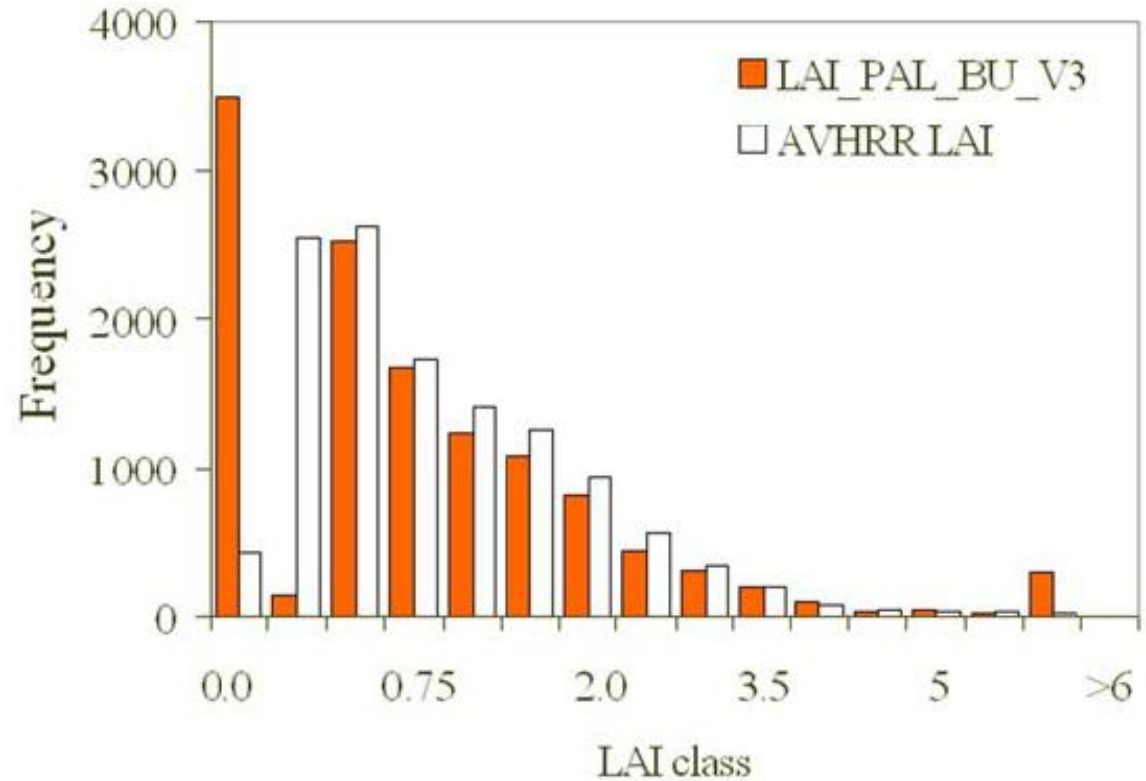
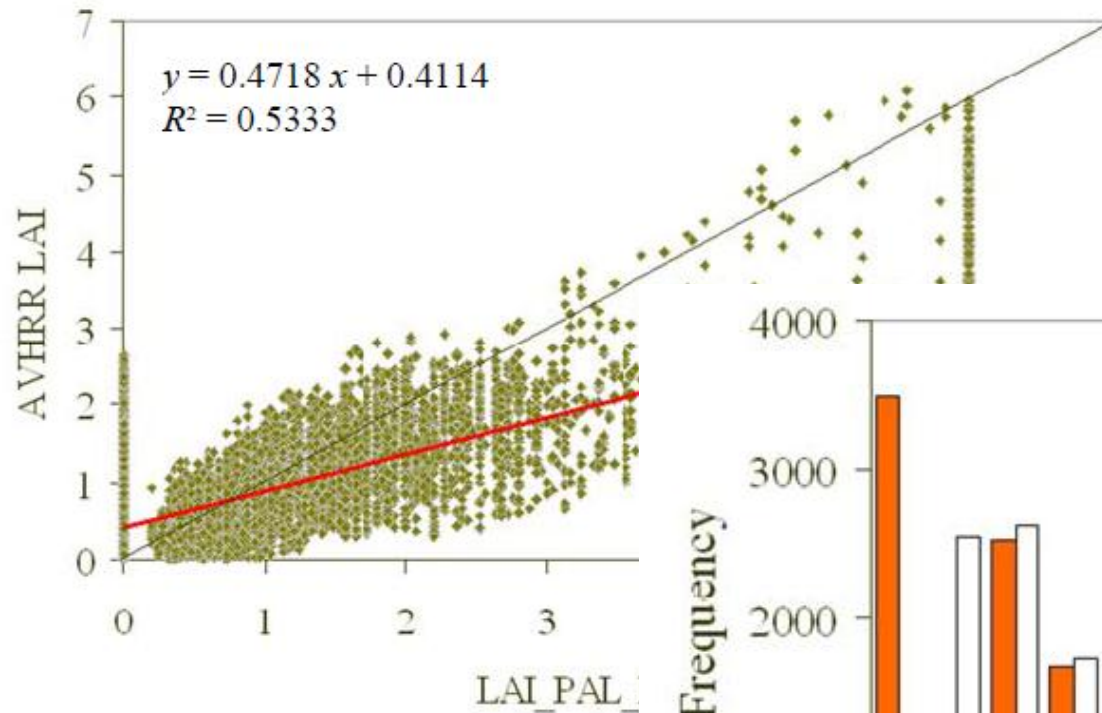
Das globale AVHRR LAI Produkt LAI_PAL_BU_V3 ist verfügbar unter:
<http://cybele.bu.edu/modismisr/products/avhrr/avhrrlaifpar.html>

Produktbeschreibung:

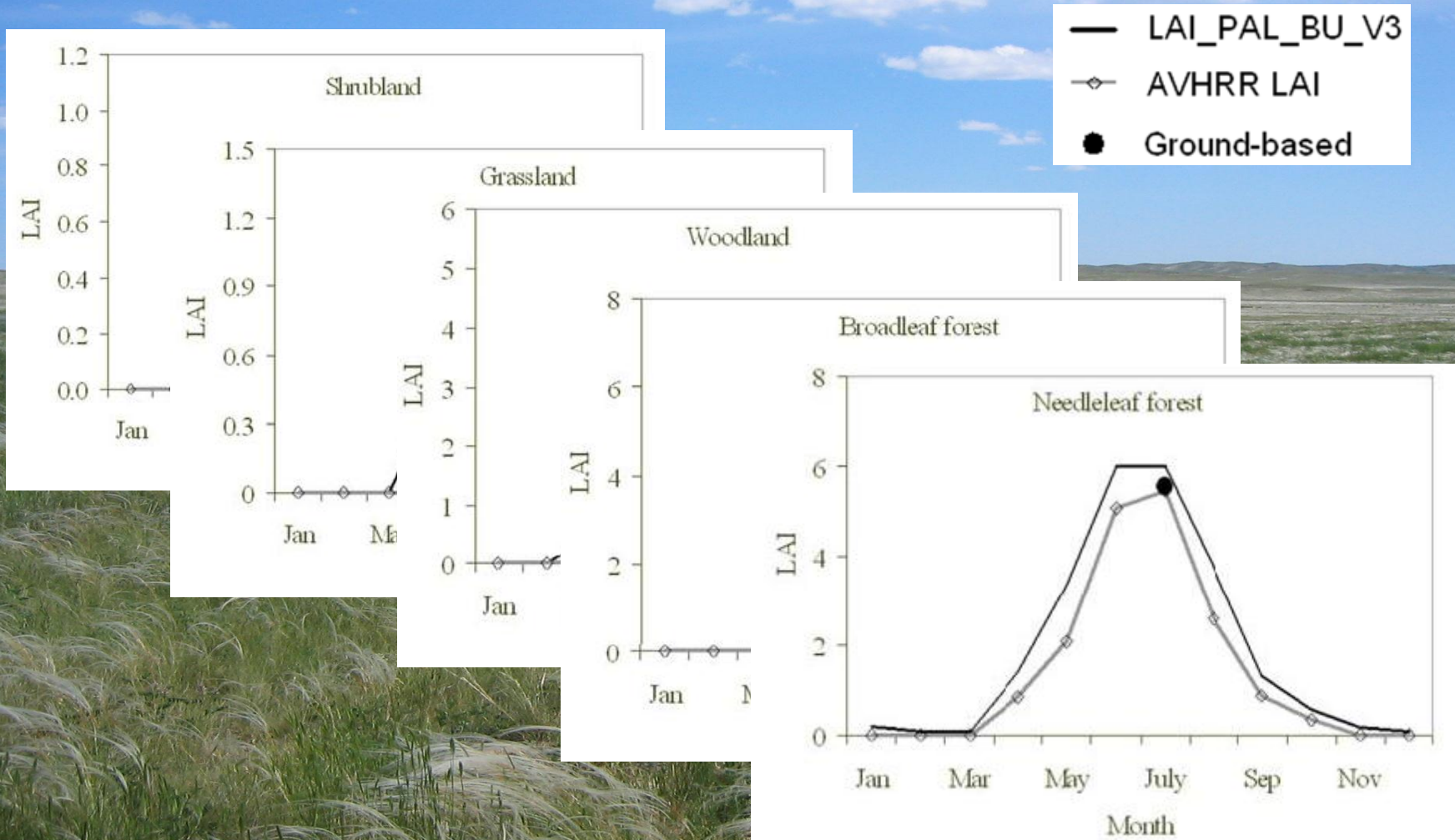
Myneni, R.B.; Nemani, R. R.; Running S.W. Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* **1997**, *35*, 1380-1393.



Vergleich AVHRR Göttingen-LAI mit AVHRR LAI_PAL_BU_V3



Zeitliche Konsistenz der verglichenen LAI-Datensätze



Zusammenfassung

- Bis 2012 stand eine Validierung von globalen LAI-Zeitreihen für Zentralasien aus!
- Es liegt nun ein neuer nationaler LAI-Datensatz für Kasachstan vor, der mittels Felddaten validiert wurde und jetzt für weitere Anwendungen zur Verfügung steht.
- Fehler im LAI (in terms of RMSE) liegt pixelbezogen zwischen 0.15 LAI und 0.4 LAI (Anforderung liegt bei <0.5 LAI).
- Die Ableitung der Feld-LAI-Daten sowie die Ableitung des nationalen LAI-Datensatzes ist dokumentiert und mit anderen Arbeitsgruppen abgesprochen.
- Zunehmende Standardisierung bei der Bewertung langer Zeitreihen ist gefordert!

Ausblick - Weitere Vereinbarungen:

- AGU Fall Meeting December 2012: IN039 "Quality Assessment of Satellite-Derived Land Surface Variables" (GCOS, Essential Climate Variables's; CEOS WGCV Land Product Validation subgroup)

Propastin, P. and Erasmi, S. “A physically based approach to model LAI from MODIS 250m data in a tropical region,” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 12, no. 1, pp. 47–59, 2010.

Propastin, P. and Kappas, M. “Mapping Leaf Area Index in a semi-arid environment of Kazakshtan using fine-resolution satellite data and in situ measurements,” *GIScience & Remote Sensing*, vol. 46, no. 2, pp. 212–231, 2009.

Propastin, P. and Kappas, M. “Modeling net ecosystem exchange for grassland in Central Kazakhstan by combining remote sensing and field data,” *Remote Sensing*, vol. 1, no. 3, pp. 159–183, 2009.

Propastin, P., M. Kappas, S. Herrmann, and C. J. Tucker, “Modified light use efficiency model for assessment of carbon sequestration in grasslands of Kazakhstan: combining ground biomass data and remote sensing,” *International Journal of Remote Sensing*, vol. 33, no. 5, pp. 1465–1487, 2012.

Propastin, P. and Kappas, M. “Retrieval of coarse-resolution leaf area index over the Republic of Kazakhstan using NOAA AVHRR satellite data and ground measurements,” *Remote Sensing*, vol. 4, no. 1, pp. 220–246, 2012.

Kappas, M. and Propastin, P. Review of Available Products of Leaf Area Index and Their Suitability over the Formerly Soviet Central Asia. *Journal of Sensors*, Volume 2012. Article ID 582159, doi:10.1155/2012/582159, 2012

Education and Capacity Building in Deriving Biophysical parameters and Biomass with Remote Sensing





**Vielen Dank für ihre
Aufmerksamkeit**

II. BOTTOM-UP APPROACH FOR GLOBAL VALIDATION FROM FIELD MEASUREMENTS

We present the LAI intercomparison activity as a “bottom-up” approach (i.e., from local field-level measurement to global comparison with satellite-derived LAI products). The following are the main considerations:

- 1) methods and instruments used to collect the field-reference LAI data;
- 2) measurement extent and sampling scheme at each site;
- 3) integration of field data with high-resolution imagery;
- 4) methods to compare high-resolution product with moderate-resolution product;
- 5) network of sites available for field validation.

- LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (Li-Cor Inc., Lincoln, NE) [54];
- cameras equipped for digital hemispherical photography (DHP) [55];
- AccuPAR Linear Par Ceptometer (Decagon, Inc., Pullman, WA);
- Tracing Radiation and Architecture of Canopies (TRAC) instrument (3rd Wave Engineering, ON, Canada)

TABLE II
METADATA REQUIREMENTS FOR LAI INTERCOMPARISON ACTIVITY

Required metadata for optical LAI field measurements:

- Latitude and Longitude of measurement
- Height of instrument during measurements
- Instrument(s) used (make, model)
- Instrument configuration (masks, rings, etc.)
- Significance of terrain/slope and if there has been any accounting for such
- Description of understory (including moss) component and if/how it been included in the LAI calculation
- Species (leaf-types, broadleaf or needle-leaf)
- Phenological state of vegetation
- Sky conditions
- Stem area considerations (i.e. note any adjustments for LAI vs PAI)
- Time of day (specify whether local or GMT time reported)
- Sampling strategy
- Post-processing of data
- Software used
- Operator ID (in case there are consistent biases by operator)

Required metadata for the high-resolution LAI surface maps:

- Full description of the high-resolution data used as input for the map (including sensor, acquisition time, solar and viewing geometry, and pre-processing step)
- Full description of geo-referencing information for the LAI surface
- Full description of, or reference for, any of the ground measurements used
- Significance of terrain/slope and if there has been any accounting for such
- Species (leaf-types)
- Description of understory (including moss) component and if/how it been included in the LAI calculation
- Description of transfer function connecting the map to the field data

Metadata required for destructive LAI measurements:

Due to the diverse approaches for destructive/allometric LAI estimation, there are no specific metadata requirements, but we request that the data providers thoroughly detail their sampling and measurement techniques so to allow full replication/understanding of the methods.

GROUP SUMMARY OF VALIDATION COMPONENTS FOR THE GROUPS CURRENTLY PARTICIPATING IN THE CEOS LAI INTERCOMPARISON

Group	Field instruments	Conversion of PAI to LAI	Understory correction	Site extent	Sampling scheme	High resolution imagery	Transfer function	Accuracy of high-resolution LAI map	Sensors used
Boston University	LAI-2000	No	Yes	various: from 5 x 5 km to 10 x 10 km	Two-stage	Landsat ETM+ (future: ASTER)	Parametric regression [56, 66] fine-res. MODIS algorithm. [56, 95]	derived from regression equations	MODIS
VALERI	LAI-2000 DHP	No	Yes	3x3 km	Two-stage	Landsat ETM+ SPOT HRVIR/HRG (future: ASTER)	Parametric regression Kriging [74]	cross validation and Kriged variance	MODIS VEGETATION MERIS POLDER AVHRR
BigFoot	LAI-2000 Allometry destructive meas.	No	No	5 x 5 km	Two-stage	Landsat ETM+ (future: ASTER)	reduced major axis regression [38]	cross validation [75]	MODIS
CCRS	LAI-2000 TRAC DHP	species-based conversion factors	No	10 x 10km 150 x 150km	Two-stage	Landsat TM/ETM+	Parametric regression [27, 40, 76]	derived from regression equations.	VEGETATION MODIS POLDER
University of Alberta	LAI-2000 DHP litter traps	using DHP from dry season and calibration from leaf litter and specific leaf area data	No	10x10 km	Two-stage	Landsat ETM+, Hyperion IKONOS/Quickbird	Parametric & Non-parametric regression, Bayesian Network and neural network [42, 43]	Calibration for dry forest [41]	MODIS
US EPA	DHP TRAC	No	Yes on 2 sites	1x1 to 2x2 km	Two-stage	Landsat ETM+, IKONOS	Parametric regression	NA	MODIS
Italy	LAI-2000 DHP destructive meas.	No	Yes	from 250x250m to 1x1 km	Two-stage	Landsat ETM+ Hyperspectral Airborne	Model inversion Parametric regression [96]	derived from regression equations	MODIS
Finland	LAI-2000	No	No	1km x1km (2 sites) 3km x 3km (2 sites)	One-stage Two-stage	Landsat ETM+ SPOT HRVIR	Parametric regression [46]	derived from regression equations	MODIS
Penn State	LAI-2000 ACCUPAR	No	No	1.6 x 1.6 km	One-stage	ASTER	work in progress	NA	MODIS

- The biophysical variable values were estimated from hemispherical images which were processed using the **CAN-EYE software** (version 5) developed at INRA-CSE. The derived biophysical variables are:
- **4 Leaf Area Index (LAI)** are considered: effective LAI (LAI_{eff}) and true LAI (LAI_{true}) derived from the description of the gap fraction as a function of the view zenith angle; effective LAI57 (LAI57_{eff}) and true LAI57 (LAI57_{true}) derived from the **gap fraction at 57.5°, which is independent on the leaf inclination.**
- Effective LAI and effective LAI57 do not take into account clumping effect. LAI_{true} and LAI57_{true} are derived using the method proposed by Lang and Xiang1 (1986):
- **cover fraction (fCover):** it is the percentage of soil covered by vegetation. To improve the spatial sampling, fCover was computed over 0 to 10° zenith angle;
- **fAPAR:** it is the fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (PAR = 400-700nm). CAN-EYE software proposes three outputs for fAPAR. Here, the selected output is the instantaneous 'black sky' fAPAR
- (fAPAR_{BS}): it is the **black sky fAPAR** at a given solar position (date, hour and latitude). Depending to latitude, CAN-EYE computes the solar zenith angle every solar hour during half the day (there is symmetry at 12:00). The instantaneous fAPAR is then approximated at each solar hour as the gap fraction in the corresponding solar zenith angle: $fAPAR_{BS}(\theta_s) = P_o(\theta_s)$.
- For more information, you could read the following document: "CAN-EYE Output Variables. Definitions and theoretical background"
(http://www.avignon.inra.fr/can_eye/Variables_Meaning_CAN_EYE.pdf).