



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

Landnutzungsänderung aufgrund langjähriger Flüchtlingslager

Eine Zeitreihenanalyse von Landsat-Aufnahmen
des Camp Djabal

verfasst von / submitted by

Mag. Berthold Schöbitz

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien, 2017 / Vienna 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it
appears on the student record sheet:

A 066 856

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Kartographie und Geoinformation

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Vorwort

Die vorliegende Masterarbeit wurde im Zuge des Projekts EO4HumEn des Z_GIS in Salzburg verfasst. An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Beteiligten des Projekts bedanken, die es mir ermöglicht haben, zu einem so spannenden und wichtigen Thema zu arbeiten.

Ein besonderes Dankeschön geht an Stefan Lang, Petra Füreder, Dirk Tiede und Lorenz Wendt für die Betreuung, Unterstützung und Hilfestellung, wenn ich diese benötigt habe. Danke auch an Andrea Baraldi, dessen SIAMTM- Software ich im Zuge der Masterarbeit benutzen durfte.

Mein Dank gilt auch meinem Betreuer an der Universität Wien, Andreas Riedl, für die Betreuung während des Verfassens dieser Arbeit und die Beurteilung derselben.

Schließlich möchte ich mich bei meinen Freundinnen, Freunden und meiner Familie bedanken die meine Ausrede, wegen der Masterarbeit nicht in Erscheinung treten zu können, viel zu lange akzeptiert haben. Ein besonderes Dankeschön gebührt außerdem Anna, die es auf sich genommen hat, die komplette Masterarbeit Korrektur zu lesen und damit einen großen Beitrag zu deren Fertigstellung geleistet hat.

Inhalt

Kurzfassung	i
Abstract	ii
Abkürzungsverzeichnis	iii
Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	x
1 Einführung	1
1.1 Das EO4HumEn Projekt	1
1.2 Goz Beïda und Camp Djabal.....	2
1.3 Fragestellung	5
1.4 Methodische Vorgangsweise.....	7
1.5 Aufbau der Arbeit.....	8
2 Theoretische Einbettung	9
2.1 Ökologische Auswirkungen von Flüchtlingslagern.....	9
2.2 Methodischer Ansatz zur Beantwortung der Fragestellungen	19
2.2.1 Untersuchungen zu LULCC in der Sahelzone	20
2.2.2 Kleinräumige Untersuchungen zu LULCC in Afrika	22
2.2.3 Studien zur Erfassung von Brandflächen in Satellitenbildern.....	23
2.2.4 Entwicklung und Situation des Camp Djabal.....	25
2.3 Grundlagen satellitengestützter Fernerkundung	27
2.3.1 Passive Systeme	27
2.3.2 Aktive Systeme	27
2.3.3 Sensoren.....	27
2.3.4 Satellitenmissionen	28
2.3.5 Auflösung.....	29
2.4 Erklärung der anzuwendenden Werkzeuge, Kennzahlen und Methoden	30
2.4.1 TOARF	30
2.4.2 NDVI.....	31

2.4.3	SIAM™	32
2.4.4	SAVI	34
2.4.5	NBR	34
2.4.6	dNBR	35
2.4.7	Supervised Classification	36
2.4.8	Change Detection	38
3	Praktische Analysen	40
3.1	Datenbeschaffung und Bildaufbereitung	41
3.2	Entwicklung der Vegetationsbedeckung	48
3.3	Brandflächendetektion	61
3.4	Landwirtschaftlich genutzte Flächen	69
3.5	Besprechung der Ergebnisse	74
4	Digitale Präsentation geographischer Informationen	78
4.1	Gestaltungsvariablen in der digitalen Kartographie	79
4.2	Zweidimensionale kartographische Darstellungen	81
4.3	Dreidimensionale kartographische Darstellungen	82
4.4	Animationen	85
4.5	Interaktivität	86
4.6	Visualisierungsvorschläge	87
4.6.1	Terrain Bender	88
4.6.2	Animierte Videos	91
4.6.3	Google Earth Outreach	92
5	Conclusio und Ausblick auf zukünftige Forschungsfragen	94
	Literaturverzeichnis	99
	Quellenangabe	107
	Anhang	111
	Eidesstattliche Erklärung	122

Kurzfassung

Die Unterbringung von Flüchtlingen und IDPs stellt nicht nur eine Herausforderung für die gastgebende Gemeinschaft dar, sondern hat auch Auswirkungen auf die natürliche Umwelt der entsprechenden Regionen, umso mehr, wenn es sich um eine große Zahl von Menschen handelt, die Zuflucht sucht oder für einen länger anhaltenden Zeitraum aus ihrer Heimat vertrieben wird. Die vorliegende Masterarbeit untersucht die langfristigen Landnutzungs-änderungen in der Umgebung von Camp Djabal im Südosten des Tschad. Dazu wurden 113 kostenfrei verfügbare Landsat 7 und 8-Szenen des Untersuchungsgebiets aus dem Zeitraum von Dezember 1999 bis August 2015 bezogen, auf TOARF kalibriert und mittels SIAMTM vorklassifiziert. Der Schwerpunkt der Studie lag auf Veränderungen der Vegetations-bedeckung, lokalem Auftreten von Brandrodungstätigkeiten sowie der Entwicklung von Gebieten unter ackerbaulicher Nutzung durch die lokale Bevölkerung. Für die Erfassung der verbrannten Flächen in den einzelnen Saisonen, das Feststellen von Veränderungen des allgemeinen Zustandes der Vegetation sowie das Ausweisen von, für den Feldbau genutzten, Flächen kamen verschiedene Methoden zum Einsatz. Die Ergebnisse der NDVI- und SAVI- Analysen zeigen – je nach miteinbezogenen Monaten und stark von den verfügbaren Daten beeinflusst – sowohl leicht positive als auch negative Entwicklungstendenzen, wenn auch auf einem sehr niedrigen Niveau. Nach einer anfänglichen Zunahme der insgesamt verbrannten Fläche in den ersten Jahren nach der Eröffnung des Camp Djabal nahm der prozentuale Anteil der von Brandrodung betroffenen Areale an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets signifikant ab. Entgegen ursprünglicher Annahmen stellte es sich allerdings heraus, dass die jährlichen Brände nicht als Vorbereitung auf die kommende Feldbausaison dienen. Die Erhebung zu landwirtschaftlich genutzten Gebieten wiederum hat gezeigt, dass die vorhandenen Landsat-Aufnahmen nicht über eine ausreichend hohe räumliche Auflösung verfügen, die es erlauben würde, mit den zur Anwendung gekommenen Techniken die fraglichen Gebiete mit akzeptabler Genauigkeit auszuweisen. Darum wird es in zukünftigen Studien zu diesem Thema notwendig sein, den Forschungsansatz anzupassen oder Bilder mit entsprechend hoher Auflösung zu beschaffen, um alle Forschungsfragen zufriedenstellend beantworten zu können.

Im zweiten Teil beschäftigt sich die Arbeit mit alternativen Möglichkeiten, die Ergebnisse der vorliegenden Masterarbeit, aber auch generell Informationen zu den Themen Flüchtlings- und IDP-Lager, wie sie zum Beispiel das Projekt EO4HumEn erarbeitet, einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Der Fokus liegt dabei auf digitalen, animierten und interaktiven Darstellungsformen, die dabei helfen sollen, ein größeres Zielpublikum zu erreichen und damit Aufmerksamkeit für die gerade heute hochaktuelle Flüchtlingsthematik zu schaffen.

Abstract

The accommodation of refugees and IDPs not only presents a challenge to the host community but also has an impact on the natural environment, even more so if a big number of people is seeking refuge or if the displaced persons are exiled over a longer period of time. The present master thesis investigates the long-term land-use change of the environment of Camp Djabal in the southeast of Chad. To this purpose 113 freely available Landsat 7 and 8 scenes of the area of interest, from the period of December 1999 to August 2015, were obtained, calibrated to TOARF and analysed by employing a prior-to-knowledge-based preclassifier (SIAM™). The main focus of the study was put on changes of the vegetation cover, local occurrence of slash and burn practices and the development of areas under agronomic use by the resident population. Different methods were applied to obtain the burned areas in each season, detect changes of the state of the vegetation and extract agricultural crop land. The results of the NDVI- and SAVI- analysis show – depending on the considered months and strongly influenced by the available data – both marginal positive and negative tendencies of development albeit on a very low level. After an initial increase of the total burned area in the first years of Camp Djabal being in existence the percentage of the area affected by fire dropped significantly. Contrary to the original assumptions however, it appeared that the annual fires do not serve as a means of preparation for the cultivation of land. The investigation of agronomically used regions showed that for all the used techniques the Landsat images at hand do not offer the required spatial resolution to detect the relevant areas with acceptable precision. Therefore, with future studies it will be necessary to adapt the approach or obtain high-resolution imagery to satisfactorily answer all the research questions.

In the second part this thesis engages in finding possible new ways to present the outcomes of this paper and information on the topic of refugee and IDP camps in general to a broad audience in an appropriate manner. The focus here lies on animated and interactive digital display formats to transport the information, reach a broader audience and raise awareness for the highly topical refugee issues.

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AOI	Area of Interest
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BAI	Burned Area Index
BAIM	Improved BAI
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
Bzw.	Beziehungsweise
CBI	Composite Burn Index
DEM	Digital Elevation Model / Digitales Höhenmodell
DN	Digital Numbers
dNBR	differenced Normalized Burn Ratio
EO	Earth Observation
EO4HumEn	Earth Observation for Humanitarian Enterprises
Etc.	Et cetera
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
FE	Fernerkundung
FEWS	Famine Early Warning Systems Network
FEWS-RFE	Famine Early Warning Systems Network – Rain Fall Estimates
GAC	Global Area Coverage
GEMI	Global Environment Monitoring Index
GIF	Graphics Interchange Format
GPS	Global Positioning System
haz	height-for-age Z-Faktor
IDP	Internally Displaced Person
ISODATA	Interactive Self-Organizing Data Analysis
KFZ	Kraftfahrzeug

LCC	Land Cover Change
LULCC	Land Use and Land Cover Change
MIRBI	Mid-Infrared Burn Index
MSAVI	Modified Soil Adjusted Vegetation Index
MSF	Médecins sans Frontières / Ärzte ohne Grenzen
MSS	Multispectral Scanner System
MVC	Maximum Value Composite
NASA	National Aeronautics and Space Agency
NBR	Normalized Burn Ratio
NDVI	Normalized Differenced Vegetation Index
NDSWIR	Normalized Difference SWIR
NIR	Near Infrared
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OLI	Operational Land Imager
PAL	Pathfinder Land
PCT	Principal Components Transformation
pNDSWIR	Post-Fire NDSWIR
RdNBR	Relative Differenced NBR
rModNDVI	Relative Modified NDVI
SAR	Synthetic Aperture Radar
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SIAM TM	Satellite Image Automatic Mapper TM
SLC	Scan Line Corrector
SODAR	Sound/Sonic Detection and Ranging
SONAR	Sound Navigation and Ranging
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SPOT-VGT	SPOT-Vegetation
SURF	Surface Reflectance
SWIR	Short Wave Infrared

Tab.	Tabelle
TIRS	Thermal Infrared Sensor
TM	Thematic Mapper
TOA	Top-of-Atmosphere
TOARF	Top-of-Atmosphere Reflectance
u.a.	Unter anderem
UG	Untersuchungsgebiet
UNDOC	United Nations Office on Drugs and Crime
UNHCR	United Nations High Commissioner for Refugees / Hochkommissar der Vereinten Nationen für Flüchtlinge
USGS	United States Geological Survey
vgl.	Vergleiche
VIS	Visible, Satellitenbänder die den sichtbaren Wellenlängenbereich 0,4 bis 0,7 μm erfassen
WFP	World Food Programme / Welternährungsprogramm der Vereinten Nationen
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
z.B.	Zum Beispiel
Z_GIS	Interfakultärer Fachbereich Geoinformatik, Salzburg

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Klimadiagramm von Goz Beïda (Quelle: [URL:CLI]).....	2
Abb. 2: Temperaturdiagramm von Goz Beïda (Quelle: [URL:CLI])	3
Abb. 3: Entwicklung der Bevölkerungszahl von Camp Djabal 2004 bis 2014 (Quelle: UNHCR)	4
Abb. 4: Auswirkungen auf das Gemeinwohl und die Umwelt (Quelle: [ALI-12] S. 376)	13
Abb. 5: Das elektromagnetische Spektrum mit den Frequenzbereichen verschiedener FE- Sensoren (Quelle [URL:FELb]).....	30
Abb. 6: Funktionsweise des NDVI (Quelle: [URL:EAR])	32
Abb. 7: Einteilung der 96 L-SIAM™ Spektralkategorien in 12 Spektralklassen (Quelle: [BAR-15])	33
Abb. 8: Reflektionsverhalten von gesunder Vegetation und Brandflächen (Quelle: [URL:LAN])	34
Abb. 9: Iterativer Ablauf einer Supervised Classification (eigene Darstellung).....	37
Abb. 10: Problematik bei der korrekten Klassifizierung von Werten im Randbereich der Verteilungsfunktion (Quelle: [RIC-06] S. 198)	38
Abb. 11: Untersuchungsgebiet am 31. Dezember 2002 (links) und 15. Juni 2014 (rechts)	40
Abb. 12: Lage des Untersuchungsgebiets in einer Landsat 8-Szene, Path 180/Row 52.....	42
Abb. 13: Vergleich des AOI-Ausschnitts auf Bildern vom 13. Juli 2004; links das unbearbeitete Bild, rechts kalibriert auf TOARF.....	43
Abb. 14: Vergleich des AOI-Ausschnitts auf Bildern vom 26. Dezember 2012;links das unbearbeitete Bild, rechts kalibriert auf TOARF	43
Abb. 15: Histogrammvergleich des NDVI für die Szenen vom 13. Juli 2004;links das unbearbeitete Bild, rechts kalibriert auf TOARF (eigene Darstellung)	44
Abb. 16: Histogrammvergleich des NDVI für die Szenen vom 26. Dezember 2012, links das unbearbeitete Bild rechts kalibriert auf TOARF (eigene Darstellung)	44
Abb. 17: Vergleich der NDVI-Ergebnisse der Bilder vom 13. Juli 2004; links das unbearbeitete Bild, rechts kalibriert auf TOARF.....	45
Abb. 18: Aufnahmebewegung des ETM+ Sensors von Landsat 7 mit und ohne funktionierendem Scan Line Corrector (Quelle: [URL:USGb]).....	45
Abb. 19: Vergrößerter Ausschnitt der Lage des Untersuchungsgebiets in einer Landsat 7 SLC-off-Szene	46

Abb. 20: Lage der Spektralkanäle der Sensoren ETM+ und OLI/TIRS im optischen Wellenlängenbereich (Quelle: [URL:USGd]).....	47
Abb. 21: Durchschnittliche SAVI- und NDVI-Werte im Untersuchungsgebiet, 2003 bis 2015 (eigene Darstellung).....	50
Abb. 22: Durchschnittliche NDVI-Werte der Monate März, April, Oktober und Dezember für die Jahre 2006, 2007, 2009 und 2014 (eigene Darstellung)	50
Abb. 23: Verlaufsdiagramm der Durchschnittswerte von NDVI und SAVI des Monats Oktober, 2000 bis 2014 (eigene Darstellung)	53
Abb. 24: Verlaufsdiagramm der Durchschnittswerte von NDVI und SAVI des Monats Dezember, 1999 bis 2014 (eigene Darstellung).....	53
Abb. 25: Verlaufsdiagramm der Durchschnittswerte von NDVI und SAVI des Monats März, 2003 bis 2015 (eigene Darstellung)	54
Abb. 26: Verlaufsdiagramm der Durchschnittswerte von NDVI und SAVI des Monats Juni, 2005 bis 2015 (eigene Darstellung)	54
Abb. 27: Durchschnitt der Zu- und Abnahmen des NDVI-Mean in den Monaten März, Juni, Oktober und Dezember im Untersuchungszeitraum von 1999 bis 2015 in absoluten Werten (links) und klassifiziert (rechts).....	56
Abb. 28: Vergleich der durchschnittlichen Veränderungen des monatlichen NDVI-Mean für März, Juni, Oktober und Dezember	57
Abb. 29: Ergebnis der Change Detection-Analyse von Oktober 2005/2006.....	59
Abb. 30: Ergebnis der Change Detection-Analyse von Dezember 2012/2013.....	60
Abb. 31: Brandflächendetektion mittels NDVI (links) und SAVI (rechts), 19. März 2014	61
Abb. 32: Landsat 7-Szene vom 19. März 2014; Darstellung in Echtfarben (links) und Falschfarben (Bänder 6/4/3 - RGB)	62
Abb. 33: Brandflächendetektion mittels NBR, 19. März 2014.....	62
Abb. 34: Vergleich der SIAM TM -Vorklassifikation der Szene vom 19. März 2014; Einteilung in 18, 33, 48 und 96 Spektralklassen	63
Abb. 35: Gegenüberstellung der Landsat 7-Szene vom 7. April 2015; ohne (links) und mit Überlagerung des Brandflächenlayers (rechts)	65
Abb. 36: Landsat 7-Szene vom 7. April 2015; ohne (links) und mit Überlagerung des Brandflächenlayers (rechts), erstellt mittels supervised Maximum Likelihood Classification.....	66
Abb. 37: Verlaufsdiagramm der verbrannten Fläche pro Saison, Dezember 2004 bis Mai 2015 (eigene Darstellung).....	67

Abb. 38: Anteil der verbrannten Areale an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets (eigene Darstellung).....	67
Abb. 39: Landsat 8-Bild vom 17. Juli 2014, überlagert mit den aggregierten Brandflächen des Zeitraumes von Dezember 2004 bis Mai 2015.....	68
Abb. 40: Landsat 7-Bild vom 10. Oktober 2007, überlagert mit den für Ackerflächen relevanten Spektralkanälen der SIAM TM -Vorklassifikation in 96 Spektralkategorien	70
Abb. 41: Vergleich der Landsat 7-Szene vom 10. Oktober 2007 in Echtfarbandarstellung (links) und Band 4/5/1 - RGB Falschfarbandarstellung (rechts)	71
Abb. 42: Vergleich der Landsat 7-Szene vom 18. Dezember 2009 in Echtfarbandarstellung (links) und Band 7/5/2 - RGB Falschfarbandarstellung (rechts)	72
Abb. 43: Klassifizierung der Ackerflächen in der Landsat 7-Szene vom 23. Dezember 1999	73
Abb. 44: Vergleich von Aggregation (links) und Verschneidung (rechts) der Ergebnisse der Klassifizierung von Ackerflächen für den Zeitraum von Oktober bis Dezember 2007	74
Abb. 45: Beispiel für eine aufgrund mangelnder Auflösungsschärfe nicht verwendbare Landsat 8-Szene vom 26. Februar 2015.....	75
Abb. 46: Gegenüberstellung der über den gesamten Untersuchungszeitraum aggregierten Brandflächen (rot) und als Ackerfläche ausgewiesene Gebiete (grün).....	76
Abb. 47: Vergleich der durchschnittlichen NDVI-Mittelwerte aus März, April, Oktober und Dezember (links) und März, April und Dezember (rechts) (eigene Darstellung).....	77
Abb. 48: Modell der Geovisualization nach MacEachren (Quelle: [EAC-04]).....	78
Abb. 49: Graphische Gestaltungsvariablen nach Bertin (Quelle: [SCH-07] S.20).....	79
Abb. 50: Graphische Minimaldimensionen gedruckter und digitaler Darstellungen (Quelle: [LEC-16] S. 5)	80
Abb. 51: Abstrakte Tonvariablen nach Krygier (Quelle: [KRY-94] S. 153).....	81
Abb. 52: Blick auf den Erzberg in Richtung Nordosten (Quelle: Google Earth)	83
Abb. 53: Funktionsweise der open-source Software Terrain Bender (Quelle: [URL:TER])	84
Abb. 54: Beispiel einer gestalteten Terrain Bender-Szene (Quelle: [URL:TER])	84
Abb. 55: Ausdehnung von Goz Beïda (blau), Kouroukoul (grün) und Camp Djabal (rot) im Untersuchungsgebiet, 15. Juni 2014, Landsat 8 (eigene Darstellung)	89
Abb. 56: NDVI für das Untersuchungsgebiet, 8. September 2013, Landsat 7 (eigene Darstellung).....	89
Abb. 57: Durch supervised Maximum Likelihood Classification detektierte Brandflächen, 27. März 2014, Landsat 8 (eigene Darstellung).....	90

Abb. 58: Darstellung der aggregierten Brandflächen (rot) und als Ackerflächen ausgewiesene Gebiete (grün) im Untersuchungszeitraum (eigene Darstellung)	90
Abb. 59: Karte des Tschad und Lage von Goz Beïda; Bearbeitet (Quelle: United Nations/Wikimedia [URL:WIK])	111
Abb. 60: Flüchtlings- und IDP-Population im Tschad und Sudan, August 2004 (Quelle: [UNH-16b]).....	112
Abb. 61: Flüchtlings- und IDP-Population im Tschad und Sudan, April 2005 (Quelle: [UNH-16d]).....	113
Abb. 62: Registrierte Bewohner von Flüchtlingslagern im Ost-Tschad, November 2006 (Quelle: [UNH-16f])	114
Abb. 63: Registrierte Bewohner von Flüchtlingslagern im Ost-Tschad, Februar 2008 (Quelle: [UNH-16j])	115
Abb. 64: Flüchtlingsbevölkerung im Ost-Tschad aufgeschlüsselt nach Geschlecht und Alter, Februar 2008 (Quelle: [UNH-16k])	116

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Klimatablelle von Goz Beïda (Quelle: [URL:CLI])	4
Tab. 2: Aufschlüsselung der Bewohner von Camp Djabal nach Alter und Geschlecht, 2006 bis 2014 (Quelle: UNHCR)	5
Tab. 3: Auswirkungen auf das Preisniveau durch steigende und senkende Faktoren (Quelle: [ALI-12] S. 375)	12
Tab. 4: dNBR-Kategorien des Verbrennungsgrades (Quelle: [URL:LAN]).....	36
Tab. 5: Gegenüberstellung der einzelnen Spektralkanal-Bandbreiten von Landsat 7 ETM + und Landsat 8 OLI & TIRS (eigene Darstellung).....	47
Tab. 6: Statistik der Jahres-MVC des NDVI von Landsat 7 und Landsat 8 (eigene Darstellung).....	48
Tab. 7: Statistik der Jahres-MVC des SAVI von Landsat 7 und Landsat 8 (eigene Darstellung).....	49
Tab. 8: Für LULCC-Analysen verwendete Landsat 7-Szenen der Monate März, Juni, Oktober und Dezember (eigene Darstellung)	52
Tab. 9: NDVI-Durchschnittswerte 1999 bis 2015 (eigene Darstellung)	55
Tab. 10: SAVI-Durchschnittswerte 1999 bis 2015 (eigene Darstellung).....	55
Tab. 11: Verwendete Satellitendaten für den Monat Jänner, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	117
Tab. 12: Verwendete Satellitendaten für den Monat Februar, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	117
Tab. 13: Verwendete Satellitendaten für den Monat März, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	118
Tab. 14: Verwendete Satellitendaten für den Monat April, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	118
Tab. 15: Verwendete Satellitendaten für den Monat Mai, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	119
Tab. 16: Verwendete Satellitendaten für den Monat Juni, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	119
Tab. 17: Verwendete Satellitendaten für den Monat Juli, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	119
Tab. 18: Verwendete Satellitendaten für den Monat August, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	120

Tab. 19: Verwendete Satellitendaten für den Monat September, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	120
Tab. 20: Verwendete Satellitendaten für den Monat Oktober, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	120
Tab. 21: Verwendete Satellitendaten für den Monat November, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	121
Tab. 22: Verwendete Satellitendaten für den Monat Dezember, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung).....	121

1 Einführung

Die vorliegende Masterarbeit ist im Zuge des Projekts „EO4HumEn“ und in Zusammenarbeit mit dem Z_GIS in Salzburg entstanden. In diesem Abschnitt der Arbeit wird zunächst das genannte Projekt vorgestellt und ein Überblick über die klimageographischen Gegebenheiten von Goz Beïda sowie der Entwicklung des Flüchtlingslagers Djabal gegeben. Anschließend werden die behandelten Forschungsfragen und die methodische Vorgangsweise, die zur Beantwortung der Forschungsfragen zum Einsatz kommt, präsentiert sowie ein Ausblick auf den Aufbau dieser Arbeit gegeben.

1.1 Das EO4HumEn Projekt

EO4HumEn läuft in Kooperation dreier akademischer Partner – des Z_GIS, des Fachbereichs Geographie und Geologie an der Universität Salzburg sowie des Geographischen Instituts an der Universität Tübingen – und in Zusammenarbeit mit der österreichischen Sektion von Ärzte ohne Grenzen (MSF – Médecins sans Frontières) bereits seit drei Jahren am Z_GIS in Salzburg. Wie der Name des Projekts verdeutlicht – er steht für „EO-Based Services to support humanitarian operations, monitoring population and natural resources in refugee camps“ –, zielt es darauf ab, humanitäre Einsätze mit Hilfe von Satellitenbildern und Geoinformation effizienter und zielgerichteter zu gestalten (Presseinformation der Universität Salzburg [UNI-16]). Die im Zuge des Projekts erarbeiteten Datenservices und Produkte fallen in die folgenden drei Themenbereiche (Homepage Projekt EO4HumEn [URL:EO4]):

- **Bevölkerungszahlen und -dichte:** Informationen über die Anzahl und räumliche Verteilung von Unterkünften, Unterkunftsdichte und interne Struktur von IDP (Internally Displaced Person)- und Flüchtlingslagern anhand von objektorientierter Unterkunftsextraktion, Dichteberechnungen und Wachstumsanalyse der Lager durch automatisierte Analyse von EO-Daten.
- **Potentielle Grundwasserreservoirs:** Erstellung hydrogeologischer Erkundungskarten – unter Einbeziehung verschiedener Datenquellen (geologische Karten, hydrogeologische Karten, Daten zu Böden, Satellitendaten, SAR Daten, DEM) – für das Auffinden von Grundwasserreservoirs, um die Versorgung von IDP- und Flüchtlingslagern mit Trinkwasser in entsprechender Qualität und Quantität zu ermöglichen.
- **Einwirkungen auf die lokale Umwelt:** Monitoring und Beurteilung des Einflusses von IDP- und Flüchtlingslagern auf die umgebende Umwelt unter Verwendung multi-temporalen Satellitenbilder. Evaluierung der Auswirkungen von Umweltveränderungen auf menschliches Wohlergehen (z.B. Nahrungsmittelsicherheit, Lebensunterhalt) und ökologische Integrität (z.B. Zustand der Ökosysteme).

Angesiedelt im letztgenannten Themenbereich des Projekts, beschäftigt sich diese Arbeit mit den Umweltveränderungen in der Umgebung des Camp Djabal, das im Südosten des Tschad liegt, im Verlauf seines 13-jährigen Bestehens.

1.2 Goz Beïda und Camp Djabal

Das im Fokus dieser Arbeit stehende Flüchtlingslager Camp Djabal liegt ungefähr auf 12.225218° südlicher Breite sowie 21.385534° östlicher Länge in unmittelbarer Nähe zu der Stadt Goz Beïda im Südosten des Tschad. Goz Beïda ist die Hauptstadt der Region Sila und mit 41.248 Einwohnern ihre bevölkerungsreichste Stadt (Stand Mai 2009), wobei sich die Einwohnerzahl in nur 16 Jahren von 3.083 Bewohnern (Stand April 1993) mehr als verzehnfacht hat (Website citypopulation [URL:CIT]). Eine Karte der Lage des Flüchtlingslagers findet sich im Anhang unter Abb. 59.

Klimageographisch gesehen, liegen Goz Beïda und das Camp Djabal an der Grenze zwischen der sogenannten Sahelzone – und damit der Trockensavannen – im Norden und den feuchteren Sudansavannen im Süden (Profil sécurité alimentaire - Tchad. S.7 [CSA-16]). Das in Goz Beïda vorherrschende Steppenklima mit einer Jahresmitteltemperatur von 27,3° Celsius bedingt das ganze Jahr über nur geringen Niederschlag, wobei die Niederschlagssumme innerhalb eines Jahres bei etwa 606 Millimeter liegt. Nach Köppen und Geiger wird das in Goz Beïda vorherrschende Klima als „BSh“, also trockenheißes Steppenklima, klassifiziert. (siehe climate-data.org [URL:CLI], klimadiagramme.de [URL:KLI]).

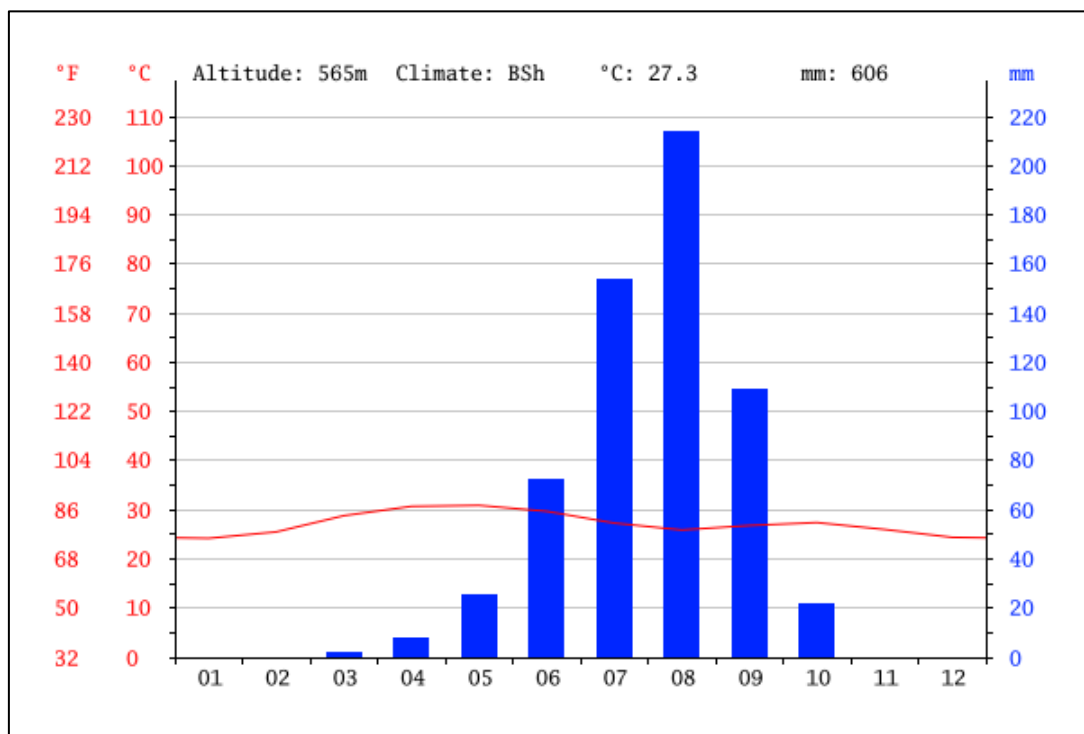


Abb. 1: Klimadiagramm von Goz Beïda (Quelle: [URL:CLI])

Aus dem Klimadiagramm in Abb. 1 wird ersichtlich, dass in Goz Beïda von November bis Februar keine Niederschläge auftreten und die Regenzeit in etwa von Mai bis Oktober dauert, wobei der mit Abstand niederschlagsreichste Monat der August ist. Die Durchschnittstemperatur ist in den niederschlagsfreien Monaten Januar und Dezember mit etwas unter 25° Celsius am niedrigsten und am Beginn der Regenzeit in den Monaten April und Mai mit knapp über 30° Celsius am höchsten. Während der Regenzeit sinkt die Durchschnittstemperatur, wobei diese im niederschlagsreichsten Monat August einen Tiefpunkt um 25° Celsius erreicht.

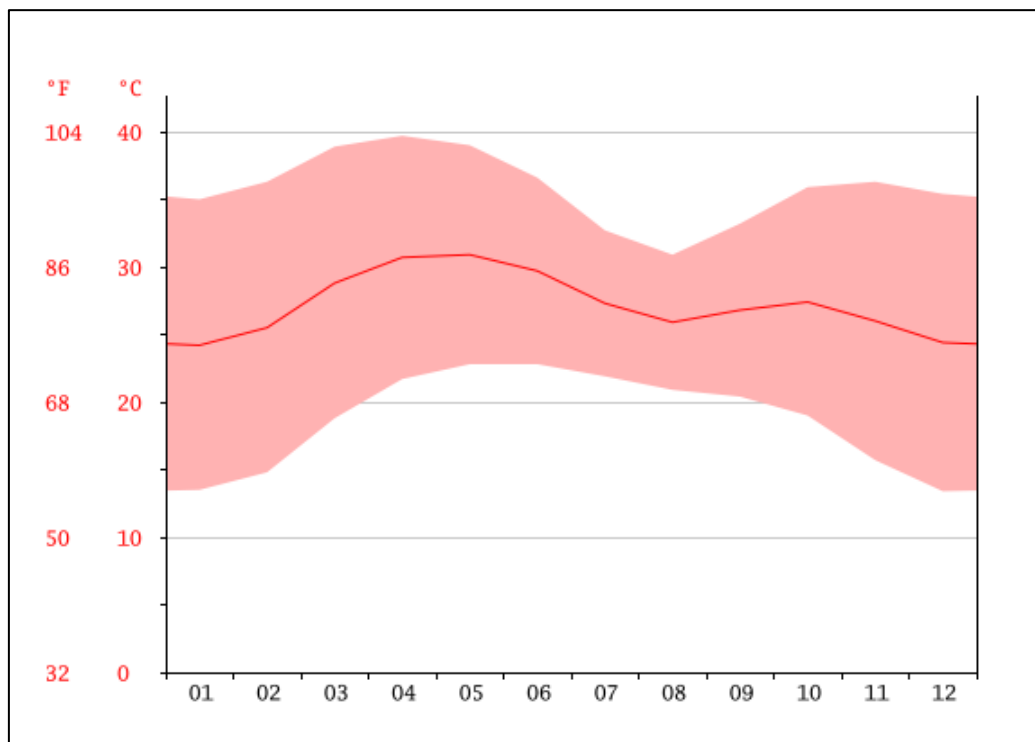


Abb. 2: Temperaturdiagramm von Goz Beïda (Quelle: [URL:CLI])

Das Temperaturdiagramm in Abb. 2 zeigt den Jahresverlauf der Durchschnittstemperatur sowie der durchschnittlichen Minimal- und Maximaltemperatur in Goz Beïda. Daraus wird ersichtlich, dass die Spannweite zwischen durchschnittlicher Minimal- und Maximaltemperatur in den niederschlagsfreien Monaten von November bis Februar am größten ist und in den niederschlagsreichsten Monaten Juli und August am geringsten. Auch der bereits erwähnte Rückgang der Durchschnittstemperaturen während der niederschlagsreichen Zeit ist noch einmal deutlich erkennbar. Die in Tab. 1 gezeigte Klimatabelle weist die monatlichen Durchschnittswerte für Niederschlag, Temperatur, Maximal- und Minimaltemperatur in Grad Celsius und Grad Fahrenheit aus. Daraus ist ersichtlich, dass es im niederschlagsreichsten Monat 214 Millimeter Niederschlag gibt und lediglich in zwei weiteren Monaten, im Juli und September, ein Wert von über 100 Millimeter erreicht wird. Die Durchschnittstemperatur reicht von 24,2° Celsius im Januar bis zu 30,9° Celsius im Mai, wobei der Wert für die geringste Durchschnitts-Minimaltemperatur mit 13,4° Celsius im Dezember erreicht wird und die höchste Durchschnitts-Maximaltemperatur mit 39,7° Celsius im April. Die größte Spannweite zwischen

durchschnittlicher Minimal- und Maximaltemperatur weist mit 22° Celsius Differenz der Dezember auf, die geringste mit lediglich 10° Celsius der August.

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	0	0	2	8	25	72	154	214	109	22	0	0
°C	24.2	25.5	28.8	30.7	30.9	29.7	27.3	25.9	26.8	27.4	26.0	24.4
°C (min)	13.5	14.8	18.8	21.7	22.8	22.8	21.9	20.9	20.4	19.0	15.7	13.4
°C (max)	35.0	36.3	38.9	39.7	39.0	36.6	32.7	30.9	33.2	35.9	36.3	35.4
°F	75.6	77.9	83.8	87.3	87.6	85.5	81.1	78.6	80.2	81.3	78.8	75.9
°F (min)	56.3	58.6	65.8	71.1	73.0	73.0	71.4	69.6	68.7	66.2	60.3	56.1
°F (max)	95.0	97.3	102.0	103.5	102.2	97.9	90.9	87.6	91.8	96.6	97.3	95.7

Tab. 1: Klimatabelle von Goz Beïda (Quelle: [URL:CLI])

Camp Djabal war das achte, vom UNHCR (United Nations High Commissioner for Refugees) im Zuge des Darfur-Konflikts im Tschad gegründete, Flüchtlingslager, das am 4. Juni 2004 eröffnet wurde [URL:UNHa]. Das, nur mittels Flugzeug oder über unbefestigte Straßen erreichbare, Camp ist gemeinsam mit Goz Amer eines von zwei Lagern im Südosten des Tschad [URL:ENO].

Bereits zwei Monate nach Öffnung des Camps hatte es im August 2004 mehr als 14.000 Bewohner. Im Jahr 2005 stieg die Einwohnerzahl weiter an und ging im darauffolgenden Jahr wieder deutlich zurück. Auf einen langsamen Anstieg der Bevölkerungszahl in der Zeit von 2007 bis 2008 und einer deutlichen Spitze Ende 2008, folgte im Jahr 2009 erneut ein Rückgang. Seitdem ist die Zahl der Einwohner von Camp Djabal kontinuierlich gestiegen und erreichte 2014 einen Wert von über 20.000 Anwohnern (vgl. Abb. 3).

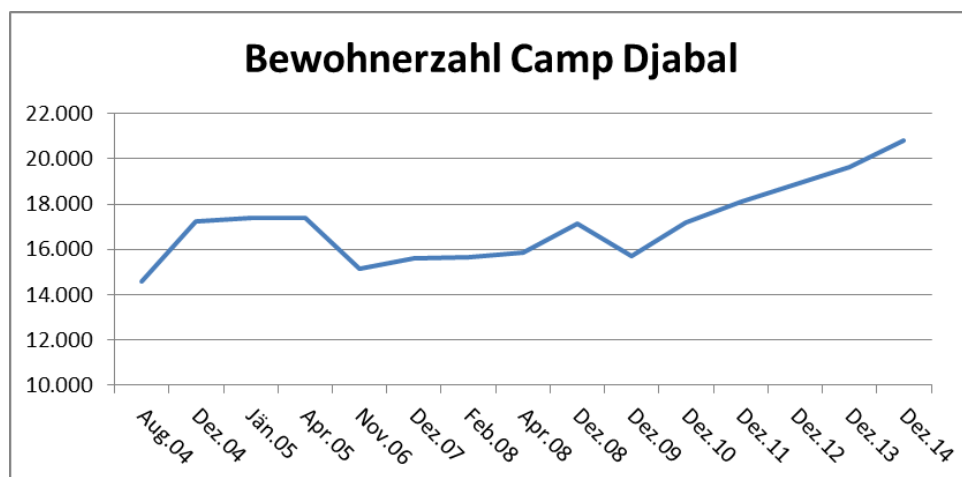


Abb. 3: Entwicklung der Bevölkerungszahl von Camp Djabal 2004 bis 2014 (Quelle: UNHCR)

Aus der nach Alter und Geschlecht aufgeschlüsselten Bevölkerungsstatistik des Camp Djabal für die Jahre 2006 bis 2008 ist ersichtlich, dass die Mehrheit der Bewohner des Flüchtlingslagers Menschen unter 18 Jahren sind und insgesamt betrachtet etwas mehr als die Hälfte der Einwohner weiblichen Geschlechts ist (siehe Tab. 2). Bemerkenswert ist hier, dass sich die Werte für die jeweiligen Altersgruppen in den acht Jahren, welche die Tabelle umfasst, stets in einem annähernd gleichen Bereich bewegen. Die größte Schwankungsbreite weist mit 7% Differenz zwischen den Jahren 2006 und 2012 die Altersgruppe der fünf- bis elfjährigen Personen auf.

	Demographic indicators													Total population at location end-2006
	Share of age group in total						Percentage female per age							
	0-4	5-11	12-17	<18	18-59	60+	0-4	5-11	12-17	<18	18-59	60+	Total	
End 2006	19%	27%	13%	60%	37%	4%	49%	50%	51%	50%	64%	55%	55%	15.162
End 2007	19%	27%	14%	61%	36%	3%	49%	49%	52%	50%	64%	54%	55%	15.602
End 2008	22%	26%	14%	62%	35%	3%	50%	49%	52%	50%	63%	55%	55%	17.153
End 2009	21%	23%	14%	58%	38%	4%	50%	50%	52%	50%	64%	56%	56%	15.693
End 2010	20%	21%	16%	56%	39%	4%	50%	50%	49%	50%	63%	56%	55%	17.200
End 2011	21%	23%	15%	58%	38%	4%	50%	50%	48%	49%	62%	56%	55%	18.083
End 2012	20%	20%	16%	57%	39%	4%	49%	50%	48%	49%	62%	56%	54%	18.890
End 2013	22%	22%	17%	60%	36%	4%	49%	49%	49%	49%	62%	57%	54%	19.635
End 2014	19%	22%	16%	58%	38%	4%	49%	50%	49%	49%	60%	58%	54%	20.809

Tab. 2: Aufschlüsselung der Bewohner von Camp Djabal nach Alter und Geschlecht, 2006 bis 2014 (Quelle: UNHCR)

1.3 Fragestellung

Wie bereits erwähnt, ist diese Masterarbeit eingebettet in jenen Bereich des Projekts EO4HumEn, welcher sich mit den Einwirkungen von IDP- und Flüchtlingslagern auf die umgebende Umwelt befasst. Der Einfluss der Lager beschränkt sich dabei nicht auf die umgebende Natur, also Flora, Fauna oder Aspekte wie Bodengüte, sondern wirkt auch auf die im Einflussbereich der Flüchtlingslager lebende, einheimische Bevölkerung. Prinzipiell kann es durch die Einwirkung der Lager auf die umgebende Umwelt und die ansässige Bevölkerung vor allem dann zu Problemen kommen, wenn sich eine hohe Anzahl an Menschen innerhalb relativ kurzer Zeit an einem bestimmten Ort ansammelt, ohne dass entsprechende regelnde bzw. unterstützende Maßnahmen vorhanden sind oder rechtzeitig gesetzt werden. Auf diesen Aspekt

geht auch das UNHCR in seinen Environmental Guidelines ein (vgl. [UNH-16r]). Die Hypothese, welcher in dieser Arbeit nachgegangen wird, besagt, dass aufgrund der gestiegenen Zahl von Bewohnern im Gebiet um Goz Beïda und Camp Djabal die landwirtschaftlich genutzte Fläche sowie die Intensität der Nutzung in den letzten zwölf Jahren gestiegen sind, wodurch es in der Folge möglicherweise zu einer Verminderung der Bodengüte und damit einer Degradation der natürlichen Ressourcen kommt. Die Forschungsfrage lautet also:

Forschungsfrage:

Wie hat sich die Landnutzung und Landbedeckung des Areals um Camp Djabal in der Zeit seit Bestehen des Lagers aufgrund der gestiegenen Bevölkerungszahlen geändert?

Folgende Arbeitsfragen sollen es ermöglichen, die Forschungsfrage zu beantworten:

Arbeitsfrage 1: *Wie haben sich die Brandrodungsaktivitäten im Einflussbereich des Lagers geändert seit das Flüchtlingslager besteht?*

Da im Untersuchungsgebiet Brandrodungen als Vorbereitung auf die kommende Feldbausaison üblich sind, kann ihre Intensität und die insgesamt gerodete Fläche ein Indikator für Änderungen in der Landnutzung sein (vgl. [URL:COU]).

Arbeitsfrage 2: *Hat sich die für Feldbau genutzte Fläche seit Bestehen des Lagers geändert?*

Eine Veränderung der ackerbaulich genutzten Fläche gibt direkte Hinweise darauf, wie sehr sich die Landnutzung in dem Gebiet geändert hat.

Arbeitsfrage 3: *Welche Veränderungen und Entwicklungstrends der Vegetation im Allgemeinen sind im Einflussbereich von Camp Djabal seit dem Jahrtausendwechsel zu erkennen?*

Neben anderen Faktoren wie Änderungen des Klimas und Schwankungen bei den jährlichen Niederschlägen kann auch eine stärkere Nutzung der Böden einen Einfluss auf den allgemeinen Gesundheitszustand der Vegetation haben. Daher ist sie mit ein Indikator für eine mögliche beginnende Landdegradation.

Da die Frage nach der Finanzierbarkeit von Studien und Projekten heutzutage oft eine kritische ist und im konkreten Fall EO4HumEn die operationelle Arbeit der NGO Ärzte ohne Grenzen – ohne allzu große finanzielle Belastung – längerfristig unterstützen soll, hat die vorliegende Masterarbeit ein weiteres, der Forschungsfrage übergeordnetes, Ziel. Konkret ist es das Bestreben des Autors, die gestellten Fragen rein mittels Verwendung kostenfrei erhältlicher Landsat-Daten zu beantworten bzw. festzustellen, ob dies mit ausschließlich solchen Daten

möglich ist, um bei möglichen zukünftigen Forschungsprojekten gegebenenfalls Einsparungen in diesem Kostenpunkt zu erreichen.

Aus dieser Zielsetzung ergibt sich allerdings auch die Möglichkeit, dass eine Beantwortung der gestellten Fragen nicht vollends zufriedenstellend erfolgen kann, zum Beispiel aufgrund der Qualität der verfügbaren Daten oder den speziellen ökologischen Gegebenheiten in dem gewählten Untersuchungsgebiet. Auch fehlen Referenzdaten, mit denen die Ergebnisse verifizierbar wären, die aber angesichts der Sicherheitslage in dem betreffenden Landesteil vor Ort nicht überprüft werden können. Sollte dies der Fall sein, wird in der Besprechung der Ergebnisse besonderes Augenmerk auf vorhandene Probleme gelegt und in dem Ausblick auf die zukünftige Entwicklung des Forschungsthemas werden mögliche Lösungsansätze besprochen.

Ein letzter Bereich, dem in dieser Masterarbeit Aufmerksamkeit geschenkt wird, ist die Frage nach Möglichkeiten, die Analyseergebnisse – aber auch generell Ergebnisse des Projekts EO4HumEn – alternativ zu klassischen Karten, gut und ansprechend zu präsentieren. Ziel ist es, Möglichkeiten zu finden, wie die erlangten Erkenntnisse auch nicht einschlägig geschulten Personenkreisen auf anschauliche Weise vermittelt werden können. Dadurch soll es gelingen, mehr Aufmerksamkeit für das Projekt zu generieren, das bereits Erreichte – aber auch die vor Ort vorhandenen Probleme – visuell prägnant zu präsentieren und bestenfalls ein allgemeines Interesse an der Thematik zu wecken. Der Fokus wird hier auf animierten und interaktiven Präsentationsmöglichkeiten liegen.

1.4 Methodische Vorgangsweise

Der methodische Ansatz zur Beantwortung der Hauptfragestellungen basiert auf einer Zeitreihenanalyse von Landsat 7- bzw. 8-Bildern des entsprechenden Gebiets, beginnend im Dezember 1999 bis zum August 2015. Dabei werden Bilder verschiedener Zeitpunkte unter folgenden Gesichtspunkten analysiert: Brandrodungstätigkeiten, Zustand der Vegetation in der Regenzeit, Vegetation in der Erntezeit sowie Landnutzungsänderungen.

Nach der Recherche des geeigneten Bildmaterials werden die Satellitendaten für die Analysen zunächst kalibriert und vorklassifiziert, anschließend kommen Fernerkundungstechniken, wie Bildklassifikation und Change Detection, sowie entsprechend geeignete Indices, zum Beispiel NDVI oder NBR (Normalized Burn Ratio), zur Anwendung. Dabei sollen Veränderungen, die sich im Laufe der Zeit in den einzelnen Themengebieten im Untersuchungsgebiet vollziehen, erfasst werden, um einen möglichen Trend daraus ableiten zu können. Die jeweils erhaltenen Ergebnisse der einzelnen Phänomene sollen außerdem auf Zusammenhänge untersucht und auf eventuelle Korrelation mit den schwankenden Bevölkerungszahlen des Flüchtlingslagers überprüft werden. Die Methodik dieses Teils der Arbeit besteht also vorrangig aus praktischen Analysen und eigenen Untersuchungen.

Die Beantwortung der Frage nach alternativen Präsentationsformen wird vorwiegend mittels Recherche erreicht, ergänzt durch einige konkrete Beispiele, die unter Zuhilfenahme unterschiedlicher Softwareprodukte, wie Terrain Bender oder Photoshop, zumindest im Ansatz erstellt werden.

1.5 Aufbau der Arbeit

Die Struktur der vorliegenden Masterarbeit ist in zwei Blöcke gegliedert, welche sich jeweils aus einem theoretischen und einem praktischen Teil zusammensetzen und aufeinander aufbauen. Im Theorieteil des ersten Abschnitts, der sich mit der Hauptfragestellung auseinandersetzt, wird zunächst auf den Stand der Forschung zu den Themen Land Use and Land Cover Change (LULCC) – bzw. Einfluss von Flüchtlings- und IDP-Lagern auf die umgebende Umwelt – eingegangen. Weiters wird versucht, die gegenständliche Arbeit darin zu verorten. Anschließend wird die Theorie hinter den zur Anwendung kommenden Analysemethoden erklärt und genauer auf die methodischen Ansätze eingegangen, die eine Beantwortung der Fragestellungen ermöglichen sollen. Der zugehörige praktische Teil wird den tatsächlichen Ablauf der Analysen schildern und eine Präsentation der Ergebnisse mit einer ersten Conclusio enthalten.

Der zweite Block setzt sich mit Optionen für alternative Darstellungsformen auseinander. Im Theorieteil wird auf die Frage nach der Notwendigkeit solcher neuen Visualisierungsformen und die Möglichkeiten, welche diese bieten, eingegangen. Es werden die Ergebnisse der Recherche zu diesem Thema präsentiert sowie die Vor- und Nachteile der gebrachten Beispiele diskutiert. Anschließend werden im praktischen Teil eigene Gestaltungsbeispiele vorgestellt und weitere mögliche Ansätze dargelegt. Abschließend folgt eine Zusammenfassung des Inhalts der Arbeit, in der ein Fazit über die erhaltenen Ergebnisse und die Antworten auf die Fragestellungen sowie ein Ausblick auf zukünftige Forschungsfragen gegeben werden.

2 Theoretische Einbettung

In diesem Kapitel wird noch einmal vertieft auf die theoretischen Aspekte der Thematik dieser Arbeit eingegangen. Nach einer Betrachtung der möglichen Einflüsse von Flüchtlingslagern auf das Mensch-Umwelt-System vor Ort und des Forschungsstandes zu diesem Thema im Allgemeinen wird – ergänzt durch für die Beantwortung der Forschungsfragen relevante Themen aus dem Bereich der Fernerkundung (FE) – der gewählte methodische Ansatz zur Beantwortung der Fragestellung vorgestellt. Dabei werden auch die konkreten Gegebenheiten in Bezug auf Camp Djabal besprochen, um anschließend die wichtigsten Grundlagen der FE sowie in der praktischen Ausarbeitung anzuwendende Analysemethoden zu erörtern.

2.1 Ökologische Auswirkungen von Flüchtlingslagern

Wie bereits in der Einführung erwähnt, geht das UNHCR in seinen Environmental Guidelines u.a. auch auf die problematischen Einflüsse ein, welche Flüchtlinge und Rückkehrer, die sich schnell und in großer Zahl an einem Ort ansiedeln, auf die umgebende Umwelt haben können. Dabei führt es folgende Punkte an (siehe [UNH-16r] S.7):

- I. **Verschleiß von natürlichen Ressourcen:** Degradation von erneuerbaren natürlichen Ressourcen wie Wäldern, Böden oder Wasserquellen. Mit einer Ausplünderung dieser Rohstoffe geht oft eine biologische Verarmung einher, die beispielsweise als Kontamination von Grund- und Bodenwasser durch mangelnde sanitäre Maßnahmen, auslaufende Treibstoffe und fehlerhaft verwendete Chemikalien für den Feldbau oder als Landdegradation aufgrund von schlechter Landnutzung auftritt.
- II. **Irreversibler Einfluss auf natürliche Ressourcen:** Besonders ernstzunehmend sind Auswirkungen auf Gebiete von großer ökologischer Bedeutung u.a. für Biodiversität, Lebensraum für bedrohte Arten oder eine spezielle Funktion des Areals im Ökosystem. Diese Gebiete können von nationaler oder globaler Bedeutung sein und eine Beschädigung solcher Naturgüter – wie zum Beispiel Wassereinzugsgebieten – kann irreversibel sein, was diesen Aspekt umso kritischer macht.
- III. **Einfluss auf die Gesundheit:** Das Auslaugen natürlicher Ressourcen kann direkte negative Auswirkungen auf die Gesundheit einer bereits geschwächten Gruppe von Menschen haben, so zum Beispiel unzureichend zubereitetes Essen aufgrund von mangelndem Feuerholz. Des Weiteren breiten sich Krankheiten in überfüllten Flüchtlingslagern schneller aus als gewöhnlich und die Verunreinigung von Wasserquellen – zum Beispiel durch mangelnde Sanitäranlagen – kann zu einem Mangel an geeignetem Trinkwasser führen. Staub, der durch Fahrzeuge oder größere Viehherden aufgewirbelt wird sowie Rauch von Brennholz niedriger Qualität steigert das Auftreten von Atemwegserkrankungen.

-
- IV. **Auswirkungen auf die sozialen Umstände:** Die Effekte der ökologischen Degradation – speziell in Bezug auf das Sammeln von Feuerholz – wirken sich besonders auf Frauen und Kinder aus. Frauen müssen oft viele Stunden damit zubringen, Holz zu suchen und ins Lager zu transportieren, was das Risiko der Übermüdung erhöht und sie stärker der Gefahr von Angriffen aussetzt. Außerdem fehlt diese Zeit für Kinderfürsorge sowie familiäre und gesellschaftlichen Aufgaben. Kinder, die Holz sammeln müssen, haben wiederum weniger Zeit, um Schulunterricht zu besuchen.
- V. **Sozialer Einfluss auf die lokale Bevölkerung:** Die Auswirkungen auf die regional einheimische Bevölkerung sind ähnlich denen auf die Flüchtlinge. Ein Wettbewerb um knappe natürliche Ressourcen – Feuerholz, Futtermittel für Tiere, Wasser – zwischen der lokalen Bevölkerung und Flüchtlingen kann schnell zu Abneigung und Konflikten führen. In manchen Fällen kann es auch zu einem Zusammenbruch der traditionellen und nachhaltigen Verwaltungssysteme natürlicher Ressourcen vor Ort kommen.
- VI. **Ökonomische Auswirkungen:** Der Einfluss von Flüchtlingen ist auch auf lokalen Märkten oft zu spüren. Während Teile der lokalen Bevölkerung unter Umständen davon auch profitieren können, leiden vor allem die Ärmere unter immer weiter steigenden Preisen für Waren und Dienstleistungen. Nicht nur Entwaldung, Landdegradation und die Verringerung von Wasserressourcen, sondern auch rückläufige Verfügbarkeit von Treibstoff, Materialien für den Hausbau, Medizin oder Wildtieren haben wirtschaftliche Auswirkungen auf die Einheimischen. Die Konsequenzen können aber auch in weiterer Entfernung zu den Flüchtlingslagern deutlich spürbar sein, wenn es zum Beispiel zu Bodenerosion, Gullybildung oder rascher Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und Sedimentation von Flüssen kommt.

Auch Hilfsprogramme für die Flüchtlinge können negative Auswirkungen auf die Umwelt haben. So können zum Beispiel schlechte Planung und Lage von Infrastruktur oder ungeeignete Straßenplanung zu Erosion führen.

Das Auftreten der oben genannten Probleme (vgl. dazu auch [SHE-15]) ist dabei einerseits abhängig davon, in welcher der drei Phasen sich die Fluchtbewegung befindet – *Notfallsituation*, in der es darum geht, zeitnah sichere Unterkünfte für die Flüchtenden zu schaffen; *Pflege und Erhaltung* der Lager bzw. deren Bewohner; *Dauerhafte Lösung* ökologischer Probleme, die im Gastland und auch im Ursprungsland der Flüchtlinge nach deren Rückkehr auftreten können –, andererseits von verschiedenen Faktoren wie dem lokalen Klima oder sozioökonomischen Gegebenheiten.

Um einen möglichst optimalen Umgang mit den oben angeführten Umweltproblemen zu ermöglichen, führen die Environmental Guidelines der UNHCR vier Grundprinzipien an, die während der Planung und Verwaltung von Flüchtlingslagern berücksichtigt werden sollen ([UNH-16r] S. 9f):

-
- I. Eine **integrative Vorgehensweise**, die schon von Beginn an umweltschonende Modifikationen und Vorgehensweisen bei der Planung und Durchführung von Hilfsprojekten vorsieht, um die ökologischen Auswirkungen gering zu halten.
 - II. „**Vorbeugen statt Nachbehandeln**“ bedeutet, dass vorbeugende und steuernde Maßnahmen die Norm sein sollten, da nur so irreversible Einflüsse und Konsequenzen vermieden werden können und proaktiv leitendes Handeln weniger kostenintensiv ist als späteres Nachbessern. Ein Beispiel dafür sind nach ökologischen Gesichtspunkten fundiert ausgewählte Standorte und entsprechend sachgemäß geplante Lager.
 - III. **Kosteneffizienz und Maximierung des Nettonutzens**: Ziel ist es, vor allem solche Maßnahmen zu setzen, die den größten Vorteil in Bezug auf die für die Durchführung aufzuwendenden Ressourcen bieten. In diesem Fall ist der Nutzen der ökologische Schaden, welcher durch entsprechende Maßnahmen vermieden werden kann. Dies bedeutet auch, dass Umweltschäden in Kauf genommen werden, wenn der finanzielle Aufwand, der nötig wäre, um sie zu verhindern, nicht in einem entsprechenden Verhältnis zu den zu erwartenden Umweltschäden steht.
 - IV. **Lokale Beteiligung** von Einheimischen und Bewohnern der Flüchtlingslager beim Management von vor Ort vorhandener Ressourcen. Dadurch soll einerseits Bewusstsein für umweltrelevante Themen geschaffen werden und die Bevölkerung dazu gebracht werden, verantwortlich zu handeln. Andererseits kann die Einbeziehung sowohl der lokalen Bevölkerung als auch der Flüchtlinge dazu beitragen, auftretende Spannungen zwischen diesen beiden Gruppen zu mildern.

Auch die Wissenschaft setzt sich mit diesem Thema auseinander, wobei an dieser Stelle auf zwei Forschungsrichtungen eingegangen werden soll. Um ein umfassenderes Verständnis für die weitreichenden Folgen zu schaffen, welche Fluchtbewegungen und Flüchtlinge haben können, werden zunächst Arbeiten vorgestellt, die sich mit den Einflüssen auf die vor Ort einheimische Bevölkerung beschäftigen. Anschließend wird die – für die vorliegende Masterarbeit bedeutendere – Forschung thematisiert, die sich mit den Auswirkungen von Flucht und Vertriebenen auf die betroffene Umwelt befasst.

Wie in der Einführung bereits erwähnt, wurde das Camp Djabal in geringer Entfernung – nur etwas mehr als ein Kilometer Luftlinie – zu der Stadt Goz Beida aufgebaut, wodurch es zwangsläufig zu Kontakten und Interaktionen der Bewohner des Flüchtlingslagers mit den lokalen Einwohnern kommt. Es ist daher möglich, dass das Flüchtlingslager nicht nur auf die umgebende Umwelt einwirkt, sondern seit seinem Bestehen auch direkte Auswirkungen auf die hier ansässigen Menschen hat.

Alix-Garcia, Bartlett und Saah [ALI-12] haben ein vereinfachtes Rahmenwerk geschaffen, das dabei helfen soll, die Wechselwirkungen zwischen der internen Vertreibung von Menschen, dem darauf folgenden Einsetzen von Hilfsmaßnahmen, daraus bedingten Auswirkungen auf das Preisniveau und dem Wohlergehen lokaler Haushalte zu analysieren. Getestet wurde dieser theoretische Ansatz anhand von Nyala, einem Handelszentrum und einer Ausgangsbasis humanitärer Hilfseinsätze während des Darfur- Konflikts im Süden des Sudan. Zunächst wird

davon ausgegangen, dass lokale Preise steigen, da die Produktivität der lokalen Landwirtschaft aufgrund von Unsicherheit und Gewalt rückläufig ist und auch der Handel mit benachbarten Regionen abnimmt. Gleichzeitig führen Hilfslieferungen zu einem Sinken der jeweiligen Preise, falls die entsprechenden zur Verfügung gestellten Güter außerhalb des betroffenen Gebiets und damit von anderen Märkten bezogen werden, was in Darfur der Fall war. Werden die entsprechenden Waren lokal bezogen, führt dies entsprechend zu einem Steigen der Preise. Das gleiche gilt für Lebensmittel, die nicht Teil der Lieferungen sind, bei denen der Preisanstieg dem erwähnten Rückgang des Handels und der Produktion geschuldet ist. Der Zufluss an Flüchtlingen und damit Arbeitskraft kann zu einem Sinken der Löhne führen, aber auch zu einem Sinken der Preise für arbeitsintensiv produzierte Waren. Nachfrageseitig kommt es aufgrund der steigenden Zahl an Vertriebenen und den Mitarbeitern der Hilfsorganisationen bei allen Gütern zu einem Anstieg – für Handelsgüter wie Nahrung und Kleidung wiederum nur, wenn der steigende Bedarf nicht durch Handel mit außenstehenden Regionen gedeckt werden kann. Das Preisniveau nicht-transportabler Güter wie zum Beispiel Unterkünfte ist allein von lokalen Gegebenheiten abhängig. Die wahrscheinlichen Auswirkungen verschiedener Faktoren auf die Preise unterschiedlicher Marktparten sind in Tab. 3 angeführt.

Market	War	Aid	IDPs	Humanitarians	Net price change
Labor	+/-	0	-	+	?
Non-aid tradables	+	+/0	+	+	+
Aid tradables	+	-	+	+	?
Housing	+	+/0	+	+	+

Tab. 3: Auswirkungen auf das Preisniveau durch steigende und senkende Faktoren (Quelle: [ALI-12] S. 375)

Die möglichen Einflüsse der zuvor beschriebenen Faktoren auf die Umwelt und das Gemeinwohl werden in Abb. 4 noch einmal genauer dargestellt. Sie können unterteilt werden in direkte Einwirkungen auf das allgemeine Wohlergehen aufgrund der Preisveränderungen und Auswirkungen auf die Umwelt durch Veränderungen in der Produktion.

Für Hilfsgüter, deren Nachfrage im Allgemeinen nicht von einer Veränderung des Preis-niveaus abhängig ist, gilt, dass die Käufer von sinkenden Preisen profitieren, während die Produzenten und Verkäufer einen Nachteil daraus ziehen. Bei steigenden Preisen verhält es sich genau umgekehrt. Preise von Nicht-Hilfsgütern und Nicht-Handelswaren, wie Unterkünften oder Essen in Restaurants, werden aufgrund der höheren Nachfrage durch Mitarbeiter von Hilfsorganisationen und der Flüchtlinge steigen, wodurch sich ein entsprechender Nachteil für die Konsumenten ergibt. Vorteile ergeben sich hier für die Produzenten dieser Güter, vor allem wenn die Nachfrage unabhängig vom Preisniveau bestehen bleibt, wie dies bei Unterkünften der Fall ist.

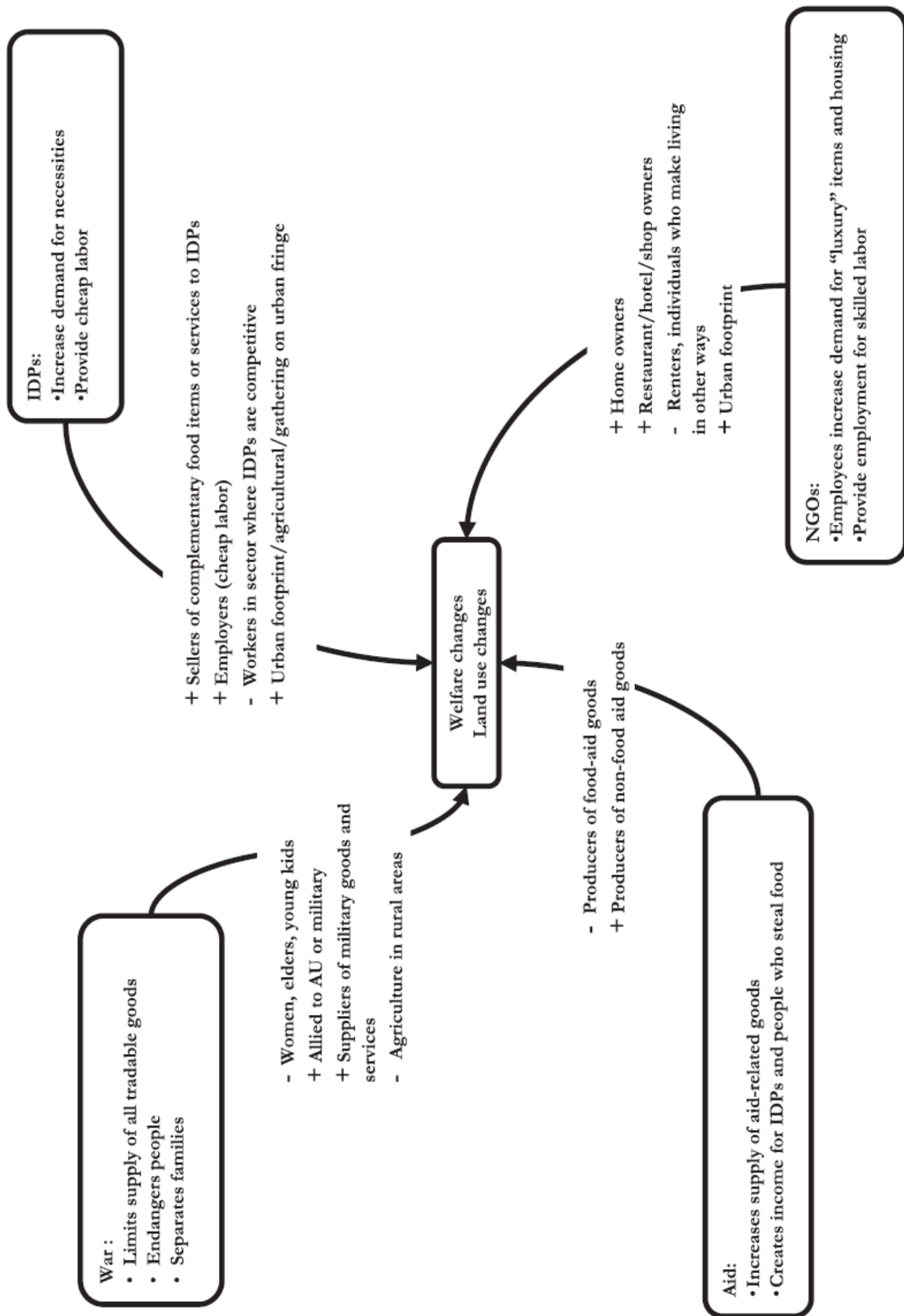


Abb. 4: Auswirkungen auf das Gemeinwohl und die Umwelt (Quelle: [ALI-12] S. 376)

Auch Anbieter von Dienstleistungen oder Waren, die speziell von Hilfsorganisationen genutzt werden, profitieren davon, da letztere im Allgemeinen auch über längere Zeit höhere Preise als lokal üblich bezahlen können, die Verschlechterung der Zustände der landwirtschaftlichen und sozialen Infrastruktur wirken sich hingegen auf alle Gruppen negativ aus. Während Rückgänge bei den Löhnen in Arbeitsbereichen, die auch von Flüchtlingen bedient werden, einen negativen Einfluss für die lokale Bevölkerung, die in ebendiesen Sektoren beschäftigt ist, bedeuten, sind für Einheimische, deren Fähigkeiten von Hilfsorganisationen benötigt werden, Zuwächse beim Einkommen möglich.

Große Änderungen bei Gütern mit Bezug zur Landfläche – Nahrungsmittel und Wohnbau – führen zwangsläufig zu Landnutzungsänderungen, wobei Alix-Garcia et. al. nicht auf direkte Kriegsfolgen wie Brandschatzung und das Verlassen von Siedlungen eingehen, sondern sich auf die Veränderungen im Bereich der urbanen Peripherie beschränken. Steigender Bedarf an den, die Hilfslieferungen ergänzenden, Nahrungsmitteln, Feuerholz zum Kochen sowie Unterkünften und eine gleichzeitig verminderte Verfügbarkeit dieser Güter aufgrund der Unsicherheit im umliegenden ländlichen Raum, führen zu einer Verteuerung der Produkte, für deren Produktion Land benötigt wird. Daraus resultiert eine steigende Entwaldung der Gebiete im Umfeld der Stadt, um den steigenden Bedarf nach Brennholz zu decken bzw. auf den freigewordenen Flächen Landwirtschaft zu betreiben oder Behausungen zu errichten. Da möglicherweise die Unsicherheit mit wachsender Entfernung zum Stadtzentrum zunimmt, konzentrieren sich die oben genannten Tätigkeiten auf den unmittelbaren Nahebereich zur Stadt.

Neben den bereits behandelten möglichen Auswirkungen von Flüchtlingen auf das Wohlergehen der lokalen Bevölkerung – vor allem in ökonomischer Hinsicht – und das Umland der betroffenen Städte, gibt es eine Reihe weiterer Konsequenzen, die sich aus der Unterbringung vertriebener Menschen in der Nähe von einheimischen Siedlungen ergeben können. So untersucht Javier Baez [BAE-11] die kurz- und langzeitigen Auswirkungen von großen, zeitlich begrenzten Flüchtlingsströmen aus Burundi und Ruanda im Jahr 1994 auf Kinder in der lokalen Bevölkerung in Kagera, einer Region im Nordwesten Tansanias. Für die kurzfristigen Folgen analysiert er Änderungen von Indikatoren, die im Allgemeinen mit Ernährung, Morbidität und Kindersterblichkeit assoziiert werden. Um Mangelernährung bzw. Unterentwickeltheit festzustellen – u.a. ausgelöst durch eine niedrige Nahrungsaufnahme über längere Zeit oder Eiweißmangel und beeinflusst vom Gesundheitszustand der Mutter gerade auch während der Schwangerschaft sowie der allgemeinen Umwelthygiene –, wurde auf den so genannten „height for age“ Z-Faktor (haz) zurückgegriffen. Die Krankheitsziffer wurde an der Wahrscheinlichkeit festgemacht, dass ein in die Studie eingeflossenes Kind in den zwei Wochen vor den von Baez durchgeführten Interviews an Diarrhoe oder Fieber erkrankt war. Die Kindersterblichkeit wurde aus der Wahrscheinlichkeit des Ablebens von Kindern unter fünf Jahren im Referenzzeitraum berechnet. Die Ergebnisse der Untersuchung weisen in den betroffenen Landstrichen für alle Indikatoren schlechtere Werte aus als in der Zeit vor dem Flüchtlingschock bzw. dem gleichen Zeitraum in den Kontrollgebieten. Dabei sind die Auswirkungen für Kinder in grenznahen Siedlungen, die entsprechend stärker von den Flüchtlingsströmen betroffen waren, größer als in den weiter entfernten Gebieten.

Diese Einflüsse in der frühen Kindheit können auch auf die spätere Entwicklung der betroffenen Menschen Auswirkungen haben und sich in negativer Weise auf die Schullaufbahn, die Entwicklung kognitiver Fähigkeiten, die Körpergröße im Erwachsenenalter oder die physische Produktivität und damit auf das Einkommen im Laufe des Lebens niederschlagen. In einer Analyse von Daten aus dem Jahr 2004 stellt Baez fest, dass Personen, die während der Ankunft der Flüchtlinge in Kagera zwischen null und fünf Jahre alt waren, als Jugendliche eine im Durchschnitt um 1,8 Zentimeter geringere Körpergröße aufweisen, ihre schulische Ausbildung um 0,2 Jahre kürzer war sowie die Lese- und Schreibfähigkeit um sieben Prozentpunkte niedriger ist als bei Menschen, die den Belastungen der Flüchtlingsströme nicht ausgesetzt waren.

Einen genaueren Blick darauf, wie langfristige Flüchtlinge sich bemühen, ihre Lebensgrundlage zu sichern, welche Konsequenzen dieses Streben hat und auf welche Art internationale Unterstützung hier helfen kann, untersucht Karen Jacobsen [JAC-2]. Das Bestreben eine gesicherte Existenzgrundlage zu erlangen, macht sie an der Verfügbarkeit, dem Ausmaß und der Mischung von *Ressourcen*, den *Strategien* wie auf diese Ressourcen zugegriffen wird und wie sie eingesetzt werden können und schließlich den *Zielen* sowie veränderlichen Prioritäten der Flüchtlinge fest ([JAC-12] S. 99f).

Ziele: Zu den unmittelbaren Anliegen von Flüchtlingen zählen physische Sicherheit vor Gewalt, persönlicher Bedrohung oder Einschüchterung, die Verringerung der wirtschaftlichen Verwundbarkeit und der Nahrungsmittelknappheit, das Finden eines Ortes, um sich niederzulassen sowie das Auffinden verlorener Familienmitglieder.

Sobald diese Bedürfnisse befriedigt sind, die Fluchtsituation aber weiterhin anhält, werden neue Ziele an Wichtigkeit gewinnen, die durch neue Erfahrungen und kulturelle Unterschiede, das erlangte Wissen um ihre Rechte als Flüchtlinge, neu erlernte Fähigkeiten oder ein Anwachsen der Ressourcen beeinflusst sein können.

Ressourcen: Flüchtlinge haben Zugang zu wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Ressourcen wie Haushaltsgütern, Finanzmitteln, sozialen Institutionen und Netzwerken wie Angehörigen, der Dorfgemeinschaft oder Autoritätsstrukturen. Ressourcen, die der lokalen Bevölkerung zugänglich sind – Land, (legale) Arbeitsplätze, Unterkunft oder Ähnliches –, bleiben Flüchtlingen oft verwehrt, dafür stehen ihnen aber unter Umständen andere Möglichkeiten offen, auf welche einheimische Personen nicht ohne weiteres zugreifen können. Dazu zählen u.a. transnationale Ressourcen, die von anderen Flüchtlingen oder im Ausland lebenden Landsleuten zur Verfügung gestellt werden wie beispielsweise finanzielle Mittel oder Flüchtlingsnetzwerke, die den Informationsfluss erhöhen und Handel oder Ortswechsel ermöglichen können. Auch Humankapital in Form von Bildung oder Fähigkeiten, die in der lokalen Bevölkerung nicht vorhanden sind, kann einen ökonomischen Vorteil verschaffen. Außerdem gibt es humanitäre Hilfe und Unterstützung, die oft in Güter umgewandelt werden, um mit ihnen Handel zu treiben. Diese, nur den Flüchtlingen zur Verfügung stehenden Mittel, werden oft genutzt, um sich Zugang zu lokalen Ressourcen zu verschaffen.

Strategien: Damit sind Handlungen gemeint, die von Flüchtlingen gesetzt werden, um Zugang zu benötigten Ressourcen zu erlangen und diese zu mobilisieren. So haben Männer, Frauen, aber auch Kinder – in den Gebieten, in denen Zuflucht gefunden wurde – Bewältigungsmechanismen und Strategien entwickelt, die es ermöglichen, Vorteile aus verschiedenen Situationen, Möglichkeiten und vorhandenen Ressourcen zu ziehen. Solche Vorgehensweisen können legal und von der lokalen Regierung und Hilfsorganisationen unterstützt sein, aber auch illegal wie Prostitution oder Schmuggel. Ein Bestreben der helfenden Organisationen muss es sein, legale Aktivitäten zu ermöglichen und zu fördern, während gleichzeitig die Anreize für illegale Tätigkeiten verringert werden bzw. deren Nachfrage gesenkt wird, da letztere sowohl den Flüchtlingen als auch der einheimischen Bevölkerung schaden und allgemein die Sicherheit in der Region verringern können.

Flüchtlinge versuchen, ihre Existenzgrundlage in zwei unterschiedlichen Sphären zu sichern. Die eine Sphäre ist der ihnen offiziell zugesprochenen Raum – zum Beispiel Flüchtlingslager oder organisierte Siedlungen –, wo sie in von Hilfsorganisationen geschaffenen Programmen aktiv sein oder sich unter Duldung der lokalen Regierung an landwirtschaftlichen Aktivitäten beteiligen können. Die andere Sphäre ist der informelle Sektor außerhalb der Lager, wo unabhängig siedelnde Flüchtlinge – aber auch manchmal jene aus Flüchtlingslagern – in doppelter Unsicherheit durch den Konflikt und ihren illegalen Status den Lebensunterhalt bestreiten. Dabei wechseln sie oft von einer Sphäre in die andere, nutzen Ressourcen in beiden und passen ihre Strategien entsprechend an.

Der Grad der Verwundbarkeit von Flüchtlingen sowie ihre Möglichkeiten eine Existenzgrundlage zu sichern, ist dabei u.a. davon abhängig, welche Richtlinien von dem Land, in dem Zuflucht gefunden wurde, vorgegeben werden. Von Seiten der Regierung des Gastlandes wird Flüchtlingen ein gesicherter Lebensunterhalt, vorwiegend durch mangelnden Schutz und fehlende physische Sicherheit, Restriktionen in Bezug auf Reise- und Niederlassungsfreiheit sowie Beschränkungen beim Besitzrecht und der Möglichkeit einer Beschäftigung nachzugehen, verwehrt, da der Wunsch besteht, dass Flüchtlinge nur temporär Schutz im Land finden und sich nicht dauerhaft niederlassen. Dazu kommt, dass sie oft als illegale Migranten betrachtet werden oder Flüchtlinge *prima facie* sind, ihre Ansprüche also nicht überprüft wurden und sie somit von der Staatsgewalt nicht den rechtlichen Status als Flüchtling zugesprochen bekommen.

Das wichtigste Instrument in der Einschränkung von Bewegungs- und Niederlassungsfreiheit auf formeller Ebene ist die Vorgabe, dass Flüchtlinge sich lediglich in Lagern oder geplanten Siedlungen – in einigen Fällen auch speziellen eingeschränkten Arealen – aufhalten müssen. In diesen offiziellen Lagern und Siedlungen werden die Grundbedürfnisse zumeist von Hilfsorganisationen gedeckt, da die Bewegungsfreiheit außerhalb der festgelegten Grenzen oft sehr eingeschränkt ist und ihre Bewohner nur bedingt die Möglichkeit haben, ihren Lebensunterhalt selbst zu bestreiten. Dies gilt besonders für Lager in Grenznähe zu Konfliktstaaten oder -gebieten, da hier die Sicherheitslage generell kritischer ist.

Trotz der Bestrebungen von Regierungen, Flüchtlinge nur in bestimmten Arealen anzusiedeln, lebt ein Großteil nicht in solchen Lagern, sondern hat Wege gefunden, sich inmitten der lokalen Bevölkerung niederzulassen, um dadurch einigen der Beschränkungen zu entgehen. Generell ist den Flüchtlingen bewusst, dass sich ihnen, abhängig von dem Ort, an dem sie leben – in Lagern und Siedlungen, inmitten der einheimischen Bevölkerung, in ländlichen Dörfern, in Städten oder in Stadtnähe –, unterschiedliche Möglichkeiten bieten, ihren Lebensunterhalt zu bestreiten, wobei alle diese Orte Vor- und Nachteile mit sich bringen.

Um aus eigener Kraft die Existenz sichern zu können, sind Flüchtlinge in verschiedener Hinsicht darauf angewiesen, Zugang zu für sie nutzbarem Land zu haben – Wasserquellen werden u.a. für Fischfang genutzt oder um Vieh zu tränken, Wälder liefern Feuerholz und Baumaterial, freies Land kann als Weideland oder für Feldbau genutzt werden. Bei landwirtschaftlich genutztem Land kann es zu Konflikten kommen, wenn zu wenig fruchtbare Fläche verfügbar ist und Flüchtlinge keinen Zugriff darauf bekommen, wenn sie verlassenes Land bestellen und die Vorbesitzer wieder zurückkommen oder auch wenn sie produktiver Landwirtschaft betreiben als die lokale Bevölkerung und so Missgunst entsteht. Umgekehrt ist es möglich, dass Flüchtlinge willkommen geheißen werden, wenn die vorhandenen Ressourcen aus Arbeitskräftemangel nicht vollständig genutzt werden können und mit ihrer Hilfe eine Steigerung der Produktivität zu erwarten ist. In Ländern, in denen die Regierung Flüchtlinge in Landwirtschaftssiedlungen unterbringt, werden diese mitunter direkt als Mittel zur Erschließung von ungenutztem Land genutzt. Für Menschen, die vom Pastoralismus leben und durch die Flucht ihre Viehbestände verloren haben, ist das wichtigste Ziel oft, diese wieder aufzustocken. Neben dem wichtigen Zugang zu Weideland und Wasser – der leicht zur Ursache von Konflikten zwischen der lokalen Bevölkerung und den Viehbesitzern werden kann – ist auch das Halten der Herden im Areal der Flüchtlingslager problematisch, weshalb oft Abmachungen mit den Einheimischen getroffen und zum Beispiel ortsansässige Kinder als Hirten angeheuert werden. Die negativen Auswirkungen, welche Flüchtlinge für ihr Umland mit sich bringen können – wie Entwaldung, Übernutzung der Böden, Verschmutzung von Wasserquellen –, wurden bereits erläutert. Diese Probleme dienen Regierungen oft als Rechtfertigung für die Vorgabe, dass Flüchtlinge sich mit beschränktem Handlungsfreiraum in Lagern ansiedeln müssen, auch wenn der Einfluss auf die Umwelt von selbstständig niedergelassenen Flüchtlingen nicht zwingend größer ist als der von verwalteten Siedlungen.

Auch wenn sich die Voraussetzungen in den vorgestellten Studien – zum Teil sehr deutlich – von den Gegebenheiten im Camp Djabal bzw. der Stadt Goz Beïda und ihrem Umland unterscheiden, ist es doch denkbar, dass einige der zuvor beschriebenen Auswirkungen und Phänomene auch hier zu finden sind. Obwohl das vom UNHCR gegründete und verwaltete Flüchtlingslager außerhalb des Stadtgebiets liegt, dessen Bewohner eine Grundversorgung mit Nahrungsmitteln vom World Food Programme (WFP) erhalten – es sich also nicht um IDPs handelt, die sich nach freiem Ermessen und unreglementiert niederlassen können, wodurch lokale Strukturen entsprechend belastet werden würden – und die Zahl der Flüchtlinge mit einem Höchststand von knapp 21.000 Einwohnern im Jahr 2014 um ein Vielfaches geringer ist als in Kagera mit einem Zustrom von 500.000 Menschen im Jahr 1994, ist davon auszugehen, dass sich der Druck auf die regionalen Märkte aufgrund der gestiegenen Nachfrage erhöht hat, der Konkurrenzdruck um verfügbare Arbeitsplätze in der Stadt gestiegen ist und die Belastung für die umgebende Natur durch die Bedürfnisse der Menschen größer wurde.

Die konkreten Auswirkungen, die eine große Anzahl an Flüchtlingen auf die Natur haben kann, beschreibt Urs Bloesch [BLO-01] anhand des Ereignisses, dessen Folgewirkungen auch Baez untersuchte, nämlich der Massenflucht von mehreren hunderttausend Menschen aus Ruanda und Burundi nach Tansania. In nur zwei Tagen zogen mehr als 400.000 Flüchtende aus Ruanda in die Nähe eines Staudammes, um sich in der Umgebung des Dorfs Kasulo niederzulassen. Dieses Gebiet war mit nur 50 Menschen pro Quadratkilometer äußerst spärlich besiedelt und Kasulo hatte weniger als 1000 Einwohner, bevor die Ankunft der Vertriebenen die Bevölkerungszahl des Distrikts Ngara vervierfachte. Obwohl weitere Flüchtlingslager gegründet wurden, verblieben im Bereich des so genannten Camp Benaco, mehreren Lagern im Umkreis von wenigen Kilometern, etwa 350.000 Menschen, auch weil nach der ersten Welle noch weitere Flüchtlinge in dieses Gebiet kamen. Neben Auswirkungen auf die sozioökonomische Situation der lokalen Bevölkerung – steigende Nahrungsmittelpreise, Holzknaptheit, zunehmende Kriminalität – sowie den Kurz- und Langzeitfolgen für die Kinder der Einheimischen, welche Baez untersuchte, hatte die enorme Anzahl an Menschen großen Einfluss auf die Umwelt in diesem Gebiet, bei dem es sich um eine relativ dicht bewaldete Savanne mit einer Baum- und Strauchbedeckung von 20 bis 40 Prozent handelt.

Direkt nach ihrer Ankunft wurde von den Flüchtlingen für ihre Unterkünfte benötigtes Material geschlägert und Feuerholz in der Umgebung der Lager gesammelt. Während die anfänglich hohe Nachfrage nach Baumaterial allerdings nach einiger Zeit zurückging, blieb der Energiebedarf für Kochen, Heizen, Beleuchtung etc. anhaltend hoch. Der tägliche Brennholzverbrauch war zunächst ungefähr 2,7 Kilogramm pro Person oder etwa 1200 Tonnen für die Flüchtlingsbevölkerung, was einen jährlichen Bedarf von 550.000 Kubikmetern bzw. 1,22 Kubikmetern pro Person und Jahr ergibt. Aufgrund des Rückgangs von verfügbarem Holz in der Umgebung der Lager und energiesparender Methoden, wie besseren Lehmöfen, ging der Holzverbrauch deutlich auf 1,65 Kilogramm pro Person und Tag – oder 580 Tonnen für die gesamte Flüchtlingsbevölkerung im Camp Benaco – zurück, was etwa der Hälfte des ursprünglichen Bedarfs entspricht. Um diesen enormen Bedarf an Feuerholz zu decken, wurde anfänglich täglich ein Bestand von 50 Hektar genutzt, wobei vorerst lediglich Totholz in der näheren Umgebung aufgelesen wurde. Mit der Zeit vergrößerte sich der Radius, in dem Holz gesammelt, aber auch geschlägert wurde, auf mehr als zehn Kilometer, wobei zunächst Hölzer mit schlechter Brennstoffqualität, Bäume, die von kultureller Bedeutung waren oder solche mit zu großem Umfang stehen gelassen wurden. Nachdem Feuerholz immer knapper wurde, ist man dazu übergegangen, im Nahbereich der Lager alles Holz zu nutzen, das irgendwie verfügbar war, sodass sogar Baumstümpfe entwurzelt wurden, wodurch der offene Boden Erosion und der Gefahr eines Verlustes von Fruchtbarkeit ausgesetzt wurde.

Als die Flüchtlinge das Gebiet nach etwa 2,5 Jahren wieder verließen, war eine Fläche von mehr als 500 Quadratkilometern von deren extensivem Holzfällen betroffen. Das Areal der Lager selbst sowie die unmittelbare Umgebung waren komplett entwaldet und der nackte Boden dem Risiko der Erosion ausgesetzt. Mit steigender Entfernung zu den vormaligen Camps nahm das Ausmaß der Schlägerungen ab und eine durchgehende Grasbedeckung sorgte gemeinsam mit zurückgebliebenen Wurzelsystemen für einen gewissen Schutz des Bodens gegen Oberflächenerosion. Allerdings änderte sich die lokale Hydrologie durch die verringerte

Vegetationsbedeckung, sodass der Abfluss verschiedener Wasserquellen zurückging und offene Wasserflächen austrockneten.

Auch für die Flüchtlingslager in den Verwaltungsbezirken Maban und Pariang im Südsudan hat Bloesch in einer Studie aus dem Jahr 2013 deren Auswirkungen auf die Umwelt, besonders in Bezug auf Baum- und Strauchbestand, untersucht [BLO-15c]. Neben dem schon bekannten Holzbedarf für den Bau von Unterkünften und als Energiequelle, wird Holz für den Bau von Latrinen genutzt und – was die Entwaldung besonders schnell vorantreibt – die illegale Herstellung von Holzkohle. Allerdings betrug der Umkreis um die spontan entstandene und kaum durch das UNHCR unterstützte Siedlung Yida, in dem der Großteil der Bäume bereits abgeholzt wurde, zum Zeitpunkt der Untersuchung erst etwa zwei Kilometer. Auch bei dieser Studie zeigte sich, dass der Radius der Entwaldung um die Siedlungen stetig zunahm, während das Ausmaß der Schlägerungen mit steigender Entfernung geringer wurde. So wie in den vorangegangenen Studien erläutert, erzeugte der Bedarf der Flüchtlinge an natürlichen Ressourcen – Wasser, Weidefläche und Land für den Feldbau – erhöhten Stress für das lokale Ökosystem mit dem inhärenten Risiko über dessen Belastungsgrenze zu gehen und sorgte so für zusätzliche Spannungen mit der einheimischen Bevölkerung. Während der Trockenzeit werden außerdem jährlich große Gebiete, die unter dem Einfluss der Flüchtlinge stehen, abgebrannt, was einerseits zum Ausstoß einer großen Menge an Treibhausgasen führt und andererseits – wenn es gegen Ende der Trockenzeit geschieht – auch Bäume und Sträucher töten und somit zu einer permanenteren Öffnung der Vegetationsbedeckung der Savannen führen kann. (vgl. [WUK-15] S. 9f).

Erneut muss betont werden, dass sich die geschilderten Szenarien deutlich von den Gegebenheiten im und um das Flüchtlingslager Djabal und Goz Beida unterscheiden, zum einen weil die Anzahl der Flüchtlinge mit „lediglich“ 20.000 im Fall von Camp Djabal um ein Vielfaches geringer ist, zum anderen weil es sich um ein Flüchtlingslager handelt, das vom UNHCR gegründet wurde und verwaltet wird, sodass zumindest ein gewisses Maß an Kontrolle gegeben ist. Dennoch kann angenommen werden, dass sich – in signifikant kleinerem Maßstab – ähnliche Auswirkungen für die Umwelt in der Umgebung des Lagers ergeben, da auch die Bewohner des Camps zumindest teilweise auf Ressourcen aus der umgebenden Natur für den Bau ihrer Unterkünfte bzw. als Energiequelle angewiesen sind.

2.2 Methodischer Ansatz zur Beantwortung der Fragestellungen

Bei der Erforschung von Landnutzungs- und Landbedeckungsänderungen mit Hilfe der Fernerkundung kommen je nach Thematik und Fragestellung unterschiedlichste Methoden zum Einsatz. Auch die gewählten Sensoren bzw. die Verwendung der von ihnen aufgenommenen Daten sind abhängig von den Rahmenbedingungen der jeweiligen Studie. Zumeist wird aber – abhängig von ihrer Verfügbarkeit und den vorhandenen Möglichkeiten – von einer Kombination aus verschiedenen Satellitendaten, Luftbildern und Feldstudien vor Ort Gebrauch gemacht. Die Erhebungen im Untersuchungsgebiet selbst dienen dabei der genaueren Ermittlung unterschiedlicher Landbedeckungsklassen, helfen bei der späteren Zuordnung von einzelnen Kategorien zu den entsprechenden Standorten mittels genauer GPS-Position und bieten eine Möglichkeit, die im Verlauf der Studie erhaltenen Klassifikationsergebnisse zu validieren sowie die Güte des Endresultats zu überprüfen. Im folgenden Abschnitt werden die

Methoden einiger Studien vorgestellt, um aus den verschiedenen Vorgehensweisen einen methodischen Ansatz für die Beantwortung der Fragestellungen der vorliegenden Masterarbeit abzuleiten.

2.2.1 Untersuchungen zu LULCC in der Sahelzone

Giles Foody beobachtet in seiner Studie [FOO-01] das Ausmaß von LCC entlang der Übergangzone zwischen Sahelzone und Wüste am südlichen Rand der Sahara in der Periode von 1982 bis 1990, wobei er den Fokus auf zwischenjährliche Fluktuationen des Ausbreitungsgebiets der Sahara legt. Mittels einer globalen Landbedeckungskarte aus dem Jahr 1984, *Normalized difference vegetation index* (NDVI) Daten aus dem Pathfinder-Archiv der NOAA/NASA und radiometrisch kalibrierten AVHRR Bilder mit 8 Kilometern Bildauflösung definiert er einen Schwellenwert für die Landbedeckungsklasse *Wüste*. Nachdem aus den monatlichen NDVI-Daten Bilder der jährlichen Maximalwerte generiert wurden, erfolgt eine Klassifizierung des Bildmaterials für jedes Jahr. Diese Aufschlüsselung trifft anhand der unterschiedlichen NDVI-Werte Aussagen über den Grad der Zugehörigkeit des jeweiligen Pixels – und damit des entsprechenden Ausschnitts der 64 Quadratkilometer großen Landfläche – zur definierten Klasse *Wüste*. Unterschiede in der Klassifikation zweier aufeinanderfolgender Jahre geben Auskunft über interannuale Schwankungen der Zugehörigkeit. Des Weiteren erfolgt eine zweite Klassifizierung, bei der jedem Pixel der Wert jener Klasse – *Buschland*, *Strauchsavanne* oder *Wüste* – zugewiesen wird, zu der es den höchsten Grad der Zugehörigkeit aufweist. Ein Vergleich dieser beiden Klassifikationen zeigt schließlich Veränderungen der Landbedeckung auf, wobei sich anhand der Ergebnisse nicht nur Aussagen darüber treffen lassen, ob ein Wechsel der Landbedeckung stattgefunden hat, sondern auch wie komplett sich der Übertritt von einer Klasse zu einer anderen vollzog.

Die Korrelation zwischen Niederschlag und Vegetationsdynamik in der Sahelzone Westafrikas untersuchen Mirco Boschetti et al. [BOS-13] unter Verwendung von NDVI-Daten des SPOT-VGT und Niederschlagsschätzungen des FEWS-RFE Programms der Jahre 1998 bis 2010. Frühere Untersuchungen der Vegetationsdynamik der Sahelzone haben gezeigt, dass das Klima hauptverantwortlich für die Dürrekrise in der Sahelzone während der 1970er- und 1980er-Jahre war und ein erneutes Grünen ab den 1980ern bis zur Jahrtausendwende lässt vermuten, dass der menschliche Einfluss auf subkontinentaler Ebene nicht so groß ist, wie ursprünglich angenommen. Mehrere Krisen auf lokaler und regionaler Ebene, die sich trotz des Erstarkens der Vegetation in den letzten Jahrzehnten ereignet haben, verlangen jedoch eine detailliertere Betrachtung, weshalb besonderes Augenmerk auf das Feststellen und Ausweisen lokaler Anomalien in der Umwelt, bei denen signifikante Schwankungen des Vegetationszustands nicht durch saisonale Niederschlagsänderungen erklärt werden können, gelegt wird. Einige dieser Areale werden schließlich mit Hilfe von höher aufgelösten Landsat-Bildern genauer untersucht, um die Vertrauenswürdigkeit der festgestellten Abweichungen zu evaluieren und sie zu deuten.

Die NDVI-Zeitreibendaten, die als Indikator für die Produktivität der Vegetation genutzt werden, wurden über den Vegetation-Sensor (VGT) an Bord der Satelliten SPOT 4 und 5 als Zusammenstellung von Zehn-Tages-Maximalwerten für den Zeitraum von April 1998 bis

Dezember 2010 bezogen und liegen in einer Auflösung von einem Kilometer Pixelgröße vor. Die Niederschlagsdaten stammen vom Famine Early Warning Systems Network (FEWS), wobei die Regendaten aus Satellitenmessungen – Rain Fall Estimates (RFE) in Millimeter pro Tag – geschätzt werden. Diese Daten liegen seit dem Jahr 1996 in einer räumlichen Auflösung von acht Kilometern als Zehn-Tages-Synthese vor, wobei sie durch Resampling auf eine Auflösung von einem Kilometer gebracht wurden, um mit den SPOT-Daten kompatibel zu sein. Zusätzlich wurden ergänzende Informationen zu Landbedeckung, ökologischen Zonen, landwirtschaftlichen Aktivitäten sowie humanitären Krisen hinzugezogen, um eine Interpretation der Analyseergebnisse der Satellitendaten zu erleichtern. Um Autokorrelationen und damit fehlerhafte Trends bei der NDVI-Zeitreihe zu vermeiden, wurden die Daten der Monate Juli bis Oktober kumuliert und dadurch „jährliche“ Werte generiert. Des Weiteren wurde auch aus den Niederschlagsdaten die Jahressumme errechnet. Die mit diesen beiden jährlichen Werten durchgeführte Korrelationsanalyse ermöglicht es schließlich, den Zusammenhang zwischen dem Grün der Vegetation, also ihrer Gesundheit, und Regen abzuschätzen. Mittels Analyse der standardisierten NDVI-Jahreswerte wurde die zeitliche Dynamik der Vegetationsbedeckung untersucht. Für eine Auswahl an Gebieten mit festgestellter Anomalie – also unerklärter Zunahme oder Degeneration der Vegetation – wurden Landsat-Bilder mit einer Auflösung von 30 Metern jeweils vom Beginn und dem Ende des Untersuchungszeitraums – vorzugsweise aufgenommen zu einem Zeitpunkt am Ende der Regenzeit, um eine bessere Unterscheidung der verschiedenen Landbedeckungsarten zu gewährleisten – beschafft und jeweils ein 35 mal 35 Kilometer großer Ausschnitt extrahiert. Diese wurden anhand von Trainingssätzen, basierend auf Bildinterpretation, Analyse der spektralen Merkmale sowie auf Ortskenntnissen beruhender Expertenevaluation, mittels *supervised Maximum Likelihood Classification* in die Landbedeckungsklassen *Buschsteppe*, *krautige Vegetation*, *Wasser* und *nackter Boden* eingeteilt. Aus einem Vergleich dieser klassifizierten Bilder wurden LCC-Karten erstellt, die jeweils einen Vegetationszuwachs – durch Erhöhung der Bedeckung bzw. der Bewuchsdichte von Büschen und Gräsern –, einen Vegetationsverlust – aufgrund einer Ausbreitung von nacktem Boden oder Wasserflächen auf ein vormals vegetationsbedecktes Gebiet – oder einen stabilen Zustand der Vegetationsbedeckung ausweisen.

Eine dritte Studie, die sich mit LULCC in großem Maßstab auseinandersetzt, wurde von Babamaaji und Lee durchgeführt, welche die Landbedeckung und deren Veränderungen im Becken des Tschadsees anhand von Satellitenbildern der 1970er-Jahre sowie der Jahre 1991 und 2006 analysiert haben [BAB-14]. Die aufgenommenen Bilder stammen von Landsat MSS- und TM-Sensoren sowie NigeriaSat-1 und liegen in einer Auflösung von 32 (NigeriaSat-1), 30 (Landsat TM) bzw. 80 Metern (Landsat MSS) vor. Die Einteilung in acht Landbedeckungsklassen (*Unclassified*, *Water bodies*, *Vegetation*, *Cropland*, *Grassland*, *Shrub land*, *Farmland/ irrigated land*, *Bare land*) erfolgte mittels *unsupervised classification* für die MSS-Aufnahmen der Jahre 1975 bis 1979 bzw. mittels *supervised Maximum Likelihood Classification* für die TM-Bilder des Jahres 1991 und für jene von NigeriaSat-1 aus dem Jahr 2006. Eine Überprüfung der Klassifizierungsgüte wurde mit Hilfe von Kenntnissen der Beschaffenheiten vor Ort, Google Maps sowie Globcover-Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten durchgeführt. Ein Vergleich der Klassifizierungsergebnisse gibt

schließlich Auskunft über Ausmaß und Richtung der Veränderungen bei Landnutzung und -bedeckung.

2.2.2 Kleinräumige Untersuchungen zu LULCC in Afrika

Auch Studien zu LULCC in kleinräumigeren Gebieten greifen vorwiegend auf Landsat-Daten zurück, um, nach erfolgter Klassifikation bzw. Berechnung der NDVI-Werte, Landnutzungsänderungen zwischen verschiedenen Zeitpunkten auszuweisen. Kiage et al. [KIA-07] untersuchen mit Hilfe von Landsat 5 TM und Landsat 7 ETM+ Daten vom 27. Januar 1986 bzw. 28. Januar 2000 Landnutzungsänderungen im Zusammenhang mit Landdegradation im 8655 Quadratkilometer großen Einzugsgebiet des Baringo-Sees in Kenia. Ausgewertet wurden die Ergebnisse der NDVI-Berechnung, der *Tasseled-Cap Transformation* sowie der *unsupervised classification* durch *Interactive Self-Organizing Data Analysis (ISODATA)*. Anschließend wurden die erhaltenen Resultate mit Hilfe von Landnutzungskarten sowie während Feldstudien gesammelter Daten und GPS- Koordinaten validiert.

Reid et al. [REI-00] greifen bei ihrer Studie zu LULCC als Reaktion auf klimatische, biologische und sozio-politische Kräfte in einem 40 mal 55 Kilometer großen Gebiet im Südwesten Äthiopiens auf Luftbilder sowie Landsat-Aufnahmen zurück. Während für die Satellitenbilder *Ground Truthing* durchgeführt wurde – für jene aus dem Jahr 1993 wurden 130 georeferenzierte Referenzpunkte aufgenommen und für das Jahr 1987 wurden Landwirte bei den 130 erfassten Positionen interviewt, um die Landnutzungsart sechs Jahre zuvor zu ermitteln –, haben die Autoren darauf bei den Luftbildern verzichtet. Die Klassifizierung in vier breitgefaste Landnutzungsklassen erfolgte für Luft- und Satellitenbilder per Hand und die Daten der geänderten Landnutzung wurden mittels Kreuztabelle in einem GIS-Programm analysiert.

Änderungen der Landbedeckung des Mara-Ökosystems, dem 1523 Quadratkilometer großen Umland eines Naturschutzgebiets in Kenia, untersuchten Serneels et al. [SER-01]. Für eine Analyse in grober Auflösung wurden NOAA/NASA Pathfinder AVHRR PAL-Daten der Periode 1981 bis 1994 mit acht Kilometern Auflösung und NOAA AVHRR GAC-Daten für den Zeitraum von 1982 bis 1991 mit einer Pixelgröße von fünf Kilometern herangezogen. Des Weiteren wurden tägliche Niederschlagsdaten der meteorologischen Station in Narok zu monatlichen Gesamtwerten aggregiert. Die Untersuchungen mit hoher räumlicher Auflösung basieren auf einem Landsat MSS-Bild vom 29. Juli 1975 und zwei Landsat TM-Szenen vom 9. Januar 1985 bzw. 21. Januar 1995. Das Merkmal, welches als Indikator für Landbedeckungsänderungen herangezogen wurde, ist – für beide Auflösungen – der NDVI. Die finale Karte der Landbedeckungsänderungen wurde durch Erhebungen vor Ort im Jahr 1998 validiert. Dabei wurden einerseits Bereiche mit erheblichen Änderungen der Landbedeckung und andererseits zu Kontrollzwecken auch solche ohne Veränderungen aufgesucht, um den aktuellen Zustand der Vegetation zu analysieren und soweit möglich, in Gesprächen mit ortsansässigen Personen, Informationen zu früherer Vegetationsbedeckung zu sammeln. Für einige Gebiete wurden zusätzlich Luftbilder aus den 1980er-Jahren für die Validierung genutzt.

2.2.3 Studien zur Erfassung von Brandflächen in Satellitenbildern

Für die Erfassung von Brandflächen in Satellitenbildern gibt es verschiedenste Methoden und Herangehensweisen. Jill Norton evaluiert in ihrer Studie [NOR-15] zehn verschiedene Indices für die Ermittlung von Brandflächen und den Schweregrad der Brände, also die Vollständigkeit mit welcher die Oberflächenvegetation von einem Brand vernichtet wurde. Erhebungen aus Feldstudien vor und nach den Bränden dienen als Bodenkontrolle bei der Bildverarbeitung der Landsat ETM+ und SPOT 5 Daten.

Die traditionelle Herangehensweise, die Brandflächen und den Grad der Verbrennung durch Schätzung des Verlustes an Biomasse bestimmt, ist der NDVI. Dieser wurde um 1999 mit der Entwicklung des NBR von diesem als weit verbreitete Methode abgelöst, vor allem bei großen Bränden, die eine Fläche von mehr als zwei Quadratkilometern betreffen. In der Studie wird der NBR Index durch Korrelierung mit dem *Composite Burn Index* (CBI) evaluiert. Dabei wird in Feldstudien mittels visueller Bemessung des Schweregrads eines Feuers in einzeln untersuchten Sektoren ermittelt (vgl. [KEY-99]) wie sehr sich der CBI mit den radiometrischen Messungen der Sensoren deckt. In den Index fließen Daten über den Anteil des vom Feuer vernichteten Blattwerks, Streu und Moos ein, aber auch des Neuaustreibens der Vegetation.

Der *differenced NBR* (dNBR) ist ein skaliertes Index des Ausmaßes der vom Feuer ausgelösten Veränderung und liefert in der Studie eine quantitative Messung der Umweltveränderungen durch die Brände bzw. die Zeitdifferenz zwischen den Aufnahmen der Bilder (vgl. [WAG-04]). Abhängig davon, wie lange die Vegetation einer betroffenen Fläche braucht, um zu den, vor dem Feuer vorhandenen, Reflektionswerten zurückzukehren, ist die Verwendung von NBR und dNBR mehr oder weniger sinnvoll. Ihre Nützlichkeit ist also abhängig von der jeweils betroffenen Landschaftsform. Weitere *Multi-Date Indices*, die evaluiert werden, sind der *post-fire NDSWIR* (pNDSWIR), dessen Resultate mit dem NDSWIR verglichen werden, der *relative differenced NBR* (RdNBR), welcher besser für die Unterscheidung zwischen Flächen mit hoher und mäßiger Brandintensität geeignet ist, der *Modified NDVI* für SPOT-Daten, bei dem das NIR durch das SWIR-Band ersetzt wird sowie der *relative modified NDVI* (rModNDVI).

Zur Anwendung gekommene *Single-Date Indices*, bei denen *post-fire* Satellitenaufnahmen verwendet werden, um verbrannte von nicht verbrannten Gebieten zu unterscheiden, umfassen den *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), bei dem der Einfluss von Bodenhelligkeit und Variationen der Böden durch die Verwendung eines konstanten *soil adjustment factors* vermindert wird, den *Modified Soil Adjusted Vegetation Index* (MSAVI), der aufgrund des Einsatzes eines variablen *soil adjustment factors* geeignet ist, starke Reflektionen nackter Böden zu berücksichtigen und damit das Nachweisen von Vegetation in ariden Gebieten ermöglicht sowie den *normalized difference SWIR* (NDSWIR), der aus den *Near-Infrared* (NIR) und *Short-Wave-Infrared* (SWIR) Bändern des SPOT Satelliten gebildet wird (vgl. [GER-03]). Bei den Landsat-Aufnahmen werden die Indices SAVI, MSAVI, dNBR, NDSWIR und RdNBR evaluiert, für die SPOT 5-Daten sind es SAVI, MSAVI, pNDSWIR, rModNDVI und SWIR.

Bei den Indices, die zwischen verbrannten und nicht-verbrannten Flächen unterscheiden sollten, weisen dNBR, RdNBR, MSAVI und SAVI annähernd gleich gute Resultate auf und lediglich die Exaktheit der NDSWIR-Ergebnisse ist etwas geringer. Die Treffgenauigkeit der Indices, die Aussagen über den Schweregrad der Brände treffen sollten, ist insgesamt weniger

homogen, wobei auch hier der NDSWIR die unpräzisesten Ergebnisse liefert. Die größte Exaktheit weist der RdNBR auf und die Werte von dNBR, MSAVI sowie SAVI liegen etwa in der Mitte zwischen RdNBR und NDSWIR. Insgesamt liefern die Fernerkundungs-Indices für die Unterscheidung zwischen verbrannten und nicht verbrannten Gebieten deutlich bessere Ergebnisse als bei der Beurteilung des Schweregrads der Verbrennung.

In der Studie von Bastarrika et al. [BAS-11] zur Kartierung verbrannter Gebiete nach der Brandsaison des Jahres 2003 in Portugal und Südkalifornien mittels Landsat-Aufnahmen kommen neben der Bandkombination TM7-TM4-TM3 RGB Farbkomposit zur visuellen Identifizierung betroffener Areale, bei der Brandflächen in verschiedenen Magenta-Abstufungen erscheinen, ebenfalls unterschiedliche Indices zum Einsatz. Die Autoren unterteilen die Inputbänder in drei Kategorien – sichtbare Bänder (VIS) im Bereich 0,4 bis 0,7 μm und nahes Infrarot (NIR) der Wellenlängen 0,7 bis 1,2 μm ; VIS, NIR und das erste SWIR-Band, das die Wellenlängen zwischen 1,5 und 1,8 μm erfasst sowie VIS, NIR und beide SWIR-Bänder (das zweite deckt den Wellenlängenbereich von 2 bis 2,2 μm ab) –, aus denen die entsprechenden Indices errechnet werden. Aus der ersten Kategorie werden der NDVI, der *Global Environment Monitoring Index* (GEMI) – ein nicht-linearer Index, der entworfen wurde, um Störeinflüsse der Atmosphäre zu minimieren (vgl. [PIN-92]) – und der Burned Area Index (BAI, vgl. [SCH-14]) gebildet. Ergänzt durch das erste SWIR-Band, wird aus der zweiten Kategorie der NBR sowie der *improved BAI* (BAIM, vgl. [MAR-05]), bei dem das rote Band durch SWIR 1 ersetzt wird, berechnet und aus Kategorie drei werden die Indices NBR und BAIM, jeweils unter Verwendung von SWIR 2 anstelle SWIR 1 sowie der *Mid-Infrared Burn Index* (MIRBI, vgl. [TRI-01]) erstellt. Berechnet werden die genannten Indices sowohl für die Bilder, die nach den Bränden aufgenommen wurden, als auch für die Veränderungen im Zeitraum zwischen *post-* und *pre-fire* Aufnahmen der Jahre 2003 und 2002. Ausgehend von den im Farbkomposit-Bild festgestellten Pixeln, die mit Sicherheit verbrannte Flächen darstellen und die für die weitere Analyse als Beispielpixel dienen, werden zuerst anhand der genannten Indices die Kernbereiche der Brände ermittelt, bevor mittels *region growing* Algorithmus die Randbereiche der verbrannten Areale überprüft und der wahrscheinlichsten Klasse – *burned* oder *unburned* – zugeordnet werden. Die Validierung erfolgt mittels offizieller Feuerstatistiken der Forstdienste von Portugal bzw. Kalifornien.

Hudak und Brockett [HUD-04] kartieren in ihrer Studie Brandnarben in der semiariden Savannenlandschaft an der Grenze zwischen Botswana und Südafrika. Dabei werden für den Zeitraum von 1972 bis 2002 aus Landsat-Daten des 2500 Quadratkilometer großen Untersuchungsgebiets 22 Karten der jährlich insgesamt verbrannten Gebiete erstellt. Alle Spektralkanäle der jeweiligen Bilder – vier für den MSS-Sensor, sechs für TM und ETM+ – werden einer nicht standardisierten Hauptkomponententransformation (*principal components transformation* - PCT) unterzogen und mit den erhaltenen Ergebnissen wird eine überwachte Klassifikation durchgeführt. Auf die nicht standardisierte PCT wird gesetzt, da eine konservative Kartierung der Brandflächen – und damit eine Minimierung der *commission errors* – gewünscht ist, wodurch Areale, deren Zustand nicht eindeutig feststellbar ist, nicht als verbrannt klassifiziert werden. Die standardisierte PCT scheint im Gegensatz zur angewendeten Methode *omission errors*, also Auslassungsfehler, zu reduzieren, was bedeutet, dass im Zweifel

mehr Pixel als verbrannt klassifiziert werden als tatsächlich vom Feuer betroffen sind. Die generierten individuellen Bilder werden zunächst zu Karten, welche die jährlichen Brandflächen ausweisen, aggregiert und anschließend wird ein 3x3 Mehrheitsfilter angewendet, der das Rauschen reduzieren soll. Die Validierung der Ergebnisse unterschiedlicher Daten erfolgt mittels hochauflösendem SPOT-Bild, einer unabhängig hergestellten *fire severity* Karte, Daten der *Southern African Fire-Atmosphere Research Initiative* (SAFARI 2000) sowie aus einem Helikopter aufgenommenen GPS-Positionen von Bränden.

2.2.4 *Entwicklung und Situation des Camp Djabal*

Wie bereits in einem früheren Kapitel erwähnt, besteht das Flüchtlingscamp Djabal seit Juni 2004 und weist seit seiner Eröffnung beinahe durchgehend steigende Bevölkerungszahlen auf. Neben der Stadt Goz Beïda, die sich in unmittelbarer Nähe zum Flüchtlingslager befindet, ist Camp Djabal umgeben von mehreren IDP-Lagern, die von Einheimischen bevölkert werden, die aufgrund von Gewalt zwischen Bevölkerungsgruppen aus ihren Dörfern fliehen mussten.

Wenngleich der verfügbare Platz es gestatten würde, hindern lokale Milizen die Bewohner des Camp Djabal daran, Ackerbau zu betreiben oder mit anderen Mitteln ihren Lebensunterhalt zu bestreiten. Speziell die Frauen und Kinder des Lagers laufen Gefahr während des Sammelns von Holz und Stroh von bewaffneten Gruppen angegriffen zu werden. Überschüssiges Feuerholz wird von den Campbewohnern nach Goz Beïda gebracht, wo sie versuchen, es zu verkaufen, um mit dem erhaltenen Geld zusätzliche Nahrungsmittel wie Gemüse oder Fleisch zu beschaffen [URL:ENO].

Obwohl das UNHCR gemeinsam mit dem WFP zunächst die Ernährung der Flüchtlinge übernahm [URL:UNHb] und auch weiterhin Nahrungsmittellieferungen durchführt ([URL:WFPa] [URL:WFPb]), um damit ein Überleben der Flüchtlinge zu sichern [URL:REL], bleibt ihre Versorgung dennoch ein heikles Thema. Da die Bewohner des Lagers keine Möglichkeit haben, selbst Landwirtschaft zu betreiben, sind sie auf die vollen Essensrationen von 2100 Kilokalorien angewiesen [URL:IRI]. Diese Rationen mussten allerdings aufgrund von Unterfinanzierung mehrmals gekürzt werden [URL:SUD] und umfassen mit lediglich 850 Kilokalorien nunmehr weniger als die Hälfte der ursprünglich vorgesehenen Menge an Nahrungsmitteln [URL:DOR]. Dies zwingt die Bewohner der Lager mitunter dazu, Brot zu essen, das auch giftige Samen enthält oder in Ameisenhöhlen nach Essbarem zu suchen [URL:DAB]. Auch die Versorgung mit Trinkwasser, die zunächst mit Hilfe eines Projekts der „we are water“ Foundation und Oxfam sichergestellt wurde [URL:WEA], ist prekär und droht schwerwiegende Auswirkungen auf die Bewohner der Flüchtlingslager zu haben [URL:SUD].

Neben der schwierigen Versorgungslage der Camps im Osten des Tschad sorgen Konflikte zwischen einheimischen Rebellengruppen und Regierungstruppen [URL:REL], Überfälle von Reitermilizen aus der sudanesischen Region Darfur auf Dörfer in Grenznähe im Tschad [URL:UNHb] und das erneute Anfachen des Konflikts in Darfur [URL:DERa] mit abermaligen großen Flüchtlingsbewegungen [URL:DERb] für eine anhaltend angespannte Lage in der Region und lassen auch nach mehreren Jahren im Flüchtlingslager eine Rückkehr der Bewohner in ihre Heimatdörfer unmöglich erscheinen ([URL:REL] [URL:IRI] [URL:SUD]).

Ausgehend von den vorgestellten Studien und den beschriebenen Zuständen in und um das Lager Djabal stellt sich der methodische Ansatz zur Beantwortung der Fragestellungen der vorliegenden Masterarbeit wie folgt dar:

- Das Untersuchungsgebiet wird auf ein Areal von etwa 15 Kilometern Radius um das Flüchtlingslager begrenzt, da angenommen wird, dass keine größere Distanzen an einem Tag zurückgelegt werden
- Umrechnen der Daten zu TOA-Reflektionswerten
- Untersuchung von LULCC und dem Zustand der Vegetation mittels NDVI und SAVI:
 - Vergleich der Monatswerte der einzelnen Jahre, um Änderungen der Landnutzung und -bedeckung festzustellen
 - Wenn möglich Aggregieren der Indexwerte aus der Regenzeit, um ein Regenzeit-Maximum zu erhalten, mit dem eine Change Detection Analyse durchgeführt wird
 - Aggregieren der Jahresmaxima, um Entwicklungstrends der Vegetationsbedeckung festzustellen
- Pre-Classification der Landbedeckung mittels SIAMTM für spätere Detektion von LULCC und Brandflächen
- Berechnen unterschiedlicher Indices, um Brandrodungsflächen auszuweisen:
 - NDVI
 - SAVI
 - NBR
 - dNBR
- Supervised Classification der Brandflächen
 - Aggregieren der Brandflächen einer Saison, um Karten der jährlichen Brandrodung zu erstellen
- Supervised Classification der Ackerbauflächen
- Analyse der Ergebnisse

Da für eine Verifizierung der Analyseergebnisse keine Referenzdaten zur Verfügung stehen – eine Erfassung von Kontrollpunkten ist aufgrund der Sicherheitslage vor Ort und der Abgeschiedenheit des Flüchtlingslagers nicht zu bewerkstelligen, Karten oder Luftbilder in entsprechender Auflösung stehen nicht zur Verfügung, hochaufgelöste Satellitenbilder (z.B. von OrbView-, IKONOS-, GeoEye- oder WorldView- Satelliten) müssten käuflich erworben werden und das aktuellste, hochaufgelöste Bild in Google Maps/Earth stammt aus dem Jahr 2004 –, soll versucht werden, die gestellten Fragen auf mehrere Arten und unter Verwendung verschiedener Methoden zu beantworten. Klassifizierungen erfolgen konservativ, um *commission errors* gering zu halten und die Auswertung der Ergebnisse erfolgt nach bestem Wissen und Gewissen im Hinblick auf die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten.

2.3 Grundlagen satellitengestützter Fernerkundung

2.3.1 Passive Systeme

Passive Fernerkundungssysteme erfassen elektromagnetische Strahlung, die entweder von dem zu beobachtenden Objekt selbst ausgestrahlt wird – wie zum Beispiel über die Oberflächentemperatur abgegebene Thermalstrahlung – oder von dem Objekt reflektierte Strahlung, wie die von der Erdoberfläche reflektierte Sonnenstrahlung ([URL:FELa]). Aus der Abhängigkeit passiver Systeme von der natürlichen elektromagnetischen Strahlung ergibt sich, dass deren Einsatzmöglichkeit stark von Einflüssen eingeschränkt wird, die diese Strahlung verändern. Zu diesen begrenzenden Faktoren zählen u.a. Bewölkung, Nebel oder Rauch in der Luft, aber auch der Tag-Nacht-Wechsel.

Zu den passiven Systemen zählen vorwiegend optische Aufnahmesysteme wie Luftbild-, Video- und Fotokameras sowie Multispektralscanner und abbildende Spektrometer, aber auch Thermalscanner, Gammastrahlungsspektrometer und passive Mikrowellenradiometer ([URL:GEO]).

2.3.2 Aktive Systeme

Im Gegensatz zu passiven Systemen senden aktive Fernerkundungssysteme selbst elektromagnetische Strahlung (bzw. Schallwellen) aus, die wiederum von den zu beobachtenden Objekten reflektiert und vom Fernerkundungssystem erfasst wird. Aus der Laufzeit der Strahlung, ihrer Intensität und weiteren Parametern können anschließend Informationen über die betrachteten Phänomene abgeleitet werden. Da aktive Systeme auch Wellenlängenbereiche wie den Mikrowellenbereich nutzen können, die in der Solarstrahlung nur geringe Intensitäten haben und unabhängig von natürlichen Strahlungsverhältnissen einsatzfähig sind, können sie auch bei schwierigen Witterungsverhältnissen zum Einsatz kommen. Außerdem eignen sie sich für Gebiete mit häufiger Wolkenbedeckung wie den Tropen und sind unabhängig von der Tageszeit einsetzbar ([URL:FELa]).

Neben SONAR und SODAR, die mit Schallwellen arbeiten, gehören Radaraltimeter, abbildende Radarsysteme und Laserscanner zu den aktiven Systemen ([URL:GEO]).

2.3.3 Sensoren

Sensoren bezeichnen in der FE jenen Instrumententeil in Fernerkundungsplattformen, der elektromagnetische Strahlung erfasst und in Signale umwandelt, aus denen wiederum Bilder erzeugt werden. Dabei muss der Sensor die Lichtintensität für jeden sichtbaren Punkt eines Objektes mit einem eindeutigen Messwert verknüpfen, der reflektierte bzw. emittierte Wellenlängenbereich muss eindeutig gemessen werden können und jeder Punkt muss einzeln und mit genauer geometrischer Beziehung zu den umliegenden Punkten abgebildet werden.

Da jeder Sensor nur Strahlung eines bestimmten elektromagnetischen Wellenlängenbereichs erfassen kann, sind Fernerkundungsplattformen oft mit einer Vielzahl an Sensoren ausgestattet,

so erfasst z.B. Landsat 7 auf 8 verschiedenen Kanälen Informationen über die Erdoberfläche ([URL:FELa]).

2.3.4 Satellitenmissionen

Es gibt einerseits staatliche Fernerkundungssatellitenmissionen – hauptsächlich von den Vereinigten Staaten von Amerika, der EU bzw. Europa, Frankreich und Indien –, andererseits kommerzielle Dienstleister wie GeoEye, Digital Globe oder RapidEye. Die Satelliten jeder dieser Einrichtungen haben spezifische Laufzeiten, Einsatzzwecke und entsprechende Stärken und Schwächen. Eine Auswahl aktueller, wichtiger Erdbeobachtungs-Satellitenmissionen sind die Folgenden:

- Landsat: Seit dem Start des ersten Landsat-Satelliten im Jahr 1972 befindet sich seit 2013 mittlerweile der 8. Satellit der Landsat-Serie im Dienst, der im Jahr 2023 von Landsat 9 abgelöst werden soll. Es handelt sich um Erdbeobachtungssatelliten der NASA, die vor allem Daten der Landoberfläche der Erde erfassen. Landsat 8 fliegt in einer sonnensynchronen Umlaufbahn in einer Höhe von 705 Kilometern. Er benötigt für eine Umrundung der Erde 89,9 Minuten und erfasst die komplette Erdoberfläche alle 16 Tage. Die Bänder des OLI- Sensors haben, abgesehen vom Panchromatischen Band, das mit 15 Metern Pixelgröße aufnimmt, eine Auflösung von 30 Metern. Die Thermalbänder des TIRS weisen eine Pixelgröße von 100 x 100 Metern auf. Eine Landsat 8-Szene umfasst 170 x 185 Kilometer ([URL:USGe]).
- Sentinel: Im Zuge des Copernicus-Projekts der ESA wird seit 2014 eine Vielzahl an Satelliten mit unterschiedlichen Aufgabenbereichen gestartet. Dabei handelt es sich bei den Missionen Sentinel 1 bis 3 um Satellitenpaare, die Allwetter-, Tag- und Nacht-Radarbilder (Sentinel 1), hochauflösende Landaufnahmen (Sentinel 2) sowie hochgenaue optische, Radar- und Höhenmessungsdaten für Meeres- und Landoberflächen (Sentinel 3) liefern. Die Satelliten Sentinel 4 bis 6 werden in den nächsten Jahren gestartet und sollen u.a. Daten über die atmosphärische Zusammensetzung oder die Meeresspiegelhöhe liefern ([URL:COP]).

-
- SPOT: Der erste Erdbeobachtungssatellit der SPOT-Serie wurde im Jahr 1986 gestartet. Die aktuellen Exemplare SPOT 6 und 7 bewegen sich wie ihre Vorgänger in einem sonnensynchronen Orbit, allerdings nicht mehr in 822 Kilometern, sondern nur noch in 694 Kilometern Höhe. Sie umrunden in 101,4 Minuten die Erde und alle 26 Tage die komplette Erdoberfläche. Die SPOT-Satelliten nehmen hochauflösende Bilder der Erdoberfläche auf, verfügen allerdings über weniger Spektralkanäle als die Satelliten der Landsat-Serie. Die multispektralen Bänder (R/G/B/NIR) der aktuellen Satelliten SPOT 6 und 7 besitzen eine Auflösung von sechs Metern, der Panchromatische Kanal von 1,5 Meter. Die Pfadbreite der Abtastung beträgt 60 Kilometer und es sind Aufnahmen bis zu 600 Kilometern Länge möglich ([URL:INT], [URL:SAT]).

Weitere Satellitenmissionen, die hochauflösende Bilder der Erdoberfläche liefern, sind IKONOS, der eine Auflösung von einem Meter PAN und vier Metern MS hat und Bilder mit 11 Kilometern Breite und bis zu mehreren hundert Kilometern Länge ermöglicht. QuickBird-2 besitzt eine Auflösung von 0,61 Metern PAN und 2,5 Metern MS, die Pfadbreite betrug ab 2011 18 Kilometer. Der Satellit verglühte im Jänner 2015 in der Erdatmosphäre. Das Satellitensystem RapidEye besteht aus 5 Satelliten, die im Jahr 2008 gestartet wurden und sich in einer Höhe von 630 Kilometern hintereinander bewegen. Anders als die zuvor genannten SPOT 6/7, IKONOS und QuickBird-2 verfügen die RapidEye-Satelliten nicht über die Bänder PAN und R/G/B/NIR, sondern R/G/B, Red-Edge und NIR. Sie nehmen Bilder mit einer Auflösung von 6,5 Metern auf, wobei die Aufnahmestreifen bis zu 77 Kilometer breit und 1500 Kilometern lang sind ([URL:FELa]).

2.3.5 Auflösung

In der Fernerkundung wird zwischen räumlicher, spektraler, radiometrischer und temporaler Auflösung unterschieden.

Die räumliche (oder geometrische) Auflösung gibt Auskunft darüber, bis zu welcher Größe Objekte auf einem Bild identifizierbar und von umgebenden Objekten abgrenzbar sind. Verantwortlich für die räumliche Auflösung ist vor allem der jeweilige Sensor, denn je feiner bzw. höher die räumliche Auflösung ist, desto schärfer sind die Bilder und entsprechend kleine Phänomene sind auf den Bildern erkennbar.

Die spektrale Auflösung bezieht sich auf den Spektralbereich, der von einem Sensor erfasst werden kann. Sie ist dabei abhängig von der Anzahl der verfügbaren Spektralkanäle, der von ihnen umfassten Breite des Spektralbereichs und der Abgrenzung zwischen den einzelnen Kanälen durch die jeweiligen Wellenlängenunterschiede. Der Satellit Landsat 8 verfügt mit seinen 11 Spektralkanälen also über eine deutlich höhere spektrale Auflösung als z.B. QuickBird-2 mit fünf Bändern.

Die radiometrische Auflösung bezieht sich auf die Fähigkeit eines Sensors, Unterschiede der Helligkeit bzw. der Intensität erfasster elektromagnetischer Strahlung messtechnisch zu erfassen. Sie sagt also etwas darüber aus, wie fein die Abstufungen bei den gemessenen Werten aufgezeichnet werden können. In Abb. 5 werden das elektromagnetische Spektrum mit den verschiedenen Frequenzbereichen sowie die von unterschiedlichen FE-Sensoren abgedeckten

Abschnitte veranschaulicht. Hier wird ersichtlich, dass sich photographische Aufnahmen annähernd auf den Bereich des sichtbaren Lichts beschränken. Außerdem ist erkennbar, dass sich die Strahlung der sehr kurzwelligen Abschnitte des Spektrums, in die z.B. ultraviolette Licht fällt, u.a. aufgrund der atmosphärischen Durchlässigkeit nicht für die Fernerkundung eignet.

Die temporale Auflösung gibt an, mit welchem zeitlichen Abstand ein bestimmtes Gebiet von dem gleichen Sensor erneut aufgenommen werden kann. Bei Erdbeobachtungssatelliten ist die temporale Auflösung von der jeweiligen Umlaufbahn vorgegeben. Sie kann beispielsweise 26 Tage bei SPOT 6/7 oder auch nur einige wenige Tage bei RapidEye Satelliten betragen ([URL:FELa]).

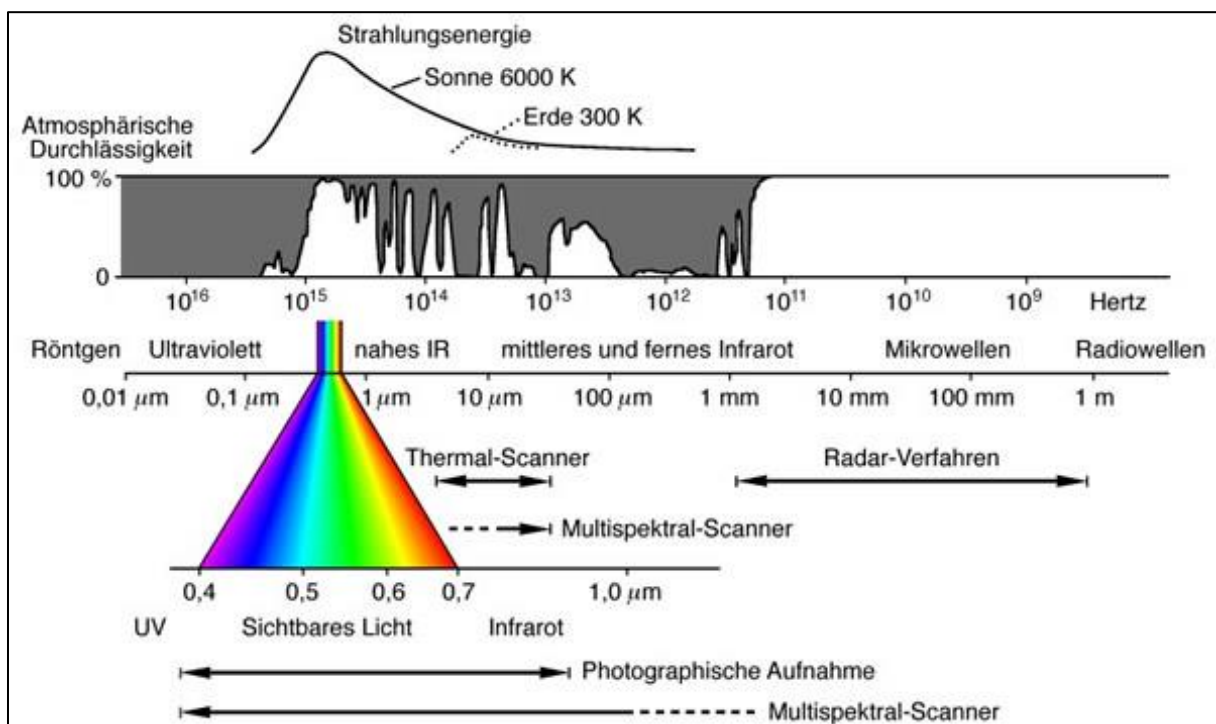


Abb. 5: Das elektromagnetische Spektrum mit den Frequenzbereichen verschiedener FE-Sensoren (Quelle [URL:FELb])

2.4 Erklärung der anzuwendenden Werkzeuge, Kennzahlen und Methoden

2.4.1 TOARF

Bei der Beobachtung der Erdoberfläche durch Fernerkundungssatelliten werden die Reflektionen auf dem Weg zu den optischen Sensoren der Satelliten von der Atmosphäre beeinflusst. Die Absorption von Licht durch Luftmoleküle und die Diffusion durch Moleküle und Aerosole wirken auf die Aufnahme ein und verändern das Ergebnis. Das Absorbieren des Lichts von Luftmolekülen führt dazu, dass die von den Sensoren gemessenen Reflektionswerte

für manche Wellenlängenbereiche verringert werden oder, für den Fall einer kompletten Absorption des Lichts, an der Obergrenze der Atmosphäre scheinbar den Wert Null haben. Die Diffusion des Lichts erfolgt ebenfalls durch Luftmoleküle, aber auch durch andere Partikel in der Luft, wie Wassertropfen oder Kristalle in Wolken, und Aerosole wie Ruß oder Staub. Abhängig von ihrer Größe und Beschaffenheit werden unterschiedliche Wellenlängen des Lichts gestreut, wobei kleine Partikel und Luftmoleküle vorwiegend blaues Licht und größere Aerosole alle Wellenlängen beeinflussen können oder möglicherweise sogar Licht absorbieren [URL:CES].

Satellitenaufnahmen vom selben Punkt auf der Erdoberfläche zu verschiedenen Zeitpunkten unterscheiden sich also – abhängig von Aufnahmewinkel, Position der Erde zur Sonne, Tageszeit und Zustand der Atmosphäre – aufgrund der atmosphärischen Effekte voneinander, können diesiger wirken oder kontrastärmer sein. Die Kalibrierung der Landsat-Bilder zu TOA Reflektionswerten (TOARF) dient dazu, eine Beeinflussung der Analysen durch diese Variablen zu verhindern, sodass davon ausgegangen werden kann, dass festgestellte Unterschiede tatsächlich durch Veränderungen auf der Erdoberfläche bedingt sind und nicht durch eine Beeinflussung des reflektierten Lichts am Weg durch die Atmosphäre zu den Sensoren der Satelliten. Neben diesen Aspekten erfolgt die Umwandlung der Daten in dieser Arbeit aus dem praktischen Grund, dass die Satellite Image Automatic Mapper™ (SIAM™) Software für eine Vorklassifizierung der Bilder radiometrisch kalibrierte TOARF-Daten als Input benötigt.

2.4.2 NDVI

Der Normalized Difference Vegetation Index, der von Rouse et al. [ROU-73] etabliert wurde, wird aus den NIR- und Red-Bändern von multispektralen Satellitenbildern mittels folgender Formel gebildet:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Der Index reagiert auf Veränderungen der Menge an grüner Biomasse, Chlorophyllgehalt und Wasserstress der bodenbedeckenden Vegetation (vgl. [LIA-04] S. 250), wobei das NIR-Band sensitiv in Bezug auf die physiologischen Aktivitäten von Pflanzen ist, während das rote Band für die Unterscheidung zwischen Vegetation und Boden empfindlich ist (vgl. [NOR-15] S. 53). Da – vor allem rotes – Licht im sichtbaren Spektralbereich von gesunden Pflanzen nur wenig, im angrenzenden Infrarotbereich aber relativ stark reflektiert wird und bei schwacher, kranker oder fehlender Vegetationsbedeckung der Anteil an reflektiertem sichtbarem Licht höher und im NIR-Bereich geringer ist, lassen sich aus dem Verhältnis dieser beiden Werte Aussagen über den Gesundheitszustand und den Grad der Vegetationsbedeckung treffen. Eine Veranschaulichung des Funktionsprinzips ist in Abb. 6 ersichtlich. Der NDVI kann Werte im Bereich von -1 bis +1 einnehmen, wobei negative Werte auf Wasserflächen hindeuten, 0 bis

+0,2 auf beinahe vegetationsfreie Flächen schließen lässt und Werte nahe +1 die höchstmögliche Konzentration an grüner Vegetation bedeuten [URL:EAR].

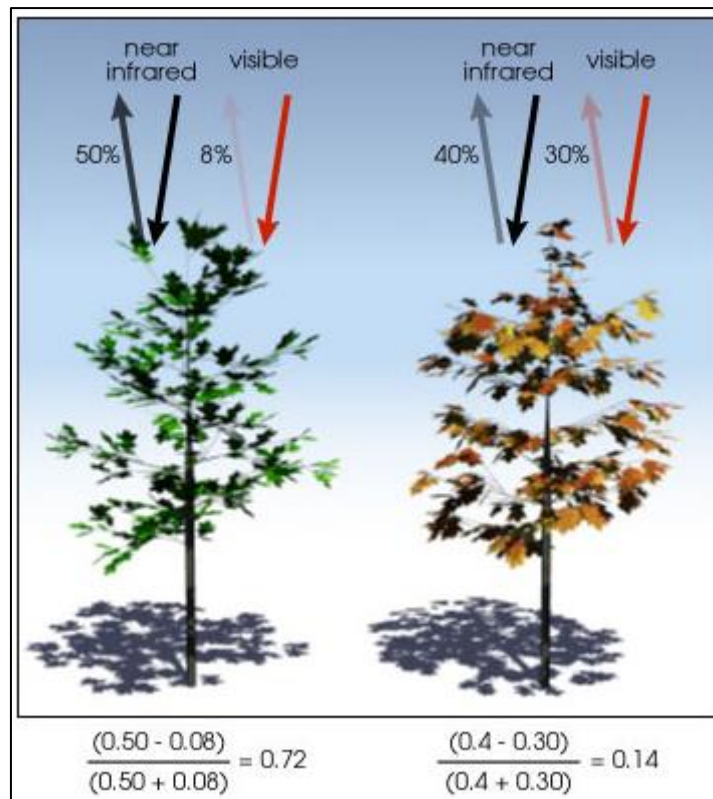


Abb. 6: Funktionsweise des NDVI (Quelle: [URL:EAR])

Ein Vergleich der NDVI-Werte unterschiedlicher Zeitpunkte ermöglicht es, entsprechende Aussagen zum Zustand der Vegetationsbedeckung und über eventuelle Änderungen der Landnutzung zu machen sowie etwaige Entwicklungstrends des Zustands der Vegetation im Untersuchungsgebiet festzustellen. Die Auslöser all dieser Veränderungen – unabhängig davon, ob sie am Klima, an einer Veränderung der Böden, an menschlichem Einfluss etc. festzumachen sind – müssen allerdings mit Hilfe anderer Methoden festgestellt werden.

2.4.3 SIAMTM

Der Satellite Image Automatic MapperTM (SIAMTM) von Andrea Baraldi ist eine Software, die „vollautomatisch“, also ohne zusätzlich benötigte, benutzerdefinierte Parameter oder Trainings-Datenstichproben, in der Lage ist, multispektrale Bilder unterschiedlicher Sensoren (u.a. Landsat, SPOT, RapidEye, ...) einer Vorklassifikation zu unterziehen. Die Daten müssen dafür zunächst radiometrisch auf TOARF oder *surface reflectance* (SURF) kalibriert werden. SURF entspricht hier einem Spezialfall von TOARF bei klarem Himmel und flachen Geländebedingungen. Die Vorklassifikation von SIAMTM erfolgt dabei annähernd in „real-time“, sodass es etwa zwei Minuten dauert, ein komplettes Landsat-Bild auf einem Standard-Laptop zu kartieren (vgl. [BAR-15a] S.1).

2.4.4 SAVI

Da bei der Anwendung des NDVI der Boden, genauer dessen Helligkeit bzw. Farbe sowie Variablen wie die Bodenfeuchte oder variierende Bodentypen, einen nicht unerheblichen Einfluss auf die gelieferten Ergebniswerte haben kann, wurde von Huete der so genannte Soil Adjusted Vegetation Index entwickelt [HUE-88], der durch Zuhilfenahme eines konstanten *soil adjustment factor* den Einfluss des Bodens auf die Analyseergebnisse minimiert. Die Formel zur Berechnung des SAVI lautet:

$$SAVI = \left(\frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} \right) \times (1 + L)$$

Dabei ist L der genannte soil adjustment factor, der einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen kann. Bei kompletter Vegetationsbedeckung wird L der Wert null zugewiesen, was den SAVI gewissermaßen zum NDVI werden lässt. Für Gebiete mit sehr wenig Vegetation wird der Wert eins vergeben [URL:SEO]. Huete schlägt einen Wert von 0,5 vor, wenn keine Kenntnisse über die Vegetationsbedeckung vorliegen, da dieser Faktor für eine Reihe unterschiedlicher Dichtegrade der Pflanzendecke sowie verschiedene Bodentypen nutzbar ist und annehmbare Ergebnisse liefert (vgl. [NOR-15] S. 53). Wie in den vorgestellten Papers angemerkt, ist der SAVI nicht nur dazu geeignet, Aussagen über den Zustand der Vegetation zu treffen, sondern auch dafür, Brandflächen auszuweisen sowie den Schweregrad der Verbrennung abschätzen zu können.

2.4.5 NBR

Der von López Garcia und Caselles [LOP-91] entwickelte, aber erst später von Key und Benson [KEY-99] so benannte, Algorithmus *Normalized Burn Ratio* (NBR) kombiniert Informationen aus dem nahen und mittleren Infrarot-Band, um zwischen verbrannten und nicht verbrannten Gebieten zu unterscheiden. Während die vom SWIR 2-Sensor gemessenen Werte bei Brandflächen zunehmen, verringern sich diese im NIR-Bereich, wie in Abb. 8 ersichtlich.

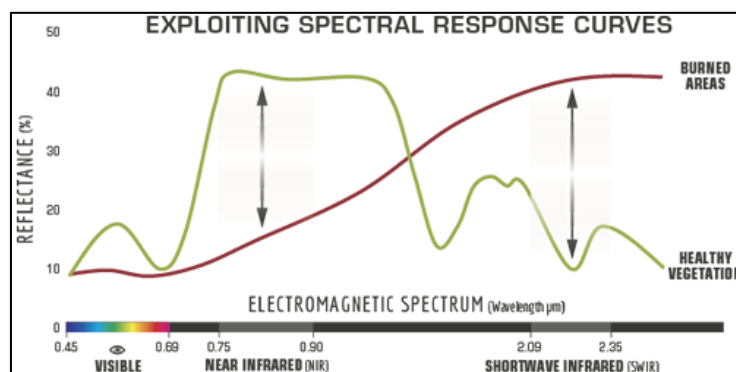


Abb. 8: Reflektionsverhalten von gesunder Vegetation und Brandflächen (Quelle: [URL:LAN])

Der NBR wird anhand folgender Formel berechnet:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Ursprünglich war der NBR darauf ausgelegt, aus Reflexionswerten gebildet zu werden, kann aber auch aus der Strahlung oder *Digital Numbers* (DN) – der jedem einzelnen Pixel in jedem Band zugewiesenen Zahl zwischen 0 und 255, welche seine Helligkeit im entsprechenden Band widerspiegelt – errechnet werden [URL:LAN]. Der NBR kann Werte zwischen -1 und +1 einnehmen, wobei für bewachsene Gebiete positive und für nackte Erde negative Werte ausgewiesen werden. In verbrannten Gebieten nehmen die NBR-Werte in gleichem Ausmaß ab, in dem die Intensität der Brände zunimmt (vgl. [ESC-08] S. 1054). Wie Stroppiana et al. festgestellt haben, gelingt es dem NBR gut, zwischen tatsächlich verbrannten Gebieten und Schatten- bzw. Wasserflächen zu unterscheiden. Für Areale mit schütterer oder trockener Vegetation sind die Ergebnisse allerdings weniger gut, da bei geringem Wassergehalt der Vegetation das SWIR 2-Band höhere Reflektionswerte aufweist als das NIR-Band. Diesen Gebieten werden ebenfalls negative NBR-Indexwerte zugeordnet, wobei die niedrigsten Ergebnisse dennoch nur verbrannte Gebiete ausweisen, in denen die Vegetation empfindlich von Feuer beschädigt wurde (vgl. [STRO-12] S. 95). Ob die vorherrschende Landbedeckung im Untersuchungsgebiet korrekte und eindeutige NBR-Ergebnisse zulässt, muss anhand der Analyseergebnisse beurteilt werden.

2.4.6 *dNBR*

Im Gegensatz zum NBR, der zwischen verbrannten und nicht verbrannten Gebieten unterscheiden soll, misst der differenced – oder delta – NBR (*dNBR*) den Schweregrad der Verbrennungen (vgl. [HAR-15] S. 29) und stellt einen skalierten Index des Ausmaßes der vom Feuer ausgelösten Veränderung dar (vgl. [WAG-04] S. 398). Berechnet wird der *dNBR* aus den pre- und post-fire NBR-Ergebnissen:

$$\Delta NBR = NBR_{prefire} - NBR_{postfire}$$

Die erhaltenen *dNBR*-Werte können, wie in Tab. 4 ersichtlich, in sieben Klassen unterteilt werden. Analog zum NBR ist auch die aussichtsreiche Anwendung des *dNBR* abhängig von der im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Landbedeckung und Vegetation, da der *dNBR* u.a. das Nachwachsen gesunder Pflanzen nach einem Brandereignis misst. Vollzieht sich das Pflanzenwachstum der Vegetationsphase zu langsam, sodass zwischen pre- und postfire Bild keine nennenswerten Unterschiede bei der Landbedeckung festgestellt werden können, liefert der *dNBR* nur wenig aussagekräftige Ergebnisse.

Burn Severity	Δ NBR
High post- fire regrowth	< -0,25
Low post- fire regrowth	-0,25 to -0,1
Unburned	-0,1 to 0,1
Low- severity burn	0,1 to 0,27
Moderate- low severity burn	0,27 to 0,44
Moderate- high severity burn	0,44 to 0,66
High- severity burn	> 0,66

Tab. 4: dNBR-Kategorien des Verbrennungsgrades (Quelle: [URL:LAN])

2.4.7 Supervised Classification

Als eines der meistgenutzten Verfahren für die quantitative Analyse von FE-Bilddaten stützt sich die Supervised Classification auf entsprechende Algorithmen, um einzelne Pixel eines Bildes jenen Landbedeckungstypen – oder Klassen – zuzuordnen, welche sie repräsentieren. Unabhängig von dem zum Einsatz kommenden Algorithmus – in der vorliegenden Arbeit wird dies die Maximum Likelihood Classification sein – ist die Vorgehensweise bei der Supervised Classification folgende (vgl. [RIC-06] Kapitel 8):

- a) Bestimmung der Landbedeckungsarten, in welche das zu analysierende Bild aufgeteilt werden soll (z.B. die Klassen „Wasser“, „Ackerfläche“, „bebautes Gebiet“, etc.).
- b) Auswahl von repräsentativen Pixeln für jede der gewünschten Klassen, wobei es sich bei diesen Bildpunkten um die so genannten *training data* handelt. Für die Bestimmung der Trainingssets der einzelnen Klassen kann auf Erhebungen vor Ort, geeignetes Kartenmaterial, Luftbilder oder visuelle Bildinterpretation entsprechender Bandkombinationen zurückgegriffen werden. Da diese Trainingspixel für die jeweiligen Klassen oft bis zu einem gewissen Grad in räumlicher Nähe zueinander liegen und von anderen Landbedeckungsarten abgegrenzt sind, werden diese Regionen auch *training fields* genannt.
- c) Mit Hilfe der *training data* werden die Parameter für den Algorithmus abgeschätzt, der genutzt wird, um die entsprechenden Pixel der jeweiligen Klasse zuzuordnen. Dieses Set an Parametern wird auch als *signature* der zugehörigen Landbedeckungstypen bezeichnet.
- d) Automatische Zuordnung der übrigen Pixel durch den Computer, nachdem die Parameter für alle Kategorien „trainiert“ wurden.
- e) Erstellen von Überblickstabellen oder thematischen Karten, um das Ergebnis der Klassifikation zusammenzufassen.

-
- f) Bewerten der Richtigkeit des Endergebnisses mit Hilfe von entsprechenden Test- und Vergleichsdaten.

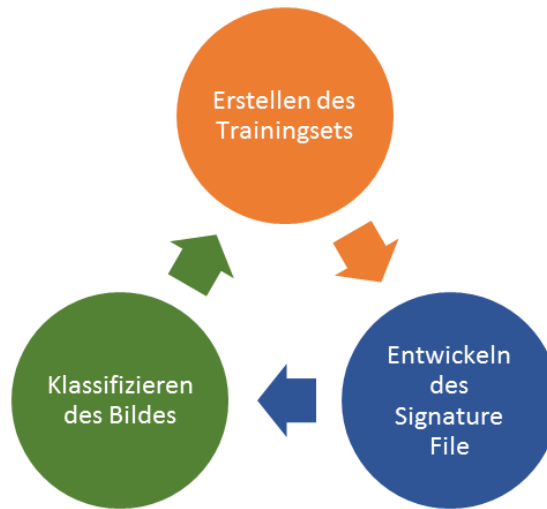


Abb. 9: Iterativer Ablauf einer Supervised Classification (eigene Darstellung)

Sind die Ergebnisse der Klassifikation nicht zufriedenstellend, werden die drei Schritte **b** bis **d**, wie in Abb. 9 dargestellt, iterativ wiederholt, bis ein optimales Resultat vorliegt. Bei der Maximum Likelihood Classification, wie sie in dieser Arbeit zur Anwendung kommt, werden die einzelnen Pixel jenen Klassen zugeordnet, denen sie dem Algorithmus entsprechend mit der größten Wahrscheinlichkeit angehören. Dabei werden alle Bildpunkte einer der zur Verfügung stehenden Klassen zugeordnet, unabhängig davon, wie klein die tatsächliche Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit auch ist. In Grenzbereichen kann es dabei zu Fehlklassifikationen kommen, die auch durch wiederholte Nachbesserung der Schritte **b** bis **d** nicht zu korrigieren sind. Dieses Problem der unsicheren Zuordnung wird in Abb. 10 an einem Beispiel für eindimensionale Daten veranschaulicht. Die Zuordnung der Werte links und rechts ist fragwürdig, da sie im Randbereich der Verteilungsfunktion ω_1/ω_2 bzw. ω_1/ω_2 liegen. Der mittlere Wert kann trotz der Überschneidung an diesem Punkt mit ausreichender Wahrscheinlichkeit korrekt klassifiziert werden. Da bei der einfachen Maximum Likelihood Classification keine Pixel ausgelassen – und nicht klassifiziert – werden, ist es außerdem möglich, dass Pixel einer falschen Klasse zugeordnet werden, wenn für die entsprechenden Bildpunkte kein korrektes Trainingsset erstellt wurde.

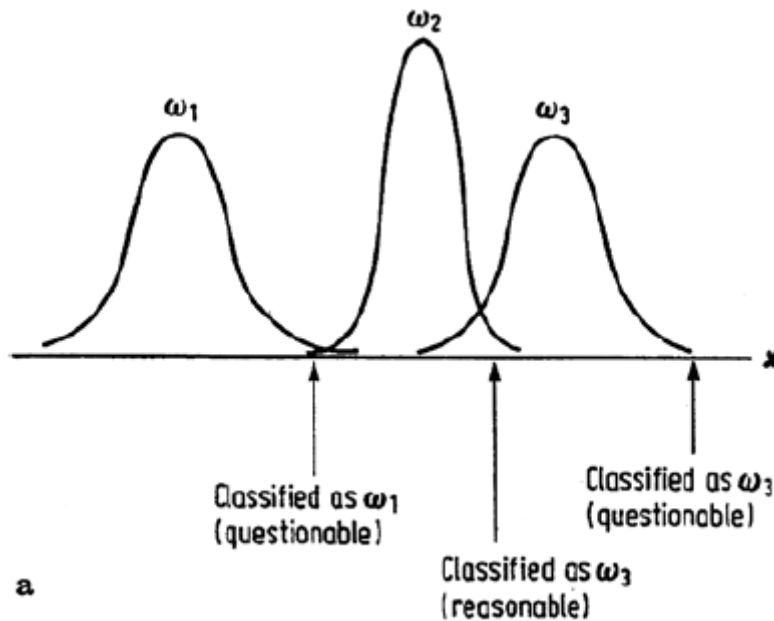


Abb. 10: Problematik bei der korrekten Klassifizierung von Werten im Randbereich der Verteilungsfunktion (Quelle: [RIC-06] S. 198)

2.4.8 Change Detection

Change Detection in der Fernerkundung meint das Feststellen von Veränderungen in einem Gebiet zwischen zwei Zeitpunkten unter Zuhilfenahme multitemporaler Datensets. Dabei variiert die Art der festzustellenden Veränderung abhängig von der Fragestellung und kann kurzzeitige Phänomene wie Schneefall oder Überschwemmungen sowie langfristige wie Desertifikation oder das Wachstum von Städten umfassen. Die verwendeten Bilddaten sollten von dem gleichen – oder zumindest möglichst ähnlichen – Sensor aufgenommen worden sein und die gleichen räumlichen und radiometrischen Auflösungen, Spektralbänder, *viewing geometry* – also die Position des Sensors zum aufgenommenen Gebiet während der Aufnahme – und Aufnahmezeiten aufweisen, um Unterschiede bei der Erfassung der Daten möglichst gering zu halten. Eine Möglichkeit, um Auswirkungen durch Variationen des Einfallswinkels, der Sonnenstrahlung und jahreszeitliche Schwankungen auszugleichen, ist die Verwendung von an Jahrestagen aufgenommenen Bildern – wenn die Fragestellung dies zulässt. Auch eine genaue räumliche Registrierung ist notwendig, um diese Ursache methodischer Fehler auszuschließen, wobei hier grundsätzlich eine Genauigkeit von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Pixel angebracht ist. Neben diesen technischen Aspekten haben auch verschiedene umweltbedingte Faktoren, wie die atmosphärischen Bedingungen, Wind, Wasserstände oder Bodenfeuchtigkeit, Einfluss auf das Ergebnis von Change Detection-Analysen (vgl. [LIL-04] S. 596). Die in dieser Arbeit zur Anwendung kommende Change Detection Methode ist der *post-classification* Vergleich. Dabei werden jeweils Bilder unterschiedlicher Zeitpunkte klassifiziert, um anschließend die jeweiligen Pixelwerte zu vergleichen und so Veränderungen zwischen den beiden Daten auszumachen. Für Indices wie den NDVI oder NBR ist somit das Ausmaß einer Zu- oder Abnahme der entsprechenden Indexwerte festzustellen und bei der Klassifizierung nach

Landbedeckungsarten der Wechsel von einer Klasse in eine andere. Für eine genauere Betrachtung der Art der Veränderungen sowie für die Präsentation der Ergebnisse bieten sich neben Karten auch statistische Auswertungen an, wobei die Exaktheit der Resultate stark von der Genauigkeit der Registrierung beider Bilder abhängig ist.

3 Praktische Analysen

Im Anschluss an die theoretische Einbettung des Themas und die Vorstellung der wichtigsten Methoden, die in dieser Arbeit zur Anwendung kommen, folgt in diesem Abschnitt die Erläuterung der praktischen Analysen. Dazu zählen die Datenakquisition und -aufbereitung, die Erhebung des Ausmaßes der jährlichen Brandrodungen, die Untersuchung des Zustands der Vegetation im Untersuchungsgebiet und deren Entwicklung im Verlauf des Untersuchungszeitraumes sowie eine Erhebung der Veränderungen ackerbaulich genutzter Flächen im Untersuchungsgebiet.

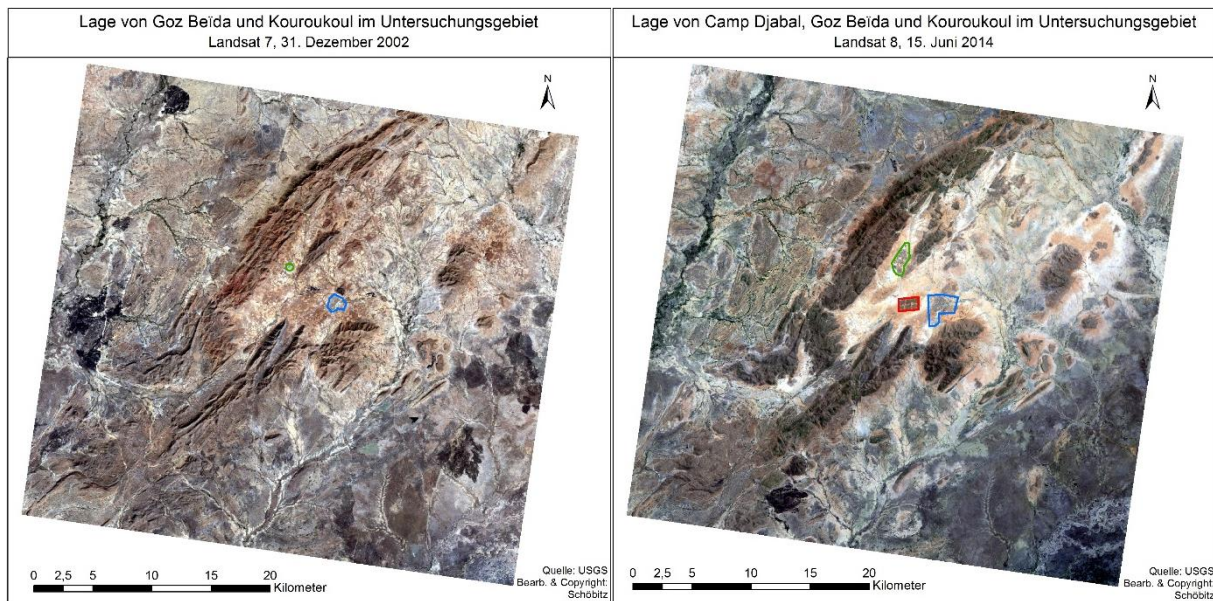


Abb. 11: Untersuchungsgebiet am 31. Dezember 2002 (links) und 15. Juni 2014 (rechts)

Die Darstellungen in Abb. 11 zeigen das Untersuchungsgebiet relativ zu Beginn und am Ende des Untersuchungszeitraumes. Da die beiden Bilder zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Jahr und damit verschiedenen Phasen des Vegetationszyklus aufgenommen wurden, ist ein Vergleich des Vegetationszustandes nicht möglich, allerdings ist die Entwicklung der Siedlungen im Untersuchungsgebiet erkennbar. Eingezeichnet sind jeweils die Positionen von Goz Beida (blau), Kouroukoul (grün) und Camp Djabal (rot). Neben dem Fehlen des Flüchtlingslagers auf dem Bild aus 2002, das eineinhalb Jahre vor dessen Gründung entstand, fällt auf, dass sowohl die Stadt Goz Beida als auch die Siedlung Kouroukoul in den zwölf Jahren zwischen der Aufnahme der beiden Bilder deutlich gewachsen sind. Letztere hat sich dabei von einer kleinen Ansammlung an Behausungen zu einem Ort entwickelt, dessen räumliche Ausdehnung vergleichbar ist mit jener von Goz Beida am Beginn des Untersuchungszeitraumes. Die Tatsache, dass weitere Siedlungen, die ebenfalls im Untersuchungsgebiet, aber weiter entfernt von Camp Djabal und der Stadt, liegen, während des betrachteten Zeitraums kaum gewachsen sind und ihre ursprüngliche Größe annähernd beibehalten haben, spricht dafür, dass die synergetischen Effekte der bestehenden Stadt, des Flüchtlingslagers und der damit einhergehenden Aktivität von Hilfsorganisationen in dem

Gebiet Ansiedelungen in diesem Areal und somit das Wachstum von Kouroukoul gefördert haben.

Außerdem ist erkennbar, dass die drei genannten Siedlungszonen auf drei Seiten von Hügelketten umgeben sind und lediglich aus Richtung Nordosten freier Zugang zu Goz Beïda, Camp Djabal und Kouroukoul gegeben ist. Dieser Umstand wird bei der Auswertung der folgenden Untersuchungen zu beachten sein.

3.1 Datenbeschaffung und Bildaufbereitung

Die Datengrundlage für die Untersuchungen in dieser Arbeit bilden Landsat-Aufnahmen von *Path* 180 und *Row* 52, die von der Website EarthExplorer des USGS [URL:USGa] heruntergeladen wurden. Von den insgesamt 113 Bildern aus dem Zeitraum von 23. Dezember 1999 bis 21. August 2015 stammen 93 vom Satelliten Landsat 7 und 20 von Landsat 8. Es wurden – je nach Verfügbarkeit – Aufnahmen aus jedem Monat besorgt, die keine – oder kaum – Bewölkung im Untersuchungsgebiet aufweisen, wobei aufgrund der Fragestellungen der Fokus auf den Monaten der Ernte sowie denen der Brandrodungen vor Beginn der Regenzeit lag. Die meisten Bilder liegen also für Dezember (Landsat 7: 21/Landsat 8: 4) und Oktober (Landsat 7: 14/Landsat 8: 4) bzw. März (Landsat 7: 15/Landsat 8: 2) und April (Landsat 7: 12/Landsat 8: 1) vor. Für die Monate der Regenzeit von Mai bis September wurden aufgrund der häufigen Wolkenbedeckung insgesamt lediglich 23 Szenen (Landsat 7: 17/Landsat 8: 6) heruntergeladen. Eine komplette Übersicht der verwendeten Satellitenbilder befindet sich im Anhang unter Tab. 11 bis 22.

Landsat 7 wurde am 15. April 1999 gestartet und ist mit dem Sensor ETM+ ausgestattet, welcher über acht Bänder Informationen sammelt. Das panchromatische Band 8 nimmt mit 15 Metern räumlicher Auflösung auf, Band 6 – der thermale Infrarotkanal – mit 60 Metern Auflösung und alle übrigen Bänder (1/Blau, 2/Grün, 3/Rot, 4/NIR, 5/SWIR 1, 7/SWIR 2) mit 30 Metern. Für eine Umrundung der Erde benötigt der Satellit 99 Minuten und wiederholt alle 16 Tage seinen Aufnahmezyklus [URL:EOPa].

Landsat 8 wurde am 11. Februar 2013 gestartet und ist mit den Sensoren *Operational Land Imager* (OLI) sowie *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) ausgestattet, die mit insgesamt elf Bändern Informationen sammeln. Wie bei Landsat 7 hat das panchromatische Band 8 eine Auflösung von 15 Metern, die Thermalkanäle 10/TIR 1 und 11/TIR 2 jedoch jeweils 100 Meter. Die übrigen Bänder (1/Küste und Aerosol, 2/Blau, 3/Grün, 4/Rot, 5/NIR, 6/SWIR 1, 7/SWIR 2, 9/Cirrus) haben ebenfalls analog zu Landsat 7 eine räumliche Auflösung von 30 Metern und auch die Erdumrundungszeit sowie die Wiederholung des Aufnahmezyklus sind mit 99 Minuten bzw. 16 Tagen gleich wie bei dem Vorgänger [URL:EOPb].

Nach dem Herunterladen der Daten wurde in ERDAS Imagine zunächst ein Kreis mit einem Radius von 17 Kilometern um das Flüchtlingslager erstellt, um das Ausmaß des rechteckigen Cliprahmens, der *Area of Interest* (AOI), abschätzen zu können. Aufgrund der randnahen Position des Camp Djabal auf den Bildern wurde die Ausrichtung des Cliprahmens an jene der Landsat-Szenen angepasst. Die Lage des Untersuchungsgebiets in der Szene Path 180/Row 52 ist in Abb. 12 ersichtlich. In einem Arbeitsschritt am Z_GIS in Salzburg wurden Layerstacks der Bänder 1-5 sowie 7 für Landsat 7 – bzw. Bänder 2-7 für Landsat 8 – erstellt und, nachdem

die AOI aus den Szenen ausgeschnitten wurde, mittels *Interactive Data Language* (IDL)-Script auf TOARF kalibriert. Bevor die Vorklassifizierung mittels SIAMTM vorgenommen werden konnte, wurden die TOARF-Werte im Bereich 0 bis 1 in DN von 0 bis 255 umgerechnet und im ENVI-Format abgespeichert (genauere Fragen zur TOARF-Kalibrierung und der Vorklassifikation mittels SIAMTM bitte an Lorenz Wendt [lorenz.wendt@sbg.ac.at], Dirk Tiede [dirk.tiede@sbg.ac.at] sowie Andrea Baraldi [andrea6311@gmail.com]).

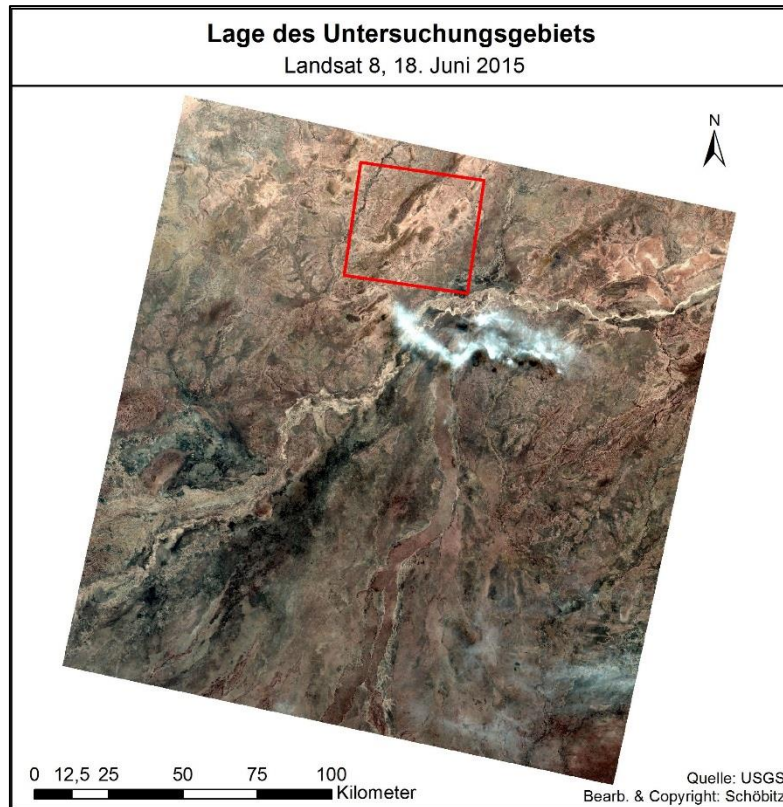


Abb. 12: Lage des Untersuchungsgebiets in einer Landsat 8-Szene, Path 180/Row 52

Die Resultate der TOARF-Kalibrierung der Bilder soll anhand zweier Landsat-Szenen gezeigt werden. Ein direkter Vergleich der unbearbeiteten Bilder mit den TOARF-Bildern in Echtfarben-Darstellung (Bänder 3/2/1 RGB) offenbart leichte Unterschiede bei der Intensität der Farben, wobei die mit freiem Auge erkennbaren Differenzen allerdings nicht allzu groß sind (siehe Abb. 13 und 14). Nach der Berechnung des NDVI für die vier Bilder sind die atmosphärischen Auswirkungen auf die vom Sensor gemessenen Reflektionswerte bei einem Vergleich der jeweiligen Histogramme in den Abb. 15 und 16 deutlicher erkennbar. So ist der Mittelwert der gemessenen Werte mit 0,08 bzw. 0,01 für die unbearbeiteten Bilder deutlich geringer als bei den TOARF-Bildern, wo er mit 0,22 und 0,21 deutlich weiter im positiven Bereich liegt. Bei der Betrachtung der Histogrammkurven fällt außerdem auf, dass die Werte der TOARF-NDVI – abgesehen von fehlerhaften Pixeln – alle über null liegen, während ein großer Teil der unbearbeiteten NDVI-Pixel negative Werte aufweisen. Eine Analyse der Satellitenbilder, ohne diese auf TOARF zu kalibrieren, würde also sehr deutlich verfälschte Ergebnisse liefern und keine glaubhaften Aussagen zulassen.

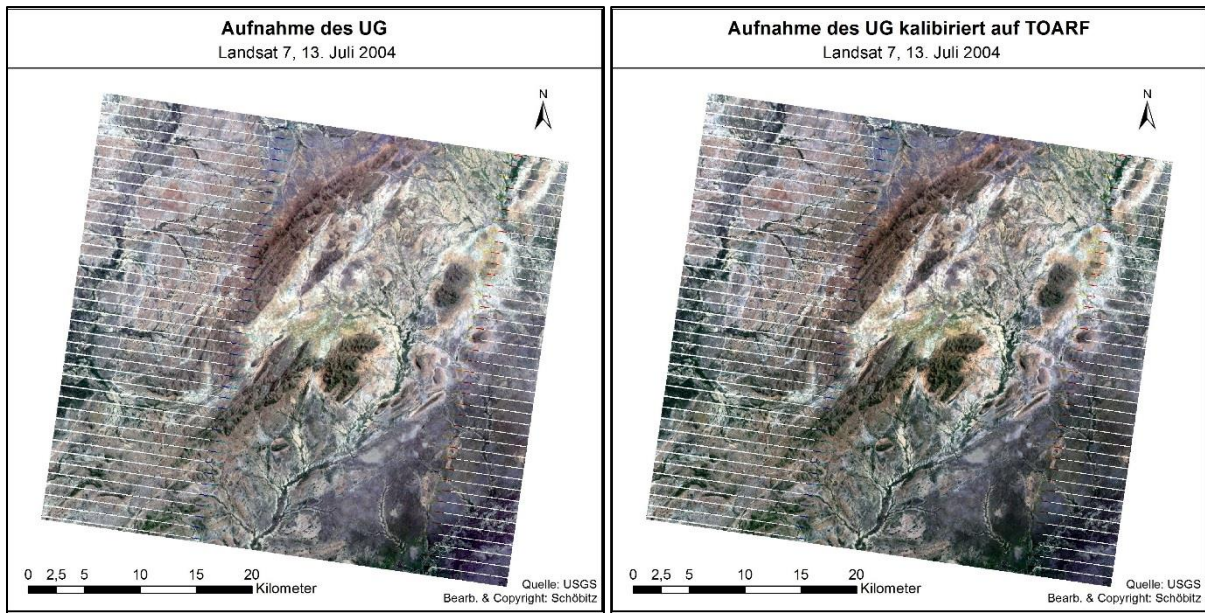


Abb. 13: Vergleich des AOI-Ausschnitts auf Bildern vom 13. Juli 2004; links das unbearbeitete Bild, rechts kalibriert auf TOARF

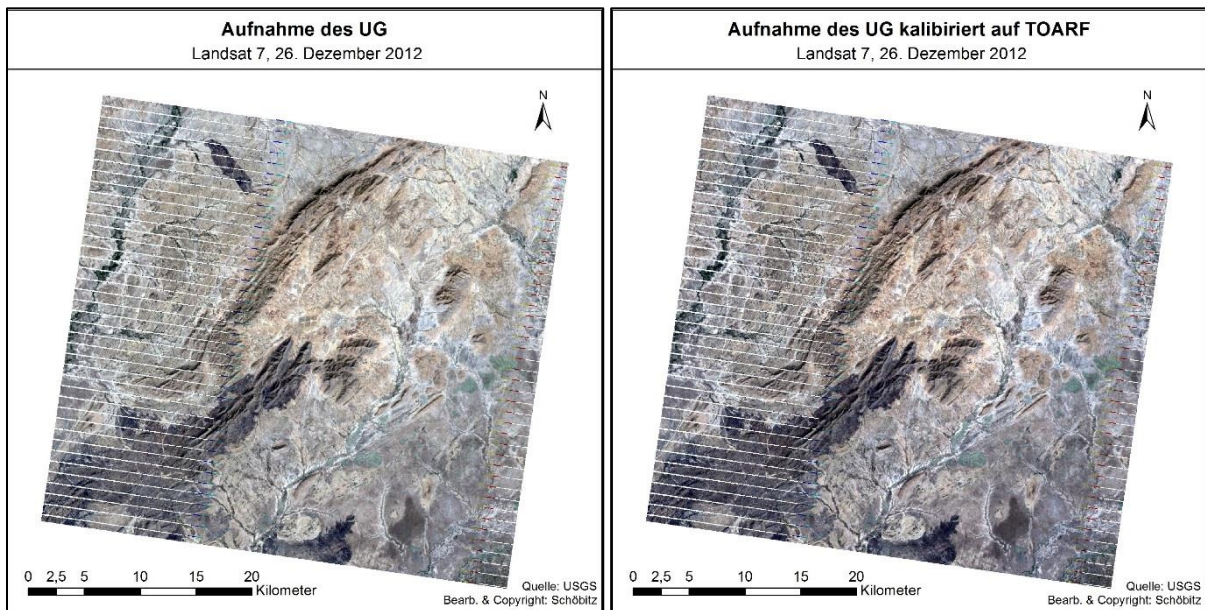


Abb. 14: Vergleich des AOI-Ausschnitts auf Bildern vom 26. Dezember 2012; links das unbearbeitete Bild, rechts kalibriert auf TOARF



Abb. 15: Histogrammvergleich des NDVI für die Szenen vom 13. Juli 2004; links das unbearbeitete Bild, rechts kalibriert auf TOARF (eigene Darstellung)

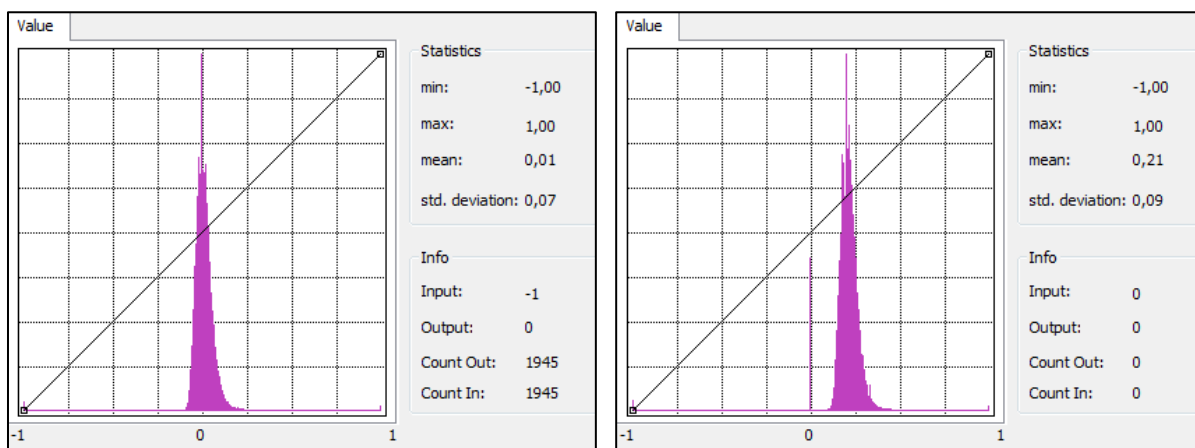


Abb. 16: Histogrammvergleich des NDVI für die Szenen vom 26. Dezember 2012, links das unbearbeitete Bild rechts kalibriert auf TOARF (eigene Darstellung)

Eine visuelle Darstellung der NDVI-Werte für die Bilder vom 13. Juli 2004, eingeteilt in die Klassen „ <0 ; $0 - 0,1$; $>0,1 - 0,2$; $>0,2 - 0,3$; $>0,3 - 0,4$; $>0,4$ “, wobei allen Werten kleiner null die Farbe Blau zugewiesen und für die übrigen ein Farbverlauf in aufsteigender Reihenfolge von Rot zu Grün verwendet wurde, wird in Abb. 17 gezeigt. Hier ist ersichtlich, dass bei dem NDVI auf TOARF-Basis lediglich für die wegen des Ausfalls des SLC fehlerhaften Pixel sowie den Bereich außerhalb des AOI Werte unter null vergeben wurden, während bei dem unkalibrierten Bild neben den SLC-off-Lücken auch eine große Anzahl an Pixeln im Bild selbst negative Werte aufweisen.

Auf die Ergebnisse der Vorklassifikation durch SIAMTM und ihren Nutzen für die Detektion von Brandflächen sowie die Untersuchung der Landnutzung und Landnutzungsänderungen wird in den entsprechenden Kapiteln eingegangen.

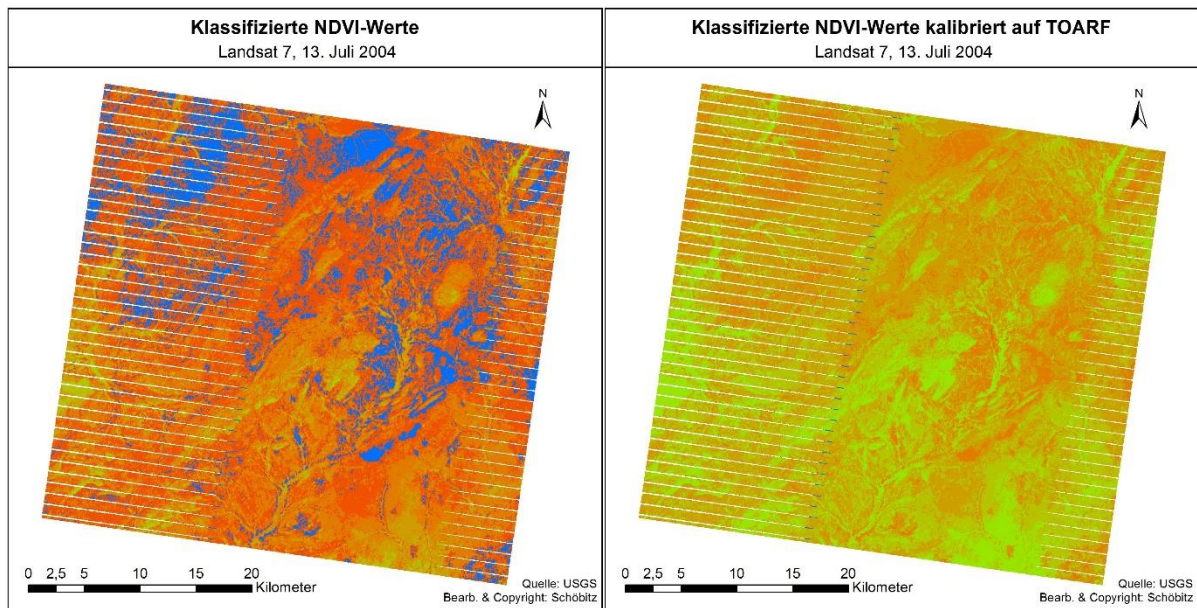


Abb. 17: Vergleich der NDVI-Ergebnisse der Bilder vom 13. Juli 2004; links das unbearbeitete Bild, rechts kalibriert auf TOARF

Ergänzung: Ausfall des Scan Line Corrector bei Landsat 7

Am 31. Mai 2003 ist der *Scan Line Corrector* (SLC), dessen Aufgabe es war die Vorwärtsbewegung des Landsat 7-Satelliten auszugleichen, ausgefallen. Anstelle von parallelen Streifen nimmt der ETM+ Sensor seitdem Zickzack-Linien auf, wodurch es zu einer doppelten Aufnahme mancher Bildausschnitte kommt und die Breite der fehlerhaften Bereiche zum Rand hin zunimmt. An der radiometrischen und geometrischen Qualität der Aufnahmen hat der Ausfall nichts geändert und der in Abb. 18 veranschaulichte SLC-off-Effekt nimmt zum Zentrum des Bildes hin ab, sodass ein Abschnitt von etwa 22 Kilometern in der Mitte der Szene kaum Verdoppelungen oder fehlende Daten aufweist [URL:USGb].

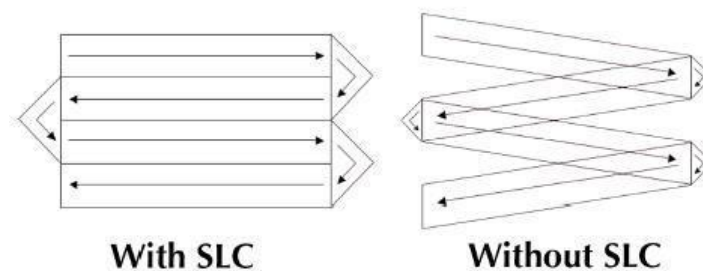


Abb. 18: Aufnahmebewegung des ETM+ Sensors von Landsat 7 mit und ohne funktionierendem Scan Line Corrector (Quelle: [URL:USGb])

Für die Verwendung von SLC-off-Daten in wissenschaftlichen Arbeiten gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie zum Beispiel *Mosaicking* mittels ENVI oder ERDAS Imagine, um diese Effekte auszugleichen [URL:USGc] und auch die Forschung beschäftigt sich mit Methoden, wie die vorhandenen Lücken zu füllen sind (z.B. Chen et al. [CHE-11]). Da das Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit allerdings – wie in Abb. 12 ersichtlich – sehr zentral in der Landsat-Szene Path 180/Row 52 liegt, weshalb die Anzahl der fehlerhaften Pixel – sichtbar in Abb. 19 – relativ gering ist und damit die Auswirkungen der Datenlücken auf die Analyseergebnisse entsprechend niedrig sind, wurde nach Absprache mit dem Betreuer der vorliegenden Arbeit auf ein Auffüllen der fehlenden Daten verzichtet und mit den unveränderten SLC-off-Bildern gearbeitet.

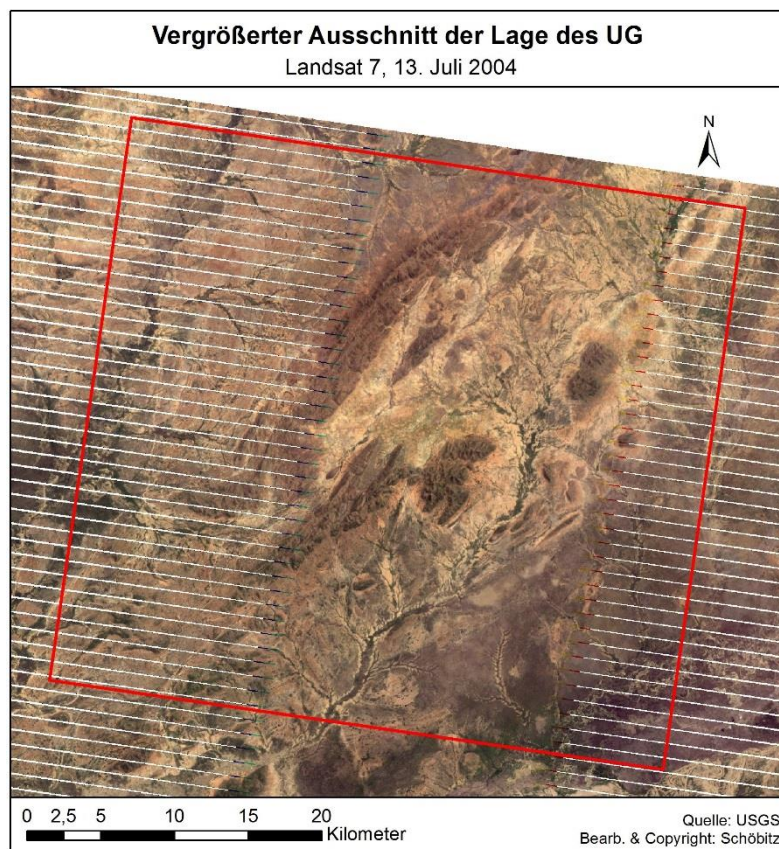


Abb. 19: Vergrößerter Ausschnitt der Lage des Untersuchungsgebiets in einer Landsat 7 SLC-off-Szene

Ergänzung: Vergleichbarkeit von Landsat 7- und Landsat 8-Daten

Die neuen Sensoren des Landsat 8-Satelliten bringen auch Änderungen der Bandbreiten der einzelnen Spektralkanäle mit sich, wie in Abb. 20 verdeutlicht wird. Konkret sind die von dem Sensor OLI aufgenommenen Wellenlängenbereiche durchwegs kleiner als bei den entsprechenden Bändern des ETM+ Sensors. Die zwei TIR-Kanäle des Sensors TIRS liegen beide in dem vom Landsat 7-Band 6 abgedeckten Wellenlängenbereich, erfassen aber gemeinsam ebenfalls einen kleineren Abschnitt.

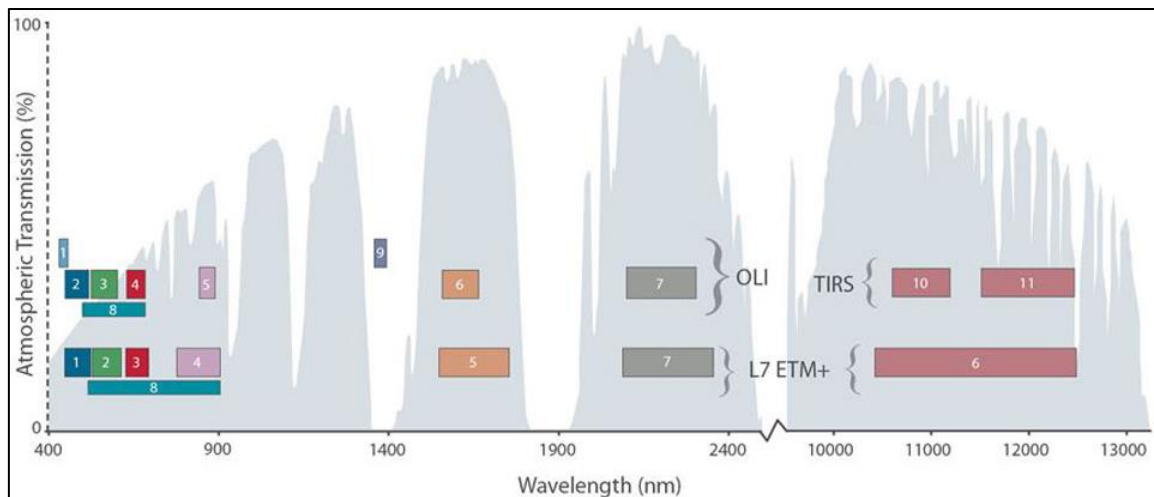


Abb. 20: Lage der Spektralkanäle der Sensoren ETM+ und OLI/TIRS im optischen Wellenlängenbereich (Quelle: [URL:USGd])

Eine genaue Aufschlüsselung der Bandbreiten der einzelnen Spektralkanäle findet sich in der Gegenüberstellung der Sensoren ETM+ bzw. OLI und TIRS in Tab. 5. Hier ist ersichtlich, dass der Unterschied bei den Bändern, die das sichtbare Licht erfassen, nur sehr gering ist, wobei vor allem beim NIR und den beiden SWIR-Kanälen der erfasste Bandbreitenbereich des Landsat 8-Sensors deutlich geringer ist. Dieser Umstand wirkt sich u.a. auf die Resultate verschiedener Indices aus – auch den in dieser Arbeit verwendeten NDVI, SAVI und NBR –, die infolgedessen niedrigere Werte liefern, was einen direkten Vergleich der Landsat 7- und Landsat 8-Daten nicht zulässt. Obwohl es Recherchen zu Korrelationen zwischen Vegetationsindices, berechnet aus dem ETM+ und OLI-Sensor, gibt (siehe [LI-14]), können die festgestellten Wechselbeziehungen nicht überall in gleichem Ausmaß bestätigt werden. Die Anzahl an Publikationen zu diesem Thema ist allgemein noch gering (vgl. [URL:RES]).

	Wellenlänge in Mikrometern	
	LS 7 ETM +	LS 8 OLI & TIRS
Coastal aerosol		0,43 - 0,45
Blau	0,45 - 0,52	0,45 - 0,51
Grün	0,52 - 0,60	0,53 - 0,59
Rot	0,63 - 0,69	0,64 - 0,67
NIR	0,77 - 0,90	0,85 - 0,88
SWIR 1	1,55 - 1,75	1,57 - 1,65
SWIR 2	2,09 - 2,35	2,11 - 2,29
Pan	0,52 - 0,90	0,50 - 0,68
Cirrus		1,36 - 1,38
TIRS 1	10,40 - 12,50	10,60 - 11,19
TIRS 2		11,50 - 12,51

Tab. 5: Gegenüberstellung der einzelnen Spektralkanal-Bandbreiten von Landsat 7 ETM + und Landsat 8 OLI & TIRS (eigene Darstellung)

3.2 Entwicklung der Vegetationsbedeckung

Um den Zustand der Vegetationsbedeckung im Untersuchungsgebiet beurteilen und Aussagen über mögliche Entwicklungstrends treffen zu können, wurden aus den TOARF-kalibrierten Bildern der NDVI und SAVI berechnet. Die Anwendung von zwei Vegetationsindices erfolgt zum einen aufgrund der Vermutung, dass im Untersuchungsgebiet – welches, wie bereits erwähnt, im Übergangsbereich zwischen Sahelzone und Sudansavannen liegt – die Vegetationsbedeckung eher spärlich ausgeprägt ist und der nackte Boden einen entsprechenden Einfluss auf das Resultat des NDVI hat. Dieser Einfluss kann optimalerweise durch den soil adjustment factor des SAVI minimiert werden. Zum anderen soll das Fehlen von Referenzdaten aus dem Untersuchungsgebiet – und damit die mangelnde Verifizierbarkeit der Analyseergebnisse – durch den Vergleich der beiden Indices wenigstens zu einem kleinen Teil ausgeglichen werden.

Datum	Pixelanzahl	Fläche in km ²	Durchschnittsw.	Standardabw.	Spannweite	min. Wert	max. Wert
MVC 03	1.799.998	1619,998	0,425	0,106	1	0	1
MVC 04	1.799.998	1619,998	0,323	0,093	1	0	1
MVC 05	1.799.998	1619,998	0,514	0,112	1	0	1
MVC 06	1.799.998	1619,998	0,396	0,118	1	0	1
MVC 07	1.799.998	1619,998	0,335	0,099	1	0	1
MVC 08	1.799.998	1619,998	0,290	0,083	1	0	1
MVC 09	1.799.998	1619,998	0,299	0,102	1	0	1
MVC 10	1.799.998	1619,998	0,291	0,099	1	0	1
MVC 11	1.799.998	1619,998	0,185	0,056	1	0	1
MVC 12	1.799.998	1619,998	0,502	0,116	1	0	1
MVC 13	1.799.998	1619,998	0,545	0,109	1	0	1
MVC 14	1.799.998	1619,998	0,290	0,082	1	0	1
MVC 15	1.799.998	1619,998	0,215	0,057	1	0	1
MVC 13 LS8	1.799.998	1619,998	0,485	0,103	0,811	0	0,811
MVC 14 LS8	1.799.516	1619,564	0,577	0,107	0,708	0,103	0,811
MVC 15 LS8	1.799.998	1619,998	0,454	0,099	0,735	0	0,735

Tab. 6: Statistik der Jahres-MVC des NDVI von Landsat 7 und Landsat 8 (eigene Darstellung)

Die Berechnung des NDVI aus den Bändern Red/3 und NIR/4 sowie des SAVI aus Red/3, NIR/4 und einem soil adjustment factor von 0,5 ergab für einige Landsat-Szenen Pixel, deren Werte außerhalb des eigentlichen Indexbereichs von -1 bis +1 lagen. Diese fehlerhaften Pixel wurden maskiert, um bei den weiteren Analysen korrekte Ergebnisse erhalten zu können. Für die Jahre, in denen vier oder mehr Satellitenbilder zur Verfügung standen – also von 2003 bis 2015 –, wurde ein *maximum value composite* (MVC) der beiden Indices berechnet, um Entwicklungstrends der Vegetation im Untersuchungsgebiet abschätzen zu können. Für die Jahre 2013 bis 2015, in denen sowohl Landsat 7- als auch Landsat 8-Daten vorliegen, wurde jeweils ein MVC pro Sensor erstellt, da ein direkter Vergleich der Vegetationsindices nicht möglich ist. Aufgrund der bereits erwähnten Unterschiede bei den Bandbreiten der einzelnen Spektralkanäle der Sensoren ETM+ und OLI, würde eine Kombination der jeweiligen Daten zu verfälschten Ergebnissen führen. Aus der Statistik der NDVI-MVC in Tab. 6 und der SAVI-MVC in Tab. 7 wird ersichtlich, dass durch das Mosaikieren der Maximalwerte für jedes

einzelne Pixel die, durch den Ausfall des SLC bedingten, Datenlücken ausgeglichen wurden. Lediglich das MVC für Landsat 8 des Jahres 2014 weist – vermutlich aufgrund von Pixelverlust beim Clipping – eine um etwa 0,4 Quadratkilometer geringere Fläche auf. Anhand der Spannweite bzw. der Minimal- und Maximalwerte ist auch erkennbar, wie sich die Unterschiede der Satellitensensoren in den differenzierteren Ergebnissen des NDVI niederschlagen. Bei einer Betrachtung der MVC der einzelnen Jahre fällt auf, dass für 2005, 2012 und 2013 deutlich erhöhte Durchschnittswerte ausgewiesen werden.

Datum	Pixelanzahl	Fläche in km ²	Durchschnittsw.	Standardabw.	Spannweite	min. Wert	max. Wert
MVC 03	1.799.998	1619,998	0,631	0,152	1	0	1
MVC 04	1.799.998	1619,998	0,475	0,115	0,996	0	0,996
MVC 05	1.799.998	1619,998	0,756	0,146	1	0	1
MVC 06	1.799.998	1619,998	0,581	0,149	1	0	1
MVC 07	1.799.998	1619,998	0,490	0,109	1	0	1
MVC 08	1.799.998	1619,998	0,426	0,092	0,995	0	0,995
MVC 09	1.799.998	1619,998	0,436	0,112	0,996	0	0,996
MVC 10	1.799.998	1619,998	0,426	0,115	0,986	0	0,986
MVC 11	1.799.998	1619,998	0,272	0,050	0,824	0	0,824
MVC 12	1.799.998	1619,998	0,742	0,166	1	0	1
MVC 13	1.799.998	1619,998	0,784	0,148	1	0	1
MVC 14	1.799.998	1619,998	0,428	0,102	0,914	0	0,914
MVC 15	1.799.998	1619,998	0,319	0,062	0,925	0	0,925
MVC 13 LS8	1.799.998	1619,998	0,722	0,151	1	0	1
MVC 14 LS8	1.799.516	1619,564	0,826	0,136	0,846	0,154	1
MVC 15 LS8	1.799.998	1619,998	0,677	0,147	1	0	1

Tab. 7: Statistik der Jahres-MVC des SAVI von Landsat 7 und Landsat 8 (eigene Darstellung)

Diese auch im Verlaufsdiagramm der NDVI- und SAVI-Durchschnittswerte in Abb. 21 gut erkennbaren Spitzen sind darauf zurückzuführen, dass bei der Erstellung der MVC lediglich für diese drei Jahre Daten aus den Monaten August – und damit dem Monat mit dem durchschnittlich höchsten Niederschlag – bzw. September zur Verfügung standen. Auch 2003 und 2006, wo jeweils ein Bild aus dem ebenfalls regenreichen Monat Juli vorhanden ist, weisen im Vergleich zu den übrigen Jahren höhere Werte auf. Dass der MVC-Durchschnittswert des Jahres 2004, für welches ebenfalls eine Szene aus dem Juli vorliegt, sich nicht von den Jahren abhebt, für die keine geeigneten Landsat-Bilder der Monate Juli bis September verfügbar sind, könnte an geringeren Niederschlagsmengen in der Zeit vor der Aufnahme des Bildes liegen.

Insgesamt ist es aufgrund der inhomogenen Datenlage bei der Berechnung der jährlichen MVC von SAVI und NDVI – es wurden je nach Verfügbarkeit zwischen vier und zehn Landsat-Szenen aus unterschiedlichen Monaten miteinbezogen – schwierig, konkrete Aussagen in Bezug auf die Entwicklung der Vegetation im Untersuchungsgebiet zu treffen. Dennoch können negative Tendenzen zumindest vermutet werden, da die ebenfalls in Abb. 22 sichtbaren Trendlinien für beide Vegetationsindices trotz der Spitzenwerte gegen Ende des Untersuchungszeitraums eine ungünstige Entwicklung der Vegetationsbedeckung anzeigen.

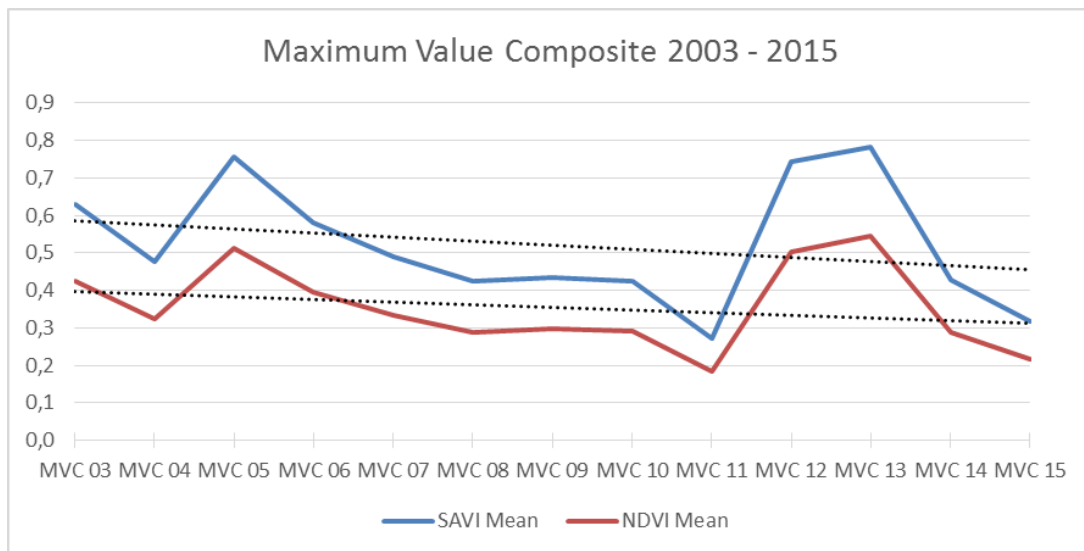


Abb. 21: Durchschnittliche SAVI- und NDVI-Werte im Untersuchungsgebiet, 2003 bis 2015 (eigene Darstellung)

Zum Vergleich wurden aus den Durchschnittswerten der Monate März, April, Oktober und Dezember die mittleren NDVI-Werte für 2006, 2007, 2009 und 2014 berechnet – die Jahre, für die Bilder aus allen vier Monaten vorhanden sind. Das Verlaufsdiagramm dieser Mittelwerte in Abb. 23 scheint den Trend, der bei den NDVI- und SAVI-Durchschnittswerten für den gesamten Untersuchungszeitraum festgestellt wurde, zu bestätigen. Da mit März, April und Dezember vorwiegend Daten aus der Trockenzeit für die Berechnungen genutzt wurden, ist davon auszugehen, dass Schwankungen der Niederschlagsmenge das Ergebnis kaum beeinflusst haben. Der Rückgang der NDVI-Werte ist hier noch deutlicher ersichtlich, allerdings werden lediglich vier Jahre und damit ein sehr kleiner Ausschnitt des Untersuchungszeitraumes betrachtet.

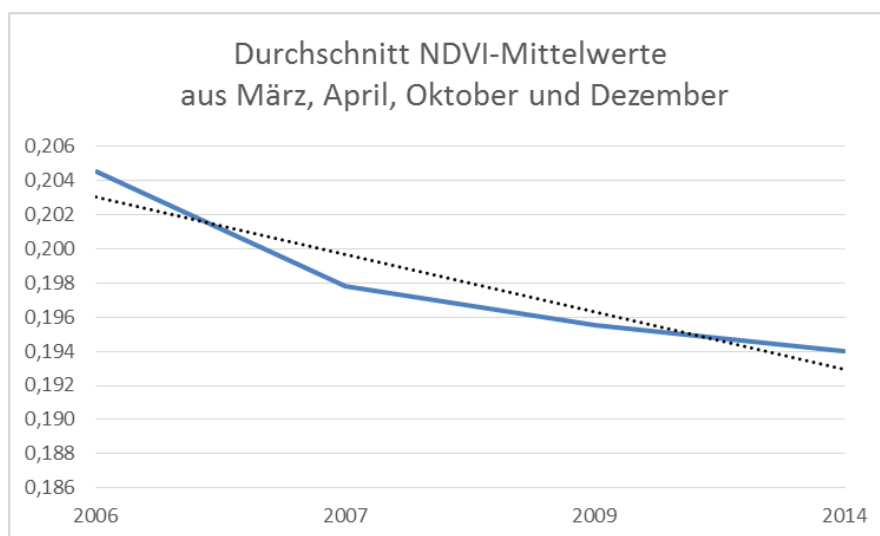


Abb. 22: Durchschnittliche NDVI-Werte der Monate März, April, Oktober und Dezember für die Jahre 2006, 2007, 2009 und 2014 (eigene Darstellung)

Nachdem für die Monate von Mai bis September nicht genügend Satellitenbilder in entsprechender Qualität verfügbar waren, konnte kein MVC der Regenzeit gebildet werden. Stattdessen werden die vorhandenen Szenen für Juni sowie Oktober, also dem Beginn und dem Ende der Regenzeit, als Grundlage für Change Detection Analysen herangezogen, um Änderungen der Landnutzung und Landbedeckung im Untersuchungsgebiet festzustellen. Außerdem werden auch die Aufnahmen aus März und Dezember, den Monaten, aus denen die meisten Satellitenbilder vorliegen, als Vergleich aus der Trockenzeit untersucht.

Für alle Monate liegen Daten aus der Zeit vor Eröffnung des Lagers Djabal, aus dessen Anfangszeit und vom Ende des Untersuchungszeitraumes vor, wodurch ein guter Überblick über die gesamte betrachtete Zeitspanne gegeben ist (eine Auflistung der verwendeten Satellitenbilder ist in Tab. 8 ersichtlich). Für Monate, in denen mehr als ein Bild vorhanden ist, werden – um etwaige Datenlücken zu verringern – ebenfalls MVC gebildet. Anschließend wurden mittels Raster Calculator die Differenzen zwischen den jeweiligen Jahren berechnet und aus diesen wiederum der Mittelwert berechnet. Die Zusammenfassung aller Veränderungen der Indexwerte über den gesamten Untersuchungszeitraum weist durchschnittliche Zu- und Abnahmen der einzelnen Pixelwerte aus und liefert damit Informationen über die Entwicklung der entsprechenden Areale auf der Erdoberfläche.

Bei der Darstellung der Mittelwerte von NDVI und SAVI der vier untersuchten Monate als Verlaufsdiagramm wurde auf die Interpolation der fehlenden Werte für die Jahre ohne geeignete Landsat 7-Szene verzichtet. Wie anhand der Trendlinien für die beiden Vegetationsindices in den Abb. 23 und 24 ersichtlich ist, weisen die Mittelwerte für die Monate Oktober und Dezember eine minimal steigende Entwicklung auf und liegen relativ konstant um die Werte drei (NDVI) und fünf (SAVI) im Oktober bzw. zwei (NDVI) und drei (SAVI) im Dezember, wobei die Schwankungsbreite im Oktober deutlich größer ist als im Dezember. Die Ursache dafür kann darin begründet sein, dass der Oktober am Ende der Regenzeit liegt, weshalb die Indexwerte entsprechend stärker von der Menge der Niederschläge – und damit dem Wachstumspotenzial der Vegetation – in der jeweiligen Saison beeinflusst werden. Die relativ niedrigen Indexwerte deuten allerdings darauf hin, dass auch kurz nach Ende der Regenzeit der Bedeckungsgrad von grüner Vegetation relativ gering ist. Die eben beschriebenen Auswirkungen des Niederschlags auf die Vegetationsindices können sich in den darauffolgenden zwei Monaten November und Dezember aufgrund ausbleibender Regenfälle ausgleichen. In dieser Zeit nimmt die Vegetationsbedeckung generell ab und die Indexwerte gehen auf einen niedrigeren, stabileren Wert der Trockenzeit zurück.

Jahr	März	Juni	Oktober	Dezember
1999				23.12. SLC- on
2000			22.10. SLC- on	25.12. SLC- on
2001			25.10. SLC- on	12.12. SLC- on
2002				31.12. SLC- on
2003	05.03. SLC- on 22.03. SLC- on			12.12. SLC- off
2004			17.10. SLC- off	04.12. SLC- off 20.12. SLC- off
2005	26.03. SLC- off	14.06. SLC- off	04.10. SLC- off 20.10. SLC- off	07.12. SLC- off 23.12. SLC- off
2006	13.03. SLC- off	01.06. SLC- off	07.10. SLC- off	10.12. SLC- off 26.12. SLC- off
2007	16.03. SLC- off		10.10. SLC- off 26.10. SLC- off	13.12. SLC- off 29.12. SLC- off
2008	18.03. SLC- off	06.06. SLC- off	12.10. SLC- off 28.10. SLC- off	
2009	05.03. SLC- off		15.10. SLC- off 31.10. SLC- off	02.12. SLC- off 18.12. SLC- off
2010	08.03. SLC- off 24.03. SLC- off			
2011	11.03. SLC- off 27.03. SLC- off			24.12. SLC- off
2012	29.03. SLC- off			10.12. SLC- off 26.12. SLC- off
2013	16.03. SLC- off		10.10. SLC- off	13.12. SLC- off 29.12. SLC- off
2014	19.03. SLC- off	23.06. SLC- off	29.10. SLC- off	16.12. SLC- off
2015	22.03. SLC- off	10.06. SLC- off		

Tab. 8: Für LULCC-Analysen verwendete Landsat 7-Szenen der Monate März, Juni, Oktober und Dezember (eigene Darstellung)

Im Vergleich dazu weist das Diagramm des Monats März in Abb. 25 einen ausgeprägten Aufwärtstrend für beide Indices auf, wenn auch auf sehr niedrigem Niveau. Die Durchschnittswerte des NDVI, die sich zwischen den Werten 0,1 und leicht über 0,15 bewegen, deuten darauf hin, dass im Untersuchungsgebiet im Monat März kaum grüne Vegetation vorhanden ist.

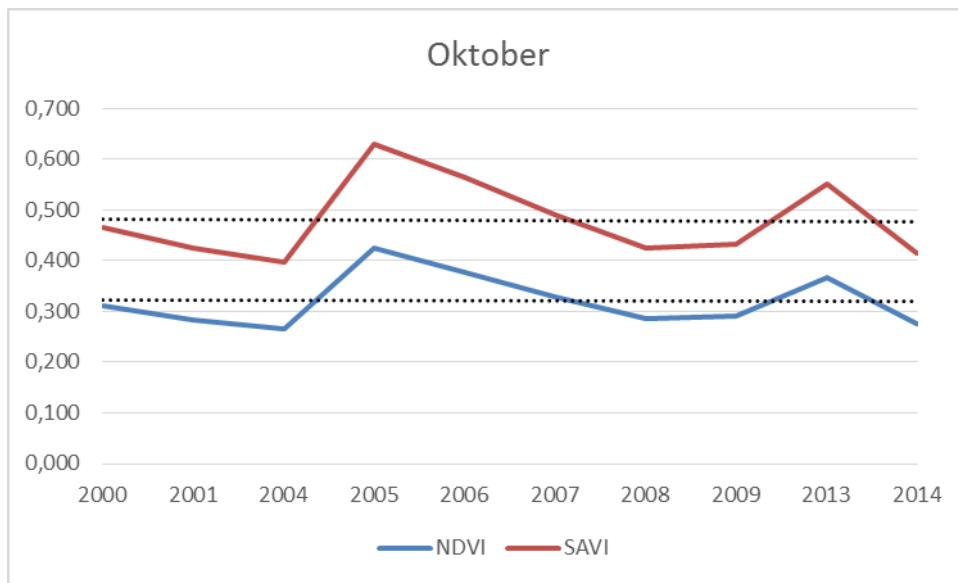


Abb. 23: Verlaufsdiagramm der Durchschnittswerte von NDVI und SAVI des Monats Oktober, 2000 bis 2014 (eigene Darstellung)

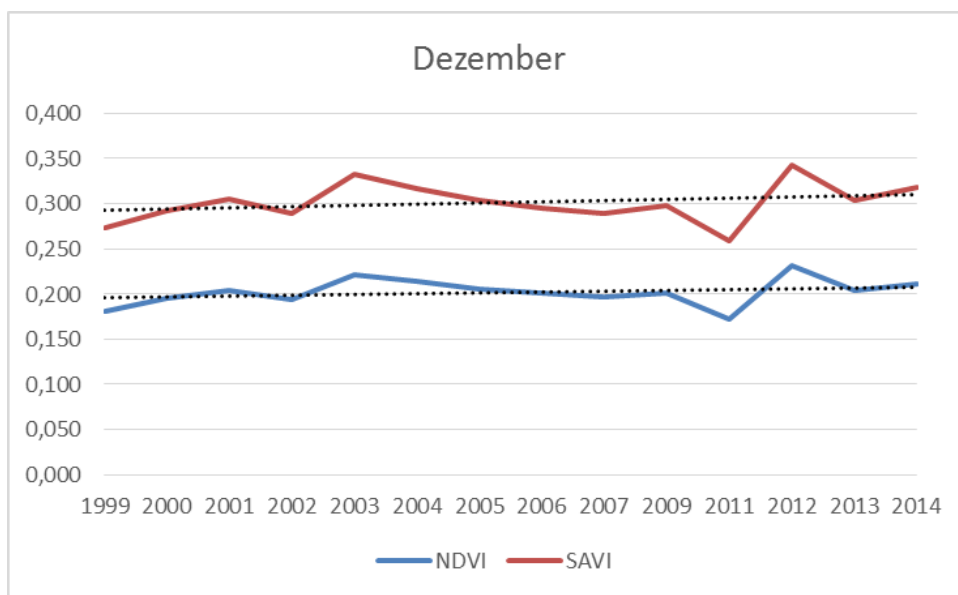


Abb. 24: Verlaufsdiagramm der Durchschnittswerte von NDVI und SAVI des Monats Dezember, 1999 bis 2014 (eigene Darstellung)

Überraschenderweise zeigen gerade die Vegetationsindices für Juni – den einzigen Monat der Regenzeit – äußerst geringe Werte auf, wie in Abb. 26 ersichtlich. Ausschließlich dieser Monat offenbart auch einen deutlich negativen Entwicklungstrend des NDVI und SAVI im Untersuchungszeitraum. Eine genaue Auflistung der errechneten Durchschnittswerte für die beiden Vegetationsindices liefern Tab. 9 und Tab. 10.

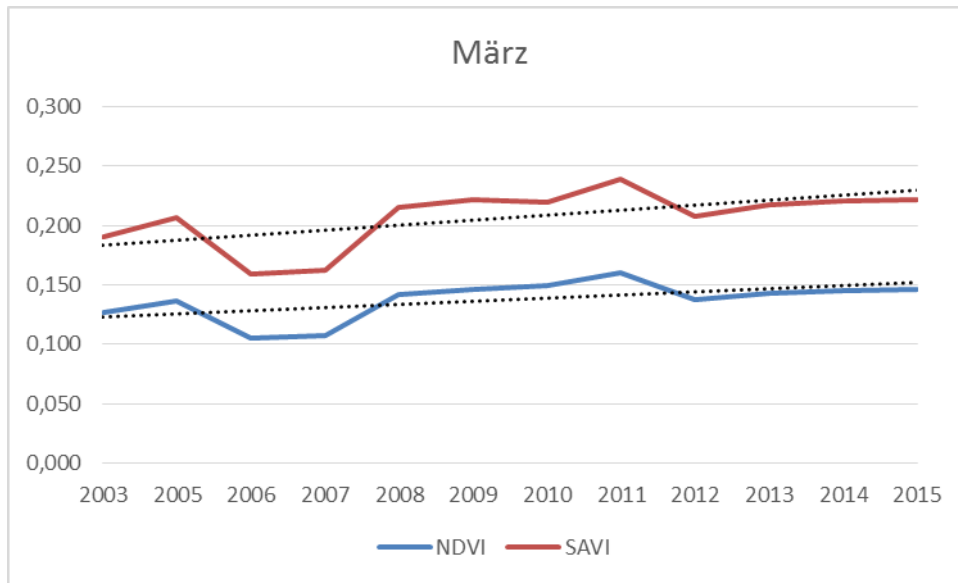


Abb. 25: Verlaufsdiagramm der Durchschnittswerte von NDVI und SAVI des Monats März, 2003 bis 2015 (eigene Darstellung)

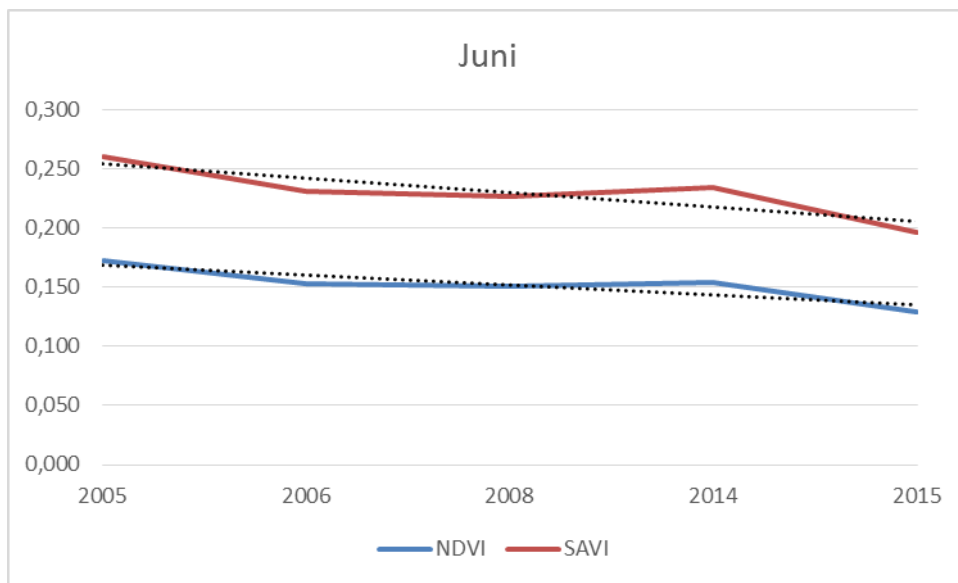


Abb. 26: Verlaufsdiagramm der Durchschnittswerte von NDVI und SAVI des Monats Juni, 2005 bis 2015 (eigene Darstellung)

Ein Vergleich der jeweiligen Werte von NDVI und SAVI zeigt, dass der Einfluss des soil adjustment index – und damit die Differenz zwischen den Indexwerten – bei der höheren Vegetationsbedeckung der Monate Oktober und Dezember größer ist als bei der niedrigen im März und Juni. Da das Verhältnis der beiden Indices zueinander in allen untersuchten Monaten annähernd gleich ist, wird bei der weiteren visuellen Interpretation der Analyseergebnisse auf die Verwendung der SAVI-Werte verzichtet.

Jahr	März	Juni	Oktober	Dezember
1999				0,181
2000			0,311	0,196
2001			0,284	0,204
2002				0,194
2003	0,127			0,221
2004			0,265	0,214
2005	0,137	0,172	0,425	0,206
2006	0,105	0,153	0,376	0,201
2007	0,107		0,330	0,196
2008	0,142	0,151	0,287	
2009	0,147		0,292	0,200
2010	0,150			
2011	0,161			0,172
2012	0,137			0,231
2013	0,143		0,367	0,204
2014	0,145	0,154	0,275	0,211
2015	0,146	0,129		

Tab. 9: NDVI-Durchschnittswerte 1999 bis 2015 (eigene Darstellung)

Jahr	März	Juni	Oktober	Dezember
1999				0,273
2000			0,464	0,292
2001			0,424	0,304
2002				0,415
2003	0,190			0,407
2004			0,398	0,316
2005	0,206	0,260	0,630	0,304
2006	0,159	0,231	0,565	0,295
2007	0,162		0,490	0,289
2008	0,215	0,227	0,426	
2009	0,222		0,433	0,297
2010	0,219			
2011	0,238			0,259
2012	0,208			0,343
2013	0,217		0,551	0,303
2014	0,221	0,235	0,415	0,318
2015	0,222	0,197		

Tab. 10: SAVI-Durchschnittswerte 1999 bis 2015 (eigene Darstellung)

Die Farbverlaufsdarstellung der durchschnittlichen Veränderungen des NDVI-Mean in Abb. 27 links zeigt, in welchen Gebieten es über den Untersuchungszeitraum von 1999 bis 2015 vorwiegend zu positiven oder negativen Entwicklungen zwischen den Monaten März, Juni, Oktober und Dezember der einzelnen Jahre gekommen ist. Abgesehen von den SLC-off-Datenlücken, welche die höchsten Zu- und Abnahmewerte aufweisen, ist auffällig, dass ein großer Teil der Areale, bei denen Abnahmen der NDVI-Durchschnittswerte überwiegen, im Bereich der Wasserläufe östlich der Hügelketten liegen. Außerdem weist die unmittelbare

Umgebung der Siedlungsgebiete Goz Beïda, Camp Djabal und Kouroukoul sowie weiterer Dörfer im Untersuchungsgebiet tendenziell negative Entwicklungen der NDVI-Durchschnittswerte auf. Die durchschnittlich stärkste positive Entwicklung ereignete sich im äußersten Südosten des Untersuchungsgebiet, wo sich die Ausläufer der Umlagerungsstrecke eines größeren Flusses befinden. Generell weist der südöstliche Teil des Untersuchungsgebiets, genauso wie die Hügelgebiete, leicht positive Entwicklungen der NDVI-Mittelwerte über die untersuchten Jahre auf.

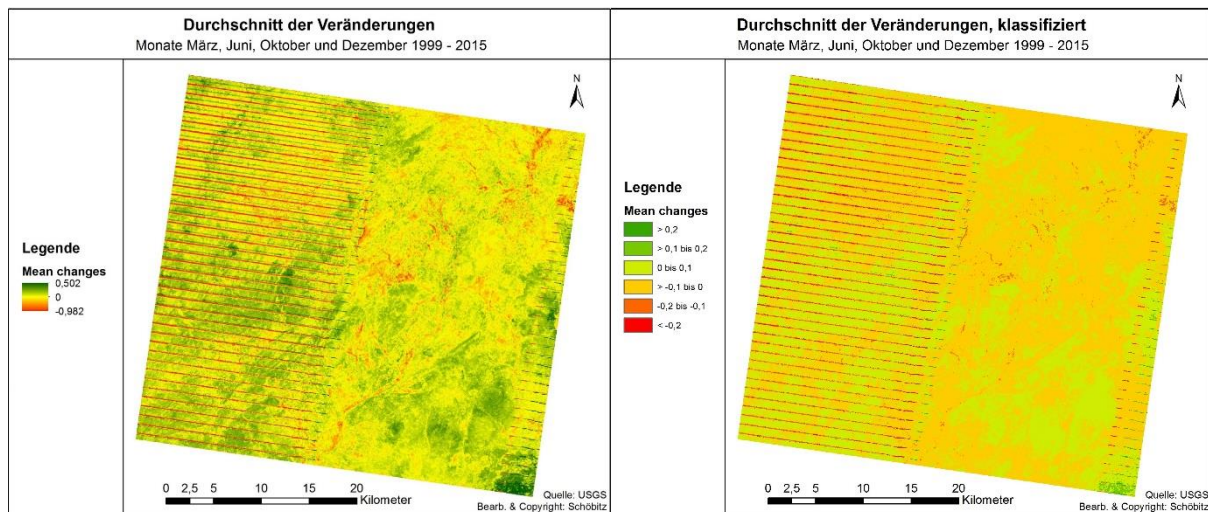


Abb. 27: Durchschnitt der Zu- und Abnahmen des NDVI-Mean in den Monaten März, Juni, Oktober und Dezember im Untersuchungszeitraum von 1999 bis 2015 in absoluten Werten (links) und klassifiziert (rechts)

Die Darstellung der durchschnittlichen Veränderungen der NDVI-Mittelwerte, eingeteilt in 6 Klassen, in Abb. 27 rechts zeigt noch deutlicher, dass die Maximalwerte auf beiden Enden der Skala durch die SLC-off-Fehler bedingt sind. Für den überwiegenden Großteil des Untersuchungsgebiets haben die Werte der betrachteten Monate im Durchschnitt lediglich um 0,1 zu- oder abgenommen, damit waren kaum Veränderungen der NDVI-Mittelwerte zu beobachten. Wie bereits in der Farbverlaufsdarstellung angedeutet, wird hier ersichtlich, dass die größten positiven Abweichungen im äußersten Südosten in der Nähe der Flussumlagerungsstrecke zu finden sind, während die negativen vor allem in der Umgebung von Goz Beïda und entlang der Flussläufe im Nordosten des Untersuchungsgebiets vorliegen. Diese bewegen sich mit $\pm 0,2$ allerdings auch in relativ moderatem Rahmen.

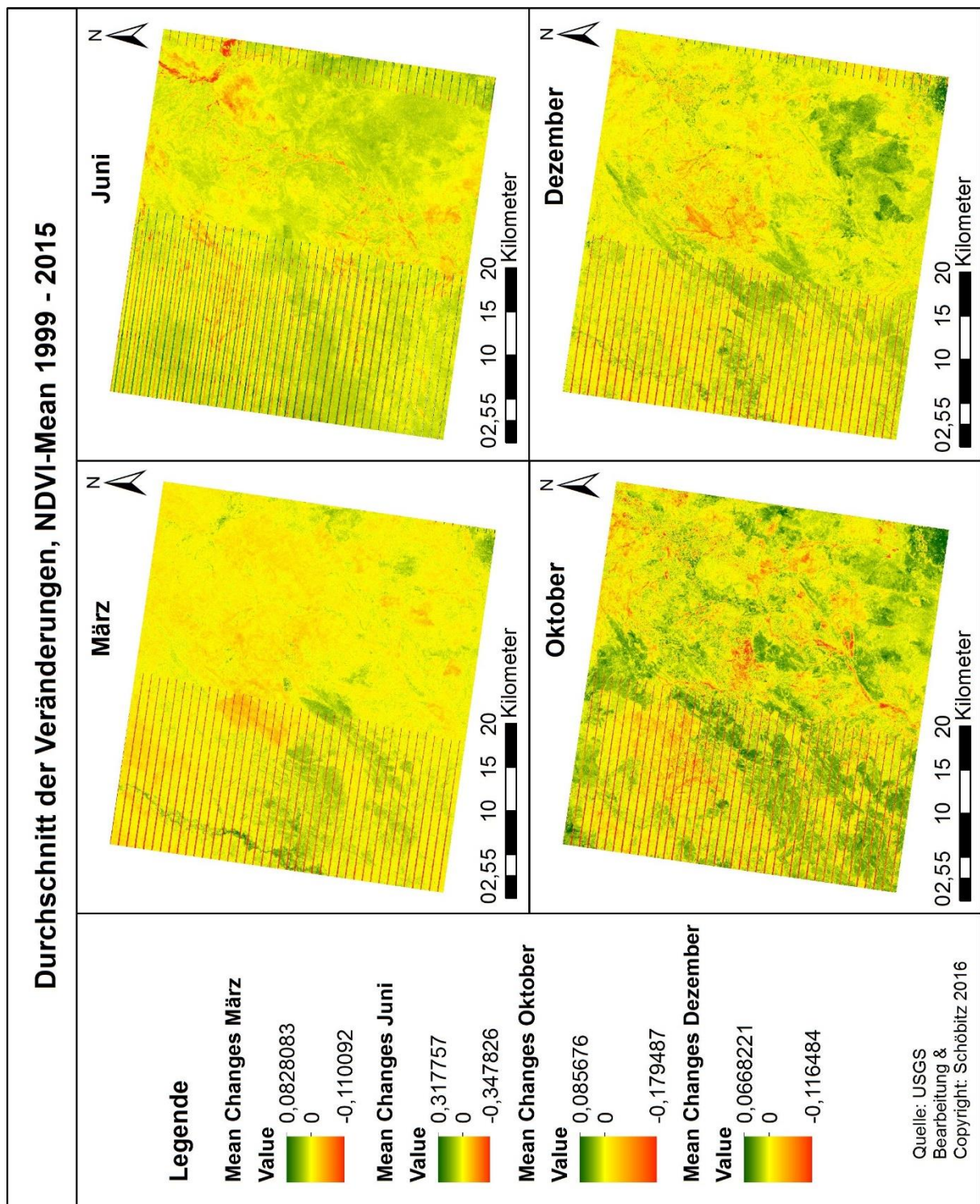


Abb. 28: Vergleich der durchschnittlichen Veränderungen des monatlichen NDVI-Mean für März, Juni, Oktober und Dezember

Bei einer Betrachtung der durchschnittlichen Veränderungswerte für die einzelnen Monate in Abb. 28 ist für den März erkennbar, dass sich für den Großteil der Pixel der durchschnittliche NDVI über alle betrachteten Zeitpunkte hinweg kaum verändert hat. Die tendenziell stärksten

Zuwächse hat es entlang eines Flussverlaufs am westlichen Rand des Untersuchungsgebiets sowie im äußersten Südosten gegeben. Dies sind auch die einzigen Gebiete, in denen es im März, über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg, konstant Pixel mit einem Wert größer als 0,2 gibt. Ein großer Teil der sonstigen Zu- und Abnahmen im Untersuchungsgebiet ist durch die Brandrodungen erklärbar. Je nachdem, ob Areale in aufeinanderfolgenden Bildern verbrannt wurden oder nicht, kommt es zu besonders großen Veränderungen beim NDVI, die sich auch auf den Durchschnittswert aller Veränderungen niederschlagen. Generell weisen im März vorwiegend verbrannte Gebiete einen NDVI auf, der geringer als 0,1 ist. Auffällig ist allerdings, dass, während die unmittelbare Umgebung von Goz Beïda und Camp Djabal eine leicht negative Entwicklung aufweist, der NDVI im Flüchtlingslager und in Teilen der Stadt selbst im Durchschnitt leicht gestiegen ist. Ein Grund dafür kann sein, dass im Siedlungsgebiet, zum Schutz vor der Sonne, Bäume gepflanzt wurden, weshalb in der Trockenzeit die NDVI-Werte in diesen Gebieten höher sind als außerhalb der besiedelten Bereiche, wo keine grüne Vegetation mehr zu finden ist. Diese Vermutung wird von dem erstmaligen Auftreten von Pixeln mit einem Wert größer als 0,2 im Lagergebiet im Jahr 2009, also fünf Jahre nach Gründung des Camps, bekräftigt. In Goz Beïda sind bereits 2003 vereinzelt Bildpunkte mit diesem, für März sehr hohen, Wert vorhanden. Im Verlauf der Zeit nimmt in beiden Siedlungsgebieten die Anzahl an Pixeln mit überdurchschnittlich hohen Werten zu, sodass im März 2015 ein Großteil der Campfläche einen NDVI von mehr als 0,2 aufweist, was bei einem Durchschnittswert von 0,146 für das gesamte Untersuchungsgebiet vergleichsweise hoch ist.. In Kouroukoul ist dieser Effekt nicht zu beobachten.

Obwohl auch das Kärtchen für Juni eine tendenzielle Zunahme der NDVI-Durchschnittswerte im Areal von Camp Djabal anzeigt, wird bei der Betrachtung des NDVI für die einzelnen Jahre klar, dass im Lagerbereich lediglich in einem Jahr Werte über 0,2 ausgewiesen werden. Ein einmalig größerer Anstieg zwischen den Jahren 2008 und 2009 bedingt also die relative Zunahme über den gesamten Untersuchungszeitraum. Generell sind auch im Juni jene Gebiete entlang des Flusses im Westen sowie in der südöstlichen Ecke mit konstanten NDVI-Werten größer als 0,2 ausgezeichnet. Im übrigen Gebiet liegt der NDVI zwischen 0,1 und unter 0,3, wobei die Hügelgebiete und der südöstliche Bereich öfter Werte über 0,2 aufweisen. Das Gebiet im Nordosten zeigt eine starke durchschnittliche Verringerung des NDVI, da im Jahr 2005 das Areal, in dem ein Wert von über 0,3 nachgewiesen wurde, noch deutlich größer war als in den darauffolgenden Jahren, in denen ein Rückgang der Fläche mit NDVI-Werten über 0,3 zu beobachten war. Zum jetzigen Zeitpunkt geht der Höchstwert in diesem Gebiet nicht mehr über 0,3 hinaus und viele Pixel haben sogar nur noch einen Wert unter 0,2. In mehreren Jahren gibt es außerdem in der Umgebung von Camp Djabal und Richtung Nordosten, also die einzige Richtung, die nicht von Hügelketten abgedeckt ist, Gebiete mit einem NDVI-Wert von unter 0,1. Diese sind erstmals in der Szene vom Juni 2006 vorhanden und von da an jedes Jahr in unterschiedlicher Ausprägung zu finden. Dieses Phänomen schlägt sich allerdings, wie in Abb. 27 ersichtlich, kaum auf die durchschnittliche Veränderung der NDVI-Werte nieder, da ein Teil der Pixel den niedrigen Wert stabil behält, während ein anderer Teil sich vom Jahr 2014 zu 2015 leicht positiv entwickelt, wodurch der ursprüngliche Rückgang im Wert ansatzweise wieder ausgeglichen wird.

Von den untersuchten Monaten liegen im Oktober die höchsten durchschnittlichen NDVI-Werte vor. Da hier die vorangegangene Regenzeit der Faktor mit dem größten Einfluss auf den Zustand der Vegetation ist und die Differenzen zwischen den einzelnen Jahren entsprechend hoch sind, können Trends im Untersuchungsgebiet nur schwer festgestellt werden. Auffällig ist jedoch, dass in diesem Monat die NDVI-Werte für den Bereich des Flüchtlingslagers zum Teil deutlich niedriger sind als für die direkte Umgebung. Außerdem beginnt im Oktober die Erntezeit, wodurch sich, je nach aktuellem Zustand der Felder zum Aufnahmezeitpunkt – bewachsen, brachliegend, abgeerntet, etc. –, bei den Change Detection-Berechnungen kleinräumig strukturierte Muster ergeben, bei denen sich starke Zu- und Abnahmen in unmittelbarer Nähe zueinander befinden. Diese heben sich relativ klar von den anderen, natürlichen Strukturen ab und geben einen Hinweis darauf, in welchen Teilen des Untersuchungsgebiets hauptsächlich Feldbau betrieben wird. Ein Beispiel für dieses Phänomen findet sich in Abb. 29, wobei die Bereiche, in denen diese Strukturen vorwiegend auftreten, mit schwarzen Rahmen markiert wurden.

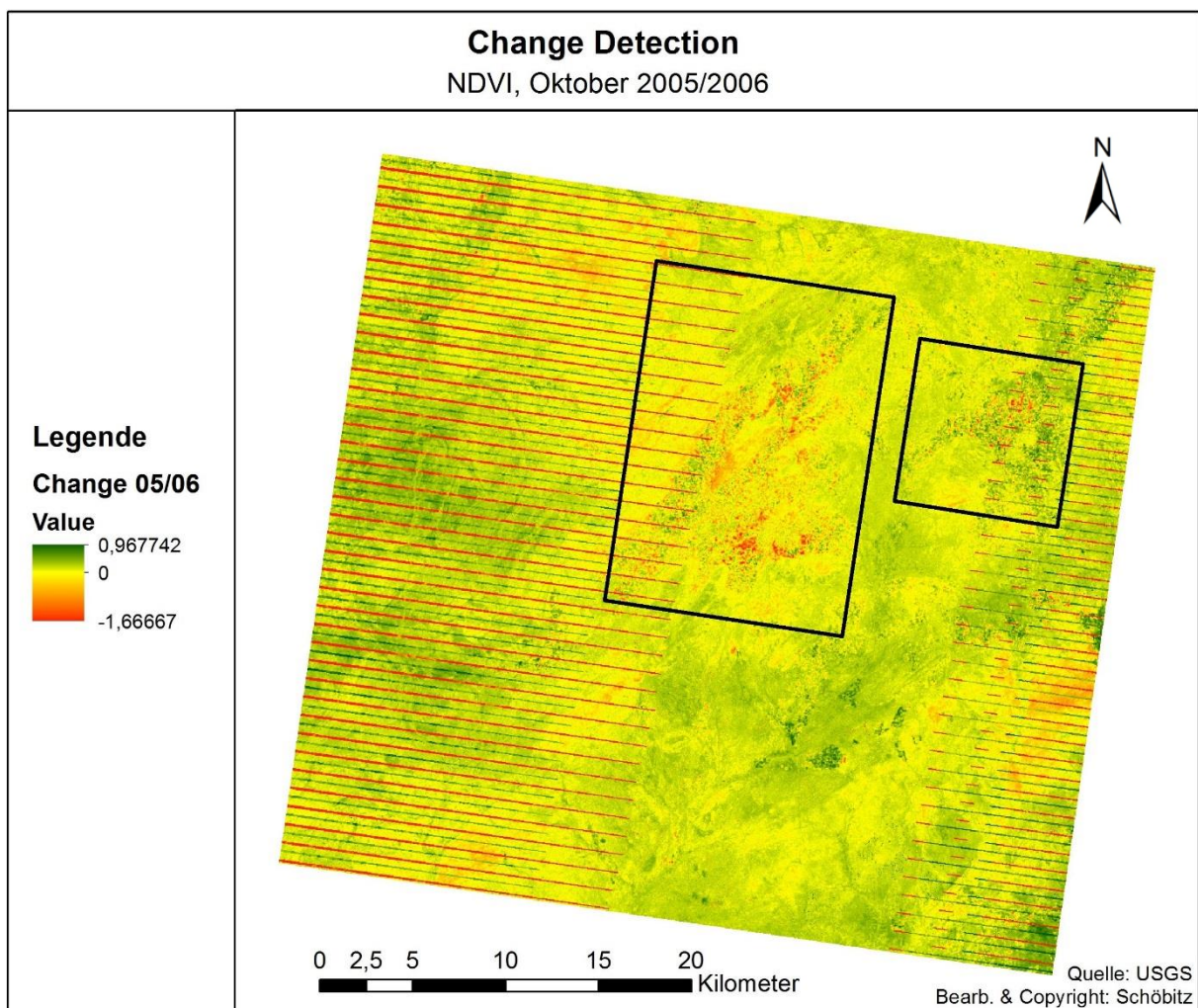


Abb. 29: Ergebnis der Change Detection-Analyse von Oktober 2005/2006

Der Dezember weist die zweithöchsten Durchschnittswerte für den NDVI auf, wobei die höchsten Pixelwerte erneut entlang der Wasserläufe zu finden sind. Die Vegetation ist im Vergleich zum Oktober bereits deutlich zurückgegangen, sodass die Werte im Bereich von Camp Djabal zum Teil wieder höher sind als die der direkten Umgebung. In einigen Jahren ist jedoch im Umland auch in diesem Monat noch mehr grüne Vegetation zu finden als im Lager. Außerdem sind bereits die ersten Brandflächen der neuen Saison erkennbar. Bei der Betrachtung der Change Detection-Ergebnisse der einzelnen Monate sind genau wie im Oktober Auswirkungen landwirtschaftlicher Aktivitäten auf den NDVI erkennbar, allerdings deutlich schwächer ausgeprägt, wie in Abb. 30 gezeigt wird. In der Abbildung wurden ebenfalls Beispiele für die genannten Strukturen durch schwarze Rahmen markiert. Die Flächen in dunklerem Grün im Norden und Südwesten bzw. Süden des Untersuchungsgebiets sind jene Gebiete, die in der Szene aus 2012 verbrannt waren, in der von 2013 aber mit gesunder Vegetation bedeckt sind.

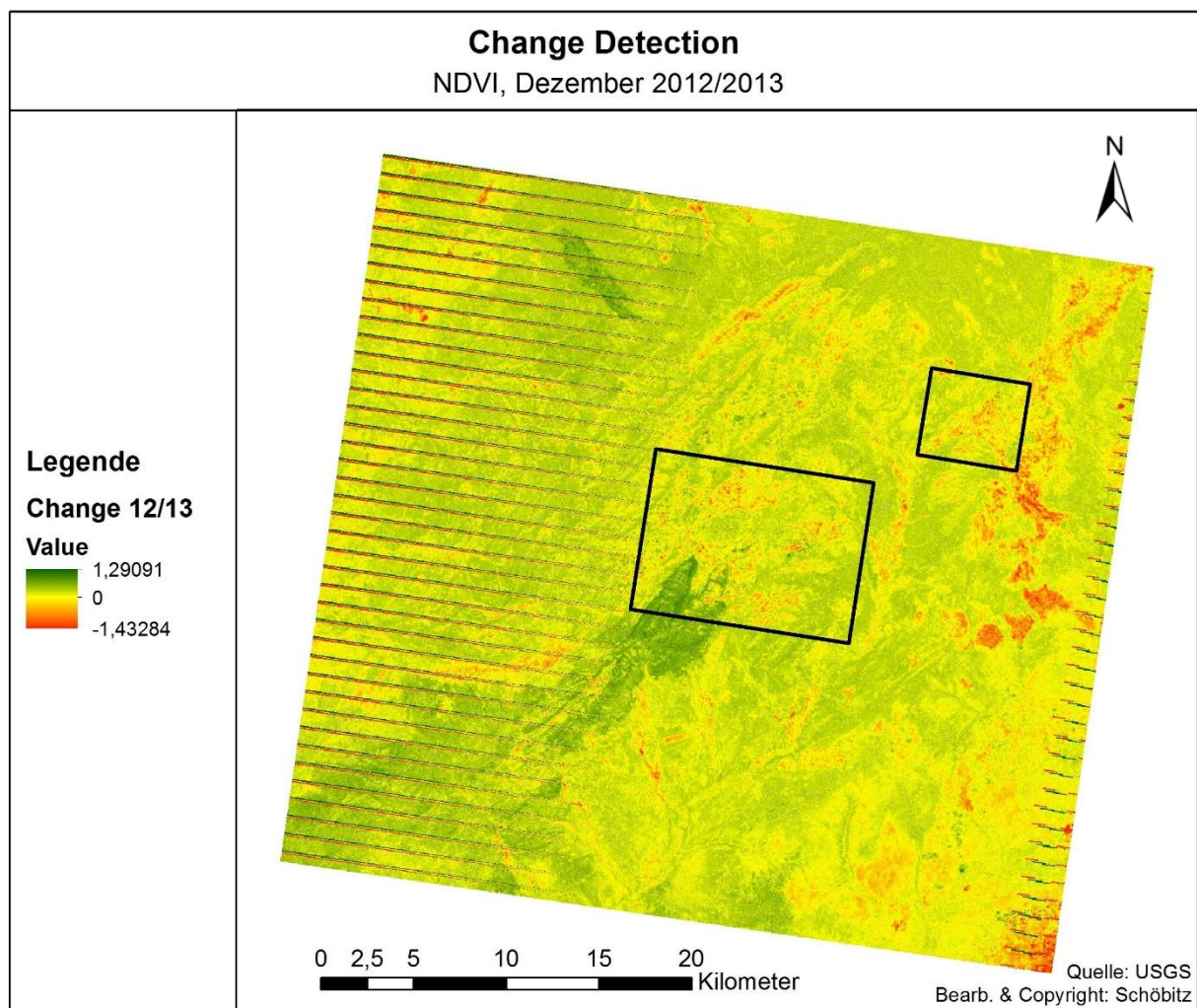


Abb. 30: Ergebnis der Change Detection-Analyse von Dezember 2012/2013

3.3 Brandflächendetektion

Bei der Detektion der verbrannten Flächen kamen unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Generell wurden die Monate von Dezember bis April als Feuersaison angenommen, da in dieser Zeit frische Brandnarben auf den Landsat-Szenen auszumachen sind. Je nach Verfügbarkeit geeigneter Satellitenbilder, wurde dabei teilweise auch auf Aufnahmen aus dem Monat Mai zurückgegriffen. Zunächst wurde versucht, mittels Klassifikation von SAVI- und NDVI-Ergebnissen, jene Gebiete in den Satellitenbildern auszuweisen, die von Feuern betroffen waren. Durch das Ausprobieren unterschiedlicher Klassenlimits sollte jener Grenzwert gefunden werden, der die Brandflächen möglichst komplett umfasst und die Anzahl an fehlerhaft klassifizierten Pixeln gleichzeitig gering hält.

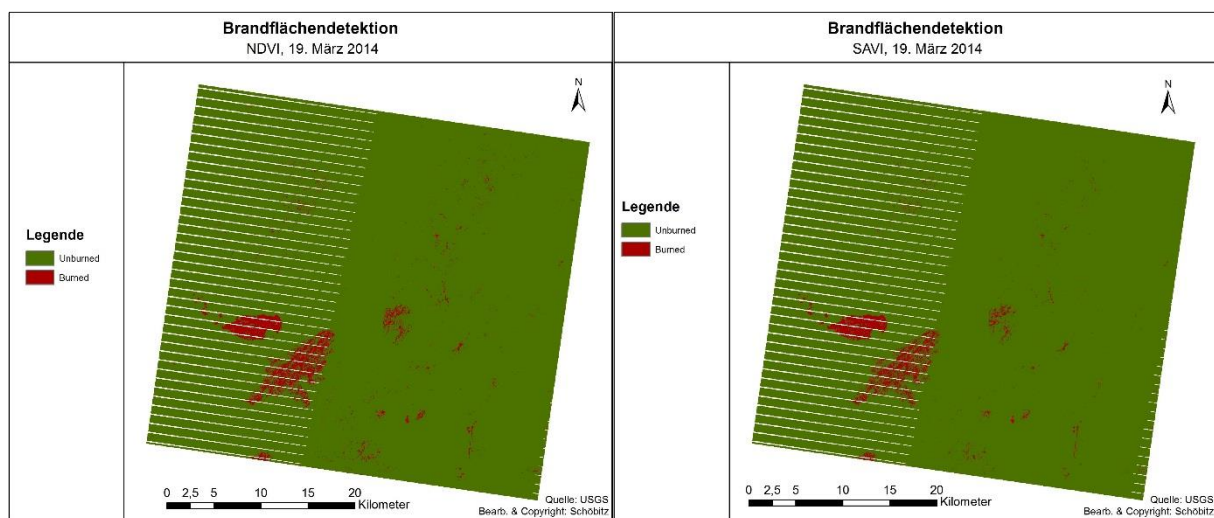


Abb. 31: Brandflächendetektion mittels NDVI (links) und SAVI (rechts), 19. März 2014

In Abb. 31 findet sich der Vergleich einer solchen Klassifizierung mittels NDVI und SAVI, wobei für letzteren ein Grenzwert von 0,157 zwischen verbrannten und nicht verbrannten Gebieten festgelegt wurde. Beim NDVI liegt der Grenzwert bei 0,108. Betrachtet man die Landsat 7-Aufnahme des entsprechenden Datums in Abb. 32 jeweils in Echt- und Falschfarbendarstellung – die Verwendung der Bänder 6/4/3 für RGB ermöglicht ein gutes Erkennen von Brandflächen, die in dieser Darstellungsart magentafarben erscheinen –, ist ersichtlich, dass die sehr frischen Brandnarben südwestlich von Camp Djabal bei beiden Indices als verbrannt klassifiziert wurden und auch die Fläche südöstlich des Lagers zumindest teilweise korrekt ausgegeben wird. Die Gebiete im Nordwesten und an der südlichen Grenze des Untersuchungsgebiets, bei denen sich die Brände schon einige Zeit vor der Aufnahme des Satellitenbildes ereigneten, werden jedoch kaum korrekt erfasst. Zusätzlich werden bereits bei diesem Schwellenwert einige Pixel, vor allem in Richtung Nordosten vom Lager aus, fehlerhaft klassifiziert. Eine Feststellung der gesamten verbrannten Gebiete einer Saison mit Hilfe von NDVI oder SAVI, um daraus Veränderungen der jährlichen Brandflächen abzuleiten, scheint also nicht möglich.

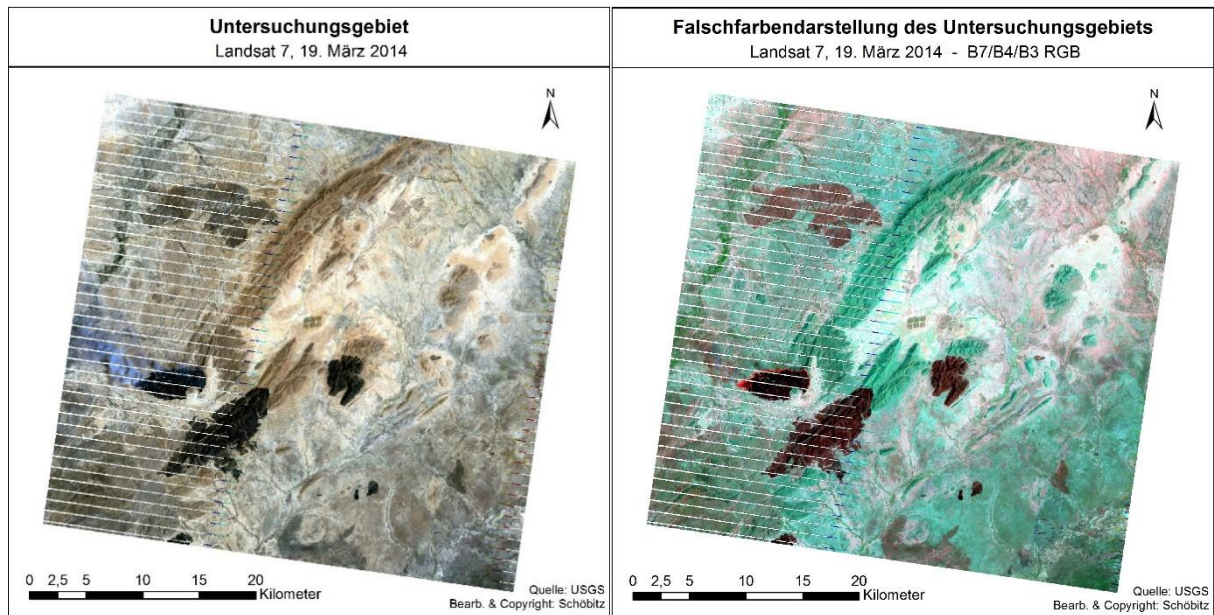


Abb. 32: Landsat 7-Szene vom 19. März 2014; Darstellung in Echtfarben (links) und Falschfarben (Bänder 6/4/3 - RGB)

Als nächstes wurde der NBR herangezogen, um eine Klassifizierung durchzuführen. Der Grenzwert von $-0,06$ gibt einen großen Teil der betroffenen Areale korrekt aus, allerdings sind nach wie vor Lücken in den verbrannten Gebieten vorhanden und die ältere Brandnarbe am südlichen Rand des Untersuchungsgebiets wird, wie in Abb. 33 ersichtlich, auch bei einer Klassifizierung mittels NBR nicht erfasst. Außerdem kommt es zu einer relativ großen Anzahl an fehlerhaft als verbrannt ausgewiesenen Pixel, hauptsächlich im Nordosten aber auch in der nordwestlichen Ecke.

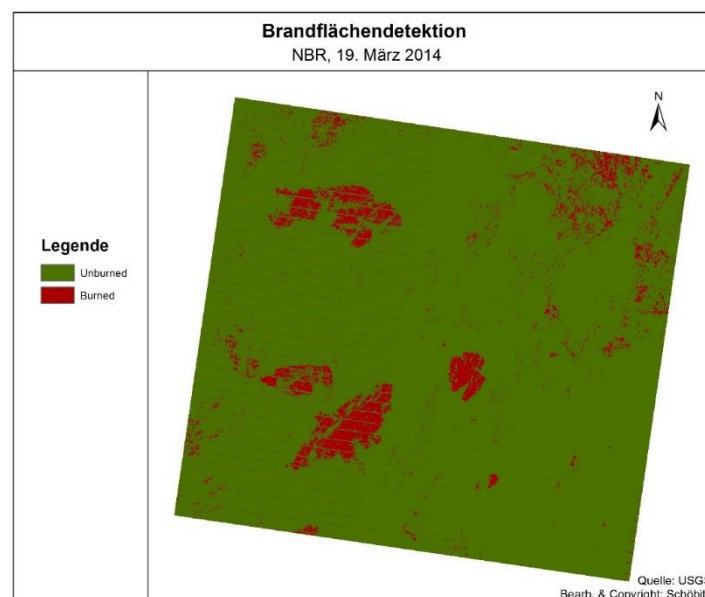


Abb. 33: Brandflächendetektion mittels NBR, 19. März 2014

Wie an den Rauchschwaden im Echtfarbenbild sowie dem hellroten Rand der Brandfläche in der Band 6/4/3 - RGB Darstellung, in Abb. 32 erkennbar ist, hat es zum Zeitpunkt der Aufnahme in diesem Gebiet ein aktives Feuer gegeben. Die Hitzestrahlung der davonziehenden Rauchwolke führt bei der Klassifikation durch den NBR, der, wie bereits erwähnt, mittels zweier Infrarotkanäle gebildet wird, zu zusätzlichen fehlerhaft eingeteilten Pixeln. Auch wenn der NBR bessere Ergebnisse liefert als NDVI oder SAVI, liefert er doch keine zufriedenstellenden Ergebnisse bei der Abgrenzung verbrannter Flächen von unberührten Gebieten. Aufgrund der spärlichen Vegetation und dem geringen Ausmaß an grüner Pflanzenbedeckung während der Trockenzeit – und damit der Phase, in der sich die Brände ereignen –, liegen die entsprechenden Indexwerte auf relativ niedrigem Niveau eng beieinander, sodass es kaum möglich ist, einen Schwellenwert zu definieren, der eine korrekte Unterscheidung zwischen verbrannten und nicht-verbrannten Pixeln zulässt.

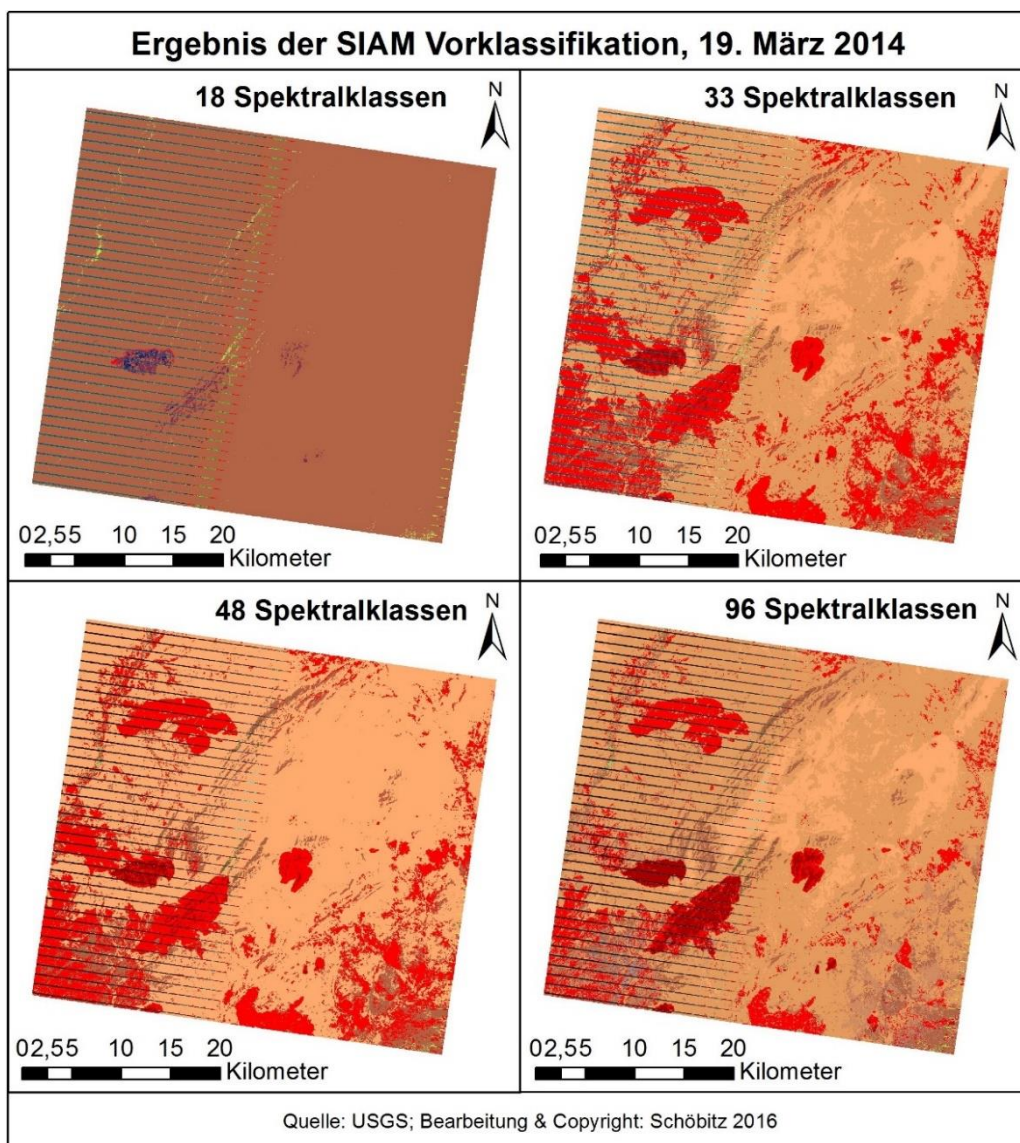


Abb. 34: Vergleich der SIAMTM-Vorklassifikation der Szene vom 19. März 2014; Einteilung in 18, 33, 48 und 96 Spektralklassen

Um die Zweckdienlichkeit der SIAMTM-Vorklassifikation abschätzen zu können, wurden zunächst ebenfalls die vorliegenden Daten für den 19. März 2014 betrachtet. Ein Vergleich der Daten – jeweils eingeteilt in 18, 33, 48 und 96 verschiedene Spektralklassen – ist in Abb. 34 ersichtlich. Bei dem Kärtchen der Einteilung in 18 Spektralklassen ist auf den ersten Blick offensichtlich, dass die Unterscheidung zwischen den einzelnen Bedeckungsformen nicht genau genug ist, um dieses SIAMTM-Produkt für die weiteren Untersuchungen zu verwenden. Für die übrigen klassifizierten Bilder wurden jeweils alle Spektralkanäle zusammengefasst, die Brandflächen ausweisen und in dunklem Rot dargestellt, wobei lediglich jene Klasse, die zwar verbrannte Areale abdeckt, aber auch eine große Anzahl an nicht-verbrannten Pixeln umfasst, hellrot eingefärbt wurde. Für die restlichen Spektralklassen, die nicht auf Brandereignisse reagieren, wurde die ursprünglich von SIAMTM vergebene Colormap beibehalten.

Die Bilder mit 33 und 48 Spektralklassen weisen zwar die Brandflächen aus, allerdings wurden hier sogar den beiden sehr frischen Brandflächen, die auch mit NDVI und SAVI teilweise klassifiziert werden konnten, die in hellrot dargestellte Klasse zugewiesen, die auch eine große Anzahl nicht-verbrannter Pixel umfasst. Diejenigen Bildpunkte, die eindeutig zugeordnet werden konnten und entsprechend in dunkelrot gehalten sind, machen in beiden Szenen lediglich einen kleinen Anteil der tatsächlichen Brandflächen aus.

Bei der Einteilung in 96 Spektralklassen wird ein Großteil der frisch verbrannten Flächen Kategorien zugeordnet, die nur bei Brandflächen vorkommen und auch die weniger deutlich erkennbaren Gebiete, bei denen das Brandereignis bereits länger zurückliegt, werden korrekt identifiziert. Allerdings werden auch Gebiete, die offensichtlich nicht von Feuern betroffen waren – zum Beispiel entlang des Flusslaufs im Westen sowie in der südöstlichen Ecke und entlang der östlichen Grenze des Untersuchungsgebiets –, dieser Klasse zugeordnet. Trotz der genauen Einteilung in bis zu 96 verschiedene Kategorien ist die spektrale Auflösung bei der Vorklassifizierung durch SIAMTM nicht hoch genug, um solche Fehlklassifizierungen verhindern zu können.

Dies gilt für das Satellitenbild vom 19. März 2014, bei dem sich die verbrannten Flächen – auch die, bei denen sich das Brandereignis schon längere Zeit vor dem Aufnahmezeitpunkt ereignete – relativ gut von ihrer Umgebung abheben. Bei der Analyse einer Szene vom 18. Dezember 2009, bei der die Brandnarben nicht so deutlich abgegrenzt sind, das Bild insgesamt weniger klar strukturiert und eine größere Variation der Landoberfläche gegeben ist, wurde für mehrere Klassen eine Überschneidung zwischen verbrannten und nicht-verbrannten Gebieten festgestellt. Hier müsste man entweder eine lückenhafte Ausweisung der Brandflächen oder die Fehlklassifikation eines beträchtlichen Teils der Pixel des Untersuchungsgebiets in Kauf nehmen. Es zeigt sich also, dass im vorliegenden Fall auch die von SIAMTM gelieferten vorklassifizierten Szenen nicht ohne weiteres dafür geeignet sind, die Brandflächen im Untersuchungsgebiet zweifelsfrei festzustellen.

Ein weiterer Versuch, die kompletten Brandflächen einer Saison zu ermitteln, greift auf ein Nebenprodukt der Berechnung des dNBR mittels ERDAS Imagine zurück. Bei der Anwendung der Funktion *Image Difference* kann ein zusätzliches Rasterfile abgespeichert werden, indem Veränderungen zwischen den beiden Bildern erfasst werden, wenn diese größer als ein festgelegter Prozentsatz oder Fixwert sind. Da die Brandintensität – und damit der dNBR – keine Relevanz für die Beantwortung der Fragestellungen dieser Arbeit hat, wurden die Berechnungen durchgeführt, um diese sogenannten *Highlight Change* Rasterdaten zu erhalten.

Dabei wurde festgelegt, dass Pixel, deren Werte von einem Bild zum nächsten um mehr als zehn Prozent zugenommen haben, Grün und bei einer Abnahme von mehr als zehn Prozent, Rot dargestellt werden sollen. Anschließend wurden die Rasterdaten ins Vektorformat umgewandelt, wobei lediglich jene Daten behalten wurden, die eine starke Abnahme der Werte kennzeichnen. Nachdem alle Polygone mit einer Fläche geringer als 22,3 Hektar entfernt wurden – ausgenommen jene Polygone, die eindeutig eine Brandfläche auswiesen – und weitere Korrekturen vorgenommen worden sind, zeigt das Ergebnis eine relativ genaue Abgrenzung der verbrannten Flächen. In Abb. 35 werden, als Beispiel für diese Art der Ausweisung von Brandflächen, zwei Szenen des 7. April 2015 nebeneinandergestellt, wobei dem linken Bild Polygone der ermittelten verbrannten Gebiete als Überlagerung hinzugefügt werden. Wie man sieht, werden die am Satellitenbild erkennbaren Brandflächen durch die ausgewiesenen Brandflächen sehr genau überlagert und die auftretenden Fehlklassifikationen lassen sich relativ leicht entfernen. Allerdings können mit dieser Methode lediglich jene Brandflächen verlässlich ausgewiesen werden, die im Untersuchungszeitraum von Dezember bis April/Mai neu hinzukommen und für die auch ein Bild ohne entsprechenden Brand vorhanden ist. Wenn also in einer Szene vom Dezember bereits verbrannte Gebiete vorhanden sind – oder für eine Saison zum Beispiel nur Bilder von März bis Mai verfügbar sind –, können nicht alle verbrannten Areale ausgewiesen werden, da lediglich die Veränderungen zwischen den Zeitpunkten T und T+1 erfasst werden können.

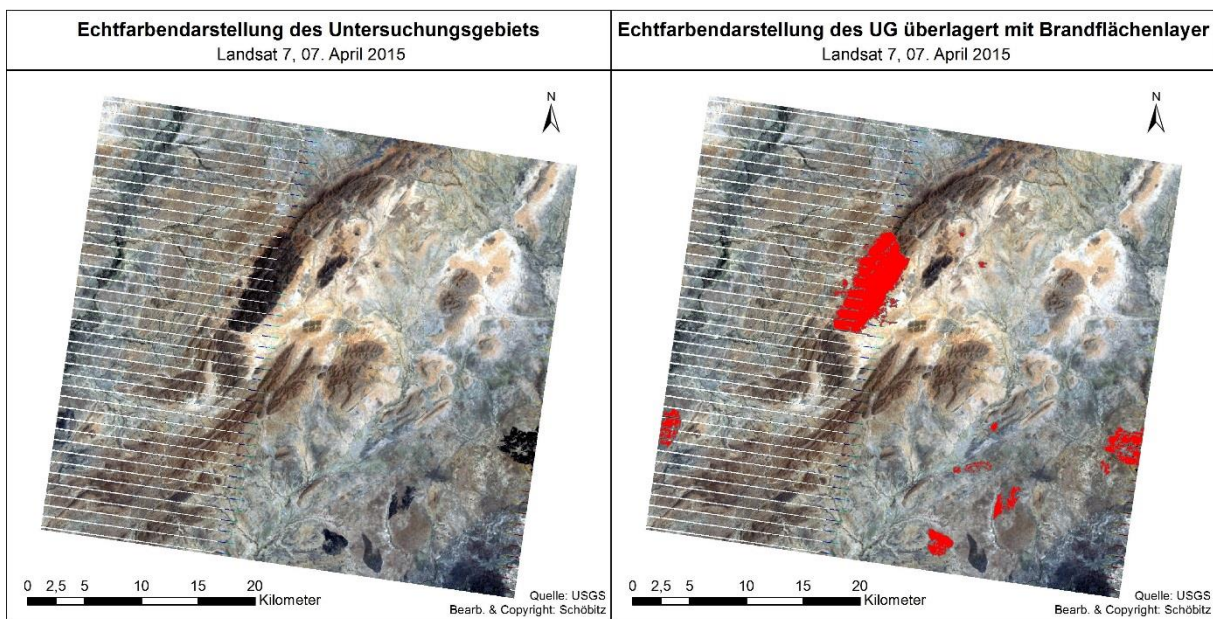


Abb. 35: Gegenüberstellung der Landsat 7-Szene vom 7. April 2015; ohne (links) und mit Überlagerung des Brandflächenlayers (rechts)

Im Endeffekt erfolgte die Detektion der Brandflächen mittels supervised Maximum Likelihood Classification der einzelnen Bilder von Dezember bis April – und wenn vorhanden Mai – für die Saisonen 2004/2005 bis 2014/2015. Dabei wurden die training samples in der Falschfarbandarstellung der Bänder 6/4/3 für RGB erfasst, wobei bei der Klassifizierung lediglich in die zwei Kategorien „Verbrannt“ und „Nicht Verbrannt“ eingeteilt wurde. Nachdem

die Trainingssets mehrmals überarbeitet wurden und ein erstes Signature File erstellt wurde, das auch zufriedenstellende Resultate geliefert hat, erfolgten testweise Klassifizierungen von anderen Szenen der gleichen Monate, um festzustellen, ob auch hier akzeptable Ergebnisse erzielt werden können. Da dies nicht der Fall war, wurden auch für die übrigen Landsat-Bilder Trainingssets und Signature Files erstellt. Anschließend wurde die Maximum Likelihood Classification durchgeführt. Abb. 36 zeigt als Beispiel das Resultat der Brandflächendetektion mittels supervised Maximum Likelihood Classification an einer Landsat 7-Szene vom 7. April 2015.

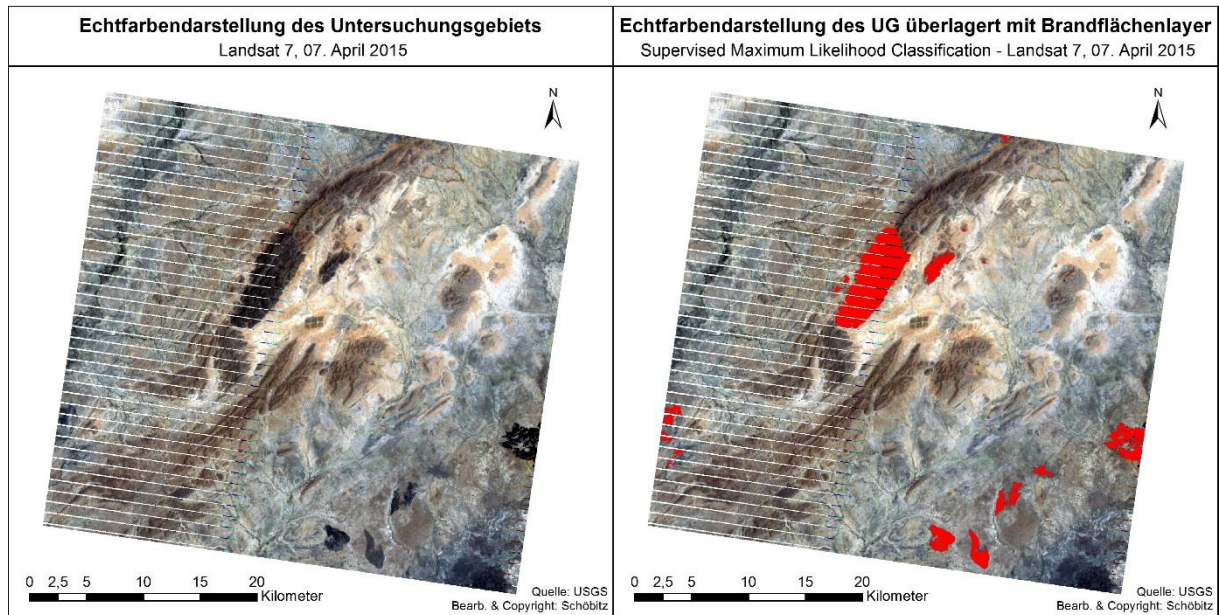


Abb. 36: Landsat 7-Szene vom 7. April 2015; ohne (links) und mit Überlagerung des Brandflächenlayers (rechts), erstellt mittels supervised Maximum Likelihood Classification

Die einzelnen Resultate einer Saison wurden anschließend zu einem Polygonlayer zusammengefügt und von Fehlern bereinigt, wobei zunächst alle Polygone, die kleiner als eine bestimmte – von der jeweiligen Szene abhängigen – Mindestgröße waren, entfernt wurden. Anschließend erfolgte eine händische Korrektur anhand von visuellem Vergleich der Brandflächenpolygone mit den Bildern der jeweiligen Brandsaison. Durch diesen Arbeitsschritt konnte auch ein Großteil der SLC-off-Datenlücken geschlossen werden. Zuletzt wurde die Gesamtfläche der Polygone für jeden Zeitraum berechnet, um so einen Überblick über das Ausmaß der jährlichen Brandrodungen zu erhalten und mögliche Entwicklungstrends im Verlauf des Untersuchungszeitraumes festzustellen.

Durchschnittlich wurde während jeder Feuersaison eine Fläche von etwa 389,25 Quadratkilometern verbrannt, was ungefähr 24 Prozent der Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets entspricht. Die tatsächlich von Feuern betroffene Fläche schwankt allerdings stark von Saison zu Saison. Beispielsweise wurden von Dezember 2007 bis April 2008 – dem Zeitraum mit den großflächigsten Bränden – fast 619 Quadratkilometer bzw. 38,2 Prozent der Fläche des Untersuchungsgebiets verbrannt, während es von Dezember 2014 bis

Mai 2015 lediglich 72,5 Quadratkilometer oder 4,5 Prozent des untersuchten Areals waren. Eine Übersicht über die jeweils verbrannte Fläche im Laufe der Zeit wird in Abb. 37 präsentiert. Abb. 38 zeigt den Anteil von Feuer betroffener Areale am gesamten Untersuchungsgebiet.

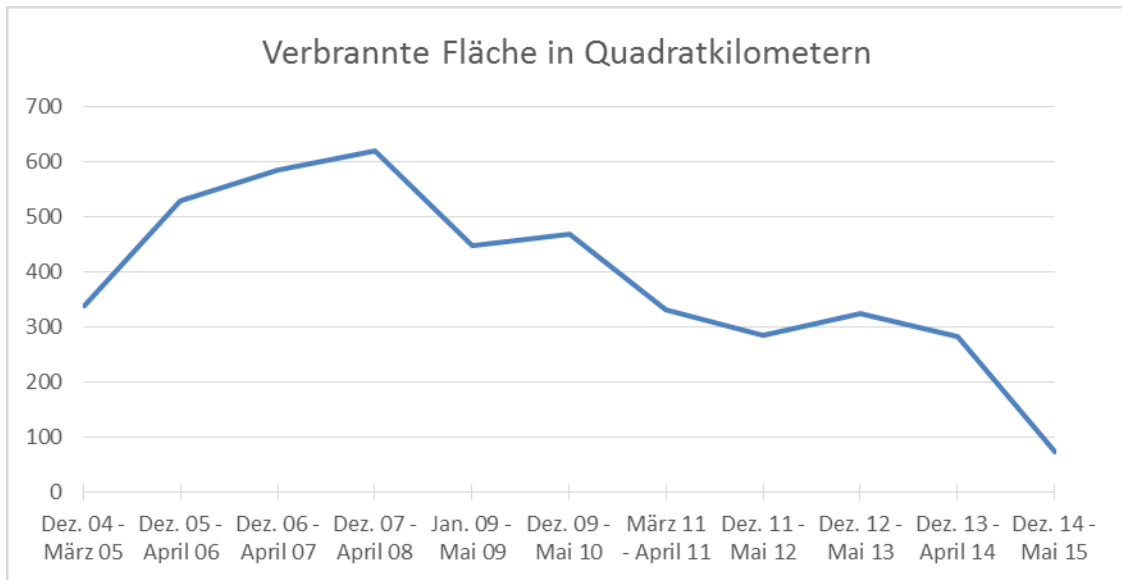


Abb. 37: Verlaufsdiagramm der verbrannten Fläche pro Saison, Dezember 2004 bis Mai 2015 (eigene Darstellung)

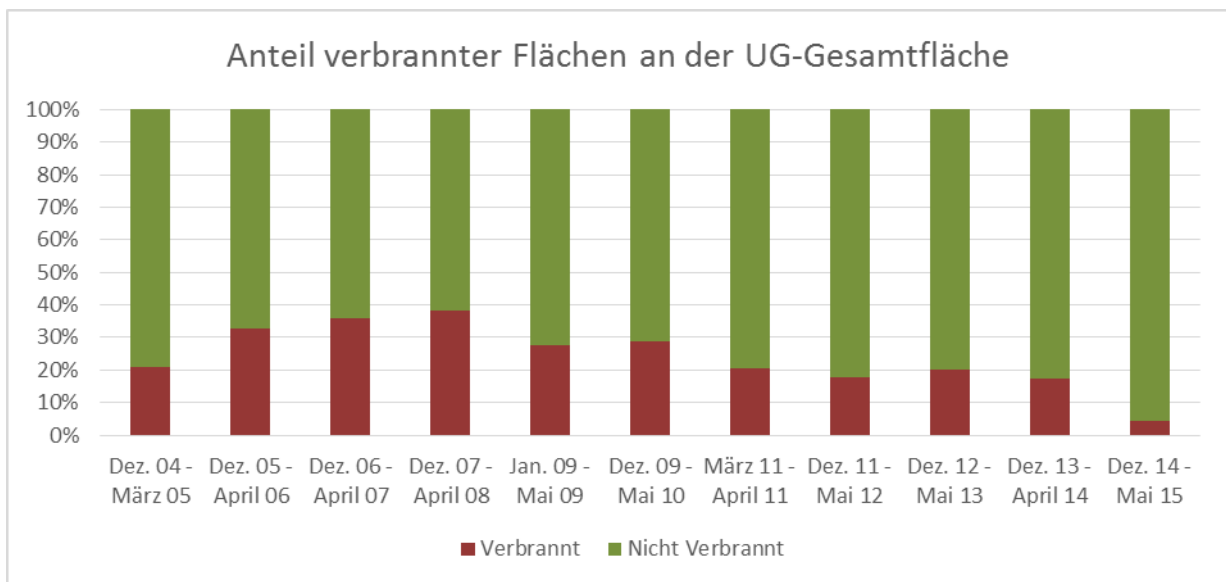


Abb. 38: Anteil der verbrannten Areale an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets (eigene Darstellung)

In beiden Abbildungen ist deutlich ersichtlich, dass das Ausmaß der verbrannten Flächen vom Beginn des betrachteten Zeitraums 2004/2005 bis inklusive der Saison 2007/2008 kontinuierlich angestiegen ist, um von da an mehr oder weniger konstant abzunehmen. Ob das im Juni 2004 eröffnete Camp Djabal und dessen Bewohner einen Einfluss auf das Ausmaß der saisonalen Brände hatten, kann nicht verlässlich gesagt werden. Bedenkt man allerdings, dass gerade in den Saisonen, welche die größten verbrannten Flächen aufweisen, die Bewohnerzahl von Camp Djabal auf relativ niedrigem Niveau war und ein starker Zuwachs erst in den Jahren erfolgte, in denen die ausgewiesenen Brandflächen stetig zurückgegangen sind, ist es unwahrscheinlich, dass die Anwesenheit der Flüchtlinge verstärkend auf die Brandaktivitäten gewirkt hat.

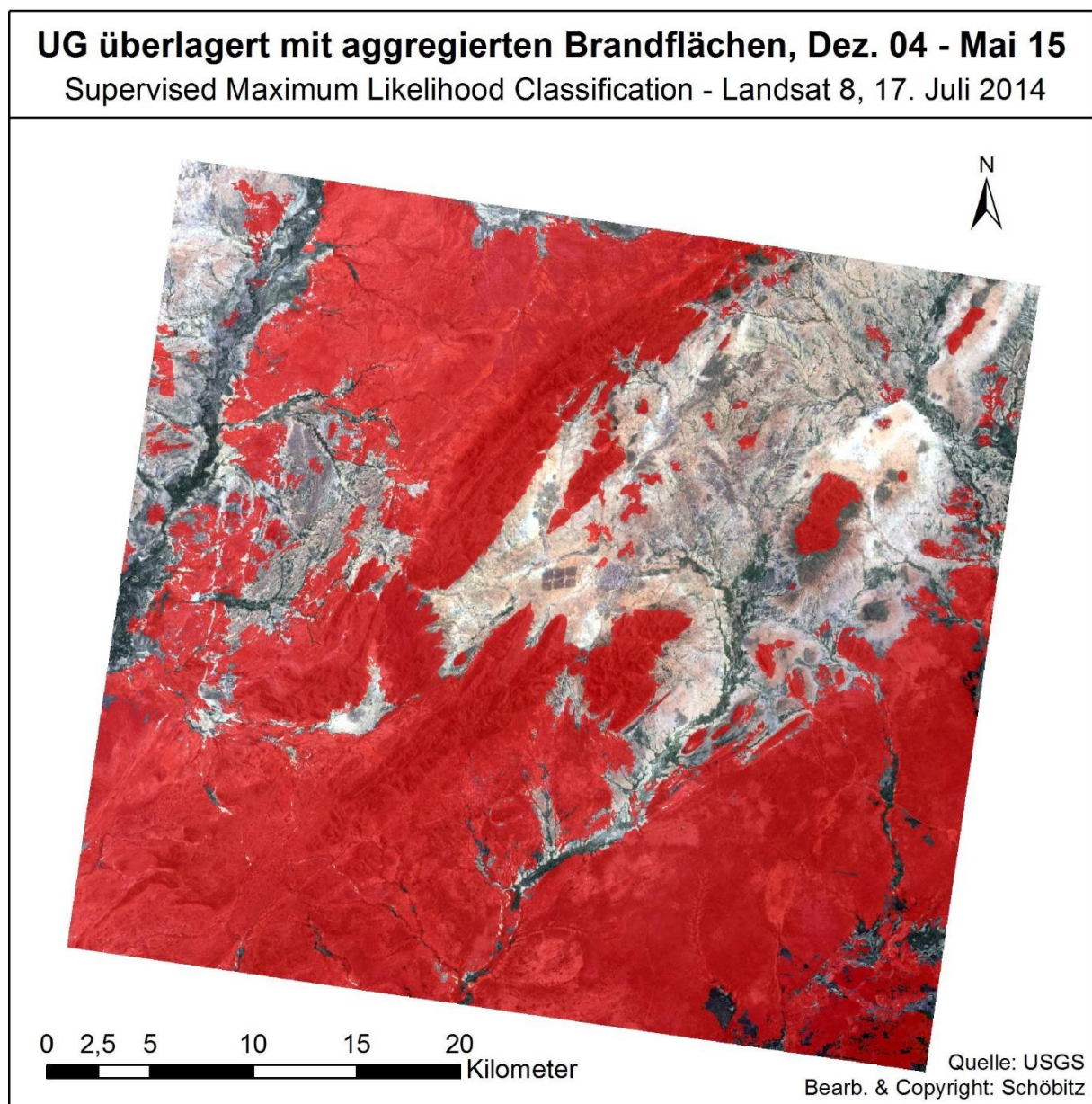


Abb. 39: Landsat 8-Bild vom 17. Juli 2014, überlagert mit den aggregierten Brandflächen des Zeitraumes von Dezember 2004 bis Mai 2015

Das, von einem Brandflächenlayer überlagerte, Landsat 8-Bild vom 17. Juli 2014 in Abb. 39 weist alle Flächen, die im Untersuchungszeitraum von Dezember 2004 bis Mai 2015 von Bränden betroffen waren, in roter Farbe aus. Um die Landbedeckung der bedeckten Gebiete trotzdem erkennen zu können, wurde der Layer auf 40 Prozent Transparenz gesetzt. Sofort wird ersichtlich, dass neben der unmittelbaren Umgebung der Wasserläufe selbst und einem größeren Gebiet entlang des Flusses am westlichen Rand, vor allem der Bereich direkt um das Camp Djabal und mehr oder weniger komplett in Richtung Nordosten, während des gesamten Untersuchungszeitraums keinen Bränden ausgesetzt war. Dies widerspricht der, auf Informationen der Country Studies zum Chad (vgl. [URL:COU]) basierenden Hypothese, dass Brandrodungstätigkeiten aufgrund einer Steigerung landwirtschaftlicher Aktivitäten zunehmen könnten. Ganz im Gegenteil weisen vor allem jene Gebiete, in denen intensive ackerbauliche Aktivitäten vermutet werden (siehe Abb. 29 und 30), keinerlei Brandnarben auf. Stattdessen wurden vor allem die Hügelketten in der Umgebung von Camp Djabal, östlich von Kouroukoul und östlich von Goz Beïda sowie der Großteil des südlichen Untersuchungsgebiets regelmäßig verbrannt.

Vereinzelt gibt es auch Ackerflächen, die von Bränden betroffen sind, allerdings ist dies eher bei verstreut liegenden Feldern der Fall und weniger bei konzentrierten Flächen in der Umgebung von Siedlungen. So liegt zum Beispiel südwestlich des Camp Djabal, umfasst von Brandflächen, die größere Siedlung Abchour, in deren Nahebereich vermehrt Feldbau betrieben wird, wie auf dem hochaufgelösten Bild auf Google Maps – bei etwa 12.166611° südlicher Breite und 21.299861° östlicher Länge – ersichtlich ist. Auch hier sind jene Gebiete, die ackerbaulich genutzt werden, während des gesamten Untersuchungszeitraums von Feuern unberührt geblieben.

3.4 Landwirtschaftlich genutzte Flächen

Für die Erfassung von, für den Feldbau genutzten, Gebieten wurden Satellitenbilder der Monate Oktober und Dezember, also dem Beginn bzw. dem Ende der Erntezeit und – soweit vorhanden – September sowie November untersucht. Auch für die Ausweisung der Ackerflächen wurden die Ergebnisse der SIAMTM-Vorklassifizierung evaluiert. Wie bei der Detektion der Brandnarben ist auch hier die spektrale Auflösung bei der Einteilung in 18, 33 sowie 48 Klassen zu gering, allerdings lieferten die Rasterbilder mit 96 Spektralkategorien zunächst vielversprechende Ergebnisse. Bei einer genaueren Betrachtung wurde jedoch ersichtlich, dass eine Klasse, die notwendig wäre, um die auf den Satellitenbildern erkennbaren Feldstrukturen komplett auszuweisen, einen Spektralbereich umfasst, dem zu viele Pixel der einzelnen Szenen zugeordnet werden. Bei einer Einbeziehung dieser Kategorie würde also eine viel zu hohe Anzahl an Bildpunkten fehlerhaft als Ackerfläche klassifiziert werden, weshalb das Ergebnis unbrauchbar wäre. Wenn diese Klasse nicht berücksichtigt wird, ist allerdings davon auszugehen, dass Teile der Ackerflächen nicht als solche klassifiziert werden, wodurch es wiederum kaum möglich ist, zuverlässige Aussagen über etwaige Zu- oder Abnahmen der für Feldbau genutzten Gesamtfläche im Untersuchungsgebiet zu treffen. Darüber hinaus liefern jedoch auch jene Kategorien, die sich zumindest annähernd auf jene Bereiche des Untersuchungsgebiets beschränken, in denen Ackerbau betrieben wird, fehlerhaft klassifizierte Pixel und weisen somit eine Fläche aus, die größer ist als die tatsächlich landwirtschaftlich genutzten Areale.

Abb. 40 zeigt die Landsat 7-Szene vom 10. Oktober 2007, die von den SIAMTM-Spektralklassen, welche die Ackerflächen beinhalten, überlagert wird. In Hellgrün werden dabei die drei Kategorien dargestellt, die sich relativ exakt auf die Bereiche des Untersuchungsgebiets beschränken, in denen Feldbau betrieben wird. Rot ist jene Klasse, die sowohl Ackerflächen umfasst, als auch eine große Anzahl anderer Bildpunkte.

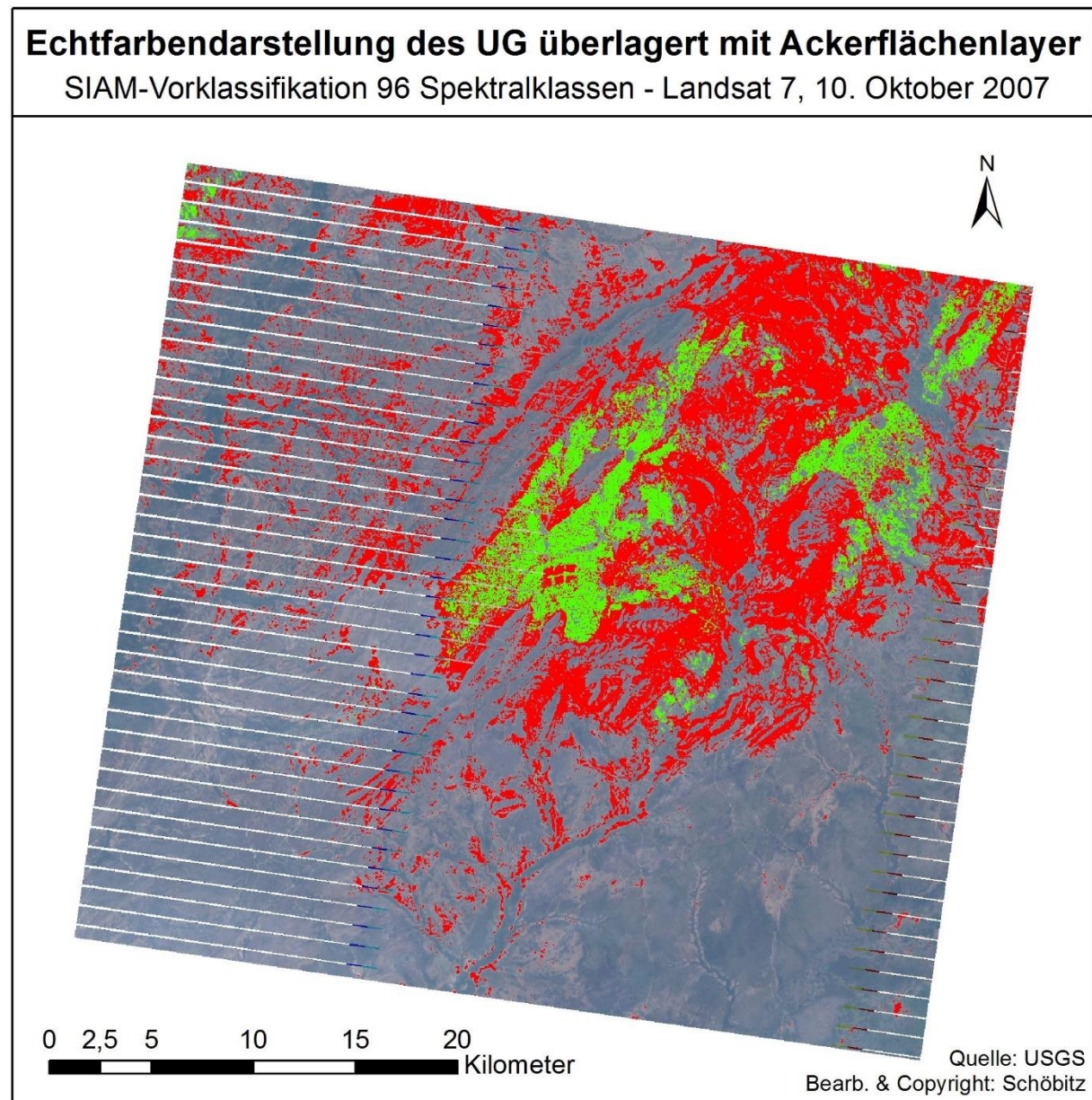


Abb. 40: Landsat 7-Bild vom 10. Oktober 2007, überlagert mit den für Ackerflächen relevanten Spektralkanälen der SIAMTM-Vorklassifikation in 96 Spektralkategorien

Neben der – augenscheinlich die tatsächlichen Ackerflächen bei Weitem übersteigenden – großen Verbreitung der in Rot gehaltenen Spektralkategorie im Untersuchungsgebiet ist erkennbar, dass einerseits das komplette Areal des Camp Djabal, Goz Beïda und ein Teil von

Kouroukoul in diese Klasse fallen, andererseits aber auch weiterhin Gebiete, in denen Feldbau betrieben wird, nicht ausgewiesen werden. So ist, wie bereits in Kapitel 3.2 erwähnt, bekannt, dass südöstlich des Flüchtlingslagers im Umfeld der Siedlung Abchour ebenfalls verstärkt Ackerbau vorzufinden ist. In Abb. 40 sind in diesem Bereich des Untersuchungsgebiets allerdings nur wenige Bildpunkte im Überlagerungslayer vorhanden, die das tatsächliche Ausmaß der Ackerflächen nicht widerspiegeln. Auch bei den in Grün gehaltenen Kategorien sind fehlerhafte Klassifizierungen erkennbar, die beispielsweise die direkte Umgebung des Camp Djabal und sogar die Bereiche zwischen den einzelnen Lagerblöcken, aber auch Teile von Kouroukoul umfassen.

Bei dem Versuch mittels supervised Maximum Likelihood Classification bessere Ergebnisse zu erzielen, erfolgte die Auswahl der Trainingsgebiete anhand der Falschfarbendarstellung mit Band 4/5/1 - RGB für die Monate September bis November bzw. Band 7/5/2 für Dezember. Diese Bandkombinationen sind für Untersuchungen der Vegetation gut geeignet und ermöglichen es, wie in Abb. 41 und Abb. 42 zu erkennen ist, vergleichsweise gut, die Feldbauflächen abzugrenzen.

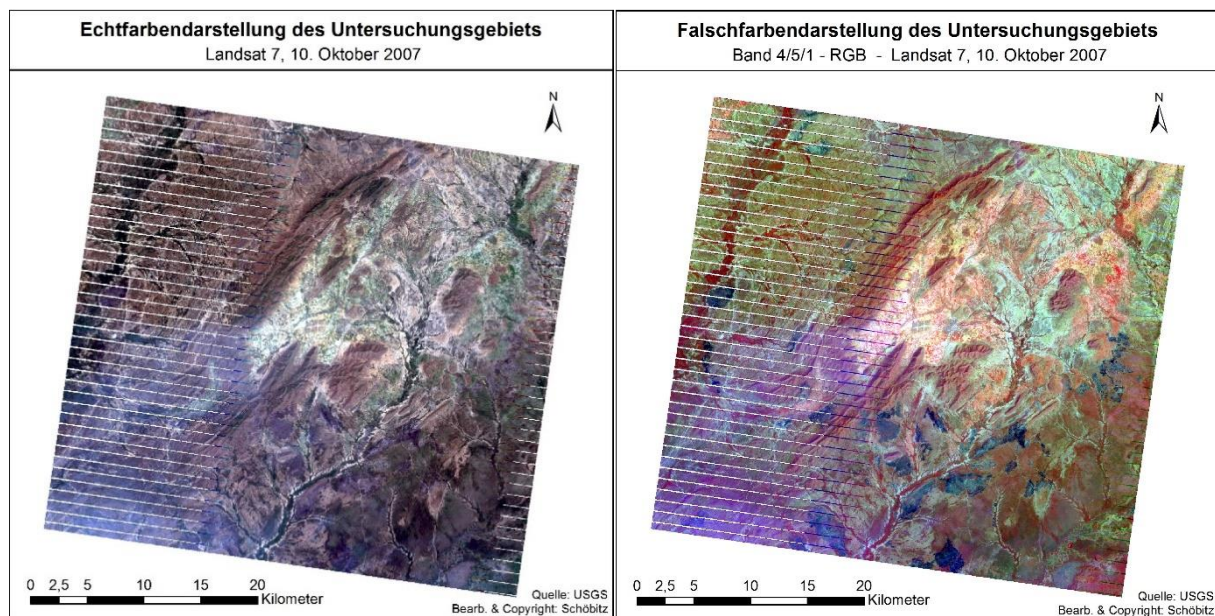


Abb. 41: Vergleich der Landsat 7-Szene vom 10. Oktober 2007 in Echtfarbendarstellung (links) und Band 4/5/1 - RGB Falschfarbendarstellung (rechts)

Bei der für den Zeitraum von September bis November gewählten Bandkombination erscheint gesunde Vegetation in Rot-, Braun-, Orange- und Gelbtönen und Böden werden in Variationen von Grün und Braun dargestellt. Rötliche Gebiete weisen frisches Wachstum der Vegetation aus und möglicherweise spärliches Grasland. Bei der für Dezember gewählten Darstellung erscheint die Vegetation in verschiedenen Grüntönen und urbane Gebiete sind Weiß, Grau, Cyan oder Violett. Auch Brände bzw. Brandnarben sind gut erkennbar (vgl. [URL:WEB]).

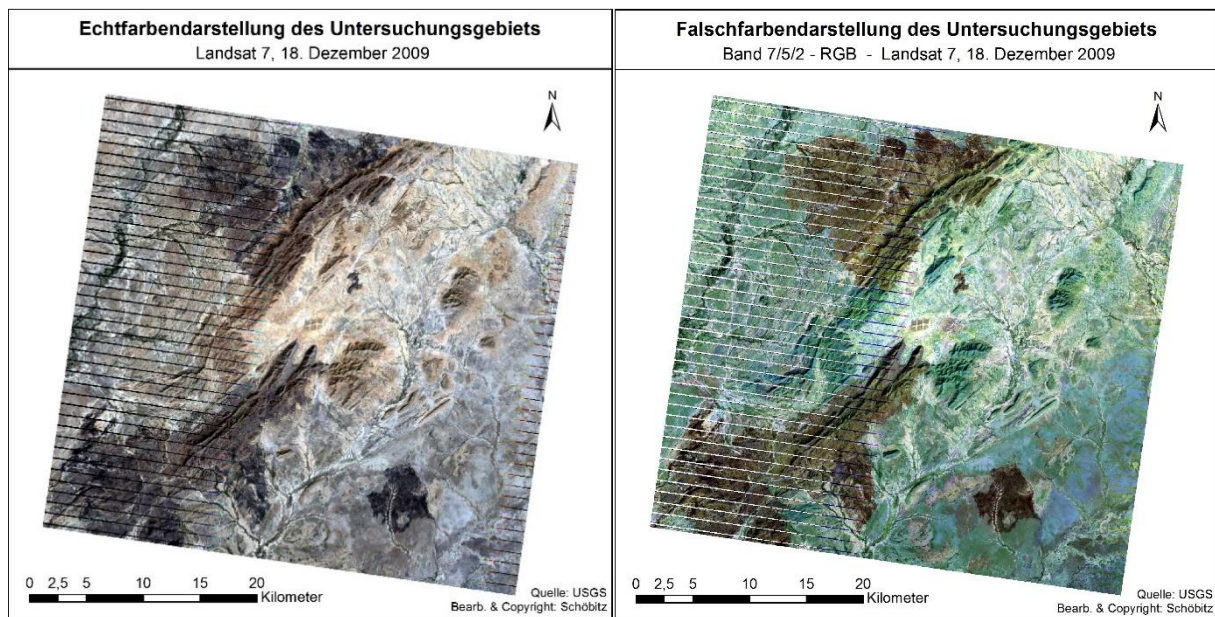


Abb. 42: Vergleich der Landsat 7-Szene vom 18. Dezember 2009 in Echtfarbandarstellung (links) und Band 7/5/2 - RGB Falschfarbandarstellung (rechts)

Speziell bei der in Abb. 41 rechts präsentierten Bandkombination heben sich die Gebiete, in denen Feldbau betrieben wird – vor allem rund um Camp Djabal, Kouroukoul und Goz Beïda, aber auch im Umkreis der Siedlungen Tcharo und Afadja, in der nordöstlichen Ecke des Untersuchungsgebiets, im Nahebereich von Abchour südwestlich des Flüchtlingslagers sowie im äußersten Nordwesten, wo knapp außerhalb des Untersuchungsgebiets ebenfalls Siedlungen liegen – durch ihre prägnante gelb-rötliche Farbgebung von den übrigen Landbedeckungsformen ab.

Es war jedoch auch mittels supervised Maximum Likelihood Classification nicht möglich, die ackerbaulich genutzten Flächen zufriedenstellend auszuweisen. Einerseits gelang es aufgrund der Ähnlichkeit der erfassten spektralen Werte verschiedener Landbedeckungsformen nicht, die Trainingssets entsprechend genau zu setzen, um alle vermuteten Flächen zu umfassen, ohne dabei zu viele fehlerhaft klassifizierte Pixel zu erhalten. Andererseits – und viel wesentlicher – erlaubt es die räumliche Auflösung der Landsat-Bilder von 30 mal 30 Meter nicht, Ackerflächen und deren Abgrenzungen eindeutig zu identifizieren. Erschwerend kommt außerdem hinzu, dass auch keine Referenzdaten aus dem Untersuchungsgebiet selbst vorhanden sind – so stammt zum Beispiel die aktuellste hochaufgelöste Aufnahme des untersuchten Areals auf Google Maps aus dem Jahr 2004 –, um damit die Ergebnisse der Klassifizierung zu validieren. Darum war es leider nicht möglich, etwas Konkretes als die ungefähren Ausmaße und die Lage der Gebiete, in denen Feldbau betrieben wird, als Resultat für die entsprechende Forschungsfrage zu finden.

Dass die Klassifikation der Ackerflächen für einzelne Szenen vielversprechende Resultate geliefert hat, zeigt das Ergebnis vom 23. Dezember 1999 in Abb. 43. Allerdings ist auch hier schon zu sehen, dass in der Umgebung von Abchour und im Nordwesten des Untersuchungsgebiets kaum Felder erkannt wurden. Gut zu erkennen ist jedoch, dass im Gebiet des Flüchtlingslagers Djabal vor dessen Entstehung ebenfalls Feldbau betrieben wurde.

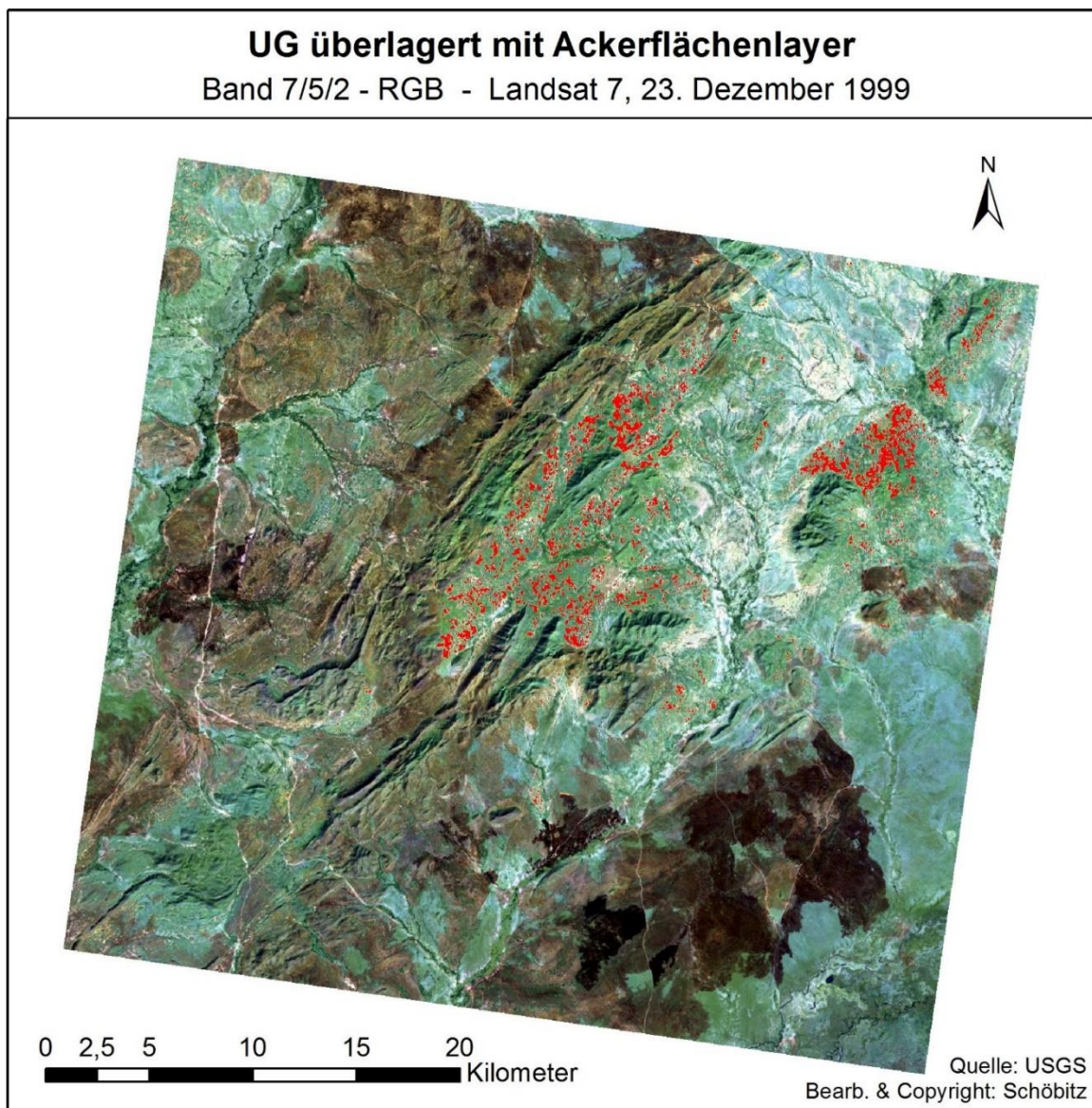


Abb. 43: Klassifizierung der Ackerflächen in der Landsat 7-Szene vom 23. Dezember 1999

Wenn jedoch die Resultate für eine ganze Saison, also September bzw. Oktober bis Dezember, betrachtet werden, zeigt sich, dass die Klassifikationen kein Ergebnis gebracht haben, die es erlauben, eine Aussage über die Entwicklung der Ackerflächen zu treffen. In Abb. 44 werden die aggregierten Ergebnisse der Maximum Likelihood Classification der Bilder vom 10. und 26. Oktober sowie 13. und 29. Dezember 2007 mit einer Verschneidung ebendieser verglichen. Es zeigt sich, dass lediglich ein Bruchteil der für die einzelnen Szenen ausgewiesenen Ackerflächen auf allen vier Aufnahmen vorhanden ist und auch die Verschneidung der Ergebnisse für Oktober bzw. Dezember ergibt ein ähnliches Bild. Es wird ersichtlich, dass bei den Klassifizierungsergebnissen von Szenen, zwischen deren Aufnahmezeitpunkten lediglich 16 Tage liegen, nur knapp über 50 Prozent der ausgewiesenen Ackerflächen in beiden Bildern dieses Monats an derselben Position liegen. Diese Tatsache unterstreicht noch einmal, wie

unzuverlässig die Ausweisung von Arealen, die für Feldbau genutzt werden, mit den zur Verfügung stehenden Mitteln ist.

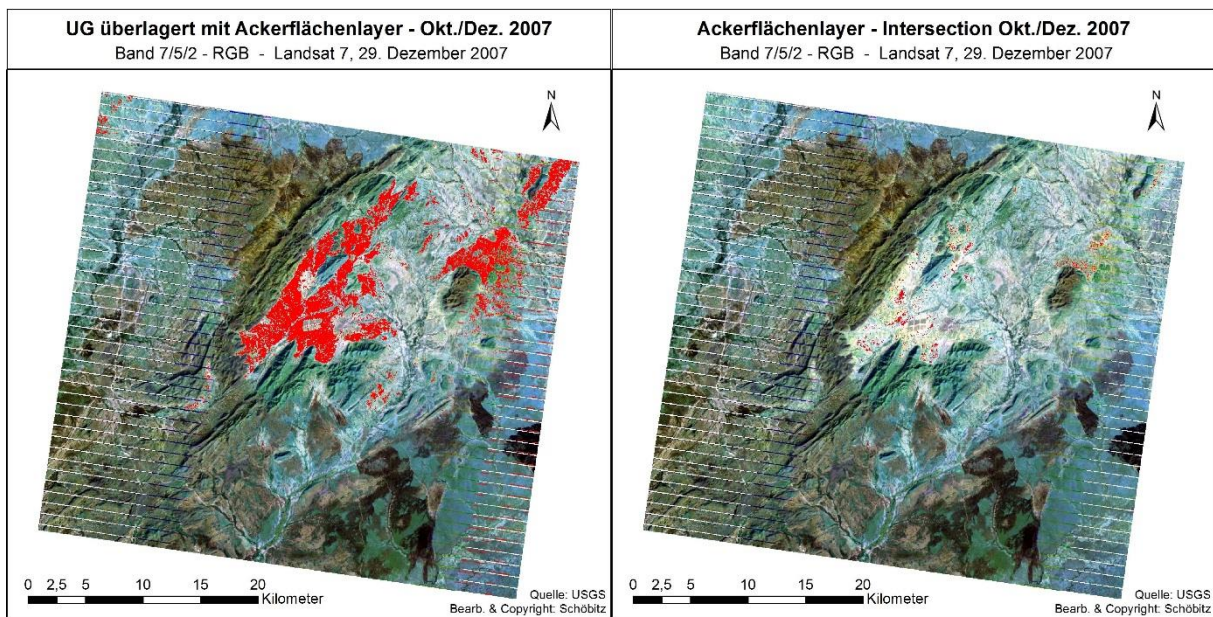


Abb. 44: Vergleich von Aggregation (links) und Verschneidung (rechts) der Ergebnisse der Klassifizierung von Ackerflächen für den Zeitraum von Oktober bis Dezember 2007

3.5 Besprechung der Ergebnisse

Eine Beantwortung der Forschungsfragen allein mit den für diese Arbeit zur Verfügung gestandenen Mitteln gestaltet sich in Anbetracht der zuvor beschriebenen Analysen schwierig. Die vom USGS kostenfrei zur Verfügung gestellten Landsat-Daten stellen eine wichtige Ressource bei der Untersuchung von LULCC dar, gerade wenn Untersuchungen vor Ort aufgrund der Sicherheitslage und der Abgeschiedenheit des Untersuchungsgebiets, wie im vorliegenden Fall, nicht möglich sind. Allerdings gibt es **beschränkende Faktoren, die eine Arbeit mit diesen Daten erschweren und die Qualität der erhaltenen Ergebnisse negativ beeinflussen**. Neben der prinzipiellen **Verfügbarkeit von Satellitenbildern in ausreichender Qualität** – hier sind vor allem die Wolkenbedeckung und Fehler, die sich im Zuge der Aufnahme oder des Prozessierens ereignen und in einem verschwommenen Bild resultieren (siehe Abb. 45), zu nennen –, die manche Untersuchungen von vornherein unmöglich macht, sind es vor allem der **Ausfall des Scan Line Corrector** und die **mangelnde Vergleichbarkeit von Landsat 7- und Landsat 8-Daten**, die eine kontinuierliche Zeitreihenanalyse über einen längeren Zeitraum erschweren. So war eine Untersuchung des Vegetationszustands während der Regenzeit nicht möglich, da für den gesamten Untersuchungszeitraum lediglich jeweils zwei Aufnahmen von Landsat 7 und eine von Landsat 8 für August und September in entsprechender Qualität zur Verfügung standen.

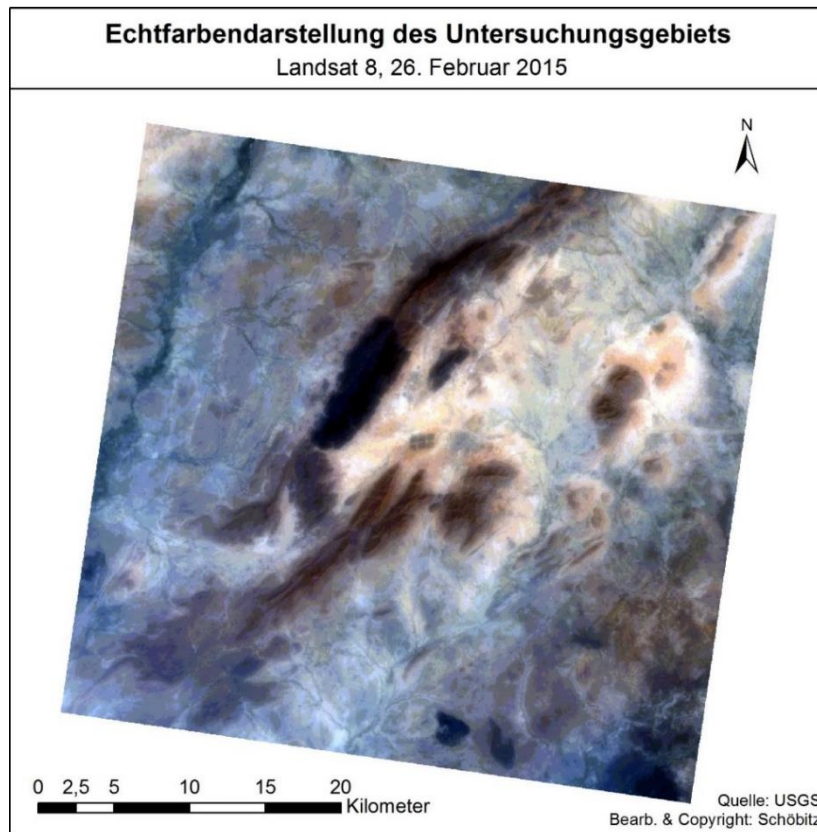


Abb. 45: Beispiel für eine aufgrund mangelnder Auflösungsschärfe nicht verwendbare Landsat 8-Szene vom 26. Februar 2015

Neben der Datenlage ist die Lage des Untersuchungsgebiets – und damit die **vorherrschenden klimatisch-ökologischen Bedingungen** – eine **weitere Erschwernis**. Auf-grund der spärlichen Bedeckung mit grüner Vegetation, vor allem in der Trockenzeit, liegen die **Werte der verschiedenen Vegetationsindices so nahe beieinander**, dass eine korrekte **Abgrenzung der einzelnen Bedeckungsklassen kaum möglich** ist. Auch der durch-scheinende nackte Boden hat einen zusätzlichen Einfluss auf die Ergebnisse. Die **Ähnlichkeit der spektralen Messwerte für die unterschiedlichen Landbedeckungsformen** ist auch der Grund, weshalb die **Vorklassifizierung mittels SIAM™ nicht den erhofften Nutzen brachte** und für die Analysen selbst kaum verwendet wurde.

Stattdessen musste auf die **supervised Maximum Likelihood Classification** zurückgegriffen werden, deren Ergebnisse **für die Ausweisung der Brandflächen durchaus brauchbar** waren. Allerdings stellte sich hier im Laufe der Untersuchungen heraus, dass die Voraussetzung für eine der **Hypothesen dieser Arbeit – dass die Felder vor Beginn der Regenzeit abgebrannt werden und entsprechend eine Zunahme der verbrannten Flächen auf ein Anwachsen der ackerbaulich genutzten Fläche hindeuten kann** – für das **Untersuchungsgebiet nicht zutrifft**. Ganz im Gegenteil ergänzen sich die über den gesamten Untersuchungszeitraum **festgestellten Brandnarben und die als Ackerflächen klassifizierten Gebiete**, wie in Abb. 46 ersichtlich ist, **beinahe ohne Überschneidungen**.

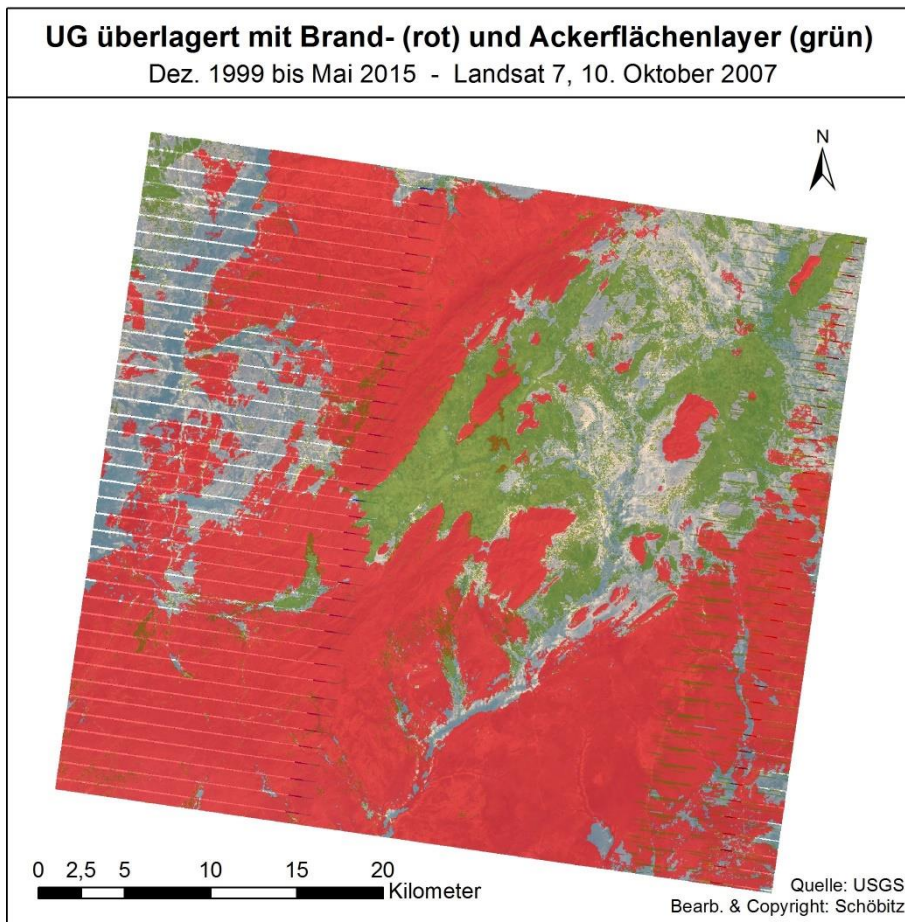


Abb. 46: Gegenüberstellung der über den gesamten Untersuchungszeitraum aggregierten Brandflächen (rot) und als Ackerfläche ausgewiesene Gebiete (grün)

Die wenigen Bereiche, in denen sich die aggregierten Feldbau- und Brandflächenlayer überlappen, sind zum einen die Gebiete der SLC-off-Fehler, zum anderen vor allem jene Areale, die fälschlicherweise als Ackerfläche klassifiziert wurden. Somit kann auch davon ausgegangen werden, dass der **festgestellte Rückgang der insgesamt in jeder Saison verbrannten Areale keinerlei Einfluss auf den Umfang der ackerbaulich genutzten Gebiete** hat. Ob die Verringerung der Brandflächen auf menschlichen Einfluss zurück-zuführen ist und, noch wichtiger, in irgendeinem Zusammenhang mit dem Bestehen des Flüchtlingslagers an diesem Ort steht, kann jedoch nicht gesagt werden.

Aussagen über den Zustand der Vegetation im Untersuchungsgebiet **anhand des NDVI** zu treffen, gestaltet sich, gerade auch **in Anbetracht der fehlenden Bilder aus der Regenzeit**, als **problematisch**. Außerdem sind sie stark von den jeweils betrachteten Daten abhängig. Generell liegen die **Werte in den Monaten Januar bis Juni im Durchschnitt ein Stück niedriger als 0,2**, was einer kompletten Abwesenheit von grüner Vegetation gleichkommt. **Im Dezember bewegen sich die Durchschnittswerte um 0,2 und lediglich in den Monaten von August bis November erreicht der NDVI konstant Mittelwerte über 0,2 bis zu einem Maximum von 0,52 im September 2013**. Diese großen Differenzen bei den NDVI-Mittelwerten führen dazu, dass sich die **Monate mit relativ hohem NDVI entsprechend stark**

auf die Statistik auswirken, wie u.a. beim Verlaufsdiagramm der Jahres-MVC in Abb. 21 zu sehen ist. Aber auch die **Werte von Oktober, in dem die Vegetation noch immer stark von der vorangegangenen Regenzeit beeinflusst ist**, haben noch **enormen Einfluss auf die Statistik**, wie im Vergleich der Diagramme in Abb. 47 zu sehen ist.

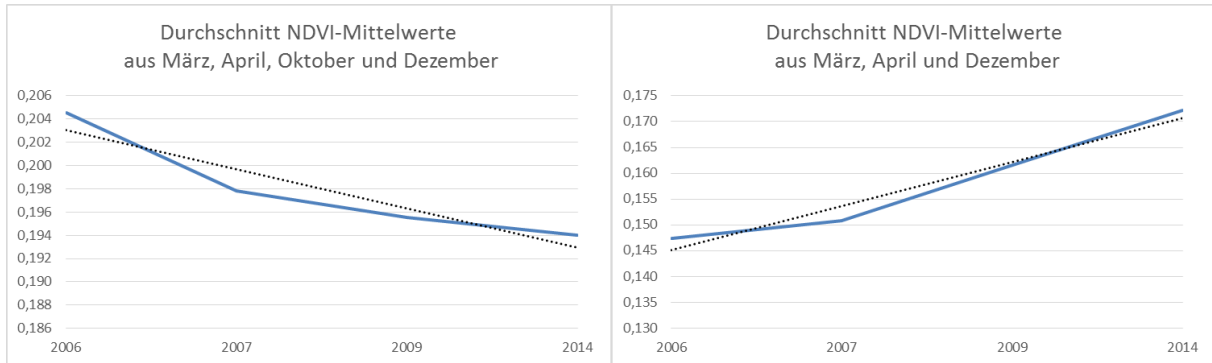


Abb. 47: Vergleich der durchschnittlichen NDVI-Mittelwerte aus März, April, Oktober und Dezember (links) und März, April und Dezember (rechts) (eigene Darstellung)

Die **Exklusion der Durchschnittswerte von Oktober** im Diagramm rechts führt zu einer **völligen Trendumkehr im Vergleich zu jenem Diagramm, bei dem die Oktober-Werte miteingeflossen sind**. Wenn nun die Durchschnittswerte der einzelnen Monate betrachtet werden, kann für **März, April, Oktober und Dezember eine leicht positive Entwicklung** festgestellt werden, während diese für **Juni negativ** ist. Allerdings sind, wie bereits erwähnt, die **Werte der Monate Juni und Oktober stark vom Einsetzen der Regenzeit und von Schwankungen der Niederschlagsmengen abhängig**, während bei den **Monaten der Trockenzeit** wiederum die **Ausmaße der Brandrodung einen großen Einfluss** haben. Hier weisen speziell jene Monate, in denen große Brandnarben ausgewiesen wurden, auch die niedrigsten NDVI-Mittelwerte auf.

Schlussendlich **macht es der im Untersuchungsgebiet vorherrschende kleinstrukturierte Ackerbau gemeinsam mit der spektralen Ähnlichkeit einer Vielzahl von Landbedeckungsformen und der für diesen Fall zu groben Auflösung der Landsat-Bilder von 30 mal 30 Metern pro Pixel unmöglich, für den Feldbau genutzte Gebiete verlässlich auszuweisen**. Eine ungefähre Abgrenzung der Gebiete, in denen Ackerbau betrieben wird, hilft allerdings nicht bei der Feststellung, ob sich die landwirtschaftliche Nutzung in der Umgebung von Camp Djabal intensiviert hat, sodass auch diese Frage unbeantwortet bleiben muss.

Was jedoch festgestellt werden konnte, ist, dass sowohl **Gozi Beida** als auch die Siedlung **Kouroukoul** im Untersuchungszeitraum **in einem Ausmaß gewachsen sind, wie es bei keiner anderen Siedlung im Untersuchungsgebiet der Fall war**. Des Weiteren wurde eine **Zunahme der NDVI-Werte, vor allem im direkten Lagerbereich**, aber auch in der nahegelegenen Stadt ausgewiesen, während sie im direkten Umland tendenziell leicht zurückgegangen sind.

4 Digitale Präsentation geographischer Informationen

Dieses Kapitel setzt sich mit den Möglichkeiten der digitalen Präsentation geographischer Informationen auseinander. Nach einem kurzen theoretischen Einstieg, der sich auch den kartographischen Gestaltungsvariablen in der digitalen Kartographie widmet, werden verschiedene Darstellungsmöglichkeiten besprochen. Der Fokus wird hierbei – wie auch bei den im Anschluss vorgestellten Präsentationsmöglichkeiten – auf animierter und interaktiver Präsentation der Daten liegen.

Gerade in der heutigen Zeit, in der ein Großteil der Informationsweitergabe auf digitalem Weg passiert und gedruckte Karten und Kärtchen immer seltener hergestellt werden, ist es wichtig, sich mit alternativen Darstellungsformen auseinanderzusetzen, die es ermöglichen, geographische Informationen optimal zu vermitteln. Dabei liegen die Vorteile der digitalen Präsentation nicht nur in der Rohstoffersparnis und der Möglichkeit – insbesondere über das Internet –, eine große Masse an Menschen zu erreichen, sondern vor allem auch darin, die Informationen dynamisch und interaktiv anzubieten. So muss bei statischen, analogen Produkten für jede Thematik eine neue individuelle Karte hergestellt werden, während in digitaler Form einzelne Themenlayer automatisch oder vom Nutzer gesteuert, gewechselt werden können.

Zunächst gilt es allerdings, sich darüber klar zu werden, für wen und zu welchem Zweck die geographischen Informationen präsentiert werden. So macht es einen großen Unterschied, ob mit Informationen über Flüchtlingslager und über deren ökologische Auswirkungen eine breite Masse erreicht werden soll, um sie auf diese Thematik aufmerksam zu machen und für diese Problematik zu sensibilisieren oder ob es das Ziel ist, dass Entscheidungsträger auf Basis der bereitgestellten Daten weitere Vorgehensweisen und Maßnahmen beschließen. Eine bildliche Veranschaulichung der möglichen Funktionen von Kartennutzung, nach MacEachren *Geovisualization*, findet sich in Abb. 48.

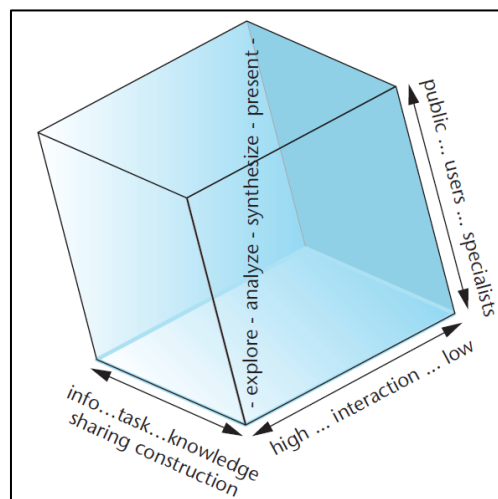


Abb. 48: Modell der Geovisualization nach MacEachren (Quelle: [EAC-04])

Die drei Achsen dieses räumlichen Modells der Kartennutzung repräsentieren die möglichen Manifestationen der Nutzer, des Grads der Interaktion sowie der zugeordneten Aufgabe. Die Diagonale stellt vier Funktionen der Visualisierung geographischer Informationen dar. Die Aufgaben können von einem reinen Präsentieren bereits bekannter Informationen bis zu einem Entwickeln neuen Wissens und dem Wissensaustausch reichen. Die Nutzer umfassen ein weitreichendes Spektrum, das von einer einzelnen privaten Person mit speziellen Vorkenntnissen bis zu einer breiten Öffentlichkeit ohne spezifisches Wissen reichen kann. Das Ausmaß der möglichen Interaktion reicht von einem niedrigen Niveau der passiven Betrachtung bis zu einem hohen Grad, bei dem der Nutzer selbst beeinflussen kann, welche Informationen er auf welche Art und Weise sieht.

4.1 Gestaltungsvariablen in der digitalen Kartographie

Die kartographischen Gestaltungsmittel aus der statischen, analogen Kartographie, nämlich Punkt, Linie, Fläche, Signatur, Diagramm, Halbton und Schrift sowie die dafür in Abb. 49 präsentierten, von Bertin definierten, Gestaltungsvariablen kommen auch in der digitalen Kartographie zur Anwendung. Allerdings gibt es hier betreffend der graphischen Minimaldimensionen aufgrund der Präsentation mittels unterschiedlicher Ausgabegeräte und deren technischen Limitierungen geänderte Voraussetzungen (vgl. [BRU-16b] S. 3-5). So sind die Größe der Signaturen und der Abstände zwischen einzelnen Elementen bzw. Texturmustern nicht mehr nur von der Grenze der visuellen Wahrnehmung abhängig, sondern hauptsächlich von der möglichen Auflösung, der Farbechtheit und dem Kontrast, über die entsprechende Displays verfügen.







Grafische Variable	Abbildung	Beschreibung
Form (shape)		Die Umrisse der Signatur werden verändert. Dadurch erhält die Signatur eine andere Bedeutung.
Farbe (color)		Die Farbe kann sowohl ordnend, als auch unterscheidend wirken. Sie entsteht durch Brechung des Lichts.
Grösse (size)		Die Veränderung der Grösse zeigt häufig eine Veränderung der Menge auf. Es gilt das Prinzip: Je grösser, desto mehr.
Orientierung (Richtung, Rotation) (orientation, rotation)		Die Orientierung zeigt Richtungen auf und kann bei Flächen verbindend, bei Punkten und Linien eher selektiv wirken.
Muster (Körnung, Füllung, Abstand) (texture, grain, spacing)		Das Muster wird meist eher in einer Fläche verwendet und wirkt ordnend. Es gilt das Prinzip: Je dichter, desto mehr.
Helligkeit (Tonwert) (value)		Die Helligkeit gibt die Gesamtenergie des auf das Auge treffenden Lichtreizes wieder. Sie wirkt ordnend. Es gilt das Prinzip: Je dunkler, desto mehr.

Abb. 49: Graphische Gestaltungsvariablen nach Bertin (Quelle: [SCH-07] S.20)

	Minstdimensionen für Papier		Minstdimensionen für den Bildschirm		
Strichstärke	0,1 mm	—	1 pt	0,4 mm	—
Linienabstand	0,2 mm	===	2 pt	0,8 mm	===
Quadrat, voll	0,3 mm	·	3 pt	1,1 mm	■
Kreisscheibe, voll	0,4 mm	·	4 pt	1,5 mm	●
Rechteck, voll	0,3 mm x 0,6 mm	▪	3 pt x 6 pt	1,1 mm x 2,3 mm	■
Schrift horizontal	5 pt = 1,9 mm	Schrift	10 pt	3,8 mm	Verdana
Schrift gebogen	7 pt = 2,6 mm	Schrift	14 pt	5,3 mm	Verdana

Abb. 50: Graphische Minimaldimensionen gedruckter und digitaler Darstellungen (Quelle: [LEC-16] S. 5)

Einen Vergleich dieser graphischen Minimaldimensionen für gedruckte und digitale Karten nach Malić und Neudeck liefert Abb. 50. Es wird hier ersichtlich, dass diese bei gedruckten Darstellungen für Strichstärke, Linienabstände und die Minimalgröße von Signaturen viermal feiner ausfallen als bei digitalen Produkten, die auf Bildschirmen ausgegeben werden und für Beschriftungen immerhin noch doppelt so fein. Neben diesen Aspekten gibt es eine Vielzahl weiterer Faktoren, auf die bei der Erstellung von digitalen Karten bzw. der Adaptierung analoger Werke für eine digitale Präsentation geachtet werden muss. An dieser Stelle wird allerdings nicht weiter darauf eingegangen (als Einstieg in diese Thematik siehe u.a. [LEC-16], [BRU-16a], [BRU-16b]).

Neben diesen Gestaltungsmitteln und ihren Variablen ergeben sich für die digitale Kartographie noch weitere Möglichkeiten, die gewünschten Aussagen zu vermitteln, so präsentieren zum Beispiel DiBiase, MacEachren, Krygier und Reeves für animierte Karten die dynamischen Variablen (vgl. [DIB-92] S. 205f):

Dauer, die Zeitspanne, in der eine bestimmte Szene zu sehen ist.

Änderungsrate, die vom Verhältnis des Ausmaßes der dargestellten Veränderung und der Dauer der jeweiligen Szenen abhängig ist, woraus sich Karten mit deutlich ersichtlichen Änderungen, die aber den Eindruck einer wenig ruckfreien Bildabfolge bieten, ergeben können oder solche, bei denen die Veränderungen weniger deutlich ersichtlich sind, aber dafür der Bildverlauf gleichmäßiger und ruhiger erscheint.

Reihenfolge, in welcher die einzelnen Szenen zu sehen sind. Für Karten, die Zeitreihen-Daten zur Grundlage haben, ist die Reihenfolge der gezeigten Szenen zumeist chronologisch geordnet. Es gibt allerdings auch Gelegenheiten, bei denen eine Ordnung nach anderen Gesichtspunkten, zum Beispiel nach ab- oder aufsteigender Reihenfolge berechneter Werte, erfolgt.

Digitale Katastralmappe (DKM) des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen. Auch – beispielsweise mit Geoinformationssystemen – digital erstellte kartographische Darstellungen, wie die Kärtchen in dieser Arbeit, bieten, nachdem sie aus dem GIS in ein Grafikformat exportiert wurden, keine zusätzlichen Funktionalitäten und entsprechen somit statischen analogen Karten.

Größeren Mehrwert liefern dagegen animierte digitale kartographische Darstellungen oder solche, die eine Interaktion zwischen Nutzer und Kartenwerk ermöglichen (siehe [CAR-97] S. 449f). Da auf diese beiden Aspekte in einem späteren Abschnitt der vorliegenden Arbeit noch gesondert eingegangen wird, werden an diesem Punkt lediglich solche besprochen, bei denen eine Änderung des Maßstabs bzw. eine Vergrößerung des betrachteten Ausschnitts möglich ist sowie solche, die einfache Messungen im Karteninhalt erlauben.

Einfache Karten, die gewisse Vergrößerungen erlauben, allerdings sonst keine Interaktivität bieten, sind zum Beispiel jene für die Wettervorhersage und Wetterwarnungen auf der Homepage der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG, [URL:ZAM]). Hier ist es möglich, von einer Gesamtansicht Österreichs auf Einzelansichten der Bundesländer zu wechseln, um detailliertere Informationen über das prognostizierte Wetter sowie Wetterwarnungen zu erhalten.

Ein weiteres Beispiel für digitale Karten mit vorgegebenen Zoomstufen ist die Austrian Map online des BEV ([URL:AMA]). Diese basiert in der kleinsten Ansicht auf aus Vektordaten erstellten Übersichtskarten im Maßstab 1:2 Millionen bzw. 1:1 Millionen. Die weiteren Vergrößerungsstufen stellen digitale Varianten der amtlichen topographischen Karten Österreichs dar, nämlich die ÖK 500 (im Maßstab 1: 500.000), die ÖK 250 (Maßstab 1:250.000) sowie die ÖK 50 (Maßstab 1:50.000). Für jede dieser Karten gibt es zwei Zoomstufen, sodass insgesamt acht unterschiedliche Ansichten verfügbar sind, wobei sich allerdings nur bei fünf dieser Stufen der Detailgrad des betrachteten Kartenausschnitts ändert, während die übrigen lediglich eine Vergrößerung der entsprechenden Karte darstellen. Zusätzlich erlaubt es die Austrian Map online, Streckenmessungen durchzuführen und die Koordinaten gesetzter Markierungen zu bestimmen.

Auch der ÖROK-Atlas der Österreichischen Raumordnungskonferenz (ÖROK, [URL:OER]), eine Sammlung digitaler thematischer Karten, erlaubt es über mehrere Stufen, die gewählte Ansicht zu vergrößern. Die von den jeweiligen Themenlayern überlagerte Basiskarte bleibt dabei jedoch unverändert und lediglich die Auswahl, z.B. der einzelnen Bezirke, und damit das Ablesen der jeweiligen Werte wird erleichtert.

4.3 Dreidimensionale kartographische Darstellungen

Bei dreidimensionalen kartographischen Darstellungen wird zumeist der Karteninhalt – seien das thematische Layer oder topographische Informationen – auf ein digitales Höhenmodell des entsprechenden Ausschnitts der Erdoberfläche gelegt, wodurch ein Eindruck von Dreidimensionalität erzeugt wird und ein besseres Bild der Situation vor Ort vermittelt werden kann (vgl. [HÄB-03] S. 30–33). In Wirklichkeit handelt es sich allerdings meist lediglich um 2,5D, weil zum Beispiel Überhänge, senkrechte Wände oder Brücken oft nicht korrekt dargestellt werden, da zu jedem Koordinatenpunkt lediglich ein Höhenwert verfügbar ist (vgl.

[TIE-04] S. 280). Beispiele dafür sind u.a. Google Earth, wo sich der Kamerawinkel ab einer bestimmten Zoomstufe ändert (etwa ab einer Sichthöhe von 20 Kilometern), sodass der Blickwinkel nicht mehr senkrecht von oben, sondern schräg auf das ausgestaltete Gelände fällt. Die Ansicht kann dabei stufenlos gezoomt werden und ist frei schwenk- und kippar.

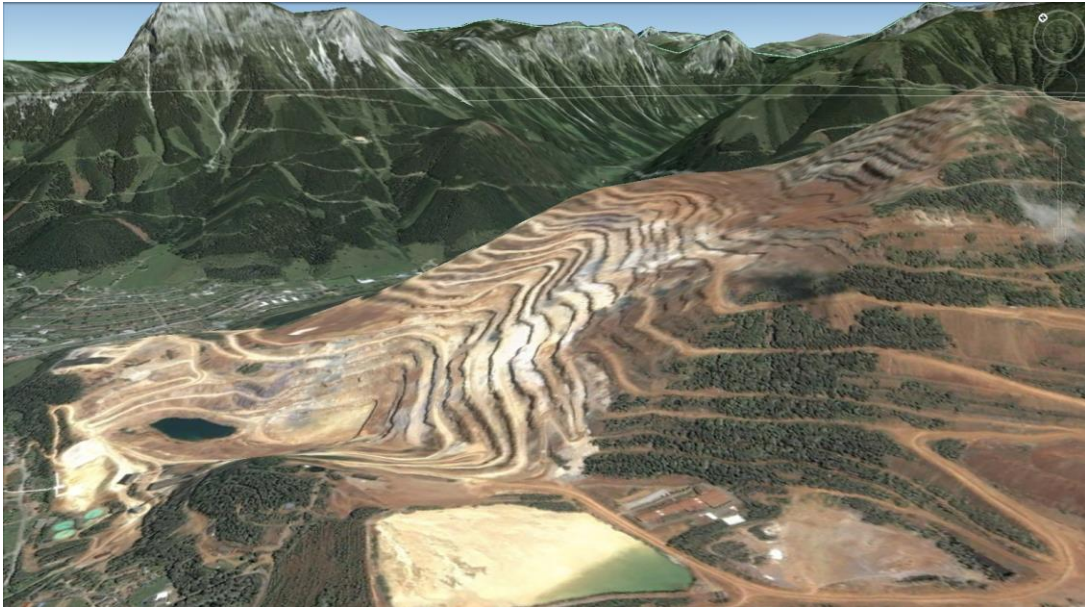


Abb. 52: Blick auf den Erzberg in Richtung Nordosten (Quelle: Google Earth)

Als Beispiel zeigt Abb. 52 einen Blick auf den Erzberg in Richtung Nordosten und verdeutlicht außerdem die Einschränkungen, denen diese Darstellungsform unterliegt. Die typischen Stufen des hier zur Anwendung kommenden Tagbaus werden nicht korrekt dargestellt, sondern stattdessen geglättet, was einerseits an der bereits erwähnten 2,5D-Problematik liegt, andererseits an der Auflösung der verfügbaren Höheninformationen, die eine Generalisierung notwendig machen.

Ein weiteres Beispiel ist die Website des Skiverbands Amadé ([URL:SKI]), die 3D-Ansichten der Skigebiete Hochkönig, Salzburger Sportwelt, Großarlal, Gastein und Schladming-Dachstein bietet. Dies ermöglicht es, sich ein Bild von den örtlichen Gegebenheiten zu machen und einen Überblick über die vorhandenen Lifte und Pisten zu bekommen. Neben der Ski-Infrastruktur können außerdem Gastronomie- und Nächtigungsbetriebe sowie Parkplätze, Busstationen und so genannte „Berg-Specials“ eingeblendet werden. Die Kameraposition kann von den Nutzern uneingeschränkt bewegt, gekippt sowie geschwenkt werden und der Betrachtungsabstand der Luftbilder, welche die Grundlage des 3D-Panoramas bilden, ist stufenlos veränderbar.

Auch Google Maps bietet in der Darstellungsform „Earth“ eine 3D-Ansicht, bei der die Kamera auf eine Schrägansicht gekippt wird, wobei auch in der zweidimensionalen Vogelperspektive vor allem Häuser, größere Bäume bzw. Vegetation und andere markante Objekte modelliert sind, wodurch sich beim Manövrieren eine realistischere Betrachtungsweise aus einer simulierten Zentralprojektion ergibt.

Ein Beispiel für statische 3D-Abbildungen sind die Produkte des Programms Terrain Bender, mit dem es möglich ist, einen Texturlayer über ein DHM zu legen, zusätzlich eine Überhöhung separat für Vorder- und Hintergrund einzustellen und den Betrachtungswinkel zu verändern, indem das Terrain gebogen wird. Die Funktionsweise wird in Abb. 53 illustriert und Abb. 54 liefert anschließend ein Beispiel für eine fertige Darstellung.

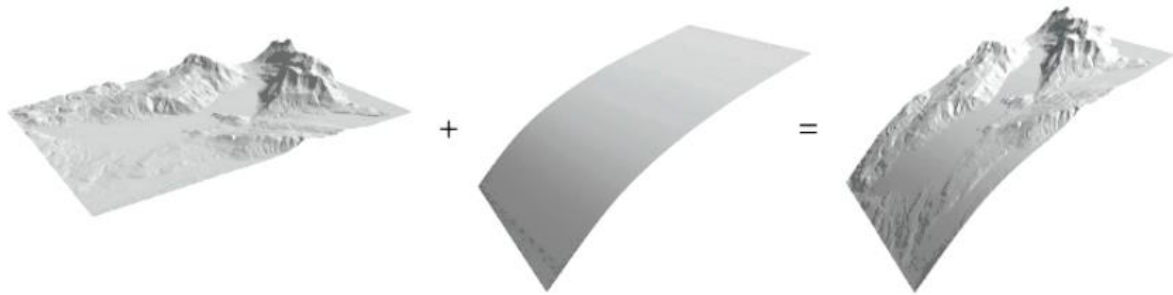


Abb. 53: Funktionsweise der open-source Software Terrain Bender (Quelle: [URL:TER])

Aus der Darstellung in Abb. 54 wird ersichtlich, wie es mit Hilfe der open-source Software gelingt, Darstellungen zu gestalten, bei denen – durchaus überhöht – die Erdkrümmung simuliert wird, um so den Blick zu imitieren, den beispielsweise Flugzeugpassagiere haben. Das Beispiel in Abb. 54 weist dabei nicht nur unterschiedliche Krümmungen im vorderen und hinteren Bildbereich auf, sondern repliziert auch übertrieben die Wölbung der Erdoberfläche vom linken zum rechten Rand. Diese Darstellungen sind allerdings – wie bereits erwähnt – statisch und können nicht weiter manipuliert werden, sobald sie in ein Grafikformat exportiert wurden. Eine nachträgliche Veränderung des Blickwinkels auf das dargestellte Höhenmodell ist also nicht mehr möglich.

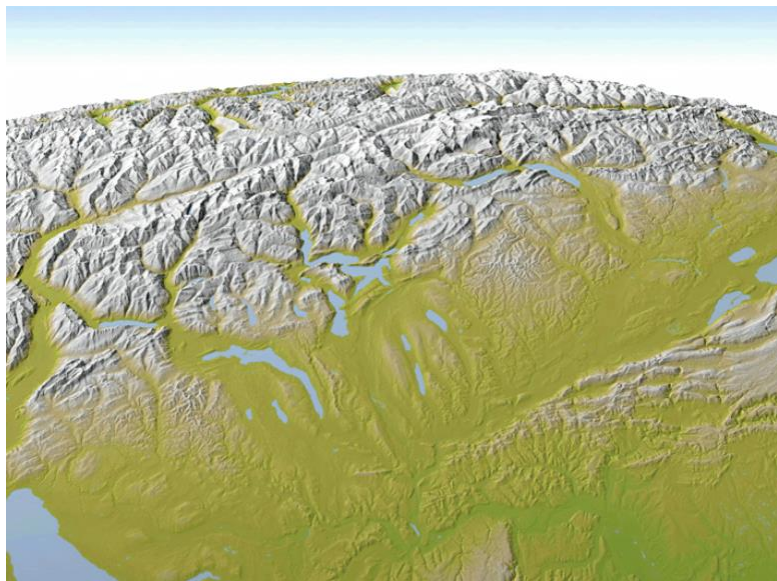


Abb. 54: Beispiel einer gestalteten Terrain Bender-Szene (Quelle: [URL:TER])

4.4 Animationen

Bei Animation in der Kartographie geht es nach Kraak et al. (siehe [KRA-16] S. 2) um Veränderungen der Komponenten raumbezogener Daten. Die Animationen können dabei einen Wandel der Lage von Phänomenen im Raum, der Attribute an einem Standort oder generell der Entwicklungen in einem bestimmten Zeitraum bzw. die Wechselbeziehungen dieser drei Aspekte (also „Wo?/Wann?“, „Was?/Wann?“ und „Wo?/Was?“) zeigen. Eine weitere Form kartographischer Animation ist das so genannte „fly-through“ von 3D-(bzw. 2,5D-)gestalteten Landschaften, bei denen in schneller Abfolge eine Anzahl an Schrägansicht-Szenen gezeigt wird, wodurch der Eindruck erzeugt wird, durch die Landschaft zu fliegen. Ein direkter Zusammenhang zwischen Anzeigedauer und Echtzeit besteht bei Animationen räumlicher Veränderungen im Laufe der Zeit, zum Beispiel der Entwicklung von NDVI-Werten im Verlauf eines Jahres. Hier entspricht die Anzeigedauer eines Frames einer bestimmten Zeitspanne in „realer Zeit“. Andere Formen der Animation, bei der nicht die Zeit der bestimmende Faktor ist, sind u.a. ein automatischer Zoom, bei dem der Betrachtungsabstand zu einer kartographischen Abbildung verändert wird, die selbsttätige Überblendung verschiedener Klassifikationsarten von thematisierten räumlichen Daten oder Generalisierungen, bei denen die Einteilung einer Datenklassifizierung in verschiedene Klassen gezeigt wird (vgl. [PET-16a]). Wichtig bei kartographischen Animationen sind entsprechende Legenden, die es den Nutzern ermöglichen, das Gesehene zu erfassen und zu interpretieren. Mit den sich daraus ergebenden Schwierigkeiten und möglichen Lösungsansätzen beschäftigen sich u.a. Midtbø (vgl. [MID-16]), Kraak et al. (vgl. [KRA-16]) oder Peterson (vgl. [PET-16b]).

Sehr simple Arten der Animation stellen animierte GIFs – oder ähnliche Formate – dar, also kurze Filme, in denen zum Beispiel die Entwicklung eines Phänomens im Laufe der Zeit gezeigt wird. Die Betrachter solcher Animationen haben dabei keinerlei Möglichkeit, in die Animation einzugreifen, sie zu pausieren oder an einen bestimmten Punkt der Animation zu springen. Bei solchen Videos ist es oft schwierig, das Gesehene korrekt einzuordnen, da laufend – ohne Pause – die aktuelle Abbildung erfasst werden muss, um das bisher Gesehene in Kontext zu setzen. Umso wichtiger sind hier entsprechend gestaltete Legenden und Zeitstempel, die es ermöglichen, die gelieferten Informationen auf einen Blick zu registrieren. Dennoch wird es unter Umständen notwendig sein, die Animation mehrmals anzusehen, um die zu transportierende Aussage vollends erfassen zu können (vgl. [KRA-16] S.3).

An dieser Stelle werden einige Websites vorgestellt, auf denen Beispiele für kartographische Animationen zu finden sind: Bei „flightradar24“ ([URL:FLI]) wird eine Basemap mit einem Layer des globalen Flugverkehrs überlagert, der die aktuelle Position im Flug befindlicher Flugzeuge anzeigt. Auf der Homepage der ZAMG ([URL:ZAM]) finden sich Animationen zur Temperatur, zum Niederschlag und zur Bewölkung, welche Entwicklungsprognosen der jeweiligen Aspekte in Österreich für die kommenden Tage in Stundenschritten simulieren. Um das Gezeigte einordnen zu können, gibt es am unteren Rand der Animation eine Legende sowie eine Zeitleiste, welche die Zeitpunkte der entsprechenden Szenen angibt. Außerdem ist auf der Website eine Animation der Wetterentwicklung der vergangenen zwölf Stunden über Europa zu finden, die auf Satellitenbildern basiert und in 30-Minuten-Schritten animiert ist. Hier gibt es keine Legende, dafür aber die Möglichkeit, an den Anfang bzw. das Ende der Animation zu springen, sie vorwärts und rückwärts anzusehen und in beide Richtungen Frame für Frame zu

betrachten. Außerdem kann die Geschwindigkeit der Animation verändert werden sowie ausgewählt werden, ob sie in einer Schleife, lediglich einmal oder im Wechsel vorwärts und rückwärts abgespielt werden soll. Allgemein lässt sich wohl sagen, dass Animationen, die Veränderungen und Entwicklungen im Laufe der Zeit zum Thema haben im Vergleich zu anderen Formen kartographischer Animation überwiegen.

4.5 Interaktivität

Mit Interaktivität ist die Möglichkeit gemeint, den Inhalt, die Erscheinungsform oder den Ablauf einer Animation zu verändern und darauf Einfluss zu nehmen. Dies kann zum Beispiel bedeuten, unterschiedliche Themenlayer auf einer Basemap einzublenden, sich bei Karten mit Routingfunktion verschiedene Wege von einem Ort zum anderen anzeigen zu lassen, zusätzlich in Karten eingebettete Informationen abzurufen oder auch nur die Betrachtungsentfernung einer kartographischen Darstellung und damit den Maßstab zu ändern (siehe u.a. [HAK-02] S.282f).

Interaktivität ist einer der großen Vorteile der digitalen Kartographie gegenüber statischen, analogen Karten. Sie ermöglicht es, im Falle von Karten mit unterschiedlichen thematischen Ebenen, Inhalte darzustellen, für die eine Vielzahl an gedruckten Karten nötig wäre ([PET-16b] S. 5f). Durch Routingfunktionen erleichtern sie individuellen Nutzern die Wegfindung auch unter Beachtung gewisser Vorgaben wie Zwischenstopps oder Nutzung unterschiedlicher Verkehrsmittel und können zusätzlich Informationen wie ungefähre Reisedauer, zurückzulegende Distanz oder in manchen Fällen auch die geschätzten Reisekosten liefern.

Beispiele für Interaktivität in kartographischen Produkten – neben dem bereits zuvor erwähnten Wählen des Maßstabs, Verändern der Kameraposition und Steuern von Animationen – ist u.a. die Karte über Drogenkonsum auf der Website des United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC, [URL:UNO]), bei welcher der Konsum verschiedener Drogen ausgewählt werden kann und dessen Ausmaß in Form von Kreisen unterschiedlicher Größe in den einzelnen Ländern ausgewiesen wird. Über ein mouse-over öffnet sich ein Dialog, der den Namen des Landes, das Jahr, für das die Konsumwerte geschätzt wurden, die beste, niedrigste sowie höchste Schätzung der Konsumrate sowie die Altersgruppe der Konsumenten ausweist. Des Weiteren kann die Ansicht vergrößert oder verkleinert und mit Hilfe dreier Auswahlwerkzeuge können individuelle Länder ausgewählt werden, um deren Daten in der Übersicht auszublenden oder ausschließlich anzuzeigen. Außerdem können in der Legende, welche die Ergebnisse der besten Schätzungen den Kreisgrößen zuordnet, alle Länder, die den jeweils spezifischen Wert ausweisen, ausgewählt werden.

Ein weiteres Beispiel ist die interaktive Karte des offiziellen Tourismusportals Österreichs ([URL:AUS]), die auf der Basemap von Google Maps einen Routenplaner, die Möglichkeit, Orte in der Karte zu suchen und eine Vielzahl an Informationen einzublenden – u.a. Unterkünfte, Urlaubsangebote, Kultur und weitere Kategorien, die jeweils in zusätzliche Unterpunkte aufgeteilt sind – sowie Fotos und die Standorte, von denen sie stammen, bietet. Des Weiteren wird mittels mouse-over bei den einzelnen eingeblendeten Informationen ein Dialogfenster geöffnet, welches zusätzliche Details zu den entsprechenden Einträgen liefert und direkt die Möglichkeit bietet, eine Route zu dem jeweiligen Ort zu planen.

Die Website des United States Census Bureau ([URL:CEN]) bietet u.a. eine interaktive Karte, bei der ebenfalls auf verschiedenen zur Auswahl stehenden Basemaps unterschiedliche Themenlayer zur Bevölkerungsstatistik der Vereinigten Staaten von Amerika eingeblendet werden können. Neben den gewohnten Navigationsmöglichkeiten weist die Karte eine Legende auf, deren Position verändert, die minimiert und geschlossen werden kann. Daten- und Hydrologielayer können außerdem separat ein- und ausgeblendet werden.

Die bereits erwähnten Routingfunktionen sind u.a. auf den Seiten von Viamichelin ([URL:VIA]) und Google Maps ([URL:GOOa]) zu finden. Auf fünf wählbaren Basemaps ermöglicht Viamichelin neben den üblichen Navigationsfunktionen das Einblenden der Standorte von Tankstellen, größeren Parkhäusern bzw. so genannter Park & Ride-Anlagen sowie Informationen zur aktuellen Verkehrssituation in weiten Teilen Westeuropas. Außerdem können Layer zu Hotels, Restaurants, Sehenswürdigkeiten und Wetter angezeigt werden. Der Routenplaner erlaubt es, unterschiedliche Fortbewegungsmittel sowie Einschränkungen und Voraussetzungen bezüglich der zu wählenden Route auszuwählen. Für die mögliche Berechnung der Reisekosten sind ebenso verschiedene Manipulationsmöglichkeiten – wie die Wahl des KFZ-Typs und der Währung, die Angabe von Kilometer-geld und Benzinpreis sowie vieles mehr – vorhanden. Gerade diese Funktionen heben die Website Viamichelin von anderen Seiten mit Routingfunktionen ab und bieten mit diesen Möglichkeiten erhebliche Vorteile bei der Planung von Reisen.

Generell kann gesagt werden, dass Interaktivität den Mehrwert kartographischer Produkte steigert, wenn den Nutzern dank ihrer Hilfe zusätzliche Informationen und Leistungen geboten werden. Es ist allerdings auch wichtig, ein Werk nicht mit Funktionen und Inhalten zu überladen, da sonst die Gefahr besteht, die Anwender zu überfordern. Ist dies der Fall, wird die Brauchbarkeit entgegen der ursprünglichen Absicht eingeschränkt, wodurch das Produkt seinen angedachten Zweck nicht so erfüllen kann, wie das mit einer sinnvollen Beschränkung der gebotenen Möglichkeiten der Fall wäre.

4.6 Visualisierungsvorschläge

Die in diesem Abschnitt vorgestellten drei unterschiedlichen Visualisierungsmöglichkeiten scheinen geeignet, die Erkenntnisse der vorliegenden Masterarbeit – oder allgemein Inhalte zu den Themen, mit denen sich das Projekt EO4HumEn und andere vergleichbare Programme beschäftigen – zu vermitteln. Die Software Terrain Bender stellt eine Möglichkeit dar, die verschiedenen Analyseergebnisse unter Einbeziehung der örtlichen Geländehöhensituation zu präsentieren und erlaubt es auch, diesen Aspekt in die Interpretation miteinzubeziehen. Im Gegensatz zu den mit Terrain Bender gestalteten, statischen Darstellungen steht die im Anschluss besprochene Option, mit Hilfe von animierten Kurzvideos vor allem jene Aspekte dieser Arbeit zu veranschaulichen, bei denen der Zeitverlauf im Vordergrund steht. Dies sind zum Beispiel die Entwicklung des NDVI über ein Jahr bzw. den gesamten Untersuchungszeitraum oder eine Animation der detektierten Brandflächen über einen bestimmten Zeitabschnitt. Google Earth Outreach schließlich ist ein außerordentlich potentes Mittel, um Inhalte mit geographischem Bezug im Internet einer großen Anzahl interessierter Menschen zugänglich zu machen. Dieses Paket an Werkzeugen und Präsentationsmöglichkeiten wurde speziell dafür ins Leben gerufen, um es Non-Profit-Organisationen auf

einfachem Weg zu ermöglichen, die Inhalte ihrer Arbeit einer breiten Öffentlichkeit über das Internet zu präsentieren, um dadurch eine erhöhte Aufmerksamkeit für die entsprechenden Anliegen und Themen zu schaffen.

4.6.1 Terrain Bender

Wie bereits erwähnt, ermöglicht es die gratis verfügbare open-source Software Terrain Bender (siehe [URL:TER]), digitale Höhenmodelle mit einem Texturlayer zu überlagern und die Darstellungen nach Bedarf zu verändern, indem das Terrain beliebig gekrümmt wird. Weiters ist es möglich, eine horizontale Wölbung einzustellen, die Hebung des Terrains im Vorder- und Hintergrund separat zu überhöhen, die Ausleuchtung des Geländes anzupassen, Nebel bzw. Dunst zu simulieren sowie anstelle eines Texturlayers eine hypsometrische Farbgebung ausgeben zu lassen. Auch die Kameraposition, die Entfernung zwischen Kamera und Oberfläche sowie der Betrachtungswinkel sind frei wählbar. Bevor das gerenderte Bild exportiert wird, ist eine Vorschau mittels perspektivischem und parallelem Kamerablick sowie einem 360° zylindrischen Panorama möglich (vgl. [URL:TER]).

Für das Oberflächenmodell akzeptiert die Software lediglich ESRI ASCII grid files, wobei es allerdings sein kann, dass auch dieses Dateiformat zunächst nicht erkannt wird. Wenn dies der Fall ist – oder das Höhenmodell nicht im benötigten Dateiformat „.asc“ verfügbar ist –, gibt es einen Workaround im ebenfalls gratis erhältlichen SAGA GIS. Dazu muss lediglich das Raster- oder Grid-Bild importiert und anschließend als ESRI Arc/Info Grid exportiert werden. Eine weitere Schwierigkeit ist, dass die Rasterbilder für das Overlay die exakt gleichen Ausmaße wie das Oberflächenmodell aufweisen müssen, um eine präzise Angleichung der beiden Szenen gewährleisten zu können. Dafür müssen sie entweder in einem GIS georeferenziert oder, wie es bei den im Anschluss präsentierten Beispielen der Fall war, auf die passenden Ausmaße zurechtgeschnitten werden (vgl. [URL:FRE]).

Für die vorliegende Arbeit erwies sich die gekippte Lage des Untersuchungsgebiets als Herausforderung bei der Vorbereitung der Overlay-Rastergrafiken. Zunächst wurde der benötigte Ausschnitt, SRTM_41_10, des globalen DEM der NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) von der Website des CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI, siehe [URL:CGI]) heruntergeladen und anschließend die Area of Interest herausgeschnitten. Da es nicht möglich ist, in ArcGIS ausschließlich die ausgewählten Layer in einem Grafikformat abzuspeichern, sondern die Darstellung auf virtuelles Papier gedruckt wird, ist beim Exportieren der Daten immer ein unerwünschter Rand vorhanden. Um lediglich die gewünschte Fläche als Datenfile zu erhalten, das vom Terrain Bender in weiterer Folge auch korrekt genutzt werden kann, wurden die gewünschten Abbildungen in Adobe Photoshop geladen, um sie dort zurechtzuschneiden. In einem ersten Schritt wurde die Neigung der Darstellung von 8,3 Grad im Uhrzeigersinn abgemessen und das Bild anschließend um diese Gradanzahl gegen den Uhrzeigersinn rotiert. Danach wurde der unerwünschte Rand beschnitten und die Grafik im Anschluss wiederum um 8,3 Grad mit dem Uhrzeigersinn gekippt. Die abgespeicherte Datei konnte nun als Texturlayer im Terrain Bender genutzt werden. Für die Beispieldarstellungen wurde auf eine Veränderung der Beleuchtung sowie auf Nebeleffekte verzichtet, allerdings wurde sowohl im Hinter- als auch im Vordergrund eine Überhöhung des Terrains eingestellt. Die Blickrichtung ist bei einer Neigung von etwa 80 Grad ziemlich exakt

in Richtung Norden. In Abb. 55 ist die Ausdehnung der Stadt Goz Beïda, der Siedlung Kouroukoul und des Flüchtlingslagers Djabal eingezeichnet. Die Lage der Siedlungsgebiete, umgeben von Hügelzügen und dem einzigen ebenen Zugang aus Richtung Nordosten, wird durch diese Darstellung, in der die Höhendaten miteinbezogen werden, noch einmal verdeutlicht.

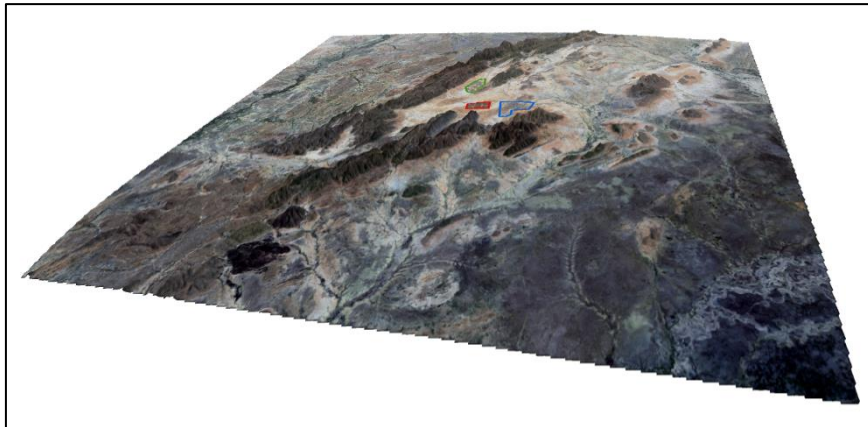


Abb. 55: Ausdehnung von Goz Beïda (blau), Kouroukoul (grün) und Camp Djabal (rot) im Untersuchungsgebiet, 15. Juni 2014, Landsat 8 (eigene Darstellung)

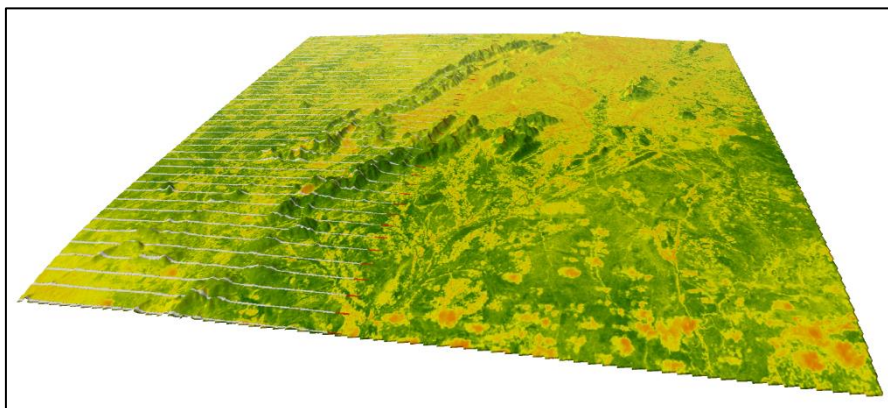


Abb. 56: NDVI für das Untersuchungsgebiet, 8. September 2013, Landsat 7 (eigene Darstellung)

Die Darstellung des NDVI für das Untersuchungsgebiet am 8. September 2013 in Abb. 56 lässt wiederum erahnen, dass die Gebiete von Nordwesten über Südwesten bis in den Südosten durch die Barriere, welche die Hügelketten für die lokale Bevölkerung darstellen, der Nutzung durch die Einheimischen zu einem gewissen Grad entzogen und damit geschützt sind, weshalb hier die NDVI-Werte höher sind als in den stärker beeinflussten Arealen von der Mitte des Untersuchungsgebiets in Richtung Nordosten. Die orangen Flecken im Süden sind durch Wolken fehlerhaft mit sehr niedrigen Werten ausgewiesene Flächen.

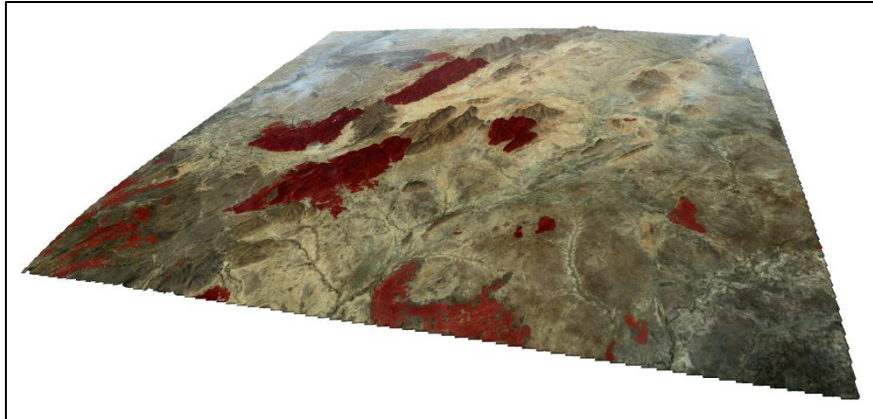


Abb. 57: Durch supervised Maximum Likelihood Classification detektierte Brandflächen, 27. März 2014, Landsat 8 (eigene Darstellung)

Auch die Darstellung der detektierten Brandflächen in einer Terrain Bender Szene ermöglicht es, sich eine gewisse Vorstellung von der Situation vor Ort zu machen. Wie in Abb. 57 als Beispiel für die Erfassung von Brandflächen gezeigt, sind es in der Umgebung des Hauptsiedlungsraums in der Mitte des Untersuchungsgebiets vor allem die Hügelzüge, auf denen saisonal Feuer ausbrechen bzw. Brände gelegt werden. Diesen Umstand sowie die Auswirkung der bereits erwähnten Abschirmung der größten Teile des Untersuchungsgebiets durch die Hügelketten verdeutlicht auch Abb. 58, welche die für den gesamten Untersuchungszeitraum aggregierten ausgewiesenen Brandflächen in Rot und die Gebiete, in denen wahrscheinlich Ackerbau betrieben wird, in Grün zeigt.

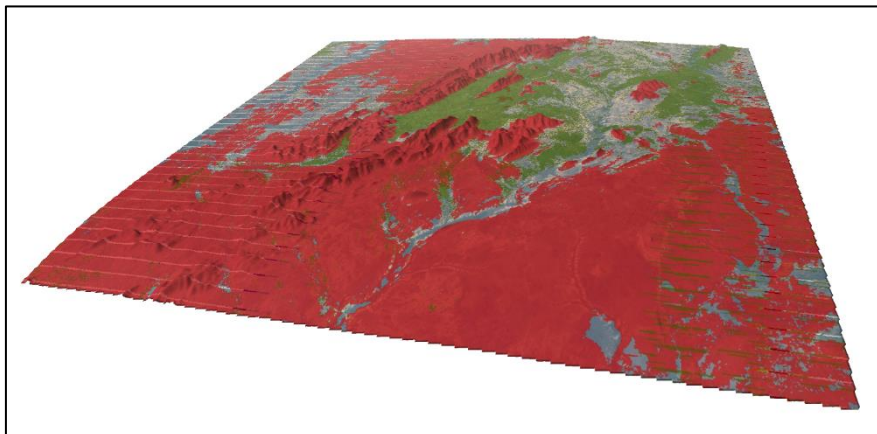


Abb. 58: Darstellung der aggregierten Brandflächen (rot) und als Ackerflächen ausgewiesene Gebiete (grün) im Untersuchungszeitraum (eigene Darstellung)

Es wird noch einmal die Vermutung bestärkt, dass sich die Aktivitäten der Bewohner der Siedlungen in der Mitte des Untersuchungsgebiets tendenziell auf die Gebiete in Richtung Nordosten beschränken und es die lokale Bevölkerung nicht auf sich nimmt, die Hügelzüge zu überwinden, um auf der anderen Seite in großem Maße aktiv zu werden. Was außerdem auffällt,

ist der grüne Bereich auf der anderen Seite der Hügel im Osten von Camp Djabal. In diesem Gebiet, das beinahe auf allen Seiten von Hügeln umschlossen wird, befindet sich die bereits erwähnte Siedlung Abchour, deren Einfluss auch in der Darstellung des NDVI in Abb. 56 zu erkennen ist.

Generell kann gesagt werden, dass durch Darstellungen, die mit der Software Terrain Bender erstellt werden, es für die Betrachter erleichtert wird, sich Vorstellungen von der Situation vor Ort zu machen. Die Einbeziehung der Höhendaten, über die es speziell bei der Arbeit mit Satellitenbildern oft keine unmittelbaren Informationen gibt, hilft dabei, verschiedene Phänomene in Beziehung zu setzen und bestimmte Wechselwirkungen – wie in dem vorliegenden Beispiel die Verteilung der mutmaßlich ackerbaulich genutzten Flächen – zu erkennen. Was allerdings notwendig ist, bei den hier gebrachten Beispielen jedoch bewusst ausgelassen wurde, ist das Erstellen einer geeigneten Legende, um die dargestellten Inhalte vollständig erfassen und korrekt interpretieren zu können. Terrain Bender bietet dafür keine Funktionen, daher ist es notwendig, auf andere Grafikprogramme auszuweichen. Eine praktikable Möglichkeit ist beispielsweise, gleich beim Erstellen der Texturlayer – z.B. in ArcGIS – die Legenden zu gestalten und nach dem Exportieren separat in die Abbildung einzufügen. Auch etwaige Beschriftungen müssen mit Hilfe anderer Programme in die Darstellungen eingefügt werden.

4.6.2 Animierte Videos

Auf die Möglichkeiten bzw. den Nutzen, die animierte Videos bringen können, wurde bereits an einem früheren Punkt kurz eingegangen. An dieser Stelle sollen konkrete Anwendungsbeispiele in Bezug auf die vorliegende Thematik und weitere Aspekte, die das Projekt EO4HumEn behandelt, besprochen werden.

Zunächst wurde eine Animation der NDVI Maximum Value Composites erstellt, bei der jeweils die Darstellung des Ergebnisses von einem Jahr zu der des Folgejahres gemorphed wurde. Dies wurde mit der Software Morpheus Photo Animation Suite gemacht, von der es eine kostenfreie Probeversion zum Download gibt (siehe [URL:MOR]). Für die Animation pro Bildpaar wurde eine Dauer von fünf Sekunden bzw. 80 Frames festgelegt. Die zwölf so entstandenen Videoclips wurden im Anschluss mit Hilfe des ebenfalls frei verfügbaren Windows Movie Maker zusammengefügt und als eine Datei abgespeichert. Das Ergebnis ist ein 59 Sekunden dauerndes Video, welches den Verlauf der jährlichen NDVI-Maximalwerte über die einzelnen Jahre des gesamten Untersuchungszeitraumes zeigt. Da es sich um eine Videodatei handelt, sind auch das Anhalten der Animation sowie das Navigieren im Zeitverlauf möglich, allerdings ist es auch hier notwendig, die Beschriftungen und eine Legende mit Hilfe anderer Programme einzufügen. Es muss jedoch erwähnt werden, dass die Qualität der einzelnen Videosequenzen – und damit auch die des gesamten Films – nicht überragend ist und auch die verwendete Software keine Möglichkeit bietet, eine höhere Auflösung für das Morphing einzustellen. Es existiert aber eine Vielzahl anderer Softwareprodukte, sowohl gratis als auch kostenpflichtig, mit deren Hilfe es möglich sein müsste, annehmbare Ergebnisse zu erzielen. Die so erstellten Videos können im Anschluss beispielsweise in Präsentationen oder Websites eingebunden werden.

Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich, konkret für die Inhalte der vorliegenden Masterarbeit, angesichts der Tatsache, dass es sich um eine Zeitreihenanalyse von Satellitenbildern handelt, zur Genüge. Neben Animationen zu zeitlichen Abläufen wie dem bereits genannten Beispiel der NDVI MVC oder den verbrannten Flächen, die für die einzelnen Monate einer Brandsaison animiert werden könnten, sodass zu den bisher ausgewiesenen Gebieten jeweils die Fläche des folgenden Monats hinzugefügt wird, sind weitere Anwendungsmöglichkeiten die Präsentation eines Phänomens zu einem bestimmten Zeitpunkt mittels unterschiedlicher Darstellungsformen. So könnte beispielsweise der Zustand der Vegetation im Untersuchungsgebiet zunächst mittels Farbverlaufsdarstellung des NDVI gezeigt werden, welche anschließend zu einer Abbildung mit klassifizierten Werten wechselt, um danach die erhaltenen SAVI-Werte ebenfalls auf beide Arten zu präsentieren. Eine solche Darstellung könnte auch dabei helfen, die Divergenzen der verschiedenen Indices aufzuzeigen, die sich bei ihrer Anwendung in den entsprechenden Untersuchungsgebieten ergeben, um dadurch auch ihre Güte für den jeweiligen Einsatzort zu bewerten. Außerdem bieten Animationen die Möglichkeit, Schwierigkeiten bei der Ergebnisfindung verschiedener Fragestellungen bzw. der Anwendung unterschiedlicher Methoden aufzuzeigen. Ein Beispiel dafür wäre eine Animation der Ergebnisse der Brandflächendetektierung mittels SAVI, NBR, dNBR und supervised Maximum Likelihood Classification, bei der ersichtlich wird, wie sehr sich die Resultate der verschiedenen Methoden voneinander unterscheiden und die ebenfalls ein Urteil darüber zulassen würde, welche der eingesetzten Techniken sich am besten für das entsprechende Untersuchungsgebiet eignet.

Hinsichtlich der anderen Themen, mit denen sich das Projekt EO4HumEn beschäftigt, eignen sich Animationen, um beispielsweise Veränderungen der Einwohnerdichte von Flüchtlingslagern zu visualisieren, basierend darauf, die Änderung der Abgrenzungen der einzelnen Camps zu zeigen oder auch die Entwicklung der Lager in Bezug auf die Arten der vorhandenen Unterkünfte darzustellen (vgl. [URL:EO4b]).

Im Allgemeinen sind Animationen also gut dafür geeignet, Inhalte visuell zu vermitteln, ohne dass dafür eine Reihe von Statistiken, Diagrammen und Datenblättern studiert werden muss. Dafür ist es allerdings essenziell, die präsentierten Ergebnisse mittels geeigneter Legenden ausreichend zu erklären und im Falle von zeitlichen Animationen den jeweils gerade dargestellten Zeitpunkt leicht erfassbar auszuweisen. Vor allem aber ist es notwendig, den Nutzern der Animation die Möglichkeit zu bieten, diese anzuhalten, um die gezeigte Szene genauer studieren zu können und in ihrem Verlauf hin und her springen zu können, um unterschiedliche Zeitpunkte erneut zu betrachten bzw. mehrere Punkte miteinander vergleichen zu können, ohne die Animation als Ganzes nochmals ansehen zu müssen. Diese nötigen Erläuterungen und die Interaktionsmöglichkeiten verleihen Animationen erst den großen Mehrwert gegenüber einfachen, statischen Darstellungen.

4.6.3 Google Earth Outreach

Das von Google initiierte Programm Google Earth Outreach bietet gemeinnützigen Organisationen die Möglichkeit, die Inhalte ihrer Projekte über Google Earth und Google Maps ins Internet zu stellen und damit, ähnlich wie bei einem Web GIS, einer breiten Öffentlichkeit verfügbar zu machen (vgl. [URL:GOOb]), allerdings ohne dass diese die präsentierten Daten

weiter bearbeiten kann. Zu diesem Zweck stehen eine größere Anzahl an Softwaretools kostenfrei zur Verfügung, die es u.a. ermöglichen, Karten zu erstellen, Gebiete selbst zu kartieren und Daten offline zu erfassen, um sie anschließend im Internet zu teilen, damit sie für Abfragen oder Kartierungen genutzt werden können. Außerdem gibt es weitere Werkzeuge, die zum Beispiel ein Arbeiten an gemeinsamen Daten in der Cloud oder die Einbindung von Google Maps bzw. Earth auf eigenen Webseiten erlauben (siehe [URL:GOOc]). Für den Fall, dass diese gratis angebotenen Lösungen nicht ausreichen, bietet Google Earth Outreach außerdem die Möglichkeit, über Softwareförderungen ebenfalls kostenfrei auf Google Earth Pro, das u.a. einen GIS-Datenimport erlaubt, zugreifen zu können oder erweiterten Zugriff auf die Google Maps APIs zu erhalten (siehe [URL:GOOd]).

Die vorhandenen Möglichkeiten erlauben u.a. das Einfügen von Bild-Overlays, Ortsmarkierungen, Pfaden und Polygonen, die Einbindung von Legenden für die verwendeten Texturlayer, von Videos und Audiospuren, die durch erstellte Google Earth Touren führen und damit eine Geschichte erzählen oder das Unterteilen der Informationen in verschiedene Regionen und auf unterschiedliche Zoomstufen, um dadurch eine Überladung der betrachteten Kartenausschnitte zu vermeiden. Dadurch bietet Google Earth Outreach alle Optionen, die notwendig sind, um Informationen mit geographischem Bezug relativ einfach interaktiv und gebündelt über eine Schnittstelle verfügbar zu machen. Dass Google Earth Outreach auch für die gegenständliche Thematik bzw. für die des Projekts EO4HumEn geeignet ist, lässt auch der Umstand erahnen, dass auch das UNHCR bereits am Beginn des Projekts im Jahr 2008 auf diese Möglichkeit zurückgegriffen und bei der beispielhaften Präsentation der globalen Tätigkeitsbereiche u.a. das Flüchtlingslager Camp Djabal detailliert vorgestellt hat (siehe [URL:UNHc]).

Konkret bietet sich für das Projekt EO4HumEn die Möglichkeit, die Standorte der einzelnen Flüchtlingslager, zu denen gearbeitet wird – wozu eben auch Camp Djabal im Tschad zählt –, in einer Gesamtansicht von Google Earth zu verzeichnen. Hier wäre auch eine Tour von einem Standort zum nächsten denkbar, bei der eine begleitende Audiospur über den Hintergrund und die Ziele des Projekts berichtet. Beim Hereinzoomen werden dann weitere verfügbare Informationen eingeblendet und einzelne Layer zu den Themen Bevölkerung, Wasser und Umwelt auswählbar, in denen wiederum die verschiedenen Inhalte eingeblendet werden können. Die Nutzer haben so auch die Möglichkeit, sich Animationen selbst zu gestalten, indem sie sich interaktiv die gewünschten Overlays in selbst gewählter Reihenfolge anzeigen lassen können.

Google Earth Outreach stellt also eine sehr mächtige Werkzeugsammlung dar, die es ermöglicht, mit Audio-, Video- und Bildinhalten sowie automatischen animierten Touren und einer Untergliederung der Inhalte in gewünschte Subebenen, Informationen, die Projekte wie EO4HumEn erarbeiten, auf sehr vielfältige Art und Weise einer interessierten Öffentlichkeit näher zu bringen. Dabei zeichnet das Projekt – neben dem Umstand, dass alle diese Werkzeuge für gemeinnützige Organisationen kostenlos nutzbar sind – weiters aus, dass auf der Website eine Vielzahl an Anleitungen für die diversen Anwendungen und Gestaltungsoptionen vorhanden sind (siehe [URL:GOOe]), womit auch ungeübten Nutzern ein Gebrauch ermöglicht wird.

5 Conclusio und Ausblick auf zukünftige Forschungsfragen

Die vorliegende Masterarbeit entstand im Zuge des Projekts EO4HumEn des Z_GIS, dessen Intention es ist, humanitäre Einsätze in Flüchtlingslagern mit Hilfe von Informationen, die aus Satellitenbildern gewonnen werden, zu unterstützen. Dabei widmet sich das Projekt konkret den drei Themen „Bevölkerungsentwicklung“, „Erkundung von Grundwasser“ und „Umwelteinwirkungen“. Eingeordnet in die letztgenannte Thematik war es das Ziel dieser Ausführung, den Einfluss des Camp Djabal im Südosten des Tschad auf seine umgebende Umwelt zu untersuchen. Dazu wurden 113 Bilder, die von den Satelliten Landsat 7 und Landsat 8 aufgenommen wurden, aus dem Zeitraum vom 23. Dezember 1999 bis zum 21. August 2015 analysiert, um festzustellen, in welchem Maße das Flüchtlingslager und seine Bewohner ökologischen Wandel und eine Veränderung der lokalen Landnutzung bedingt haben.

Die Hypothese, auf die sich diese Arbeit stützt, besagt, dass in den letzten zwölf Jahren die landwirtschaftlich genutzte Fläche und die Intensität der Nutzung in der Umgebung von Goz Beïda und Camp Djabal aufgrund der angestiegenen Zahl an Bewohnern gestiegen sind. Die möglichen Folgen davon sind eine Verminderung der Bodengüte, mit der eine Degradation der natürlichen Ressourcen einhergeht.

Basierend auf dieser Annahme, sollten folgende Forschungsfragen und die daraus abgeleiteten Arbeitsfragen beantwortet werden:

Forschungsfrage:

Wie hat sich die Landnutzung und Landbedeckung des Areals um Camp Djabal in der Zeit seit Bestehen des Lagers aufgrund der gestiegenen Bevölkerungszahlen geändert?

Arbeitsfrage 1: *Wie haben sich die Brandrodungsaktivitäten im Einflussbereich des Lagers geändert seit das Flüchtlingslager besteht?*

Arbeitsfrage 2: *Hat sich die für Feldbau genutzte Fläche seit Bestehen des Lagers geändert?*

Arbeitsfrage 3: *Welche Veränderungen und Entwicklungstrends der Vegetation im Allgemeinen sind im Einflussbereich von Camp Djabal seit dem Jahrtausendwechsel zu erkennen?*

Die Beantwortung der Fragen sollte außerdem mit möglichst geringem Kostenaufwand – also lediglich anhand von frei verfügbaren Daten – erfolgen, da es das Ziel von EO4HumEn ist, die operationelle Arbeit der Non-Government-, Non-Profit-Organisation Ärzte ohne Grenzen längerfristig zu unterstützen, weshalb der Kostenfaktor generell ein wichtiger Punkt ist. Diese Arbeit stellt also gewissermaßen auch einen Testlauf dar, ob es möglich ist, die gestellten Fragen rein mit den verwendeten kostenfreien Landsat-Daten zu beantworten.

Zuletzt sollten noch Möglichkeiten beleuchtet werden, wie die Analyseergebnisse dieser Arbeit und generell Resultate von EO4HumEn alternativ zur klassischen zweidimensionalen Karte

wirkungsvoll präsentiert werden können, um Aufmerksamkeit für das Projekt sowie generell die Flüchtlingsproblematik zu erzeugen. Der Fokus sollte auf animierten und interaktiven Präsentationsformen liegen, mit deren Hilfe es im besten Fall leichter ist, Aufmerksamkeit bzw. ein allgemeines Interesse für die Thematik zu schaffen.

Wie haben sich die Brandrodungsaktivitäten im Einflussbereich des Lagers geändert seit das Flüchtlingslager besteht?

Da in der Literatur Hinweise darauf gefunden wurden, dass im Untersuchungsgebiet als Vorbereitung auf die kommende Feldbausaison üblicherweise Brandrodungen durchgeführt werden ([URL:COU]), wurde das Ausmaß der gerodeten Flächen bzw. deren Zu- oder Abnahme als Indikator für Veränderungen der Landnutzung angenommen. Untersucht wurden als Feuersaison die Monate Dezember bis April, da in diesem Zeitraum auf den Satellitenbildern frische Brandnarben ausgemacht werden konnten.

Aufgrund der vorherrschenden Bedingungen im Untersuchungsgebiet und der Datenlage hat sich für die Erfassung der Brandnarben unter allen angewendeten Methoden und Indices die supervised Maximum Likelihood Classification als exaktestes – aber auch langwierigstes – Verfahren erwiesen. Die Ergebnisse dieser Klassifikation der einzelnen Monate wurden zu saisonalen Werten zusammengefasst und ein Verlaufsdiagramm der erhaltenen Werte über den gesamten Untersuchungszeitraum zeigt tatsächlich einen fortwährenden Anstieg der von Feuer betroffenen Fläche für die ersten vier Jahre nach Eröffnung von Camp Djabal. Der Spitzenwert von knapp über 600 Quadratkilometern an Brandnarben – was beinahe 40% der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes entspricht – wurde in der Saison von Dezember 2007 bis April 2008 erfasst. Allerdings wurden die größten Flächen genau in jenen Jahren verbrannt, in denen die Bewohnerzahl von Camp Djabal auf einem relativ niedrigen Stand war und in den Perioden, in denen die Einwohnerzahl des Flüchtlingslager stark zugenommen hat, nehmen die Brandrodungsflächen verhältnismäßig geringe Ausmaße an.

Eine direkt verstärkende Wirkung der Bevölkerungszahl des Flüchtlingslagers Djabal auf die Brandrodungsaktivitäten scheint also sehr unwahrscheinlich. Ganz im Gegenteil zeigt sich bei einem Vergleich der Areale, in denen intensivere ackerbauliche Aktivitäten vermutet werden, mit den ausgewiesenen Brandflächen, dass diese beiden Zonen sich beinahe komplett komplementär ergänzen. Lediglich vereinzelte Gebiete weisen sowohl Feldbauaktivitäten als auch Brandnarben auf, allerdings finden sich diese Bereiche nur spärlich und werden allem Anschein nach auch nicht intensiv für den Feldbau genutzt. Ein Zusammenhang zwischen Brandrodungen und Ackerbau konnte also nicht bestätigt werden.

Hat sich die für Feldbau genutzte Fläche seit Bestehen des Lagers geändert?

Veränderungen bei dem Ausmaß der ackerbaulich genutzten Fläche im Untersuchungsgebiet sind ein direkter Indikator für mögliche Landnutzungsänderungen. Um die Feldbauflächen zu erfassen, wurden Satellitenbilder der Monate Oktober und Dezember – dem Beginn und dem Ende der Erntezeit – bzw. September und November untersucht, soweit aus diesen Monaten brauchbare Satellitenbilder vorhanden waren.

Auch hier erwies sich die supervised Maximum Likelihood Classification als bestgeeignete Methode, allerdings erlaubte es die räumliche Auflösung von 30 mal 30 Meter pro Pixel nicht, die kleinstrukturierten Ackerflächen genau genug zu erfassen, um mit den Ergebnissen weitere Analysen durchführen zu können. Es konnten lediglich jene Gebiete ungefähr ausgemacht werden, in denen verstärkt Feldbau betrieben wird, wobei auch hier nicht von einer Vollständigkeit ausgegangen werden kann. Somit muss gesagt werden, dass es mit den verfügbaren Daten und den in dieser Arbeit angewendeten Methoden nicht möglich war, Resultate zu erzielen, die eine Aussage über die Entwicklung der für den Feldbau genutzten Fläche im Untersuchungsgebiet zulassen würden.

Welche Veränderungen und Entwicklungstrends der Vegetation im Allgemeinen sind im Einflussbereich von Camp Djabal seit dem Jahrtausendwechsel zu erkennen?

Auswirkungen auf den Gesundheitszustand der Vegetation kann neben Veränderungen des Klimas und Schwankungen der jährlichen Niederschlagsmenge auch eine Änderung der Bodennutzung haben. Dabei ist eine Abnahme der gesunden Vegetationsbedeckung ein Indikator für eine mögliche beginnende Landdegradation.

Zur Bemessung des Vegetationszustands wurden zunächst der NDVI und der SAVI herangezogen, da ein erster Vergleich allerdings beinahe identische Wertebewegungen für den Untersuchungszeitraum gezeigt hat, wurden für die weiteren Analysen lediglich die NDVI-Werte verwendet. Für die Periode der Regenzeit waren aufgrund häufig vorherrschender Wolkenbedeckung kaum brauchbare Satellitenbilder verfügbar, weshalb diese nicht berücksichtigt werden konnten. Untersucht wurden also vorwiegend Aufnahmen der Monate März, April, Juni, Oktober und Dezember, da für diese aus den meisten Jahren brauchbare Aufnahmen vorhanden waren. Allerdings sind dies auch jene Monate der Trockenzeit, die eine relativ geringe Vegetationsbedeckung aufweisen, weshalb sich die erhaltenen NDVI-Werte durchwegs auf sehr geringem Niveau bewegen und auch die Veränderungen äußerst gering ausfallen. Andererseits haben Schwankungen der jährlichen Niederschlagsmenge dadurch auch nur geringen Einfluss auf die Werte und können so nicht für Verzerrungen der Ergebnisse sorgen. Sowohl das Verlaufdiagramm der Maximum Value Composite-Werte, die aus allen Monaten für den gesamten Untersuchungszeitraum berechnet wurden, als auch die durchschnittlichen NDVI-Mittelwerte der Monate März, April, Oktober und Dezember für die Jahre 2006, 2007, 2009 und 2014 weisen einen negativen Entwicklungstrend auf. Allerdings wurden für die Berechnung des MVC alle Monate miteinbezogen, weshalb die Werte für Jahre, in denen vereinzelte Aufnahmen aus der Regenzeit vorhanden sind, deutliche Ausreißer

aufweisen und auch die NDVI-Mittelwerte lassen keine wirklichen Rückschlüsse auf die Vegetationsentwicklung zu, da lediglich vier Jahre aus dem gesamten Untersuchungszeitraum betrachtet werden. Bei einer Aufschlüsselung nach den einzelnen Monaten, in denen fünf (Juni) bzw. zwischen zehn und vierzehn (März, Oktober, Dezember) Zeitpunkte berücksichtigt werden, zeigt sich lediglich für den Juni eine leicht negative Entwicklung, während diese für die anderen Monate stabil ist oder minimal positiv ausfällt. Dabei weist jedoch nur der Oktober NDVI-Mittelwerte von mehr als 0,3 auf, während die anderen Monate Werte zwischen 0,1 und 0,2 verzeichnen. Die Veränderungen bewegen sich durchwegs im niedrigen Hundertstel-Bereich. Da also in den untersuchten Monaten grundsätzlich kaum grüne Vegetation im Untersuchungsgebiet vorzufinden ist, der Einfluss der verbrannten Flächen auf den durchschnittlichen NDVI relativ hoch ist und es auch – je nachdem, welche Monate miteinbezogen werden – möglich ist, den Trend der Verlaufsdiagramme, wie in Abb. 47 verdeutlicht, komplett umzukehren, können bezüglich einer Entwicklung der Vegetationsbedeckung anhand von NDVI oder SAVI keine gesicherte Aussagen getroffen werden. Aufgrund der Ergebnisse der Change Detection-Analysen lässt sich allerdings sagen, dass in der Umgebung von Goz Beïda und Camp Djabal eine Abnahme der durchschnittlichen NDVI-Werte überwiegt.

Aufgrund der geschilderten Ergebnisse muss also die Frage, ob die gewählten Fragestellungen allein mit kostenfrei verfügbaren Landsat-Daten zu beantworten sind, verneint werden. Idealerweise sollten Satellitenbilder für zukünftige Forschungstätigkeiten für den gesamten Untersuchungszeitraum vorhanden sein und über eine höhere räumliche Auflösung verfügen. Dies wären zum Beispiel Aufnahmen von SPOT-5, IKONOS oder QuickBird II, die in den Jahren 1999 bis 2002 gestartet wurden und allesamt bis 2015 aktiv waren. Dabei wurden Bilder mit einer Auflösung von 2,4 bis 10 Metern im multispektralen Bereich aufgenommen (bzw. 20 Meter SWIR für SPOT-5). Auch wenn deutlich weniger Spektralkanäle als bei Landsat 7/8 vorhanden sind, erlauben es die verfügbaren Bänder zumindest, NDVI- und supervised Maximum Likelihood Classification-Analysen durchzuführen. Neben der falsifizierten Hypothese über die Brandrodungstätigkeiten im Untersuchungsgebiet, dass diese eben nicht in den ackerbaulich genutzten Arealen stattfinden, haben sich vor allem die – für eine so kleinräumige Untersuchung – relativ grobe Auflösung der Satellitenbilder sowie die im Untersuchungsgebiet vorherrschende vegetationsarme und sehr trockene Landschaftsform, die den Vegetationsindizes speziell außerhalb der Regenzeit lediglich geringe Aussagekraft verleiht, als jene Faktoren herausgestellt, die eine zufriedenstellende Beantwortung der Forschungsfragen kaum zulassen. Zusätzlich wirkt sich das Fehlen von lokalen Referenzdaten, die wegen der Sicherheitslage und aufgrund der Abgeschiedenheit des Untersuchungsgebiets kaum erhoben werden können, erschwerend aus. Auch sonst finden sich zu diesem Flüchtlingslager bzw. dem betroffenen Gebiet, abgesehen von der Einwohnerzahl, keine Informationen und Daten in der Literatur. Da die Bevölkerungszahl von Camp Djabal seit dessen Bestehen allerdings – vor allem im Vergleich zu anderen Flüchtlingslagern, deren Auswirkungen im ersten Abschnitt dieser Arbeit erwähnt wurden – relativ gering ist und das Lager vom UNHCR betreut wird, dessen Bewohner grundsätzlich also mit dem Allernötigsten versorgt werden, ist es auch vorstellbar, dass die Auswirkungen des Camps und seiner Bewohner auf die umgebende Umwelt weniger gravierend sind und daher nicht ohne weiteres festgestellt werden können. Ein Zunehmen der Ausdehnung von Goz Beïda und vor allem

Kouroukoul im Verlauf des Untersuchungszeitraumes kann schon mit freiem Auge auf den Satellitenbildern festgestellt werden. Ob die Zunahme der Bevölkerung in diesen Orten durch das Vorhandensein des Flüchtlingslagers, der Anwesenheit von Mitarbeitern der NGOs und den dadurch bedingten Faktoren erklärbar ist oder andere Ursachen hat, kann an dieser Stelle jedoch nicht beantwortet werden. In dem ergänzenden Abschnitt zu möglichen Gestaltungs- und Präsentationsplattformen wurden verschiedene Möglichkeiten diskutiert, die dabei helfen können, die vorliegenden und weitere zukünftige Forschungsergebnisse mit einer großen Öffentlichkeit zu teilen. Vor allem Google Earth Outreach stellt eine potente und vielversprechende Option dar, die auch in dieser Masterarbeit behandelte Thematik zu präsentieren.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit ermöglichen es allerdings, Empfehlungen für zukünftige Forschungstätigkeiten zu geben. So hat sich an mehreren Stellen gezeigt, dass eine Einschränkung der Aktivitäten der Bewohner des Siedlungsraumes Goz Beïda-Camp Djabal-Kouroukoul auf das **nordöstliche Viertel des Untersuchungsgebiets** wahrscheinlich ist. Darum empfiehlt es sich, **zukünftige Forschungen auf diesen Bereich zu beschränken, um nur die tatsächlich unter dem Einfluss der lokalen Bevölkerung stehenden Gebiete zu untersuchen**. Dadurch sollte es möglich sein, relevante Veränderungen im Einflussbereich des Flüchtlingslagers klarer zu erfassen. Weiters scheint es unumstößlich, **für die Erfassung der ackerbaulich genutzten Gebiete höher aufgelöste Satellitenbilder heranzuziehen**. Mittels Maximum Likelihood Classification und Change Detection, siehe Abb. 29 und 30, lassen sich allerdings die relevanten Gebiete schon im Vorhinein relativ gut abgrenzen, wodurch es ermöglicht wird, lediglich die wirklich benötigten Aufnahmen zu erwerben und damit die anfallenden Kosten für die Datenbeschaffung so gering wie möglich zu halten. Schließlich empfiehlt es sich auch, **Niederschlagsdaten in die Analyse der Vegetationsbedeckung mittels NDVI miteinzubeziehen**, um dadurch den Einfluss von Schwankungen bei den Niederschlagsmengen möglichst gering zu halten. Mit den zuvor erwähnten, im Idealfall für zukünftige Forschungstätigkeiten verfügbaren, hochaufgelösten Satellitendaten sollte es außerdem möglich sein, **den vorhandenen Baumbestand im Untersuchungsgebiet zu erfassen und Veränderungen über den Untersuchungszeitraum festzustellen**.

Literaturverzeichnis

- [ALI-12] ALIX-GARCIA J., BARTLETT A., SAAH D.: *Displaced Populations, Humanitarian Assistance and Hosts: A Framework for Analyzing Impacts on Semi-urban Households*. In: AGAWAL Arun (Ed.): *World Development* Vol. 40(2). Elsevier 2012. S. 373-386.
- [BAB-14] BABAMA AJI R. A., LEE J.: *Land use/land cover classification of the vicinity of Lake Chad using NigeriaSat-1 and Landsat data*. In: DÖRHÖFER G., LAMOREAUX J. W., KOLDITZ O. (Eds.): *Environmental Earth Sciences* Vol. 71. Springer 2014. S. 4309-4317.
- [BAE-11] BAEZ, Javier E.: *Civil wars beyond their borders: The human capital and health consequences of hosting refugees*. In: GHATAK, Maitreesh (Ed.): *Journal of Development Economics* Vol. 96(2). Elsevier 2011. S. 391-408.
- [BAR-15a] BARALDI, Andrea: *Satellite Image Automatic MapperTM (SIAMTM). Product description*. <http://siam.andreabaraldi.com/>, Juni 2015, andrea6311@gmail.com, 6 S.
- [BAR-15b] BARALDI, Andrea: *Satellite Image Automatic MapperTM. SIAMTM. System and Products description*. <http://siam.andreabaraldi.com/>, Juni 2015, andrea6311@gmail.com, 82 S.
- [BAS-11] BASTARRIKA A., CHUVIECO E., MARTÍN M. P.: *Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors*. In: HU C., CHEN J. M., CHUVIECO E., SCHAAF C. (Eds.): *Remote Sensing of Environment* Vol. 115. Elsevier 2011. S. 1003-1012.
- [BLO-01] BLOESCH, Urs: *The use of fire in the environmental rehabilitation on the sites of a former refugee camp at Benaco, Tanzania*. In: Schweizer Forstverein (Ed.): *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 152(9) Zürich, Bühler Druck 2001. S. 377-382.
- [BLO-15a] BLOESCH, Urs: *Forest mapping and pre-inventory of the Sudanese refugee hosting areas in Maban and Pariang counties, South Sudan (24 April – 12 May 2014). Mission report part A*. <http://www.adansonia-consulting.ch/document/Forest%20mapping%20and%20inventory%20Report%20part%20A.24.6.14.pdf> Juni 2015. 34 S.
- [BLO-15b] BLOESCH, Urs: *Forest mapping and pre-inventory of the Sudanese refugee hosting areas in Maban and Pariang counties, South Sudan (24 April – 12 May 2014). Mission report part B*. <http://www.adansonia-consulting.ch/document/Forest%20mapping%20and%20inventory%20Report%20part%20B.Final.pdf> Juni 2015. 26 S.
- [BLO-15c] BLOESCH U., SCHNEIDER A., LINO C.J.T.: *Towards an environmental strategy for Sudanese refugee hosting areas in Upper Nile and Unity States, South Sudan. Environmental inception mission 4 – 22 June 2013*. <http://www.adansonia-consulting.ch/document/Environmental%20inception%20mission.revised%20report.pdf?PHPSESSID=2f827100b94edde3ac1179b80c8652f1> Juni 2015. 46 S.
- [BOS-13] BOSCHETTI M., NUTINI F., BRIVIO P. A., BARTHOLOMÉ E., STROPPIANA D., HOSCILO A.: *Identification of environmental anomaly hot spots in West Africa from*

-
- time series of NDVI and rainfall*. In: LICHTI D., WENG Q. (Eds.): ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 78. Elsevier 2013. S. 26-40.
- [BRU-16a] BRUNNER, Kurt: *Limitierung bei der elektronischen Bildschirmanzeige von Karten*. https://www.unibw.de/ipk/karto/schriften/pubbrunner/wispub/geovisc/at_download/download1 Juni 2016. 8 S.
- [BRU-16b] BRUNNER, Kurt: *Kartengestaltung für elektronische Bildanzeigen*. https://www.unibw.de/ipk/karto/schriften/pubbrunner/wispub/bausteine/at_download/download1 Juni 2016. 14 S.
- [BUZ-00] BUZIEK G., DRANSCH D., RASE W.-D. (Eds.): *Dynamische Visualisierung. Grundlagen und Anwendungsbeispiele für kartographische Animationen*. Berlin, Heidelberg, Springer 2000. 234 S.
- [CAR-97] CARTWRIGHT, William: New Media and their application to the production of map products. In: MARIETHOZ G., PEBESMA E. (Eds.): *Computers & Geosciences* Vol. 23(4). Elsevier 1997. S. 447-456.
- [CHE-11] CHEN J., ZHU X., VOGELMAN J. E., GAO F., JIN S.: *A simple and effective method for filling gaps in Landsat ETM+ SLC- off images*. In: HU C., CHEN J. M., CHUVIECO E., SCHAAF C. (Eds.): *Remote Sensing of Environment* Vol. 115. Elsevier 2011. S. 1053-1064.
- [CHU-02] CHUVIECO E., MARTÍN M. P., PALACIOS A.: *Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination*. In: WARNER T.A. (Ed.): *International Journal of Remote Sensing* Vol. 23(23). Taylor & Francis 2002. S. 5103-5110.
- [CSA-16] CSAO-CILSS, 2008: *Profil sécurité alimentaire. Tchad*. Zoundi S.J. und Coulibaly D. <http://www.oecd.org/fr/pays/tchad/41643244.pdf> Februar 2016, sibirijean.zoundi@oecd.org, 23 S.
- [DIB-92] DIBIASE D., MACEACHREN A. M., KRYGIER J. B., REEVES C.: *Animation and the Role of Map Design in Scientific Visualization*. In: MCMASTER R. B. (Ed.): *Cartography and Geographic Information Systems* Vol. 19(4). Taylor & Francis 1992. S. 201-214.
- [EAC-04] MACEACHREN A. m., GAHEGAN M., PIKE W., BREWER I., CAI G., LENGERICH E., HARDISTY F.: *Geovisualization for Knowledge Construction and Decision Support*. In: RHYNE, Theresa-Marie (Ed.): *IEEE Computer Graphics and Applications* Vol. 24(1). IEEE Computer Society Press Los Alamitos, Kalifornien 2004. S. 13-17.
- [ESC-08] ESCUIN S., NAVARRO R., FERNÁNDEZ P.: *Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images*. In: WARNER T.A. (Ed.): *International Journal of Remote Sensing* Vol. 29(40). Taylor & Francis 2008. S. 1053-1073.
- [FOO-01] FOODY, Giles M.: *Monitoring the Magnitude of Landcover Change around the Southern Limits of the Sahara*. In: CONGALTON, Russell G.: *Photogrammetric*

-
- Engineering & Remote Sensing Vol. 67(7). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2001. S. 841-847.
- [GER-03] GERARD F., PLUMMER S., WADSWORTH R., FERRERUELA A., ILIFFE L., BALZTER H., WYATT B.: *Forest fire scar detection in the boreal forest with multi-temporal SPOT-VEGETATION data*. In: PLAZA A. J.: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Vol. 41(11). IEEE Geoscience and Remote Sensing Society 2003. S. 2575-2585.
- [GOR-13] GORSEVSKI V., GEORES M., KASISCHKE E.: *Human dimensions of land use and land cover change related to civil unrest in the Imatong Mountains of South Sudan*. In: HOALST-PULLEN N., PATTERSON M. (Eds.): Applied Geography Vol. 38. Elsevier 2013. S. 64-75.
- [HÄB-03] HÄBERLING, Christian: *Topographische 3D-Karten: Thesen für kartografische Gestaltungsgrundsätze*. Dissertation, ETH Zürich 2003. <https://e-collection.library.ethz.ch/view/eth:27130> Juni 2016. 255 S.
- [HAG-12] HAGENLOCHER M., LANG S., TIEDE D.: *Integrated assessment of the environmental impact of an IDP camp in Sudan based on very high resolution multi-temporal satellite imagery*. In: HU C., CHEN J. M., CHUVIECO E., SCHAAF C. (Eds.): Remote Sensing of Environment Vol. 126. Elsevier 2012. S. 27-38.
- [HAK-02] HAKE G., GRÜNREICH D., MENG L.: *Kartographie. Visualisierung raum-zeitlicher Informationen*. 8., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, New York, Walter de Gruyter 2002. 604 S.
- [HAR-15] HARDTKE L. A., BLANCO P. D., DEL VALLE H. F., METTERNICHT G. I., SIONE W. F.: *Semi-automated mapping of burned areas in semi-arid ecosystems using MODIS time-series imagery*. In: VAN DER MEER F. (Ed.): International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation Vol. 38. Elsevier 2015. S. 25-35.
- [HER-05] HERMANN S. M., ANYAMBA A., TUCKER C. J.: *Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate*. In: BARNETT J., CONWAY D., LEBEL L., SETO K. (Eds.): Global Environmental Change Vol. 15. Elsevier 2005. S. 394-404.
- [HUE-88] HUETE, Alfredo R.: *A soil-adjusted vegetation index (SAVI)*. In: HU C., CHEN J. M., CHUVIECO E., SCHAAF C. (Eds.): Remote Sensing of Environment Vol. 25(3). Elsevier 1988. S. 295-309.
- [HUD-04] HUDAK A. T., BROCKETT B. H.: *Mapping fire scars in a southern African savannah using Landsat imagery*. In: WARNER T.A. (Ed.): International Journal of Remote Sensing Vol. 25(16). Taylor & Francis 2004. S. 3231-3243.
- [JAC-02] JACOBSEN, Karen: *Livelihoods in Conflict. The Pursuit of Livelihoods by Refugees and the Impact on the Human Security of Host Communities*. In: DUNCAN, Howard (Ed.): International Migration Vol. 40(5) SI 2. Wiley-Blackwell 2002. S. 95-123.
- [KEY-99] KEY C. H., BENSON N. C.: *The Normalized Burn Ratio (NBR): A Landsat TM radiometric measure of burn severity*. U.S. Department of the Interior, Northern Rocky Mountain Science Centre 1999.

-
- [KIA-07] KIAGE L. M., LIU K.-B., WALKER N. D., LAM N., HUH O. K.: *Recent land-cover/use change associated with land degradation in the Lake Baringo catchment, Kenya, East Africa: evidence from Landsat TM and ETM+*. In: WARNER T.A. (Ed.): *International Journal of Remote Sensing* Vol. 28(19). Taylor & Francis 2007. S. 4285-4309.
- [KRA-16] KRAAK, M.-J., EDSALL R., MACEACHREN A. M.: *Cartographic Animation and Legends for Temporal Maps: Exploration and or Interaction*. http://www.geovista.psu.edu/publications/1997/Kraak_et_al_97.PDF Mai 2016. 8 S.
- [KRY-94] KRYGIER J. B.: *Sound and Geographic Visualization*. In: MACEACHREN A. M., TAYLOR D. R. F. (Eds.): *Visualization in Modern Cartography*. Oxford, New York, Tokyo. Elsevier 1994 S. 149-166.
- [LAM-15] LAMBIN E., GEIST H., RINDFUSS R. R.: *Land- Use and Land-Cover Change: Developing and Implementing an Agenda for Local Processes with Global Impacts. Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change 03/2005*. http://www.ihdp.unu.edu/docs/Publications/Secretariat/Update-Dimensions/IHDP%20Update%203_05.pdf Juni 2015. 20 S.
- [LEC-16] LECHTHALER M., STADLER A.: *Ausgabemediengerechte kartographische Visualisierung von Geobasisdaten in einem MI-KIS*. http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-geo_1268.pdf. Juni 2016. 10 S.
- [LI-14] LI P., JIANG L., FENG Z.: *Cross-Comparison of Vegetation Indices Derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) Sensors*. In: THENKABAIL P. S.: *Remote Sensing* Vol. 6. MDPI AG, Basel 2014. S. 310-329.
- [LIA-04] LIANG, Shunlin: *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey 2004. 534 S.
- [LIL-04] LILLESAND T. M., KIEFER R. W., CHIPMAN J. W.: *Remote Sensing and Image Interpretation. Fifth Edition*. Hoboken, New Jersey, Wiley & Sons 2004. 763 S.
- [LOP-91] LÓPEZ GARCÍA M. J., CASELLES V.: *Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data*. In: LULLA, Kamlesh (Ed.): *Geocarto International* Vol. 6(1). Taylor & Francis 1991. S. 31-37.
- [LUN-06] LUNETTA R. S., KNIGHT J. F., EDIRIWICKREMA J., LYON J. G., DORSEY WORTHY L.: *Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data*. In: HU C., CHEN J. M., CHUVIECO E., SCHAAF C. (Eds.): *Remote Sensing of Environment* Vol. 105. Elsevier 2006. S. 142-154.

-
- [MAR-05] MARTÍN M. P., GÓMEZ I., CHUVIECO E.: *Performance of a burned-area index (BAIM) for mapping Mediterranean burned scars from MODIS data*. In: RIVA J., PÉREZ-CABELLO F., CHUVIECO E. (Eds.): *Proceedings of the 5th International Workshop on Remote Sensing and GIS applications to Forest Fire Management: Fire Effects Assessment*. Paris, Universidad de Zaragoza, GOFIC GOLD, EARSeL 2005. S. 193-198.
- [MID-16] MIDTBØ, Terje: *Visualization of the temporal dimension in multimedia presentations of spatial phenomena*. Januar 2001. https://www.researchgate.net/publication/221013352_Visualization_of_the_temporal_dimension_in_multimedia_presentations_of_spatial_phenomena Mai 2016. terjem@geomatikk.ntnu.no
- [NOR-15] NORTON, Jill: *The Use of Remote Sensing Indices to Determine Wildland Burn Severity in Semiarid Sagebrush Steppe Rangelands Using Landsat ETM+ and SPOT 5*. http://geology.isu.edu/thesis/Norton_Jill_2006_ISU.pdf Juni 2015. 42 S.
- [PEI-11] PEIMAN, Reihaneh: *Pre-classification and post-classification change-detection techniques to monitor land-cover and land-use change using multi-temporal Landsat imagery: a case study on Pisa Province in Italy*. In: WARNER T.A. (Ed.): *International Journal of Remote Sensing* Vol. 32(15). Taylor & Francis 2011. S. 4365-4381.
- [PET-16a] PETERSON, Michael P.: *Cartographic Animation*. <http://maps.unomaha.edu/mp/Articles/CartographicAnimation.html> Mai 2016. geolib@unomaha.edu
- [PET-16b] PETERSON, Michael P.: *Active Legends for Interactive Cartographic Animation*. <http://maps.unomaha.edu/AnimArt/ActiveLegend/Peterson.pdf> Mai 2016. geolib@unomaha.edu
- [PIN-92] PINTY B., VERSTRAETE M. M.: *GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites*. In: ROGERS W.E., ENRIGHT N.: *Plant Ecology*. Springer Netherlands (vormals: *Vegetatio* Vol. 101. Kluwer Academic Publishers, Belgien 1992. S. 15-20.)
- [RAW-13] RAWAT J. S., BISWAS V., KUMAR M.: *Changes in land use/cover using geospatial techniques: A case study of Ramnagar town area, district Nainital, Uttarakhand, India*. In: MOKHTAR M. M. (Ed.): *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* Vol. 16. Elsevier 2013. S. 111-117.
- [REI-00] REID R. S., KRUSKA R. L., MUTHUI N., TAYE A., WOTTON S., WILSON C. J., MULATU W.: *Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio-political forces: the case of southwestern Ethiopia*. In: WU, Jianguo (Ed.): *Landscape Ecology* Vol. 15. Springer 2000. S. 339-355.
- [RIC-06] RICHARDS J. A., JIA X.: *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*. 4th Edition. Berlin, Heidelberg, Springer 2006. 439 S.
- [ROU-74] ROUSE J. W., HAAS R. W., SCHELL J. A., DEERING D. H., HARLAN J. C.: *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation*. Greenbelt, MD. USA: NASA/GSFC 1974. 120 S.
- [RUE-08] RUELLAND D., DEZETTER A., PUECH C., ARDOIN-BARDIN S.: *Long-term monitoring of land cover changes based on Landsat imagery to improve hydrological*

-
- modelling in West Africa*. In: WARNER T.A. (Ed.): International Journal of Remote Sensing Vol. 29(12). Taylor & Francis 2008. S. 3533-3551.
- [SCH-14] SCHEPERS L., HAEST B., VERAVERBEKE S., SPANHOVE T., BORRE J. V., GOOSSENS R.: *Burned Area Detection and Burn Severity Assessment of a Heathland Fire in Belgium Using Airborne Imaging Spectroscopy (APEX)*. In: THENKABAIL P. S.: Remote Sensing Vol. 6. MDPI AG, Basel 2014. S. 1803-1826.
- [SCH-07] SCHNABEL, Olaf: *Benutzerdefinierte Diagrammsignaturen in Karten. Konzepte, Formalisierung und Implementation*. Dissertation, ETH Zürich 2007 http://www.carto.net/schnabel/mapsymbolbrewer/text/dissertation_olaf_schnabel_2007.pdf Juni 2016. 236 S.
- [SER-01] SERNEELS S., SAID M. Y., LAMBIN E. F.: *Land cover changes around a major east African wildlife reserve: the Mara Ecosystem (Kenya)*. In: WARNER T.A. (Ed.): International Journal of Remote Sensing Vol. 22(17). Taylor & Francis 2001. S. 3397-3420.
- [SHE-15] DE SHERBININ, Alex: *A CIESIN Thematic Guide to Land-Use and Land-Cover Change (LUCC)* http://sedac.ciesin.columbia.edu/binaries/web/sedac/thematic-guides/ciesin_lucc_tg.pdf Juni 2015. 67 S.
- [SHU-14] SHUAIBU A. M., MUSA A. A., IDOWU T. O.: *Land Cover/Use Spatial Change Detection and Analysis for Landfill Determination using Geospatial Technology Approach for Bauchi, Bauchi State, Nigeria*. In: PAINULY A. S. (Ed.): IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology Vol. 8(12). IOSR 2014. 9 S.
- [STR-12] STROPPIANA D., BORDOGNA G., CARRARA P., BOSCHETTI M., BOSCHETTI L., BRIVIO P.A.: *A method for extracting burned areas from Landsat TM/ETM+ images by soft aggregation of multiple Spectral Indices and a region growing algorithm*. In: LICHTI D., WENG Q. (Eds.): ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 69. Elsevier 2012. S. 88-102.
- [TAP-15] TAPPAN, G., CUSHING M.: *Use of SLC-Off Landsat Image Data for Monitoring Land Use/Land Cover Trends in West Africa*. http://www.ga.gov.au/__data/assets/pdf_file/0013/11740/GA6007.pdf Juni 2015. 11 S.
- [TIE-04] TIEDE D., BLASCHKE T.: *GIS, 2,5D und 3D Visualisierung und 2,5D/3D Analyse. Von loser Kopplung zu voller Integration?* In: COORS V., ZIPF A. (Eds.): 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Heidelberg, Wichmann Verlag 2004. S. 280-292.
- [TIE-10] TIEDE D., LANG S.: *Analytical 3D views and virtual globes scientific results in a familiar spatial context*. In: LICHTI D., WENG Q. (Eds.): ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 65. Elsevier 2012 S. 300-307.

-
- [TIE-13] TIEDE D., BARALDI A., LANG S.: *Automatische Vorklassifikation von optischen Multi-Sensor Fernerkundungsdaten als Grundlage für semantische Abfragen in FE-Datenarchiven* https://www.ffg.at/sites/default/files/z_gis_131205.pdf Juni 2015. dirk.tiede@sbg.ac.at. 13 S.
- [TIE-15] TIEDE D., FÜREDER P., HÖLBLING D., LANG S.: *Automatisierte Auswertung von Satellitenbilddaten zur Bereitstellung von Informationsprodukten für humanitäre Hilfseinsätze in Flüchtlingslagern. AK Sitzung 2012 „Fernerkundung – von der wissenschaftlichen Entwicklung zur Praxisreife“ 4./5.10.2012 Bochum, Deutschland.* http://www.dgpf.de/src/ak/rsd/ausfern12/Do_Block%201/04.pdf Juni 2015 dirk.tiede@sbg.ac.at
- [TRI-01] TRIGG S., FLASSE S.: *An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah.* In: WARNER T.A. (Ed.): *International Journal of Remote Sensing* Vol. 22(13). Taylor & Francis 2001. S. 2641-2647.
- [UNH-16a] UNHCR: *Statistical Yearbook 2004. Country data sheet Chad.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/tehis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=44e5c75111&query=djabal> Februar 2016. 2 S.
- [UNH-16b] UNHCR: *Chad – Sudan, Refugee and IDP population. As of 30 August 2004.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/tehis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=41c068e94&query=djabal> Februar 2016. mapping@unhcr.org
- [UNH-16c] UNHCR: *2005 Supplementary Appeal for Eastern Chad and Darfur, Western Sudan. April 2005.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/tehis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=425a474c2&query=djabal> Februar 2016. 10 S.
- [UNH-16d] UNHCR: *Chad – Sudan, Refugee and IDP population. As of 30 April 2005.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/tehis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=42d608964&query=djabal> Februar 2016. mapping@unhcr.org
- [UNH-16e] UNHCR: *Statistical Yearbook 2006. Statistical Annex.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/tehis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=478ce34a2&query=djabal> Februar 2016. 95 S.
- [UNH-16f] UNHCR: *Registered Refugee Camps Populations. Eastern Chad. As of 30 November 2006.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/tehis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=46764f912&query=djabal> Februar 2016. guedje@unhcr.org
- [UNH-16g] UNHCR: *Statistical Yearbook 2007. Statistical Annex.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/tehis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=4981c3dc2&query=djabal> Februar 2016. 69 S.
- [UNH-16h] UNHCR: *Statistical Yearbook 2008. Statistical Annex.* <http://www.unhcr.org/4bcc5c9f9.html> Februar 2016. 106 S.
- [UNH-16i] UNHCR: *Chad 2008. Operations in Chad.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/tehis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=486b94102&query=djabal> Februar 2016. 2 S.
- [UNH-16j] UNHCR: *Registered Refugee Camps Populations. Eastern Chad. As of 29 February 2008.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/tehis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=481051b32&query=djabal> Februar 2016. kokoue@unhcr.org

-
- [UNH-16k] UNHCR: *Refugees Population Eastern Chad. Age and Sex Breakdown. As of 29 February 2008.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/texis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=48738f054&query=djabal> Februar 2016. kokoue@unhcr.org
- [UNH-16l] UNHCR: *Statistical Yearbook 2009. Statistical Annex.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/texis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=4ce5327f9&query=djabal> Februar 2016. 104 S.
- [UNH-16m] UNHCR: *Statistical Yearbook 2010. Statistical Annex.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/texis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=4ef9c7269&query=djabal> Februar 2016. 103 S.
- [UNH-16n] UNHCR: *Statistical Yearbook 2011. Statistical Annex.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/texis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=51628f589&query=djabal> Februar 2016. 106 S.
- [UNH-16o] UNHCR: *Statistical Yearbook 2012. Statistical Annex.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/texis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=52a723f89&query=djabal> Februar 2016. 104 S.
- [UNH-16p] UNHCR: *Statistical Yearbook 2013. Statistical Annex.* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/texis/vtx/home/opendocPDFViewer.html?docid=54cf9bc29&query=djabal> Februar 2016. 124 S.
- [UNH-16q] UNHCR: *Statistical Yearbook 2014. Statistical Annex.* www.unhcr.org/statisticalyearbook/2014-annex-tables.zip Februar 2016.
- [UNH-16r] UNHCR: *UNHCR Environmental Guidelines.* <http://www.unhcr.org/3b03b2a04.html> Februar 2016. 51 S.
- [UNI-16] Universität Salzburg: *Presseinformation. Humanitäre Hilfe aus der Vogelperspektive.* http://www.agit.at/php_files/press/presse-meldungen_dokument.php?ID=77 Januar 2016. dagmar.baumgartner@sbg.ac.at, 2 S.
- [USG-15] USGS: *Product Guide. Landsat 4-7 Climate Data Record (CDR) Surface Reflectance. Version 5.9.* http://landsat.usgs.gov/CDR_LSR.php Juni 2015.
- [WAG-04] VAN WAGTENDONK J. W., ROOT R. R., KEY C. H.: *Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ detection capabilities for burn severity.* In: HU C., CHEN J. M., CHUVIECO E., SCHAAF C. (Eds.): *Remote Sensing of Environment* Vol. 92. Elsevier 2004. S. 397-408.
- [WUL-15] WULF H., JÖRG P., LEITERER R.: *Forest Monitoring and Fire Regime in South Sudan. Project Report.* http://www.adansonia-consulting.ch/document/NPOC_Project_report_v2_dpi120.pdf Juni 2015. 83 S.

Quellenangabe

- [URL:AMA] Austrian Map online – www.amap.at, Letzter Zugriff 05.07.2016
- [URL:AUS] Das offizielle Tourismusportal Österreich – www.austria.info, Letzter Zugriff 05.07.2016
- [URL:CES] Cesbio – *The atmospheric effects: how they work* <http://www.cesbio.upis-tlse.fr/multitemp/?p=1211>, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:CEN] United States Census Bureau – http://www.census.gov/population/metro/data/thematic_maps.html, Letzter Zugriff 05.07.2016
- [URL:CGI] The CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI) – *JARVIS A., REUTER H.I, NELSON A., GUEVARA E., 2008, Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from <http://srtm.cgiar.org>* <http://srtm.cgiar.org/SELECTION/listImages.asp>, Letzter Zugriff 05.07.2016
- [URL:CIT] Citypopulation – http://www.citypopulation.de/Chad_d.html, Letzter Zugriff: 10.02.2016
- [URL:CLI] Climate-Data.org – <http://de.climate-data.org/location/766942/>, Letzter Zugriff: 10.02.2016
- [URL:COP] Copernicus. Europe's eyes on Earth – *Sentinels* <http://www.copernicus.eu/main/sentinels>, Letzter Zugriff 08.09.2016
- [URL:COU] countrystudies - Chad – *Agriculture* <http://countrystudies.us/chad/35.htm>, Letzter Zugriff 11.03.2016
- [URL:DAB] Dabanga – *Darfur refugees in eastern Chad close to starving* <https://www.dabangasan.org/en/all-news/article/darfur-refugees-in-eastern-chad-close-to-starving>, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:DERa] derStandard – *Darfur: Uno schlägt Alarm wegen Lage von Flüchtlingen* <http://derstandard.at/2000030557774/Darfur-UNO-schlaegt-Alarm-wegen-Lage-zehntausender-Fluechtlinge-in-Darfur>, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:DERb] derStandard – *UN: Mehr als 70.000 vor Kämpfen in Darfur geflohen* <http://derstandard.at/2000031311221/UNO-Mehr-als-70-000-Menschen-vor-Kaempfen-in-Darfur>, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:DOR] dorotidarfur - The Doroti Organization for Humanitarian Services, Incorporated – *Life in Djabal Refugee Camp, eastern Chad* <http://www.dorotidarfur.org/2015/09/life-in-djabal-refugee-camp-eastern-chad/>, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:EAR] Earth Observatory – Measuring Vegetation (NDVI & EVI). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php, Letzter Zugriff 01.03.2016

-
- [URL:ENO] enough. The project to end genocide and crimes against humanity – *Scenes from Djabal Refugee Camp in Eastern Chad* <http://www.enoughproject.org/blogs/scenes-djabal-refugee-camp-eastern-chad>, Letzter Zugriff: 10.02.2016
- [URL:EOPa] eoPortal Directory. Landsat-7 – <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/landsat-7>, Letzter Zugriff 04.03.16
- [URL:EOPb] eoPortal Directory. Landsat-8 – <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/landsat-8-ldcm>, Letzter Zugriff 04.03.16
- [URL:EO4a] EO4HumEn – <http://eo4humen.sus4.eu/>; Letzter Zugriff: 30.01.2016
- [URL:EO4b] EO4HumEn – Population Estimation <http://eo4humen.sus4.eu/index.php/home/population-estimation>, Letzter Zugriff 06.07.2016
- [URL:FELa] Lexikon der Fernerkundung – <http://www.fe-lexikon.info/FeLexikon.htm>, Letzter Zugriff 08.09.2016
- [URL:FELb] Lexikon der Fernerkundung – *Elektromagnetisches Spektrum* <http://www.fe-lexikon.info/lexikon-e.htm#elektromagnetisches-spektrum>, Letzter Zugriff 08.09.2016
- [URL:FLI] Flightradar24 – www.flightradar24.com, Letzter Zugriff 05.07.2016
- [URL:FRE] Free Geography Tools – *Converting DEM Files To .asc Format For Terrain Bender; Creating Matching Raster Overlays* <http://freegeographytools.com/2010/converting-dem-files-to-asc-format-for-terrain-bender-creating-matching-raster-overlays>, Letzter Zugriff 05.07.2016
- [URL:GEO] GEOVLEX Online-Lernmodule – <http://mars.geographie.uni-halle.de/geovlexcms/golm/geofern/bildverarbeitung/aufnahmesysteme>, Letzter Zugriff 08.09.2016
- [URL:GOOa] Google Maps – www.google.at/maps, Letzter Zugriff 05.07.2016
- [URL:GOOb] Google Earth Outreach – <https://www.google.de/earth/outreach/index.html>, Letzter Zugriff 06.07.2016
- [URL:GOOc] Google Earth Outreach – *Tools* <https://www.google.de/intl/de/earth/outreach/tools/index.html>, Letzter Zugriff 06.07.2016
- [URL:GOOD] Google Earth Outreach – *Grants* <https://www.google.com/intl/de/earth/outreach/grants/software/index.html>, Letzter Zugriff 06.07.2016
- [URL:GOOe] Google Earth Outreach – *Anleitungen* <https://www.google.de/intl/de/earth/outreach/tutorials/index.html>, Letzter Zugriff 06.07.2016
- [URL:IMP] dataviz. – *Case study: What is good visualisation?* <http://www.improving-visualisation.org/case-studies/id=6>, Letzter Zugriff 14.03.2016
- [URL:INT] intelligence-airbusds – *SPOT 6/SPOT 7 Technisches Datenblatt* http://www.intelligence-airbusds.com/files/pmedia/public/r12786_9_spot6-7_technisches_datenblatt.pdf, Letzter Zugriff 08.09.2016
- [URL:IRI] IRIN The inside story on emergencies – *Darfur's forgotten refugees* <http://www.irinnews.org/feature/2012/08/10/darfur%E2%80%99s-forgotten-refugees>, Letzter Zugriff 01.03.2016

-
- [URL:KLI] klimadiagramme – Die Klimaklassifikation nach W. Köppen <http://www.klimadiagramme.de/Frame/koeppen.html>, Letzter Zugriff 29.12.2016
- [URL:LAN] The Landscape Toolbox – *Normalized Burn Ratio* http://wiki.landscapetoolbox.org/doku.php/remote_sensing_methods:normalized_burn_ratio, Letzter Zugriff 02.03.2016
- [URL:MOR] Morpheus Software – <http://www.morpheussoftware.net/morpheus/>, Letzter Zugriff 06.07.2016
- [URL:OER] Oerok Atlas – www.oerok-atlas.at, Letzter Zugriff 05.07.2016
- [URL:REL] reliefweb – *Teenage refugee from Darfur dreams of returning home* <http://reliefweb.int/report/sudan/teenage-refugee-darfur-dreams-returning-home>, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:RES] ResearchGate – *Landsat 8 vegetation index: different wavelength range of the NIR band of Landsat 8?* https://www.researchgate.net/post/Landsat_8_vegetation_index_different_wavelength_range_of_the_NIR_band_of_Landsat_8, Letzter Zugriff 08.03.2016
- [URL:SAT] Satimagingcorp – *Spot satellite technical data* <http://satimagingcorp.s3.amazonaws.com/site/pdf/SPOT-Satellites-Technical-Data.pdf>, Letzter Zugriff 08.09.2016
- [URL:SEO] SEOS. Remote Sensing and GIS in Agriculture – *Vegetation Indices* <http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s04.html>, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:SKI] Ski Amadé – www.skiamade.com/de/live-info/digital-ski-amade/3d-map, Letzter Zugriff 05.07.2016
- [URL:SUD] SUDAN Research, Analysis and Advocacy by Eric Reeves – *Darfuri Refugees in Eastern Chad: Among the world's most forgotten people, 18 July 2014* <http://sudanreeves.org/2014/07/18/darfuri-refugees-in-eastern-chad-among-the-most-forgotten-people-8-july-2014/>, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:TER] Terrain Bender – <http://www.terraincartography.com/terrainbender/>, Letzter Zugriff 26.06.2016
- [URL:UNHa] UNHCR. The UN Refugee Agency – *Hundreds flee new fighting in Darfur; UNHCR opens 8th camp in Chad* <http://www.unhcr.org/cgi-bin/texis/vtx/search?page=search&docid=40c081119&query=djabal>, Letzter Zugriff 10.02.2016
- [URL:UNHb] UNHCR. The UN Refugee Agency – *Viele Tote und Flüchtlinge nach Angriffen im Ost-Tschad* http://www.unhcr.at/no_cache/detail/artikel/artikel/viele-tote-und-fluechtlinge-nach-angriffen-im-ost-tschad.html, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:UNHc] UNHCR. The UN Refugee Agency – *UNHCR and Google unveil new map programme for humanitarian operations* <http://www.unhcr.org/news/press/2008/4/47f5e7e02/unhcr-google-unveil-new-map-programme-humanitarian-operations.html>, Letzter Zugriff 06.07.2016
- [URL:UNO] UNODC – <http://www.unodc.org/wdr2014/en/interactive-map.html>, Letzter Zugriff 05.07.2016
- [URL:USGa] USGS. EarthExplorer – <http://earthexplorer.usgs.gov/>, Letzter Zugriff: 04.03.2016

-
- [URL:USGb] USGS. Landsat Missions – *SLC-off Products: Background* http://landsat.usgs.gov/products_slcoffbackground.php, Letzter Zugriff 04.03.16
- [URL:USGc] USGS. Landsat Missions – *Filling the Gaps to use in Scientific Analysis* http://landsat.usgs.gov/sci_an.php, Letzter Zugriff 04.03.16
- [URL:USGd] USGS. Landsat Missions – *Frequently Asked Questions about the Landsat Missions* http://landsat.usgs.gov/ldcm_vs_previous.php, Letzter Zugriff 08.03.2016
- [URL:USGe] USGS. Landsat Missions – *Landsat Missions: Imaging the Earth Since 1972:* http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php, Letzter Zugriff 08.09.2016
- [URL:VIA] Viamichelin – www.viamichelin.at, Letzter Zugriff 05.07.2016
- [URL:WEA] we are water Foundation – *Water for the refugee camps in eastern Chad* – http://www.wearewater.org/en/water-for-the-refugee-camps-in-eastern-chad_253281, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:WIK] United Nations. Karte des Tschad <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/Un-chad.png>, Letzter Zugriff 04.03.16
- [URL:WFPa] World Food Programme – *What are the current issues in Chad* <http://www.wfp.org/countries/chad>, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:WFPb] World Food Programme – *WFP Continues to Support Sudanese Refugees in Chad* <http://www.wfp.org/stories/wfp-continues-support-sudanese-refugees-chad>, Letzter Zugriff 01.03.2016
- [URL:ZAM] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – www.zamg.ac.at, Letzter Zugriff 05.07.2016

Anhang

Karten



Abb. 59: Karte des Tschad und Lage von Goz Beida; Bearbeitet (Quelle: United Nations/Wikimedia [URL:WIK])

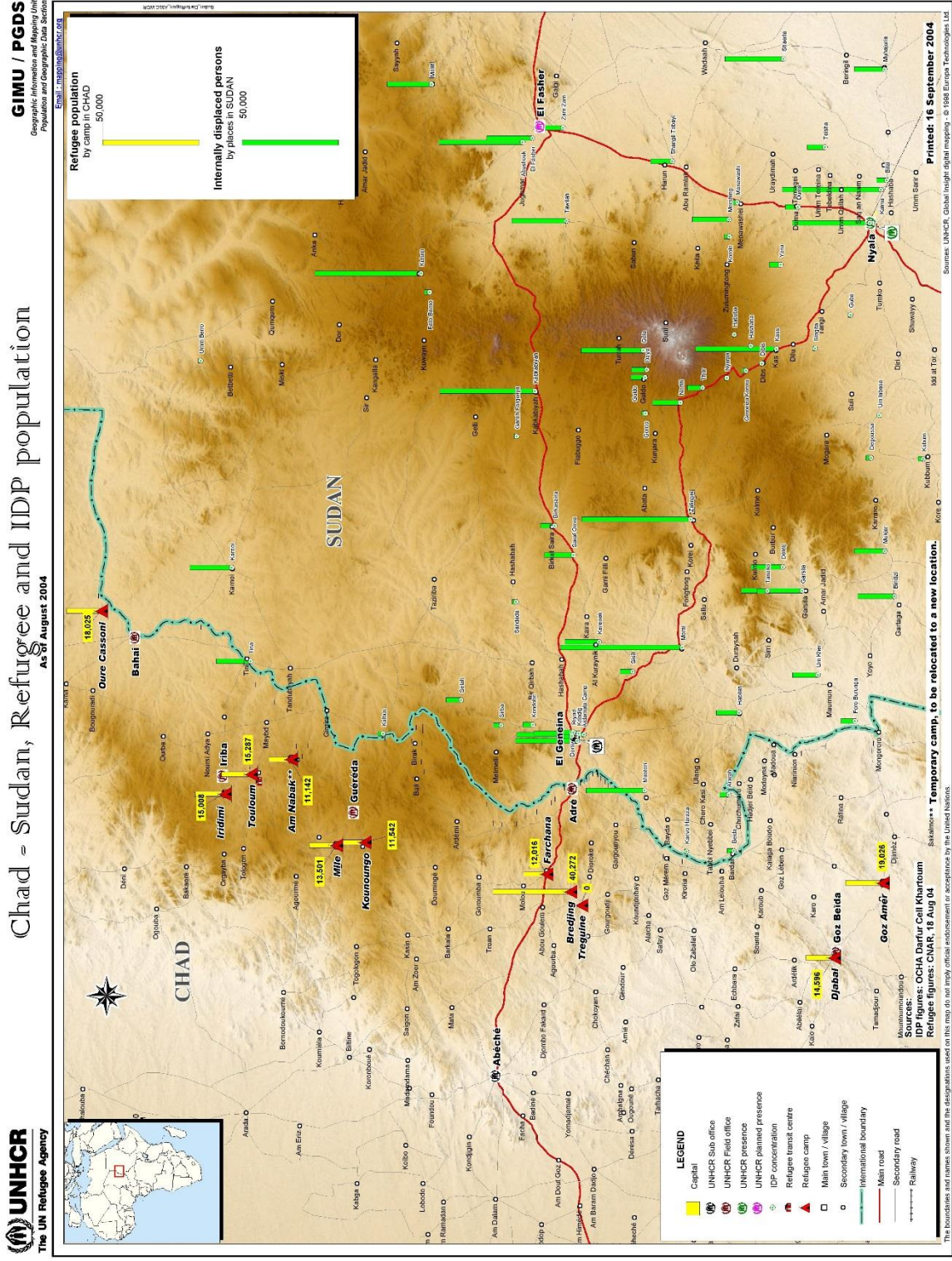


Abb. 60: Flüchtlings- und IDP-Population im Tschad und Sudan, August 2004 (Quelle: [UNH-16b])

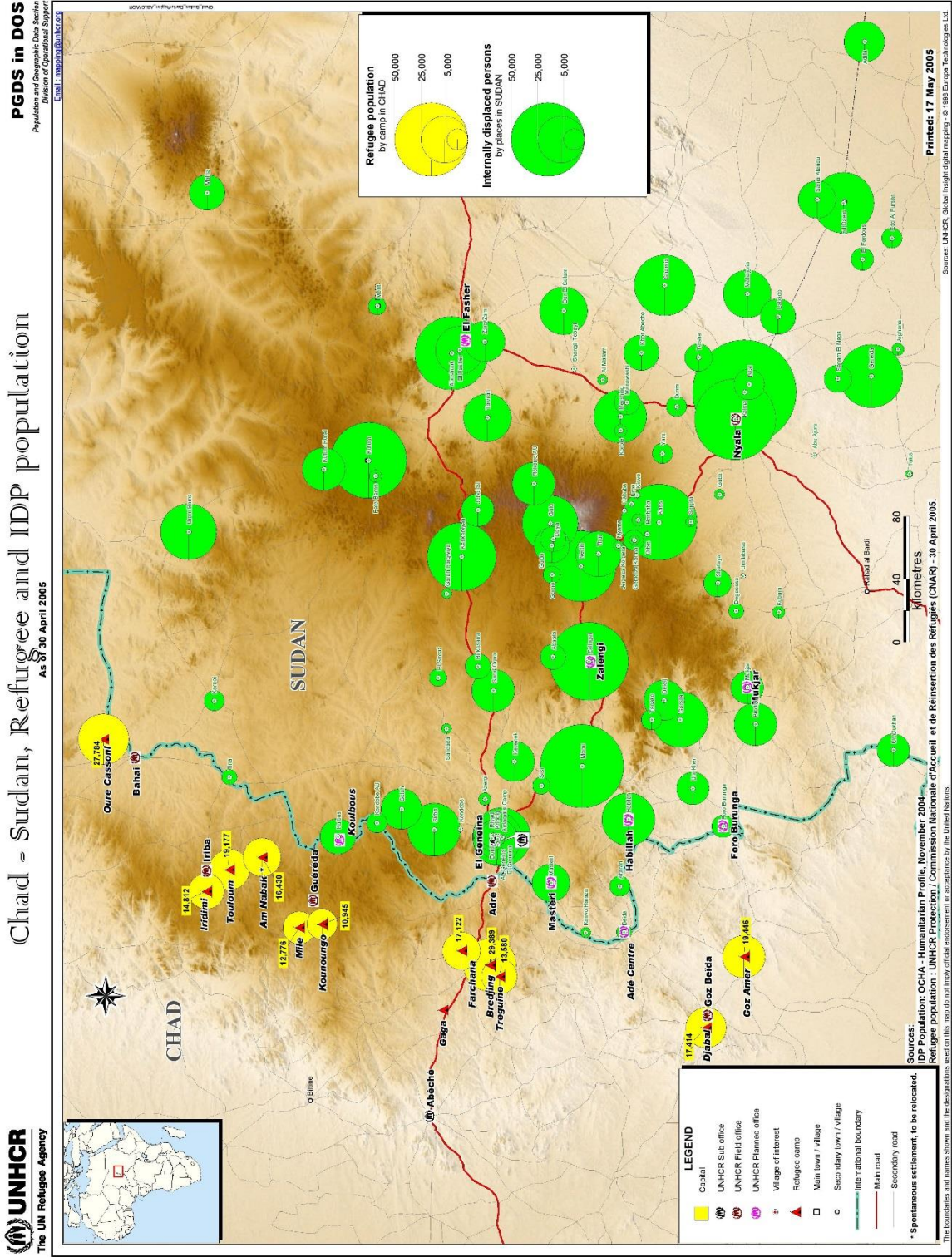


Abb. 61: Flüchtlings- und IDP-Population im Tschad und Sudan, April 2005 (Quelle: [UNH-16d])

Registered Refugee Camps Populations

Eastern Chad

As of 30 November 2006

PGDS in DOS

Population and Geographic Data Section

Division of Operational Support

Email: quesjia@unhcr.org



Abb. 62: Registrierte Bewohner von Flüchtlingslagern im Ost-Tschad, November 2006 (Quelle: [UNH-16f])

Refugees Population Eastern Chad Age and Sex Breakdown

As of 29 February 2008

Population and Geographic Data Section
Division of Operational Service

Email: kokoue@unhcr.org

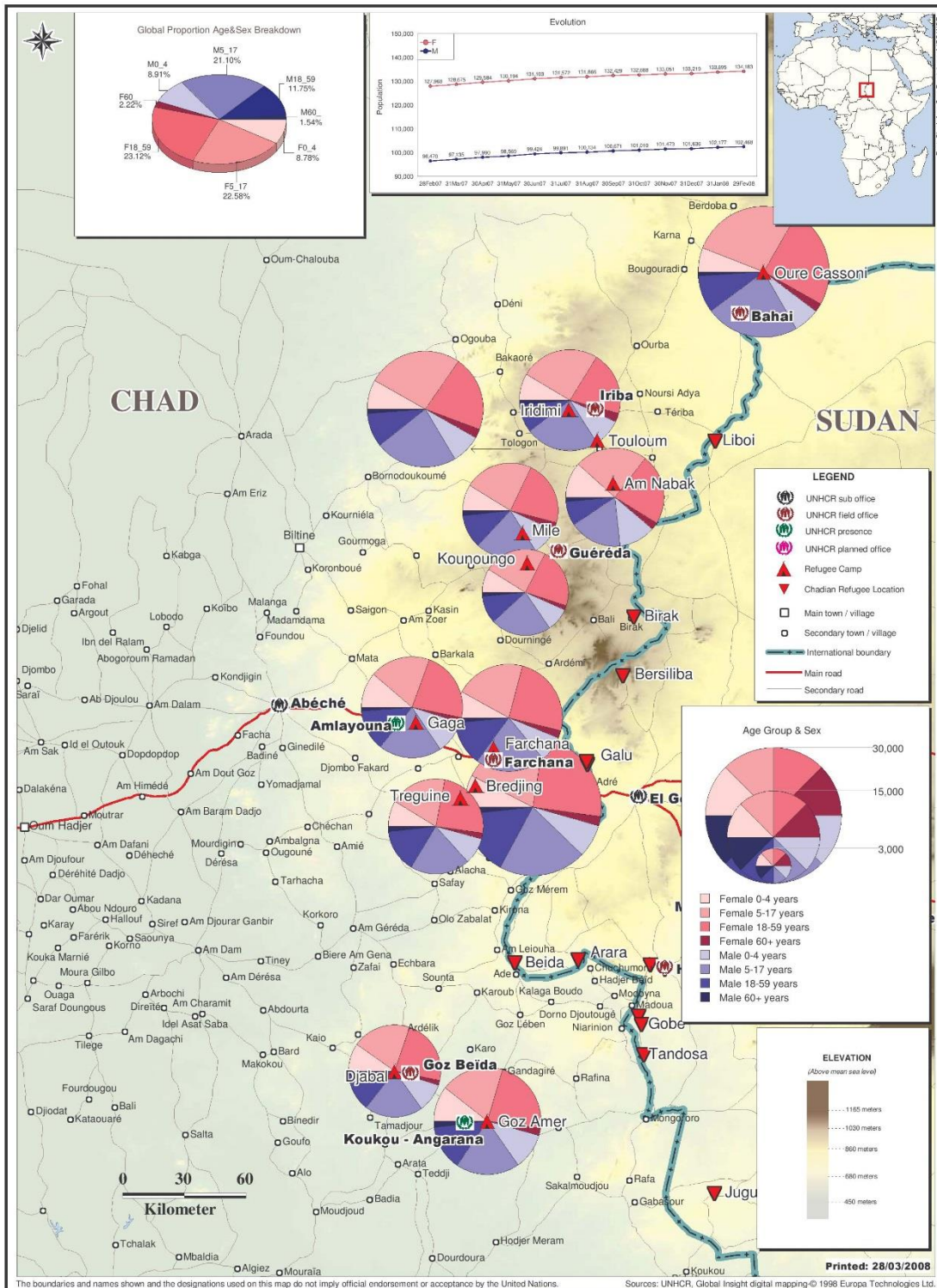


Abb. 64: Flüchtlingsbevölkerung im Ost-Tschad aufgeschlüsselt nach Geschlecht und Alter, Februar 2008 (Quelle: [UNH-16k])

Zum Einsatz gekommene Satellitendaten

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI Durchschnitt
	Tag	Monat	Jahr			
LE71800522009016	16.	01.	2009	Landsat 7 ETM+	Off	0,172
LE71800522013011	11.	01.	2013	Landsat 7 ETM+	Off	0,183
LE71800522015001	01.	01.	2015	Landsat 7 ETM+	Off	0,201
LE71800522015017	17.	01.	2015	Landsat 7 ETM+	Off	0,183

Tab. 11: Verwendete Satellitendaten für den Monat Jänner, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI Durchschnitt
	Tag	Monat	Jahr			
LE71800522002045	14.	02.	2002	Landsat 7 ETM+	On	0,165
LE71800522009032	01.	02.	2009	Landsat 7 ETM+	Off	0,150
LE71800522010051	20.	02.	2010	Landsat 7 ETM+	Off	0,140
LE71800522012041	10.	02.	2012	Landsat 7 ETM+	Off	0,140
LE71800522012057	26.	02.	2012	Landsat 7 ETM+	Off	0,131
LC81800522014038	07.	02.	2014	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,220
LE71800522014046	15.	02.	2014	Landsat 7 ETM+	Off	0,171
LC81800522014054	23.	02.	2014	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,173
LE71800522015033	02.	02.	2015	Landsat 7 ETM+	Off	0,168
LC81800522015041	10.	02.	2015	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,202
LE71800522015049	18.	02.	2015	Landsat 7 ETM+	Off	0,153

Tab. 12: Verwendete Satellitendaten für den Monat Februar, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI Durchschnitt
	Tag	Monat	Jahr			
LE71800522003064	05.	03.	2003	Landsat 7 ETM+	On	0,124
LE71800522003112	22.	03.	2003	Landsat 7 ETM+	On	0,112
LE71800522005085	26.	03.	2005	Landsat 7 ETM+	Off	0,137
LE71800522006072	13.	03.	2006	Landsat 7 ETM+	Off	0,105
LE71800522007075	16.	03.	2007	Landsat 7 ETM+	Off	0,107
LE71800522008078	18.	03.	2008	Landsat 7 ETM+	Off	0,142
LE71800522009064	05.	03.	2009	Landsat 7 ETM+	Off	0,147
LE71800522010067	08.	03.	2010	Landsat 7 ETM+	Off	0,143
LE71800522010083	24.	03.	2010	Landsat 7 ETM+	Off	0,106
LE71800522011070	11.	03.	2011	Landsat 7 ETM+	Off	0,140
LE71800522011086	27.	03.	2011	Landsat 7 ETM+	Off	0,148
LE71800522012089	29.	03.	2012	Landsat 7 ETM+	Off	0,137
LE71800522013075	16.	03.	2013	Landsat 7 ETM+	Off	0,143
LE71800522014078	19.	03.	2014	Landsat 7 ETM+	Off	0,145
LC81800522014086	27.	03.	2014	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,181
LC81800522015073	14.	03.	2015	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,161
LE71800522015081	22.	03.	2015	Landsat 7 ETM+	Off	0,146

Tab. 13: Verwendete Satellitendaten für den Monat März, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI Durchschnitt
	Tag	Monat	Jahr			
LE71800522006104	14.	04.	2006	Landsat 7 ETM+	Off	0,136
LE71800522007091	01.	04.	2007	Landsat 7 ETM+	Off	0,130
LE71800522007107	17.	04.	2007	Landsat 7 ETM+	Off	0,139
LE71800522008110	19.	04.	2008	Landsat 7 ETM+	Off	0,110
LE71800522009096	06.	04.	2009	Landsat 7 ETM+	Off	0,121
LE71800522009112	22.	04.	2009	Landsat 7 ETM+	Off	0,127
LE71800522010115	25.	04.	2010	Landsat 7 ETM+	Off	0,121
LE71800522011102	12.	04.	2011	Landsat 7 ETM+	Off	0,125
LE71800522014094	04.	04.	2014	Landsat 7 ETM+	Off	0,136
LE71800522014110	20.	04.	2014	Landsat 7 ETM+	Off	0,147
LE71800522015097	07.	04.	2015	Landsat 7 ETM+	Off	0,135
LC81800522015105	15.	04.	2015	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,176
LE71800522015113	23.	04.	2015	Landsat 7 ETM+	Off	0,141

Tab. 14: Verwendete Satellitendaten für den Monat April, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI
	Tag	Monat	Jahr			Durchschnitt
LE71800522009144	24.	05.	2009	Landsat 7 ETM+	Off	0,130
LE71800522010131	11.	05.	2010	Landsat 7 ETM+	Off	0,126
LE71800522013123	03.	05.	2013	Landsat 7 ETM+	Off	0,163
LE71800522013139	19.	05.	2013	Landsat 7 ETM+	Off	0,161
LE71800522015129	09.	05.	2015	Landsat 7 ETM+	Off	0,143

Tab. 15: Verwendete Satellitendaten für den Monat Mai, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI
	Tag	Monat	Jahr			Durchschnitt
LE71800522005165	14.	06.	2005	Landsat 7 ETM+	Off	0,172
LE71800522006152	01.	06.	2006	Landsat 7 ETM+	Off	0,153
LE71800522008158	06.	06.	2008	Landsat 7 ETM+	Off	0,151
LC81800522014166	15.	06.	2014	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,211
LE71800522014174	23.	06.	2014	Landsat 7 ETM+	Off	0,154
LE71800522015161	10.	06.	2015	Landsat 7 ETM+	Off	0,129
LC81800522015169	18.	06.	2015	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,226

Tab. 16: Verwendete Satellitendaten für den Monat Juni, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI
	Tag	Monat	Jahr			Durchschnitt
LE71800522003208	27.	07.	2003	Landsat 7 ETM+	Off	0,409
LE71800522004195	13.	07.	2004	Landsat 7 ETM+	Off	0,279
LE71800522006184	03.	07.	2006	Landsat 7 ETM+	Off	0,182
LC81800522013195	14.	07.	2013	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,368
LC81800522014198	17.	07.	2014	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,333

Tab. 17: Verwendete Satellitendaten für den Monat Juli, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI Durchschnitt
	Tag	Monat	Jahr			
LE71800522005213	01.	08.	2005	Landsat 7 ETM+	Off	0,436
LE71800522012233	20.	08.	2012	Landsat 7 ETM+	Off	0,486
LC81800522015233	21.	08.	2015	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,453

Tab. 18: Verwendete Satellitendaten für den Monat August, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI Durchschnitt
	Tag	Monat	Jahr			
LE71800522005261	18.	09.	2005	Landsat 7 ETM+	Off	0,469
LE71800522013251	08.	09.	2013	Landsat 7 ETM+	Off	0,517
LC81800522014262	19.	09.	2014	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,573

Tab. 19: Verwendete Satellitendaten für den Monat September, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI Durchschnitt
	Tag	Monat	Jahr			
LE71800522000296	22.	10.	2000	Landsat 7 ETM+	On	0,311
LE71800522001298	25.	10.	2001	Landsat 7 ETM+	On	0,284
LE71800522004291	17.	10.	2004	Landsat 7 ETM+	Off	0,265
LE71800522005277	04.	10.	2005	Landsat 7 ETM+	Off	0,408
LE71800522005293	20.	10.	2005	Landsat 7 ETM+	Off	0,279
LE71800522006280	07.	10.	2006	Landsat 7 ETM+	Off	0,376
LE71800522007283	10.	10.	2007	Landsat 7 ETM+	Off	0,315
LE71800522007299	26.	10.	2007	Landsat 7 ETM+	Off	0,253
LE71800522008286	12.	10.	2008	Landsat 7 ETM+	Off	0,262
LE71800522008302	28.	10.	2008	Landsat 7 ETM+	Off	0,252
LE71800522009288	15.	10.	2009	Landsat 7 ETM+	Off	0,279
LE71800522009304	31.	10.	2009	Landsat 7 ETM+	Off	0,238
LC81800522013275	02.	10.	2013	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,480
LE71800522013283	10.	10.	2013	Landsat 7 ETM+	Off	0,367
LC81800522013291	18.	10.	2013	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,381
LC81800522014278	05.	10.	2014	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,474
LC81800522014294	21.	10.	2014	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,390
LE71800522014302	29.	10.	2014	Landsat 7 ETM+	Off	0,275

Tab. 20: Verwendete Satellitendaten für den Monat Oktober, durchschnittlicher NDVI (Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI
	Tag	Monat	Jahr			Durchschnitt
LE71800522010307	03.	11.	2010	Landsat 7 ETM+	Off	0,275
LE71800522013331	27.	11.	2013	Landsat 7 ETM+	Off	0,228

Tab. 21: Verwendete Satellitendaten für den Monat November, durchschnittlicher NDVI

(Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

ID der Landsat- Szene	Datum			Sensor	SLC	NDVI
	Tag	Monat	Jahr			Durchschnitt
LE71800521999357	23.	12.	1999	Landsat 7 ETM+	On	0,181
LE71800522000360	25.	12.	2000	Landsat 7 ETM+	On	0,196
LE71800522001346	12.	12.	2001	Landsat 7 ETM+	On	0,204
LE71800522002365	31.	12.	2002	Landsat 7 ETM+	On	0,194
LE71800522003336	12.	12.	2003	Landsat 7 ETM+	Off	0,221
LE71800522004339	04.	12.	2004	Landsat 7 ETM+	Off	0,201
LE71800522004355	20.	12.	2004	Landsat 7 ETM+	Off	0,180
LE71800522005341	07.	12.	2005	Landsat 7 ETM+	Off	0,195
LE71800522005357	23.	12.	2005	Landsat 7 ETM+	Off	0,215
LE71800522006344	10.	12.	2006	Landsat 7 ETM+	Off	0,181
LE71800522006360	26.	12.	2006	Landsat 7 ETM+	Off	0,182
LE71800522007347	13.	12.	2007	Landsat 7 ETM+	Off	0,184
LE71800522007363	29.	12.	2007	Landsat 7 ETM+	Off	0,171
LE71800522009336	02.	12.	2009	Landsat 7 ETM+	Off	0,185
LE71800522009352	18.	12.	2009	Landsat 7 ETM+	Off	0,176
LE71800522011358	24.	12.	2011	Landsat 7 ETM+	Off	0,172
LE71800522012345	10.	12.	2012	Landsat 7 ETM+	Off	0,219
LE71800522012361	26.	12.	2012	Landsat 7 ETM+	Off	0,209
LC81800522013339	05.	12.	2013	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,271
LE71800522013347	13.	12.	2013	Landsat 7 ETM+	Off	0,180
LC81800522013355	21.	12.	2013	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,253
LE71800522013363	29.	12.	2013	Landsat 7 ETM+	Off	0,195
LC81800522014342	08.	12.	2014	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,270
LE71800522014350	16.	12.	2014	Landsat 7 ETM+	Off	0,211
LC81800522014358	24.	12.	2014	Landsat 8 OLI & TIRS	On	0,253

Tab. 22: Verwendete Satellitendaten für den Monat Dezember, durchschnittlicher NDVI

(Quelle: [URL:USGa], eigene Bearbeitung)

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, am 18.01.2017

