

Universitätslehrgang für Geographical Information Science
& Systems (UNIGIS MSc) an der Universität Salzburg

Theoretischer Entwurf eines automatisierbaren Klassifikationsalgorithmus
basierend auf phänologischen Maßen und NDVI Zeitreihen

Master Thesis

Vorgelegt von
Dipl. Ing. Patrik Schrumpf
geboren in Köln

Köln, im Mai 2006

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne jede unerlaubte Hilfe angefertigt wurde.

Köln im Mai 2006

Dipl. Ing. Patrik Schrümpf (UNIGIS MSc 2003 u1053)

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt einen Algorithmus vor, der die Grundlagen für ein Monitoring der Landnutzung und Landveränderung mittels Fernerkundungsdaten in jährlichen Zyklen ermöglicht. Dieser Algorithmus verwendet nur die einmalig zu bestimmenden phänologischen Daten, von zu bestimmenden Vegetationsklassen, die für eine Klassifizierung mit einem binären Entscheidungsbaum zu ermitteln sind. Diese phänologischen Maße werden dann für die Klassifizierung von einem festzulegenden Ausgangsjahr und allen Folgejahren verwendet. Dieser theoretische Ansatz basiert auf einer ausgeglichenen Transformation der NDVI-Werte (Normalized Difference Vegetation Index), die sich in Form von Kurven der Vegetationsklassen für zwei Jahre darstellen lassen. Die NDVI-Werte eines Untersuchungsjahres sollen mit diesem Algorithmus in den NDVI-Merkmalraum eines Ausgangsjahres transformiert werden. Hierbei werden klimatische, natürliche und anthropogene Veränderungen der Vegetation berücksichtigt, um diese durch die Transformation nicht zu verfälschen und somit auf falsche Klassen im Untersuchungsjahr zu schließen, wenn dieses nach der Transformation klassifiziert wird. Gegliedert wurde der Algorithmus in folgende Prozessblöcke: Unabhängige (die Erstellung der Trainingsgebiete und der phänologischen Maße), iterative (die Zeitreihenglättung) und der durchgängige (der Transformationsprozess).

Basierend auf einer umfassenden statistischen Auswertung der Trainingsgebiete und Literaturrecherche konnten folgende Parameter für den Algorithmus festgelegt werden:

- Für die Korrelation eines Pixels über Ausgangsjahr und Untersuchungsjahr wurde die Korrelationsmatrix als K-Faktor definiert.
- Der Patternfaktor, der mit Vegetation Condition INDEX (VCI) bestimmt wird, zur Angleichung saisonaler Unterschiede in den NDVI-Werten (P-Faktor).
- Ein Gewichtungsfaktor C-faktor, der den P-Faktor schwächend/stärkend manipuliert, um tatsächliche Veränderungen in der Vegetation abzufangen.
- Ein Gewichtungsfaktor, der global für das Untersuchungsgebiet zu bestimmen ist, um systematische Fehler zu kompensieren.

Diese Parameter und die NDVI-Zeitreihe vom Ausgangsjahr und Untersuchungsjahr bilden somit die Grundlage für die Ausgleichung, mit der sich laut Definition des Rechenverfahrens unter anderem nicht erkannte Einflussfaktoren minimieren lassen, um die Grunddefinition „Summe der gewogenen Fehlerquadrate = Minimum“ zu erfüllen.

len. Weiterhin wurden verschiedene Methoden für den Ansatz der Transformation definiert. Diese lassen sich wie folgt beschreiben: punktuelle, spalten/zeilenweise, blockweise Ausgleichung oder die Verwendung eines homogenisierten Ausgangsjahres.

Für die Glättung der NDVI-Zeitreihen-Rohdaten, mit welcher zum einen Wolken, zum anderen negative Einflüsse, wie z. B. atmosphärische Behoben und der phänologische Verlauf betont wird, ist HANTS (Harmonic Analysis of NDVI Time-Series) in die Prozesskette mit aufgenommen worden. Die Herkunft eines festgestellten Versatzes der NDVI Werte durch die unabhängige Glättung der Zeitreihen ließ sich nicht feststellen und muss im Rahmen der Entwicklung analysiert werden.

Im Untersuchungsgebiet Benin, Westafrika, wurden 15 Vegetationsklassen festgelegt. Die enormen Spannbreiten, von Min-, Max-NDVI und der Standardabweichung zum Mittelwert der Klassen, ließ sich auf eine nachgewiesene Niveauverschiebung der Mittelwerte der NDVIs der Klassen über die Süd-Nordachse von Benin zurückführen. Aus diesem Grund wurde die Integration georeferenzierter Zusatzdaten für den Klassifizierungsprozess und für die Ableitung phänologischer Maße festgelegt.

Insgesamt wurden 16 phänologische Maße ermittelt und zuzüglich 5 Ebenen zur Aufnahme georeferenzierter Daten wie z. B. Vegetationszonen festgelegt. Als Ergebnis der Transformation der NDVI-Zeitreihe in die phänologischen Maße sind zwei Dateien festgelegt worden. Eine für die Aufnahme der Mittelwerte der phänologischen Maße der Klassen einschließlich Standardabweichung und in der zweiten die Matrix mit den phänologischen Maßen eines Pixels.

Fazit dieser Arbeit ist, es wurde ein durchgängiger Arbeitsprozess definiert, der sich softwaretechnisch umsetzen lässt. Die Kernproblematik der Wiederholbarkeit einer Klassifizierung über mehrere Jahre kann mit dem theoretischen Ansatz eines ausgleichenden Transformationsalgorithmus verbessert, wenn nicht sogar behoben werden. Die verschiedenen Parameter in Kombination mit den Verfahren erfordern aber noch einige Forschungsarbeit, um eine funktionierende Software zu erstellen. Auch konnte für die Validierung der Klassifizierung noch kein Verfahren hergeleitet werden.

Summary

The work presented here introduces an algorithm which provides the foundations for a method of monitoring land usage and change using remote sensing data in yearly cycles. This algorithm uses only the phenological data, which are to be determined once, of vegetation classes to be determined, and which are to be identified for classification using a binary decision tree. These phenological metrics are then used for the classification of a fixed starting year and all the following years. This theoretical approach is based on a compensated transformation of the NDVI values which can be represented in the form of graphs of the vegetation classes for two years. The NDVI values for the year under investigation should be transformed into the NDVI attribute space of a starting year. Climatic, natural, and anthropogenic changes to the vegetation are taken into account at this stage, so as not to distort them by the transformation and hence infer the wrong classes for the year under investigation if this year is classified after the transformation. The algorithm can be divided into the following process blocks: independent (the creation of the training regions and the phenological metrics), iterative (the time series smoothing), and continuous (the transformation process).

On the basis of a comprehensive statistical evaluation of the training region and literature research, the following parameters could be specified for the algorithm:

- For the correlation of a pixel between the starting year and the year under investigation, the correlation matrix was defined as KFactor.
- The pattern factor, which is governed by the Vegetation Condition INDEX (VCI), to compensate for seasonal differences in the NDVI values (PFactor).
- A weighting factor (CFactor) which weakens or strengthens the PFactor in order to catch actual changes in the vegetation.
- A weighting factor which is to be fixed globally for the region under investigation in order to compensate for systematic errors.

These parameters and the NDVI time series from the starting year and the year under investigation thus form the basis for the compensation. Depending on the definition of the method of calculation, this allows unidentified influencing factors, amongst others, to be minimised so as to fulfil the fundamental definition "sum of the weighted squared errors = minimum". Furthermore, various methods are defined for formulating the transformation. These may be characterised as follows: selective equalisation, equali-

sation by column/row, blockwise equalisation, or the use of a homogenised starting year.

HANTS (Harmonic Analysis of NDVI Time-Series) was taken into the process chain for smoothing the NDVI time series raw data. This smoothing means that, for one thing, clouds, and, for another thing, negative e. g. atmospheric influences such as e.g. atmospheric effects are eliminated and the phenological progression is accentuated, The origin of an detected offset of the NDVI values through the independent smoothing of the time series could not be determined and must be analysed within the scope of development.

In the test region, Benin, in West Africa, 15 vegetation classes were identified. The enormous ranges, from the minimum NDVI, maximum NDVI, and the standard deviation to the mean value of the classes could be ascribed to a displacement of the level of the mean values of the classes' NDVIs detected across the south-north axis of Benin. For this reason, it was decided to integrate georeferenced additional data for the classification process and for the derivation of phenological metrics.

The conclusion of this work is that a continuous working process has been defined which may be implemented in software. The core problem of the repeatability of a classification over several years can be ameliorated, if not actually remedied, with the theoretical approach of a compensating transformation algorithm. The various parameters in combination with the process still, however, require some research work in order to create functional software. No process for validating the classification could be deduced yet either.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Gunter Menz, von der Arbeitsgruppe Fernerkundung (RSRG) des Geographischen Institut der Universität Bonn, gilt mein Dank für die unkomplizierte Überlassung des Themas und der Teilnahme an einem Feldaufenthalt in Benin Westafrika.

Für den informativen Aufenthalt in Benin gilt mein Dank Frau Dipl. Geogr. Julia Röhrig und Herrn Dr. Hans-Peter Thamm.

Besonderen Dank gilt auch Herrn Allard de Wit vom Wageningen University and Research Centre Netherlands für seine Unterstützung, in der Anwendung von HANTS.

Nicht zuletzt danke ich Herrn Prof. Dr. J. Strobl, UNIGIS-Lehrgangleiter von der Universität Salzburg und Mag. Michael Fally für die Betreuung der Arbeit.

Inhalt

<u>A.</u>	<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</u>	<u>VII</u>
<u>B.</u>	<u>TABELLENVERZEICHNIS.....</u>	<u>XIII</u>
<u>C.</u>	<u>GLEICHUNGEN.....</u>	<u>XIV</u>
<u>D.</u>	<u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNISS.....</u>	<u>XV</u>
<u>1</u>	<u>EINLEITUNG.....</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>GRUNDLAGEN.....</u>	<u>7</u>
2.1	AUSGLEICHSRECHNUNG	7
2.2	BAND KODIERUNGSSCHLÜSSEL	9
2.3	CROP_VGT	10
2.4	GEO-DATABASE	10
2.5	HDF (HIERARCHICAL DATA FORMAT)	11
2.6	HVO (HAUTE VALLE DE L'OUEME).....	11
2.7	IMPETUS.....	11
2.8	KLASSIFIZIERUNGSVERFAHREN	12
2.9	KORRELATION/KORRELATIONSKOEFFIZIENT/REGRESSIONSANALYSE	13
2.10	KONFIDENZELLIPSE, (STANDARDABWEICHUNGSELLIPSE, WAHRSCHEINLICHKEITSELLIPSE)	14
2.11	NDVI NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX INDEX.....	15
2.12	SPOT VGT-D10 BDC.....	16
2.13	SPOT VEGETATION / FREE VEGETATION.....	17
<u>3</u>	<u>UNTERSUCHUNGSGEBIET BENIN WESTAFRIKA.....</u>	<u>19</u>
3.1	ÜBERSICHTSKARTE BENIN	24
3.2	KARTE BENIN VEGETATIONSZONEN – NIEDERSCHLAGSZONEN – HVO.....	25

4 VORUNTERSUCHUNG.....26

4.1	EINLEITUNG.....	26
4.2	KERNPROBLEM EINER JÄHRLICHEN KLASSIFIKATION.....	27
4.3	ZUSAMMENFASSUNG.....	36
4.4	ERSTE DEFINITION FÜR DEN ALGORITHMUS	38

5 AUSGANGSSITUATION, ZIELE, ANFORDERUNGEN UND UNTERSUCHUNGEN.....39

5.1	VORGABEN UND ZIELE.....	40
5.2	BASISANSATZ FÜR DEN ZU ENTWICKELNDEN ALGORITHMUS	41
5.3	ZU ERWARTENDE PROBLEME.....	46
5.4	DATENGRUNDLAGE SPOT VEGETATION (S10 MVC ODER D10 BDF)	47
5.5	AUFBEREITUNG DER NDVI - ROHDATEN	47
5.6	AUFBEREITUNG DER GTPs (GROUND TRUTH POINTS).....	47
5.7	FESTLEGUNG DER KLASSEN	48
5.8	BESTIMMUNG DER TRAININGSGEBIETE ROI (REGION OF INTREST).....	48
5.9	ABLEITUNG DER PHÄNOLOGISCHEN MAßE	49
5.10	RECHERCHE UND MODELLENTWURF FÜR DEN ALGORITHMUS.....	49
5.11	ZIELPLATTFORM FÜR DIE SOFTWARETECHNISCHE UMSETZUNG	50
5.12	HILFS- UND ARBEITSMITTEL.....	51
5.13	ANFORDERUNGEN AN DIE DATEN.....	51
5.14	VALIDIERUNG DER ERGEBNISSE	52
5.15	ZUSÄTZLICHER ABLEITBARER NUTZEN	52

6 DATEN UND RECHERCHE.....53

6.1	NDVI ZEITREIHEN DER SATELLITENBILDER SPOT VEGETATION	53
6.2	ZU VERWENDENDE DATEN VON SPOT VEGETATION S10 ODER D10	53
6.3	GROUND TRUTH POINTS (GTPs)	53
6.4	DIGITALE KARTEN ÜBER BENIN.....	53
6.5	DIGITALE KARTEN ANDERER FORSCHUNGSPROJEKTE.....	54
6.6	ANALOGUE KARTE (TOPOGRAFISCHE KARTE).....	54
6.7	LITERATUR.....	54

<u>7</u>	<u>DATENAUFBEREITUNG UND ORGANISATION.....</u>	<u>55</u>
7.1	SPOT VEGETATION	55
7.2	VERWALTUNG UND ORGANISATION DER LITERATUR.....	57
7.3	AUSWERTEN DER GROUND TRUTH POINTS (GTPs), ENTWURF EINER GEO-DATABASE	58
<u>8</u>	<u>AUSWERTEN DER RECHERCHIERTEN LITERATUR.....</u>	<u>62</u>
8.1	FAZIT DER LITERATURRECHERCHE	66
<u>9</u>	<u>BESTIMMUNG DER PHÄNOLOGISCHEN MAßE</u>	<u>67</u>
9.1	DEFINITION PHÄNOLOGISCHE MAßE	67
9.2	DEFINITION UND RECHERCHE VERWENDETER PHÄNOLOGISCHER MAßE.....	68
9.3	ZUSAMMENFASSUNG.....	76
<u>10</u>	<u>AUFBEREITUNG DER NDVI ROHDATEN, GLÄTTUNG DER ZEITREIHEN</u>	<u>78</u>
10.1	RECHERCHE VERWENDETER METHODEN.....	78
10.2	FUNKTIONSWEISE VON HANTS (HARMONIC ANALYSIS OF NDVI TIME-SERIES)	80
10.3	FAZIT DER ANALYSE DER RECHERCHE UND DER HANTS ANALYSE	81
<u>11</u>	<u>FESTLEGUNG DER KLASSEN.....</u>	<u>83</u>
<u>12</u>	<u>PLANUNG, ERSTELLUNG UND AUSWERTUNG DER TRAININGSGEBIETE</u>	<u>85</u>
12.1	GRUNDLAGEN DER ERSTELLUNG VON TRAININGSGEBIETEN.....	85
12.2	GRUPPIERUNG DER VORHANDENEN GROUND TRUTH POINTS GTPs.....	87
12.3	ZUVERLÄSSIGKEIT DER GTPs UND ABGRENZUNGSPROBLEME	87
12.4	ERSTELLUNG DER TRAININGSGEBIETE	88
12.5	VORGEHEN ERMITTLUNG DER TRAININGSGEBIETE UND AUSWERTUNG.....	90
12.6	BESCHREIBUNG DER ERMITTELTEN KLASSEN.....	103
12.7	STATISTISCHE ANALYSE DER KLASSE	106

12.7.1	ZU (A) GEGENÜBERSTELLUNG ALLE KLASSEN JE JAHR.....	109
12.7.2	BEISPIELE ZU (B) GEGENÜBERSTELLUNG DER KLASSEN FÜR 2002-2004	110
12.7.3	BEISPIEL ZU (C) EIN KLASSE MIT MIN MAX MEAN NDVI, STANDARDABWEICHUNG UND SÜD-NORD KORRELATION FÜR FÔRET DENSE ...	111
12.7.4	BEISPIEL ZU (C) EINE KLASSE MIT MIN MAX MEAN NDVI, STANDARDABWEICHUNG UND SÜD-NORD KORRELATION FÜR GRAS SAVANNA.....	112
12.7.5	BEISPIELE ZU (D) NDVI VERLAUF ÜBER DIE VEGETATIONSZONEN FÜR 2002- 2004.....	113
12.7.6	BEISPIELE ZU (E) KORRELATION 2002-2003 DER KLASSEN ÜBER ZWEI BÄNDER	114
12.7.7	BEISPIELE ZU (E) KORRELATION 2002-2004 DER KLASSEN ÜBER ZWEI BÄNDER	115
12.7.8	BEISPIELE ZU (F) KORRELATION EINER KLASSE ÜBER DIE NDVI – MITTELWERTE	116
12.7.9	ZU (G) GEGENÜBERSTELLUNG MITTELWERT +- STANDARDABWEICHUNG JE KLASSE FÜR 2003 BAND 3	118
12.7.10	ZU (G) GEGENÜBERSTELLUNG MITTELWERT +- STANDARDABWEICHUNG JE KLASSE FÜR 2003 BAND 19	119
12.7.11	BEISPIEL ZU (H) STANDARDABWEICHUNGSELLIPSE SDE 68%	120
12.8	DISKUSSION DER STATISTISCHEN AUSWERTUNGEN.....	121
12.9	ZUSAMMENFASSUNG UND ERGEBNISSE	125

13 KONZEPTIONELLE ANSÄTZE FÜR DEN ALGORITHMUS.....126

13.1	GEGENÜBERSTELLUNG MÖGLICHER ANSÄTZE, ALTERNATIVEN	126
13.2	DEFINITION DER GRUNDLEGENDEN THEORIEN FÜR DEN ALGORITHMUS	127
13.3	DEFINITION DER TRANSFORMATIONSFAKTOREN	128
13.4	ERMITTLUNG DER TRANSFORMATIONSPARAMETER.....	130
13.4.1	BERECHNUNG DER KORRELATIONSMATRIX KFAKTOR.....	130
13.4.2	BERECHNUNG DER PATTERNMATRIX PFAKTOR.....	131
13.4.3	BERECHNUNG DER GEWICHTSMATRIX CFAKTOR	136
13.4.4	ANSATZ NACH DEM VERFAHREN DER AUSGLEICHRECHNUNG	140
13.5	DEFINITION DES AUSGLEICHUNGSVERFAHRENS.....	142

13.6	MÖGLICHE VARIANTEN UND AUSWIRKUNGEN DER VARIANTEN AUF DIE GENAUIGKEIT	143
13.6.1	VARIANTE I PIXELWEISE.....	144
13.6.2	VARIANTE II ZEILEN-/ SPALTENWEISE.....	144
13.6.3	VARIANTE III BLOCK.....	144
13.6.4	HOMOGENISIERTES AUSGANGSJAHR.....	145
13.7	WEITERE ZU BEACHTENDE ERGEBNISSE FÜR DEN ALGORITHMUS.....	146
13.8	GENAUIGKEITSPRÜFUNG DER ERGEBNISSE DER KLASSIFIZIERUNGEN.....	146
14	<u>GROB SPEZIFIKATION WICHTIGER PROZESSABLÄUFE</u>	147
14.1	DATENVORBEREITUNG.....	147
14.2	SPEZIFIKATION ZEITREIHENGLÄTTUNG MIT HANTS.....	147
14.3	SPEZIFIKATION PHÄNOLOGIE MATRIX DER KLASSEN UND PHÄNOLOGIE MATRIX DER ZEITREIHE	148
14.4	TRANSFORMATION, KLASSIFIKATION UND GENAUIGKEITSÜBERPRÜFUNG	153
14.5	SPEZIFIKATION ENTWURF PROZESSABLAUF	154
15	<u>SCHLUSSFOLGERUNG</u>	155
16	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	160
17	<u>ANHANG A ANALYSE DER ERGEBNISSE DER ZEITREIHENGLÄTTUNG UND WOLKENINTERPOLATION MIT HANTS</u>	170
17.1	ERLÄUTERUNGEN ZU DEN ABBILDUNGEN	173
17.2	ANTWORT VON DE WITT 30.08.2005 PER MAIL	182
17.3	DOKUMENTATION UND ANLEITUNG FÜR HANTS.....	184
17.3.1	THE IDL-ENVI IMPLEMENTATION OF THE HANTS ALGORITHM.....	184
17.3.2	INPUT/OUTPUT OF IDL-HANTS ROUTINES	188
17.3.3	CGI_HANTS_PREPROCESSOR	192
18	<u>ANHANG B DIAGRAMME DER STATISTISCHEN AUSWERTUNG DER TRAININGSGEBIETE.....</u>	194

18.1 GEGENÜBERSTELLUNG DER KLASSEN FÜR 2002-2004	196
18.2 NDVI VERLAUF DER KLASSEN ÜBER DIE VEGETATIONSZONEN FÜR 2002-2004	199
18.3 KLASSEVERLAUF MIT MIN MAX MEAN NDVI, STANDARDABWEICHUNG UND SÜD-NORD KORRELATION	202
18.3.1 FÜR DAS JAHR 2002	202
18.3.2 FÜR DAS JAHR 2003	207
18.3.3 FÜR DAS JAHR 2004	212
18.4 KORRELATION DER KLASSEN ÜBER DIE NDVI - MITTELWERTE FÜR 2002-2003	217
18.5 KORRELATION DER KLASSEN ÜBER DIE NDVI - MITTELWERTE FÜR 2002-2004	222
18.6 STANDARDABWEICHUNGSELLIPSE SDE1 68%	227
18.7 STANDARDABWEICHUNGSELLIPSE SDE2 95%	228
18.8 STATISTISCHE AUSWERTUNG VON CRIMESTAT III	229

A. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Beispiel Ausgleichung nach der Method der kleinsten Quadrate	7
Abbildung 2	Schlüssel für die Bandnummern der Satellitenszenen	9
Abbildung 3	Schema binär Entscheidungsbaum	13
Abbildung 4	Konfidenz-ellipsen	14
Abbildung 5	Quelle ESRI Datenpaket 2002. Oben Lage Benin in Afrika	19
Abbildung 6	Übersichtskarte Benin	24
Abbildung 7	Karte Benin West Afrika Vegetationszonen – Niederschlagszonen - HVO	25
Abbildung 8	Prozessablauf Daten Einflussfaktoren	37
Abbildung 9	NDVI-Verlauf über zwei Jahre	38
Abbildung 10	Basisansatz für den Algorithmus	41
Abbildung 11	Patterns of phenology change Quelle Tateishi, R., Ebata, M., (2004)	44
Abbildung 12	Correlation coefficient between NDVI and LST. A, woody savanna; B, savanna. Quelle Tateishi, R., Ebata, M., (2004)	45
Abbildung 13	Geographical distribution of (a) SNDVI increasing trend; (b) SNDVI decreasingtrend. Quelle Tateishi, R., Ebata, M., (2004)	45
Abbildung 14	Literatur Datenbank	57
Abbildung 15	Datenbankschema Geodatabase / Formular / Bildabruf	61
Abbildung 16	Stichpunkte der Literaturrecherche	62
Abbildung 17	Darstellung der phänologischen Maße eigener Entwurf nach Vorlagen von S. Yongwei (WWW_08 Sheng, Yongwei) und Reed, Bradley (WWW_09 Reed, Bradley)	70
Abbildung 18	Beispiel NDVI Verlauf mit 2 peaks	71
Abbildung 19	Bestimmung Onset / Offset Quelle (Reed, B.C. and K. Saylor, 1997)	73
Abbildung 20	Percent of Average SG Quell: (D.J. Meyer, B.C. Reed, et al. 1996)	73
Abbildung 21	Quelle (D. J. Meyer, B.C. Reed, et al. 1996)	74
Abbildung 22	Onset / Latent NDVI Quelle (D.J. Meyer, B.C. Reed, et al. 1996)	75
Abbildung 23	Seasonal Greenness (SG) bestimmung Quelle (D.J. Meyer, B.C. Reed, et al. 1996)	75
Abbildung 24	Gegenüberstellung Rohdaten-Glättung	76
Abbildung 25	Schematische Darstellung von Onset über verschieden Verfahren	77

Abbildung 26	Oben, NDVI-Rohdaten, unten Glättungskurve nach Anwendung von HANTS	78
Abbildung 27	Definition der Klassen	83
Abbildung 28	Geo-Database mit Landklassen Layern, Benin, Vegetationszonen und Niederschlagszonen und GTPS.	88
Abbildung 29	Beispiel GTP Verteilung Savanne saxicole / aboree	89
Abbildung 30	LC (1225) Savanne arbustive / aboree (Oberklassen Gras/Baumsavanne)	90
Abbildung 31	Darstellung der NDVI Nachbarschaft in Nor-, Zentral- und Südbenin	93
Abbildung 32	Verlauf der NDVI-Werte über die Trockenzeit Monatsmittel von	95
Abbildung 33	Lage und Ergebnis der Spotklassifikation von Röhrig et al. (2004)	97
Abbildung 34	Digitalisierung der topografischen Karte von Benin (IGN) (WWW_16 IGN)	98
Abbildung 35	„Prinzip der Zuordnung geokodierter Zusatzdaten zu den spektralen Bilddaten“, (Hildebrandt 1996, Seite 550)	99
Abbildung 36	Zoneneinteilung für die Trainingsgebiete	100
Abbildung 37	Gegenüberstellung des phänologischen Verlauf für die Jahreszusammenstellung Januar (Band 1) bis Dezember (Band 36) und für Februar(Band 4) bis Januar des Folgejahres Band(3)	102
Abbildung 38	Verteilung der Trainingsgebiete über Benin	105
Abbildung 39	Gegenüberstellung der NDVI Signatur der Klassen je Jahr	109
Abbildung 40	Gegenüberstellung der Klassen über die Jahre 2002 – 2004	110
Abbildung 41	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret Dense, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19	111
Abbildung 42	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Grass Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19	112
Abbildung 43	Klassen über Vegetationszonen Fôret dense/clair für die Jahre 2002 - 2004	113
Abbildung 44	Korrelation über die 2002-2003 alle Punkte einer Klasse über Band 3 und 19	114
Abbildung 45	Korrelation über 2002-2004, alle Punkte einer Klasse über Band 3 und Band 19	115

Abbildung 46	Korrelation einer Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002 2003 links lineare Regression, rechts andere Regressionsfunktion	116
Abbildung 47	Korrelation einer Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002 2003 links lineare Regression, rechts andere Regressionsfunktion	117
Abbildung 48	Gegenüberstellung Mittelwert +- Standardabweichung je Klasse für 2003 Band 3	118
Abbildung 49	Gegenüberstellung Mittelwert +- Standardabweichung je Klasse für 2003 Band 19	119
Abbildung 50	Standardabweichungsellipse SDE 68%	120
Abbildung 51	Ansätze für den Algorithmusentwurf	126
Abbildung 52	Schematische Darstellung der Transformation	129
Abbildung 53	Schema zur Berechnung der Korrelationsmatrix (KFaktor) eine Pixels	130
Abbildung 54	Schema zur Berechnung der Patternmatrix (PFaktor)	131
Abbildung 55	Schema Anwendung des PFaktors	132
Abbildung 56	Auswirkung PFaktor bei identischen Klassen (rot)	133
Abbildung 57	Auswirkung PFaktor bei einer Klassenänderung im Untersuchungsjahr (rot)	133
Abbildung 58	Berechnung Dautum2002+i + relativer Zuschlag	134
Abbildung 59	Auswirkung des relativen Zuschlags bei identischen Klassen (rot)	135
Abbildung 60	Auswirkung des relativen Zuschlags bei Klassenänderung (rot)	135
Abbildung 61	Schema Funktion zur Berechnung der Gewichtsmatrix (CFaktor)	136
Abbildung 62	Berechnung der gewichteten Patternmatrix	137
Abbildung 63	Berechnung des gewichteten angeglichenen Untersuchungsjahrs	137
Abbildung 64	Berechnung Dautum2002+i + gewichteter relativer Zuschlag	138
Abbildung 65	Auswirkung des gewichteten relativen Zuschlags bei identischen Klassen (rot)	138
Abbildung 66	Auswirkung des gewichteten relativen Zuschlags bei Klassenänderung (gelb)	139
Abbildung 67	Methodenansatz Pixelweise Betrachtung	144
Abbildung 68	Methodenansatz Zeilen-/Spaltenweise Betrachtung	144
Abbildung 69	Methodenansatz Block Betrachtung	144
Abbildung 70	Methodenansatz homogenisiertes Ausgangsjahr	145
Abbildung 71	Schema Bestimmung der phänologischen Maße	150
Abbildung 72	Prozessablauf	154

Abbildung 73	HANTS: Gegenüberstellung Ausgabe von HANTS_OF oben FREQS=0,1,2,3 unten FREQS= 0,1,2	176
Abbildung 74	HANTS: Gegenüberstellung für FET=50 - TAT=6 - iMAX=40 - links FREQS 0,1,2 - rechts FREQS 0,1,2,3	177
Abbildung 75	HANTS: Wie Abbildung zuvor, jedoch mit raw data an einer anderen Position	178
Abbildung 76	HANTS: Gegenüberstellung der Ergebnisse Interpolation von 25-6- 40 und 50-6-40	179
Abbildung 77	HANTS: Gegenüberstellung Rohdaten (links), Ergebnis Preprozessor(Mitte links), HANTS ohne Preprozessor(Mitte rechts), HANTS mit Preprozessor(rechts)	180
Abbildung 78	Band 21 FET = 25 – TAT = 6 – iMAX = 60 Range[1,254]	181
Abbildung 79	Gegenüberstellung der Klassen über die Jahre 2002 – 2004 01	196
Abbildung 80	Gegenüberstellung der Klassen über die Jahre 2002 – 2004 02	197
Abbildung 81	Gegenüberstellung der Klassen über die Jahre 2002 – 2004 03	198
Abbildung 82	Klassen über Vegetationszonen Fôret dense/clair für die Jahre 2002 – 2004	199
Abbildung 83	Klassen über Vegetationszonen Woody-/Gras Savanna für die Jahre 2002 - 2004	200
Abbildung 84	Klassen über Vegetationszonen Landnutzung für die Jahre 2002 - 2004	201
Abbildung 85	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret dense, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19	202
Abbildung 86	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret claire, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19	203
Abbildung 87	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Woody Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19	204
Abbildung 88	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Gras Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19	205

Abbildung 89	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Landnutzung, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19	206
Abbildung 90	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret dense, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19	207
Abbildung 91	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret claire, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19	208
Abbildung 92	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Woody Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19	209
Abbildung 93	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Gras Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19	210
Abbildung 94	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Landnutzung, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19	211
Abbildung 95	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret dense, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2004 Band 3 Band 19	212
Abbildung 96	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret claire, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2004 Band 3 Band 19	213
Abbildung 97	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Woody Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2004 Band 3 Band 19	214
Abbildung 98	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Gras Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2004 Band 3 Band 19	215
Abbildung 99	Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Landnutzung, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2004 Band 3 Band 19	216
Abbildung 100	Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 01	217

Abbildung 101 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 02	218
Abbildung 102 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 03	219
Abbildung 103 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 04	220
Abbildung 104 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 05	221
Abbildung 105 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 01	222
Abbildung 106 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 02	223
Abbildung 107 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 03	224
Abbildung 108 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 04	225
Abbildung 109 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 05	226
Abbildung 110 Standardabweichungsellipse 2002 SDE 68%	227
Abbildung 111 Standardabweichungsellipse 2002 SDE 95%	228

B. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Einflussfaktoren auf den Vegetationsverlauf darstellbar durch die NDVI-Werte	41
Tabelle 2	Verwendete Arbeitsmittel	51
Tabelle 3	Variationen in der Beschreibung der vorgefundenen Vegetation	59
Tabelle 4	Benennungssyntax für die Vegetationsbeschreibungen bei den GTPs	59
Tabelle 5	Ziele der Überarbeitung der Vegetationsbeschreibung und Beispiele	60
Tabelle 6	Verwendete Bezeichnung der phänologischen Maße und deren Beschreibung.	69
Tabelle 7	Parameter für die Zeitreihenglättung HANTS	82
Tabelle 8	Klassenbeschreibung Röhrig et al. (2004)	84
Tabelle 9	MIN/MAX NDVI für Oktober 2003, März 2004	92
Tabelle 10	Statistische Auswertung der NDVI-Werte der Trainingsgebiete	94
Tabelle 11	Die aus den GTPS ermittelten Klassen	103
Tabelle 12	Bestimmtheitsmaße der Klassen für die Jahre 2002-2003 und 2002-2004	124
Tabelle 13	Definitionen der Transformationsparameter	128
Tabelle 14	Bedingung für einen Ausgleichungsfall	141
Tabelle 15	weitere Ergebnisse für den Algorithmus	146
Tabelle 16	Phänologie Matrix und Phänologie Matrix Jahr	150
Tabelle 17	Auswertung der HANTS - Anwendungen mit / ohne Preprozessor	171

C. Gleichungen

Gleichung 1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	15
Gleichung 2 Vegetation condition index (VCI)	63
Gleichung 3 Formel für HANTS Qualitätsmaske	81
Gleichung 4 Vegetation Condition INDEX (VCI)	131
Gleichung 5 Veränderter Vegetation Condition INDEX (VCI)	131
Gleichung 6 Berechnung CFaktor Matrix	136

D. Abkürzungsverzeichnis

Access	Relationale Datenbank von Microsoft
ArcGis	Geoinformationssystem der Firma ESRI
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BDC	Bi Directional Composites
BRDF	Bidirectional Reflectance syntheses respectively
CFaktor	Veränderungsfaktor, der die tatsächlichen Änderungen der Landbedeckung erkennt und auf den PFaktor stärkend oder schwächen, in Form eines Gewichtkoeffizienten, einwirkt.
Crop_VGT	Extracts a user-defined region from a set of VEGETATION files in their distribution form (HDF format, zipped)
CRU	Climatic Research UNIT
CVA	Change Vector Analysis
DMA	delayed moving average
ENVI	Remote Sensing Exploitation Platform von RSI
EOS	End of growing season
EXCEL	Tabellenkalkulationsprogramm von Microsoft
GFaktor	Gewichts Faktor, der global auf die Transformation einwirkt. Z. B. als skalare Wert oder konstanter Wert, der für jedes Band berechnet wird.
GIS	Geographische Informationssysteme/Geoinformationssysteme
GLC2000	Global Landcover 2000
GLM	Generalized linear Models

GPS	Global Positioning System
GTP	Ground truth Point
GVM	Global vegetation Monitoring Unit
HANTS	Harmonic Analyses of NDVI Time-Series
HDF	Hierarchical Data Format
HVO	Haute Vallée de L' Quémé (HVO)
IGBP	International Geosphere Biosphere Programme
IDL	The Data Visualization & Analysis Platform von RSI
IGN	INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL
IMPETUS	Integratives Management-Projekt Für Einen Effizienten und Tragfähigen Umgang Mit Süßwasser in Westafrika.
ISODATA	Klassifikationsverfahren
KFaktor	Korrelationsfaktor, Korrelationsmatrix
LAC	AVHRR LAC Advanced Very High Resolution Radar Local Area Coverage
LULC	Land Use and Land Cover
LAT/LON	Latitude/ Lognitude
MVC	Maximum value composite
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDVI_SOS	NDVI at start of growing season
NDVI_EOS	NDVI at end of growing season
SNDVI	Summe der NDVI-Werte
N	Anzahl der Beobachtungen
Ne	Anzahl der zur eindeutigen Lösung notwendigen Beobachtungen
Nf	Die Anzahl der überschüssigen Beobachtungen

NIR	Satellitensensors Signal im Nahinfrarotspektrum
NLR	National Aerospace Laboratory
MAX_PA	Maximum of photosynthesis activity
MIN_PA	Minimum of photosynthesis activity
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MOD09	The MOD 09 building block of MODIS products provides a computed estimate of spectral reflectance for each band as it would be measured on the ground if there were no interference from the atmosphere
OGC	Open Geospatial Consortium, Inc
PCA	Principal Component Analysis
PFaktor	PatterfFaktor der die Änderungen der NDVI-Werte der Vegetation beinhaltet, die laut Tateishi, R., Ebata, M. (2004) vom Niederschlag oder von der Temperatur bedingten Veränderungen hervorgerufen werden.
PGS	Period of growing season (Länge der Vegetationsperiode. On-set-Offset)
RAW/BIL	Digitales Bildformat
RED	Satellitensensors Signal im Rotspektrum
RGB	Farbscala rot, grün, blau
RG_PA	Range of photosynthesis activity (Spannbreite der photosynthetischen Aktivität.)
RG_DOWN	Rate of greendown / senescence
RG_UP	Rate of greenup
ROI	Region of Interest
RSI	siehe http://www.rsinc.com/

qkm	Quadratkilometer
SG	Seasonal Greenness
S_L	Soil Line
SMAC	Software für Atmosphärenkorrektur
SOS	Start of growing season (Startpunkt des Vegetationsbeginns)
SPI	Standardized Precipitation Index
TCI	Temperature Condition Index
TMAX_NDVI	Time of maximum photosynthesis activity
UNDP	United Nations Development Programm
USGS	U.S. Geological Survey
UTM	Universale Transversale Mercatorprojektion
VBA	Visual Basic for Application
VCI	Vegetation Condition INDEX
WGS84	World Geodetic System 1984

1 Einleitung

Um für Umweltforschungs- und Planungsaufgaben über feste Zeitzyklen ein Bild von der Veränderung der Landbedeckung und Landnutzung (LULC Land use, Land change) zu erhalten, bilden Daten der Fernerkundung durch Satelliten aufgrund ihrer Aktualität und global flächendeckender Verfügbarkeit einen wichtigen Faktor für Anwendungen im globale bis regionale Maßstab. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) Zeitreihen, wie sie von SPOT VEGETATION kostenlos zur Verfügung gestellt werden, ermöglichen ein gute Ausgangslage für solche Untersuchungen. Im Vordergrund steht die Ermittlung der Degradation komplexer Vegetationseinheiten, sei es durch den Einfluss des Klimawandels oder durch anthropogene Eingriffe.

Im Rahmen der Recherche über Klassifizierungsverfahren und Change detection Methoden wird sehr deutlich werden, dass die Forderung für ein wirtschaftliches Klassifizierungsverfahren gegeben ist. Um quantitative und qualitative Ergebnisse zu erzielen, benötigt man nicht nur enorm hohe Anforderungen an fachkundigen Personal zur Interpretation der Ergebnisse dieser Verfahren, auch die Ressourcen (Hardware und Software) und der Faktor Zeit, die benötigt wird, ist beachtlich. Wie wir in der Arbeit sehen werden, können etablierte Auswerteverfahren aus dem Umfeld der Landnutzung- und Landbedeckungsbestimmung und Veränderungsermittlung nur in Kombination, die geforderten Ziele erreichen.

Ein weiterer Faktor, der ein zyklische Wiederholung erschwert, ist die Notwendigkeit, aussagekräftige Referenzflächen aufrecht zu halten. Diese müssten einer jährliche Überprüfung unterzogen werden, was jedoch auf Landesebene nicht tragbar ist.

Diese grundlegenden Fakten bilden die Forderung nach einem durchgängigen möglichst einfach zu handhabenden Auswerteverfahren, um schnell, zeitgerecht und wirtschaftlich Daten für Forschungs- und Planungsaufgaben zu erhalten.

Diesen Forderungen stellt sich dieses Projekt, mit dem Ziel der Erstellung eines theoretischen Modells für die Entwicklung eines automatisierten Klassifikationsalgorithmus auf der Basis phänologischer Maße, mit dem eine jährliche Klassifizierung mit folgenden Daten ermöglicht wird:

- Trainingsgebiete sind nur einmal für ein festzulegendes Ausgangsjahr zu erstellen.
- Die NDVI-Zeitreihe für ein festzulegendes Ausgangsjahr, welches für jede Auswertung verwendet wird,
- eine Liste der phänologischen Maße der Referenzklassen, die einmalig über die Trainingsgebiete zu bestimmen sind,
- und die NDVI-Zeitreihe für das zu klassifizierende Jahr.

Ausgeschrieben wurde dieses Projekt vom Geographisches Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Fachgruppe Fernerkundung/GIS, Projektgruppe 3 der Forschungsgruppe IMPETUS „Integratives Management-Projekt Für Einen Effizienten und Tragfähigen Umgang Mit Süßwasser in Westafrika“, die sich mit Fragen der Resource Wasser in Westafrika beschäftigt.

Relevant ist dieses Thema für Institutionen, die über längere Zeiträume jährliche Bestandspläne und Daten über die Veränderung der Landoberfläche, für den Bereich Umweltforschung und Planung, benötigen. Insbesondere für Regionen, die einer rapiden Veränderung (Degradation) unterliegen.

Im Gesamten gliedert sich diese Arbeit in die folgenden Kernbereiche:

- Einer Voruntersuchung, die die Kernprobleme der diesem Projekt zugrunde liegenden Aufgaben erörtert und der Definition der Anforderungen und Ziele
- Bereitstellung einer Datengrundlage für eine erstmalige Klassifizierung von ganz Benin über mehrere Jahre und wie eine hohe Detaillierung von Landbedeckungsklassen erzielt werden kann,

- Ermittlung von Methoden und Parametern, die in der Fernerkundung zu Einsatz kommen, um Bestandteil des Projektes zu werden,
- und dem Kernthema der Modellentwicklung für den Algorithmus.

Im Detail gliedert sich die Arbeit in folgende Kapitel, deren Inhalte kurz beschrieben werden. Zu den für die Arbeit entscheidenden Kapiteln findet sich eine Zusammenfassung, die in der Gliederung gelb unterlegt ist.

Im Kapitel 2 Grundlagen Seite 7 wird der Hintergrund zu dem mathematischen Verfahren, welches dieser Arbeit zu Grunde liegt, vermittelt und die wichtigsten statistischen Auswerteverfahren, die zum Thema werden, erklärt. Weiterhin wird das Klassifizierungsverfahren für diese Arbeit vorgestellt und die Datenherkunft sowie das verwendete Format festgelegt.

Kapitel 3 Seite 19 wird das Untersuchungsgebiet Benin in West-Afrika vorgestellt, die geografische Lage in Afrika beschrieben und ein kurzer Überblick über die Republik, Bevölkerung, Wirtschaft und Klima vermittelt.

Die Grundlage dieser Arbeit beruht auf einer Voruntersuchung, aus welcher sich die Ziele und Anforderungen definieren und die grundlegende Idee für den Algorithmus entworfen wird. Im Kapitel 4 Seite 26 wird aus vorangegangenen Studien eine Zusammenfassung erstellt, mit welchen Verfahren Klassifizierungen aus Fernerkundungsdaten durchgeführt und welche Ergebnisse erzielt wurden. Die festgestellten Problem und Schwierigkeiten, die sich im Rahmen der Landbedeckungsbestimmungen- und Beobachtungen ergaben beschrieben und auf welche Faktoren, Änderungen in der Landnutzung und Landbedeckung zurückzuführen sind.

Eine Zusammenfassung aus Kapitel 4, ein Prozessablauf der Daten und der Einflussfaktoren ist im Kapitel 4.3 Seite 36 wiedergegeben.

Im Anschluss wird im Kapitel 4.4 Seite 38 eine erste Definition der Datengrundlage für den Algorithmus vorgestellt und eine erste These in Form einer Frage formuliert.

Im Kapitel 5 Seite 39 werden die Vorgaben und Ziel, ein erster Basisansatz und auf welcher theoretischen Grundlage dieser aufbaut, vorgestellt. Im weiteren werden die zu erwartenden Probleme diskutiert, die Datengrundlage beschrieben und die einzelnen Verarbeitungsporzesse aufgeführt.

Die letzten Unterkapitel heben die Anforderung an die Daten, die Validierung der Ergebnisse und einen absehbaren Nutzen des Algorithmus hervor.

Herkunft der Daten, Organisation und Verwaltung, insbesondere die neue Katalogisierung der Ground Truth Points (GTP), koordinierte Punkte mit Vegetationsbeschreibungen, die vor Ort in Benin erfasst wurden, und deren Auswertung, werden in Kapitel 6 Seite 53 und Kapitel 7 55 Seite beschrieben.

Kapitel 8 Seite 62 ist das erste Kapitel der Literaturlauswertung und behandelt Vegetationsindizes und Change detection Verfahren. Es wird ein Vegetationsindex vorgestellt, der vom NDVI abgeleitet ist und näher untersucht werden soll, um Bestandteil des Algorithmus zu werden.

Kapitel 8.1 Seite 66 enthält eine Zusammenfassung

Eine Zielsetzung ist die Verwendung phänologischer Maße. Diese Eckdaten im Verlauf der Vegetation in einem Jahr sowie die Definition von Phänologie und dieser Punkte wird im Kapitel 9 Seite 67 behandelt. Darüber hinaus werden deren Bestimmungen beschrieben, welche in der Literatur im Umfeld der Fernerkundung verwendet wurden und welche von besonderer Bedeutung sind.

Eine Zusammenfassung und Festlegung, welche phänologischen Maße im Rahmen des Algorithmus zu ermitteln sind, findet sich im Kapitel 9.3 Seite 76

Kapitel 10 Seite 78 geht auf Verfahren der Zeitreihenglättung ein, welches die Voraussetzung für die im Kapitel 9 definierte Bestimmung der phänologischen Maße ist. Es wird diskutiert, warum eine Glättung notwendig ist und welche Faktoren mit einer solchen Glättung eliminiert werden sollen, die in den NDVI-Rohdaten enthalten sind. Vorgestellt werden verschiedenen Verfahren und es wird tiefer auf die Zielmethode HANTS für diesen Algorithmus eingegangen. Die Funktionsweise von HANTS wird in ein Kapitel 10.2 80 beschrieben

Im Kapitel 10.3 Seite 81 enthält eine Zusammenfassung und Analyse der Ergebnisse von HANTS.

Einen Überblick über die zu ermittelnden Vegetationsklassen sowie einen hierarchische Abstufung erfolgt im Kapitel 11 Seite 83 und bildet die Grundlage für Kapitel 12. Erstellung der Trainingsgebiete, über welche die Vegetationsklassen anhand ihrer NDVI-Werte beschrieben werden sollen.

Mit der Planung, Erstellung und Auswertung dieser Trainingsgebiete beschäftigt sich Kapitel 12 Seite 85. Nach einer kurzen Einführung in die grundlegenden Techniken und Qualitätsprüfungen wird auf Punkte wie dies gruppiert, gegliedert sind und die Zuverlässigkeit eingegangen. Kapitel 12.4 Seite 88 beschreibt dann die Erstellung der Trainingsgebiete.

Einer abschließenden Zusammenstellung der endgültig ermittelten Klassen in Kapitel 12.6 Seite 103 folgt dann die statistische Analyse im Kapitel 12.8 Seite 106 auf die dann im Kapitel 12.7 Seite 121 mit einer Diskussion der Ergebnisse eingegangen wird.

Die für den Algorithmus gewonnenen Erkenntnisse werden im Kapitel 12.9 Seite 125 zusammengefasst.

Der Modellentwurf ist in zwei Kapitel geliedert: die Konzeption und die Spezifikation. Im Kapitel 13 Seite 126 wird der Basisansatz sowie die ermittelten Alternativen aus der Recherche gegenübergestellt. Grundlegende Definitionen, die für das Verfahren erfüllt sein müssen angegeben und eventuelle Varianten der Methode, in sofern sinnvoll, festgelegt.

Im Kapitel 14 Seite 147 Enthält die grob Spezifikationen, die für die eine softwaretechnische Umsetzung relevanten Beschreibungen.

Mit der Schlußfolgerung im Kapitel 15 155 endet die Arbeit

2 Grundlagen

In den folgenden Abschnitten werden Begriffe und Methoden kurz vorgestellt und beschrieben, die im Rahmen dieser Arbeit verwendet werden und nicht tiefer behandelt wurden. Für ein tiefer greifendes Verständnis wird an den entscheidenden Punkten auf entsprechende Literatur hingewiesen. Im Haupttext wird dann auf diese Abschnitte verwiesen, wenn diese Begriffe oder Methoden verwendet werden.

2.1 Ausgleichsrechnung

Die Ausgleichung ist ein mathematisches Verfahren, welches mit folgendem Grundprinzip zu erklären ist. Es beruht auf der Schätzung unbekannter Parameter mit denen Beobachtungen beschrieben werden können. Der einfachste Fall besteht darin, die Messdaten mit einer Kurve zu beschreiben und die Messabweichungen (Verbesserungen, Residuen) mit diesem Verfahren auszugleichen und die Parameter so zu bestimmen, dass die Messkurve und die theoretische Kurve optimal übereinstimmen und die Quadratsumme der Messabweichungen zur ausgeglichenen Kurve ein Minimum ergeben.

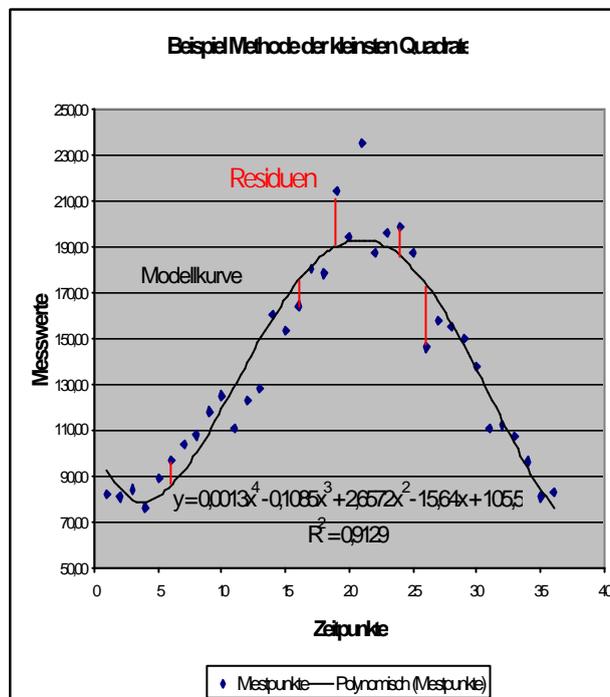


Abbildung 1 Beispiel Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate

Erste grundlegende Überlegungen sind auf Carl Friedrich Gauß zurückzuführen, der 1794 die Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate entwickelte. Die erste praktische Anwendung ist auf die Bestimmung der elliptischen

Bahn des Planeten Ceres zurückzuführen. Dieser wurde über eine kurze Zeitspanne vom italienischen Astronom Joseph Piazzi 1801 beobachtet. Mit dem Rechenverfahren von Gauß sollte die Bahn so bestimmt werden, dass der Planet später wiedergefunden werden konnte. Im Jahr 1806 wurde die Methode der kleinsten Quadrate erstmals vom französischen Mathematiker Legendre, der dieses Verfahren unabhängig von Gauß etwas später entwickelte und ihm die Bezeichnung „Methode der kleinsten Quadrate“ gab, veröffentlicht. Erst 1829 gelang es Gauß, eine Begründung für den Erfolg seines Verfahrens zu liefern. Die genaue Aussage ist als der Gauß-Markov-Satz bekannt.

„Der kleinste Quadrate Schätzer ist ein minimalvarianter linearer erwartungstreuer Schätzer“

Ursache für die Theorie für dieses Verfahren: jede Messung oder Beobachtung ist mit Fehlern oder Abweichungen versehen und ein wahrer Wert lässt sich aufgrund von Unzugänglichkeiten des Menschen und der Messmethoden nicht bestimmen. Die grundlegende Voraussetzung für die Verwendung dieser Methode besteht darin, dass mehr Messungen/Beobachtungen vorliegen müssen, die für die Bestimmung der Unbekannten notwendig sind. Ziel der Ausgleichung besteht darin, unter Berücksichtigung aller Messungen/Beobachtungen den plausibelsten bzw. wahrscheinlichsten Wert für die Unbekannten und die Genauigkeitsmaße für die auszugleichenden und ausgeglichenen Werte zu erhalten.

Die Haupteinsatzgebiete bewegen sich im Umfeld der Geodäsie, Geoinformationsverarbeitung, Volkswirtschaft und Statistik.

Andere Bezeichnungen: bei Verwendung stochastischer Verfahren trifft die Bezeichnung Regressionsanalyse zu, in der Mathematik und Statistik wird es "Kleinster Quadrat Schätzer" genannt und in der Physik Fitting. Die englische Bezeichnung lautet Least Square Methode. Ein weiterer Begriff für die Methode der kleinsten Quadrate lautet „Gauß-Markov-Modell“.

Je nachdem mit welchem mathematischen Modell ausgeglichen werden soll, unterscheidet man nach folgenden Methoden:

- lassen sich Messungen/Beobachtungen als Funktion von Unbekannten und Konstanten bestimmen.
- sind die Messungen/Beobachtungen unabhängig oder korreliert. Besteht eine Korrelation, ist sie mathematischer oder physikalischer Natur.
- existieren Beziehungen die die Messungen/Beobachtungen und Konstanten beschreiben.

Quellen: (Reissmann 1980), (Jäger/Müller/Saler/Schwäble 2005),
 (Wilhelm Benning 2002), (WIKIPEDIA_01 Ausgleichung),
 (WIKIPEDIA_02 Methode der kleinsten Quadrate),
 (WIKIPEDIA_04 Carl Friedrich Gauß)

2.2 BAND Kodierungsschlüssel

Im Rahmen diese Arbeit wird immer Bezug auf Band, Bänder, Band Nr. genommen. Hierbei handelt es sich dann um die Satellitenbildszenen der 10tägigen Zusammenfassungen von SPOT VEGETATION. Folgender Abbildung sind die Bandnummern den zeitlichen Zusammenfassungen gegenübergestellt.

Bandnummer																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Februar			März			April			Mai			Juni			Juli		
01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21

Bandnummer																	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
August			September			Oktober			November			Dezember			Januar		
01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21	01	11	21

Abbildung 2 Schlüssel für die Bandnummern der Satellitenszenen

2.3 CROP_VGT

Diese Software ermöglicht es dem Anwender, aus den im ZIP Format gepackten Originaldateien im HDF Format, durch Angabe von Eckpunktkoordinaten, eine Region aus den SPOT VEGETATION Daten herauszufiltern. Verschiedene Formate, Kanäle und Informationen aus der STATUS Map können ausgewählt werden. Weiterhin besteht bei diesem Programm die Möglichkeit, für Wolken einen Wert festzulegen. Diese werden aus den von Free Vegetation mitgelieferten Status Maps ermittelt und in den NDVI Maps mit dem vorgegebenen Wert markiert. Für die vorliegende Arbeit wurde der Wert 255 für die Wolkenmaskierung verwendet.

Quelle: (WWW_06 CROP_VGT)

2.4 GEO-Database

Geo-Database steht für eine Erweiterung für Datenbanken, mit denen es ermöglicht wird, raumbezogene Daten in Form von geografischen Objekten wie Punkte, Linie, Polygone und Flächen inklusive zusätzlicher Sachdaten wie Namen, Zustände, demografische Daten zu verarbeiten, verwalten und so genannte räumliche Abfragen und Analysen durchzuführen. Zugriff und Administration der Daten geschieht mit einer SQL Erweiterung, die SpatialSQL genannt wird. Diese ist vom Open Geospatial Consortium, Inc. (OGC) einem internationalen Konsortium für Standards im Umfeld von Geoinformationsverarbeitung genormt. Alle technischen Beschreibungen können von deren Homepage bezogen werden.

(WWW_10 OGC), (Wolfgang Liebig/Rolf-Dieter Mummentey 2002),
(Bill/Zehner 2001)

2.5 HDF (Hierarchical Data Format)

Hierbei handelt es sich um ein Datenformat, um umfangreiche Daten wie z.B. Messdaten, Satellitendaten in einem betriebssystemunabhängigen Format zu verwalten. Entwickelt wurde es vom National Center for Supercomputing Applications <http://www.ncsa.uiuc.edu>. Die wichtigsten Merkmale sind, dass unterschiedliche Daten inklusive ihren Beschreibungen (Annotationen) wie z.B. Einheiten, mehrdimensionale Arrays sowie Text und Binärdaten gruppenweise verarbeitet werden können. Über die HDF Homepage können Tools und alle technische Beschreibungen bezogen werden.

Quelle: (WWW_11 HDF)

2.6 HVO (Haute Vallé de l'Ouémé)

Einzugsgebiet der Projektgruppe 3 von IMPETUS. Siehe IMPETUS

Siehe Abbildung 6 Übersichtskarte Benin Seite 24

2.7 IMPETUS

Integratives Management-Projekt für einen effizienten und tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika

Hierbei handelt es sich um ein von mehreren Institutionen geleitetes Projekt, welches sich mit dem hydrologischen Kreislauf zweier Flusseinzugsgebiete in Benin (Ouémé-Fluss) (HVO) und Marokko (Wadi Drâa im Südosten) in Westafrika beschäftigt. Gegliedert in mehrere Projektbereiche werden in interdisziplinären Ansätzen unterschiedliche Einflüsse wie:

- atmosphärische Variabilität,
- kontinentale Hydrosphäre,
- Landnutzung und Landbedeckung,

- sozio-ökonomischem,
- sowie der kulturellen und medizinischen Gegebenheiten

und deren Zusammenwirkung auf die Verfügbarkeit von Trinkwasser untersucht. Umfangreiches Infomaterial und Beschreibung der Aufgaben der Projektbereiche können über die IMPETUS Web-Seite bezogen werden.

Quelle: (WWW_07: IMPETUS)

2.8 Klassifizierungsverfahren

Klassifizierungsverfahren lassen sich in folgende Hauptgruppen gliedern, die davon abhängen, ob Daten zur Verfügung stehen, die mit den spektralen Signaturen der Satellitensensoren gegenübergestellt werden können, oder keine Referenzdaten vorhanden sind. Diese Referenzdaten werden sogenannte Trainingsgebiete genannt, die repräsentativ für eine zu ermittelnde Klasse stehen und eine Vegetationsform beschreiben. Daher unterscheidet man in die unüberwachte Klassifizierung wenn keine Vergleichsdaten, überwachte Klassifizierungen mit Vergleichsdaten und hierarchische Klassifikation. Die hierarchische Klassifikation wird auch unter den Bezeichnungen binärer Entscheidungsbaum oder Decision Tree genannt. Das Prinzip besteht darin, Landbedeckungsklassen anhand von Entscheidungskriterien, die von phänologischen Maßen abgeleitet werden, zu definieren. Ausgehend von einem Wurzelement (Root) werden über Knoten Entscheidungsregeln definiert, die entweder eine Klasse definieren oder in weitere Knoten enden. Siehe Abbildung auf nachfolgender Seite.

Quellen: (Hildebrandt, G. 1996), (Albertz, Jörg 2001)

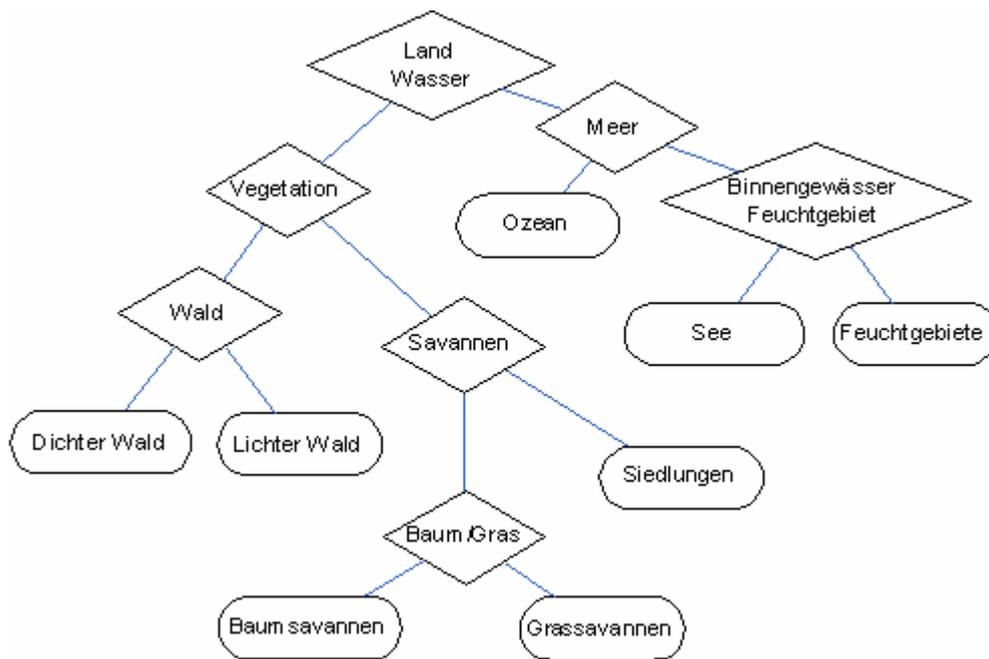


Abbildung 3 Schema binär Entscheidungsbaum

2.9 Korrelation/Korrelationskoeffizient/Regressionsanalyse

Mit der Korrelationsanalyse und dem Korrelationskoeffizienten als Ergebnis ermittelt man, ob Wertepaare eine Beziehung haben. Der resultierende Korrelationskoeffizient (R) ist eine dimensionslose Zahl und beschreibt das Maß der Abhängigkeit. Der Wertebereich beträgt -1 bis $+1$ und beschreibt eine negative bzw. positive Korrelation. Zur Untersuchung einer linearen Abhängigkeit verwendet man in der Regel den Korrelationskoeffizienten von Pearson. Die Korrelation beschreibt nur eine Größe der Abhängigkeit der Daten, gibt aber keine Auskunft darüber welche Abhängigkeiten oder Ursache-Wirkungs-Beziehungen dazu führen. Werte nahe 0 besagen, die Werte sind unkorreliert, Werte nahe ± 1 besagen eine funktionelle Beziehung. Ist zu vermuten, dass keine lineare Abhängigkeit vorliegt, bedient man sich der Regressionsanalyse zur Bestimmung des Bestimmtheitsmaßes (R^2), welches das Quadrat des Korrelationskoeffizienten (R) ist. In diesem Fall untersucht man die statistische Abhängigkeit (Ursache-Wirkungs-Beziehungen) mittels einer Regressionsfunktion. Verwendet

werden häufig polynomische, potenzielle und exponentielle Funktionen, aber auch aufgaben-/problemspezifische Funktionen lassen sich verwenden. Die Güte der Regressionsanalyse wird durch das Bestimmtheitsmaß beschrieben. Bestimmt wird dieses Maß auf der Grundlage, dass die Quadratsumme der Residuen ein Minimum ergibt (siehe Grundlagen Ausgleichung Kpitel 2.1). Die Residuen sind die Abweichung der Werte zur Regressionsfunktion. Der Wertebereich des Bestimmtheitsmaßes (R^2) beträgt $0 < R^2 < 1$. Je näher R^2 der 1 kommt, um so größer ist die Abhängigkeit von der Regressionsfunktion, ist $R^2 = 0$ so besteht keine Korrelation.

(Jäger/Müller/Saler/Schwäble 2005), (Wilhelm Benning 2002),
(WIKIPEDIA_05 Korrelation), (WIKIPEDIA_06 Korrelationskoeffizient),
(WIKIPEDIA_07 Regressionsanalyse)

2.10 Konfidenzellipse, (Standardabweichungsellipse, Wahrscheinlichkeitsellipse)

Im Gegensatz zur rein zahlenmäßigen statistischen Überprüfung der Differenzierbarkeit der Trainingsgebiete (Siehe 12 Planung, Erstellung und Auswertung der Trainingsgebiete Seite 85) erhält man bei dieser Auswertung einen guten visuellen Eindruck. Hierbei werden die Werte der Pixel für die einzelnen Vegetationsklassen, die durch die Trainingsgebiete definiert sind, in einem meist 2-dimensionalen Merkmalsraum (X,Y Achse) aufgespannt und als Scatter-, Punktdiagramme dargestellt. Hierbei verwendet man entweder 2 Spektralkanäle oder die NDVI-Werte zweier Zeitpunkte einer Zeitreihe. Mittels diesem statistischen Verfahren lassen sich dann für die Klassen die Ellipsen bestimmen. Je nach verwendeter Software werden feste oder frei wählbare Wahrscheinlichkeitsbereiche (Konfidenzbe-

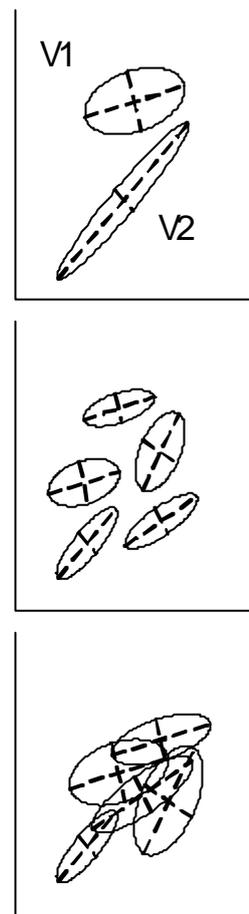


Abbildung 4 Konfidenz-ellipsen

reich) angegeben, z.B. 90%, 95%. Hiermit legt man fest, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Messwerte erfasst wurden. Diese Ellipsen beschreiben dann die Streuung, Korrelation und Differenzierbarkeit.

In der Abbildung 4 rechts schematisch dargestellt oben V1 schwach korreliert, V2 stark korreliert. In der Mitte gute Differenzierbarkeit und unten schlechte aufgrund der Überlappungen, was zu Fehlklassifizierungen führt.

Quellen: (Hildebrandt, G. 1996), (Albertz, Jörg 2001), (Jäger/Müller/Saler/Schwäble 2005), (Wilhelm Benning 2002)

2.11 NDVI Normalized Difference Vegetation Index Index

Der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), der auf Rouse et al. (1974) zurückzuführen ist, zählt zu den Ratio Indizes. Gebildet wird der NDVI aus den beiden Kanälen eines Satellitensensors, der das Signal im Rotspektrum (Red) und Nahinfrarotspektrum (NIR) erfasst. Durch die Bildung des Quotienten aus Differenz und Summe erhält man den dimensionslosen reellen Zahlenwert des NDVI, der sich über einen theoretischen Wertebereich vom -1 bis +1 erstreckt (Formel siehe Gleichung 1 rechts). Zur Reduzierung des Datenvolumens werden NDVI-Daten, in einem 8-Bit Integer Wertebereich (0-255) transformiert, von den Betreibern der Sensoren, z.B. SPOT VEGETATION, angeboten. Der NDVI-Wert 0 steht für Wasser, NDVI-Wert 255 für fehlende Daten z.B. Wolken. Die restlichen Werte 1 bis 254 repräsentieren die Vegetation. Für die Rücktransformation werden die entsprechenden Gleichungen zur Verfügung gestellt.

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

Gleichung 1 Normalized Difference
Vegetation Index (NDVI)

Mit dem Verweis auf (HUETE & JUSTICE 1999) in der Diplomarbeit von Franke, J. (2003) steht der NDVI in der Fernerkundung an bedeutendster Stelle und ist

der am stärksten untersuchte Vegetationsindex. Hervorgehoben wird er als der zurzeit im globalen Maßstab einzige operationell verwendete Vegetationsindex. Die Hauptanwendungsbereiche liegen im Umfeld der Klimaforschung, Vegetationsbeobachtung und deren Veränderung. Zu den weiteren positiven Eigenschaften gehören Beziehungen zu anderen Vegetationsparametern wie z. B. Blattflächenindex, Primärproduktion, Fotosynthesekapazität.

Negativ beeinflusst hingegen wird der NDVI durch Bodenreflexion, atmosphärische Einflüsse, Beleuchtungsverhältnisse und Blickwinkel. Insbesondere wird auf die Notwendigkeit einer Atmosphärenkorrektur hingewiesen.

Quellen: (Albertz 2001), (Hildebrandt, G. 1996), (Franke, J. 2003)

2.12 SPOT VGT-D10 BDC

Diese Daten basieren auf einer bidirektionalen Reflexionsverteilungsfunktion. Die Pixelhelligkeit ist die Reflexion des Bodenbereichs. Pixel für Wasser sind auf null gesetzt. Die ermittelten Wolken können über die mitgelieferte Status Map ausgelesen werden. Erstellt werden die Bi Directional Composites (BDC) BDC-Daten aus den Rohdaten über folgende Prozesse:

- verbesserte Wolkenerkennung, einschließlich Kennzeichnung der Wolken Schatten und der dünnen Wolken. (Lissens & al 2001)
- atmosphärenkorrigiert mit SMAC (Rahman & Dedieu 1994) und basierend auf einer Aerosollast Einschätzung abgeleiteten Verhältnis zwischen den Kanälen BO und MIR (Maisongrande & al 2001)
- Normierung der Reflexionswerte durch das Berechnen der bidirectional reflectance distribution function (BRDF) BRDF-Werte (Duchemin & al 2001 & 2002)
- Bildung der 10tägigen Zusammenfassungen durch die Mittelwertbildung der BRDF-standardisierten wolkenfreien Reflexionswerte (Duchemin & al 2001 & 2002).

Die einzelnen Verfahren können in den entsprechenden Quellen nachgelesen werden (WWW _13 Spot Infos). Der Unterschied zu den nicht korrigierten MVC (Maximum Value Composite) Daten und der Relation der NDVI-Werten zu den tatsächlichen Reflexionswerten ist ausführlich im FAQ (Frequently Asked Questions) von SPOT VEGETATION beschrieben (WWW _12 Spot FAQ, Forum, Katalog).

2.13 SPOT VEGETATION / Free Vegetation

Das SPOT VEGETATION Programm ist eine Gemeinschaftsarbeit von Frankreich, der Europäischen Kommission, Belgien, Italien und Schweden und startete am 24. März 1998 mit SPOT 4. Am 4. Mai 2002 wurde SPOT 5 in Betrieb genommen. Die Erfassung und Bereitstellung der Oberflächenmonitoringdaten erfolgt täglich global mit einer mittleren räumlichen Auflösung von 1km^2 . Ziel der Mission ist es, den Benutzern der Daten Zugang zu folgenden Ergebnissen der Mission zu bieten:

- robuste und einfache multitemporale Maße der Solarreflexionsbereiche der Strahlungseigenschaften der Landoberfläche
- eine ununterbrochene und globale Überwachung der kontinentalen Bereiche entweder durch den zentralisierten archivierenden und verarbeitenden Service oder für die lokalen oder regionalen Studien, das Verwenden der lokalen empfangenden Stationen
- Langzeitbeobachtungen mit genauer Kalibrierung und Positionierung sowie eine durchgängige Übereinstimmung des Systems bei Erneuerungen und beim Einsatz neuer Satelliten
- multiscalare Annäherung der Oberflächenparameter und Prozesse mit den simultan erworbenen Maßen durch das SPOT VEGETATION Instrument und der hohen räumlichen Auflösung der SPOT Serien.

Gegliedert sind diese Daten in VGT-P, VGT-S und VGT-D Produkte, die in verschiedenen zeitlichen Zusammenstellungen (täglich, 10täglich) und räumlichen

Auflösungen (1, 4, 8 km²) über das Internetportal "Free VEGETATION Products" bereitgestellt werden.

Zu den wichtigsten Einsatzgebieten der Daten gehören Fernerkundungsanalysen in den Bereichen:

- Beobachtung und Prognosen der landwirtschaftlichen Produktion und deren Auswirkung durch z.B. Trockenzeiten, Überflutungen und Krankheiten
- Beobachtung von Waldgebieten und deren Veränderung, globale Beobachtungen zum Verständnis der Wechselwirkungen der Biosphäre mit Atmosphäre und Klima
- Landnutzung und Veränderungsuntersuchungen.

Die wichtigsten Informationen zum SPOT VEGETATION Programm findet man auf folgenden Webseiten:

- Technische Beschreibungen und Hintergrundinformationen zum Programm (WWW _13 Spot Infos)
- FAQ, Forum, Katalog usw. (WWW _12 Spot FAQ, Forum, Katalog)
- Download der Daten "Free VEGETATION Products". (WWW _01 Spot Free Vegetation Products)

3 Untersuchungsgebiet Benin Westafrika



Abbildung 5 Quelle ESRI Datenpaket 2002. Oben Lage Benin in Afrika

Geographisch liegt Benin mit einer Gesamtfläche von 112.622 qkm am Atlantischen Ozean am Golf von Guinea zwischen 6 und 12 Grad nördlicher Breite und 1 und 4 Grad östlicher Länge. Zu den Nachbarstaaten gehören im Norden Burkina Faso und Niger, im Osten Nigeria, in Westen Togo. Im Süden der Küstenstreifen mit



121km. Abbildung 5 Seite 19 oben zeigt die Lage von Benin in Afrika. Die vertikale Linie ist der Nullmeridian, die rote Linie der Äquator. Die Abbildung unten rechts zeigt die unmittelbaren Nachbarländer von Benin.

In der folgenden Tabelle werden einige wichtige Daten in tabellarischer Form aufgeführt. Für weitere Details wird am Ende der Tabelle auf vertiefende Literatur verwiesen.

Ländername	Republik Benin (République du Bénin)
Staats-, Regierungsform	Seit 1991 zählt Benin zu den demokratischen Staaten und wird seit dem 1.4.1991 durch eine Präsidentialdemokratie mit einem Einkammerparlament regiert.
Hauptstädte	Die Hauptstädte liegen im Süden von Benin. Politisch Porto Nova, wirtschaftlich und Regierungssitz Cotonou.
Wirtschaftliche Kernzone	Im Süden die Hafenstadt Cotonou
Bevölkerung	6,9 Millionen Stand 2004 Zur Bevölkerung gehören ca. 40 verschiedene Ethnien, die mehreren großen Sprachgruppen angehören. Neben der Amtssprache Französisch werden über 40 Sprachen gesprochen.
Bevölkerungswachstum	Das jährliche Bevölkerungswachstum beträgt ca. 2,9%.

Bevölkerungsverteilung	<p>21 Einwohner / km² im Norden</p> <p>260 Einwohner / km² im Süden</p>
Bevölkerungsverteilung	<p>Die Bevölkerungsverteilung konzentriert sich auf die Ballungszentren Cotonou, Porto Nova und Abomey sowie auf die Departements in der Landesmitte, wo sich auch das primäre Untersuchungsgebiet der Projektgruppe 3 von IMPETUS befindet. Das Haute Vallée de l'Queme (HVO).</p>
Wirtschaft	<p>Benin zählt mit zu den ärmsten Ländern der Welt und steht auf Platz 162 von insgesamt 177 erfassten Ländern im von der United Nations Development Programm (UNDP) ermittelten Indikators der menschlichen Entwicklung. Das pro Kopf Einkommen liegt bei unter 500 Euro pro Jahr. Das Wirtschaftswachstum für 2004 wurden 2,9% ermittelt.</p> <p>Hauptwirtschaftssektoren sind die Landwirtschaft und der Handel mit den Nachbarstaaten. In der Landwirtschaft sind ca. 50% der Erwerbstätigen beschäftigt.</p>
Landwirtschaft	<p>Vorwiegende Subsistenzwirtschaft. Hauptprodukte sind Mais, Sorghum, Maniok, Yams, Bohnen und Reis. Die Erzeugnisse werden aber je nach Region zwischen 50-80% für den Eigenbedarf verwendet.</p>
Import / Export	<p>Benin zählt zur Kategorie der Transitländer. Ca. 80% der importierten Güter werden über den Landweg in Nachbarstaaten wieder exportiert. Dies spiegelt sich in</p>

einer defizienten Handelsbilanz wieder.

Wichtigstes Exportgut ist die Baumwolle als Roh- oder vorverarbeitetes Produkt. Erwirtschaftet werden damit ca. 70-80% des Exportgewinns. Dies führte zu einer starken Abhängigkeit vom internationalen Baumwollmarkt und zählt zu den strukturellen Schwächen von Benin. Danach folgen Erzeugnisse wie Palmöl und Erdnüsse. Diese Produkte zählen zu den primären Cash Crops, danach folgen Kakao, Rohöl und zunehmend Cashew. Als Dauerkulturen werden zunehmend Cashew, Orangen und Ananas untergeordnet Bananen, Zitrusfrüchte und Mango angebaut, vorwiegend um die lokalen Märkte zu beliefern.

Zu den Importgütern gehören Nahrungsmittel, Genussmittel, Tabak, petrochemische Produkte, Fertigwaren, Maschinen, Düngemittel und Baumwollgarn.

Hauptanbauregionen

Baumwolle in den nördlichen Departements Atacora, Borgou. Ölpalmerzeugnisse im Süden von Benin.

Klima

Gleichmäßige Temperatur im Jahresdurchschnitt von 23-32° im langjährigen Mittel. Im Norden eine Regenzeit Juli-September, Kandi: 1000mm. Im Süden zwei Regenzeiten Juni und Oktober, Cotonou: 1310mm (Judex, M. 2003)

Im Süden bis 8° nördl. Breite zwei Regenzeiten Guinea Zone. Mittelbenin 8°-1° nördl. Breite in der Sudan Guinea Zone eine Regenzeit ca. 1200mm. Nördlich 11° Grad in der Sahel Sudan Zone eine Regenzeit. Angaben beziehen sich auf Schöttker, B. (2002) bioklimati-

	sche Zonierung von AUREVILLE (1959, zit. In Sturm 1993:2)
Karten	Siehe Abbildung 6 Übersichtskarte Benin Seite 24 Abbildung 7 Karte Benin West Afrika Vegetationszonen – Niederschlagszonen - HVO Seite 25

Quellen:

Bevölkerung, Wirtschaft und Agrarpolitik, Klima und Vegetation, Landnutzung, Geologie und Böden	Bethke, M. (1999) Judex, M. (2003) Schöttker, B. (2002)
Bilaterale Beziehungen, Außenpolitik, Innenpolitik, Wirtschaft, Wirtschaftsdatenblatt, Kultur /Bildungspolitik, Geschichte	Homepage des Auswärtigen Amts Deutschland: http://www.auswaertiges-amt.de/www/de/laenderinfos/laender/laender_ausgabe.html?land_id=21&type_id=14

3.1 Übersichtskarte Benin

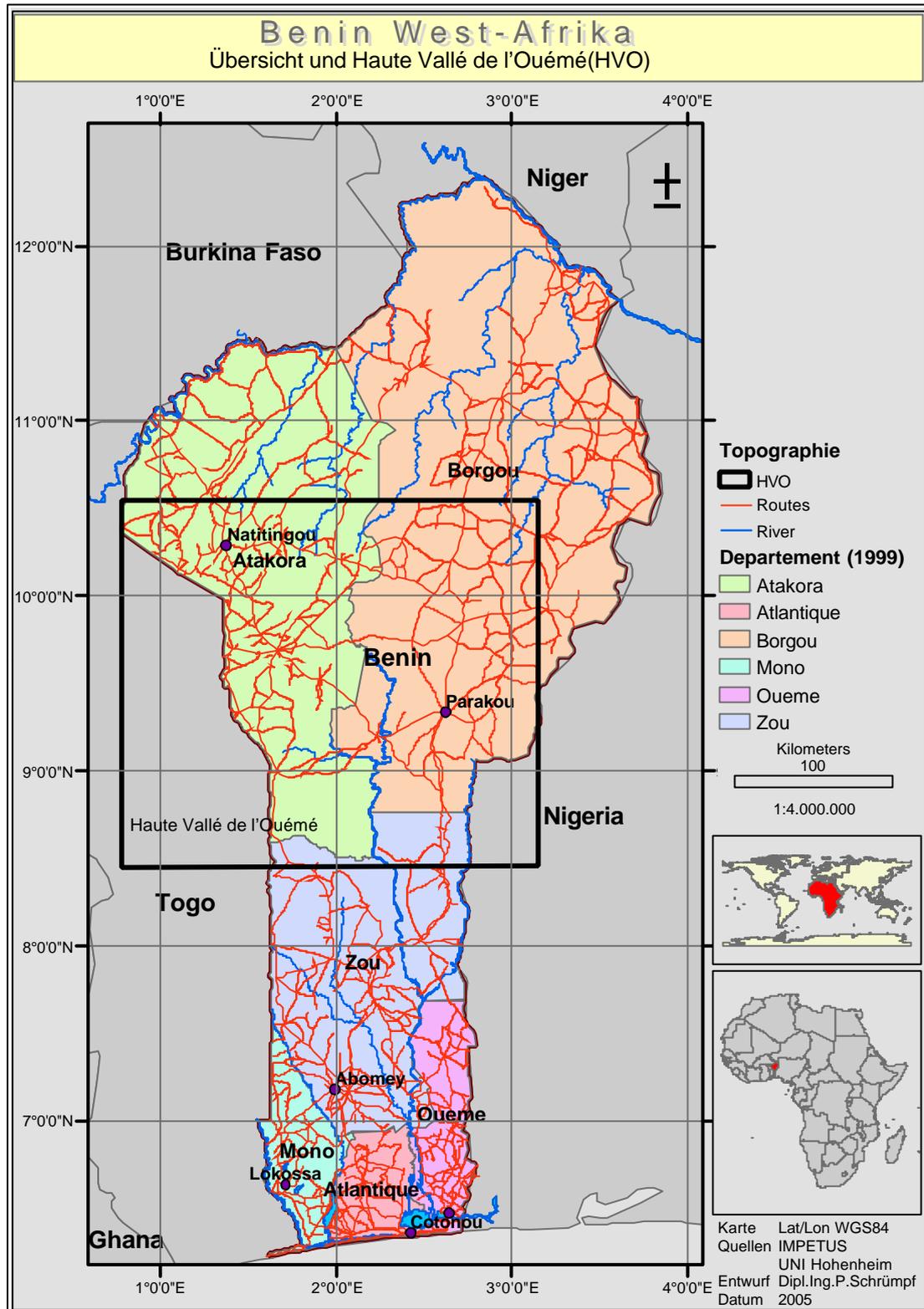


Abbildung 6 Übersichtskarte Benin

3.2 Karte Benin Vegetationszonen – Niederschlagszonen – HVO

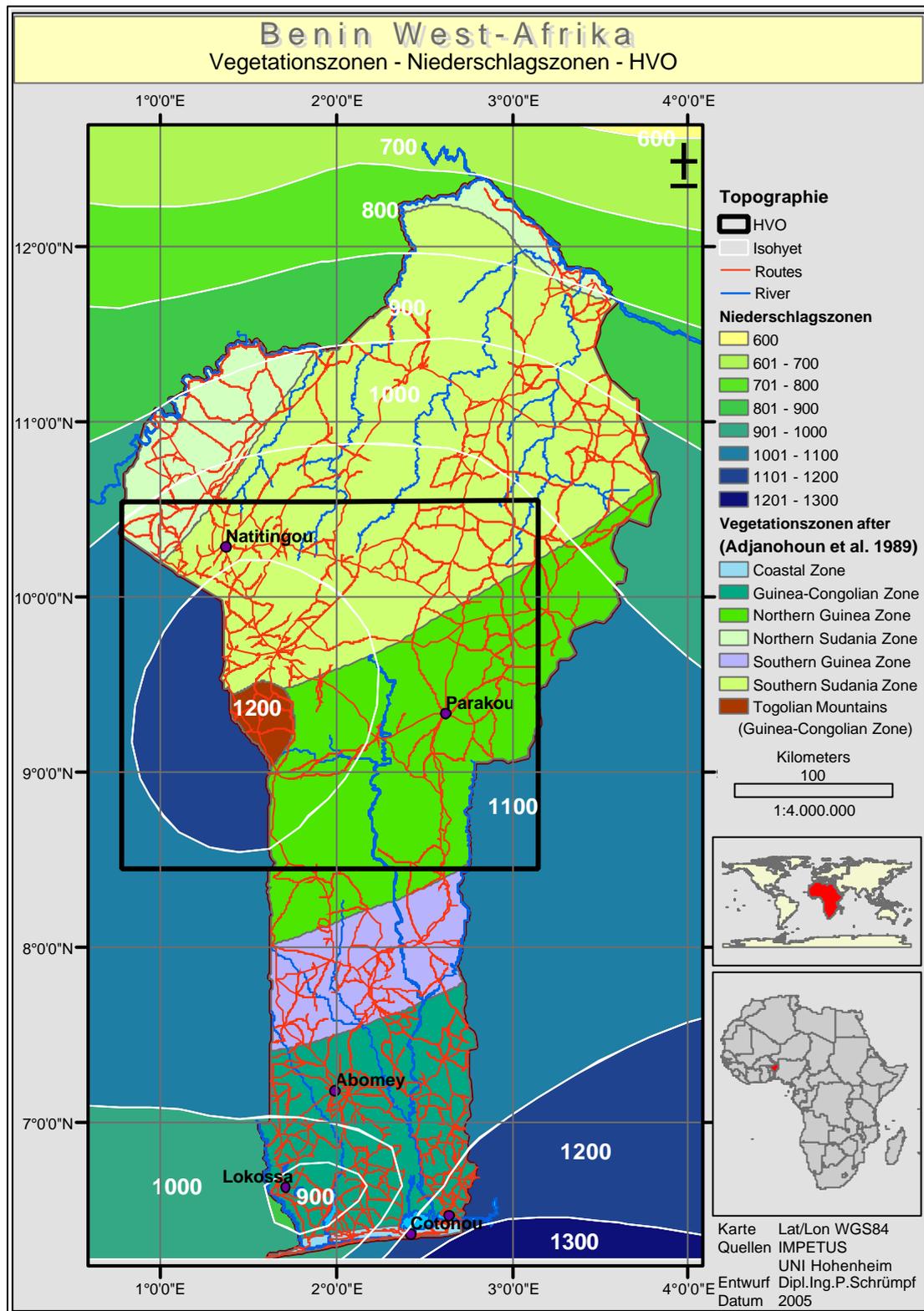


Abbildung 7 Karte Benin West Afrika Vegetationszonen – Niederschlagszonen - HVO

4 Voruntersuchung

4.1 Einleitung

Grundlagen für die Entwicklung des Algorithmus bilden die inneren und äußeren Faktoren des Untersuchungsgebietes Benin in Westafrika. Bereits durchgeführte Untersuchungen mittels Fernerkundungsdaten und vor Ort erfassten Daten, beschäftigten sich mit dem Thema Klassifikation, Veränderung der Landbedeckung/ -nutzung und auf welche Faktoren diese zurückzuführen sind. Diese ergaben eine Reihe von Erkenntnissen über die Dynamik der Vegetation im jährlichen Zyklus. Früh wurde die Schwierigkeit, diese Region mittels Fernerkundungsdaten zu klassifizieren, als ein Kernproblem hervorgehoben. Insbesondere die hohe Dynamik der Vegetation im jährlichen Vegetationszyklus, sowie die Problematik, Bestandspläne der Landbedeckung/ -nutzung und Veränderungsanalysen anzufertigen.

Innere Faktoren beziehen sich auf die Vegetationszonen, Niederschlagszonen, Bevölkerungsverteilung, -zuwachs und die Landnutzung. Insbesondere, wie die Landwirtschaft in dieser Region geführt wird. Äußere Faktoren beziehen sich auf das Klima, vorwiegend auf den Niederschlag und dessen jährliche Variabilität, um Auswirkungen auf die Vegetation und Erkenntnis über Veränderung des Verlaufs im jährlichen Zyklus zu erhalten. Wichtig ist hierbei, wie sich dies auf die NDVI-Werte auswirkt.

Die Ergebnisse der Voruntersuchung dienen als Basis für die Spezifikation der Punkte im Kapitel 5 Ausgangssituation, Ziele, Anforderungen und Untersuchungen Seite 39 und ob sich schon ein erster Ansatz, für den zu entwickelnden Algorithmus, finden lässt. Darüber hinaus dienen die Informationen der Planung des Feldaufenthalts in Benin. Wichtig waren hierbei nur die Fakten über Phänomene und eventuell abzuleitende Parameter, die die Komplexität einer jährlichen detaillierten Klassifikation auf regionaler Ebene begründen, um aussagekräftige Ergebnisse für Untersuchungen der Veränderungen der Landbedeckung und Landnutzung zu erhalten.

4.2 Kernproblem einer jährlichen Klassifikation

Die Basis für diese Untersuchungen sind die Arbeiten von (Bethke, M. 1999), (Schöttker, B. 2002), (Judex, M. 2003), (Richters, J. 2004) und (Röhrig, J. et al. 2004). Diese wurden von der Fachabteilung GIS/Fernerkundung des Geographischen Instituts der Universität Bonn zur Verfügung gestellt bzw. konnten von deren Homepage (WWW_15.rsr.uni-bonn) bezogen werden.

Anhand dieser Arbeiten und einer ersten Recherche über das Internet werden Ansätze ermittelt, mit welchen Verfahren eine jährliche Klassifikation der Landbedeckung mittels Fernerkundungsdaten, auf regionaler Ebene, erfolgen kann. Aus den Inhalten werden nur die wichtigsten Fakten zusammengestellt, die für weitere Untersuchungen herangezogen werden. Bei sehr konkreten Aussagen, die sich auf andere Autoren beziehen, werden die Quellen mit angegeben.

Die Grundlagen für die Arbeit von Bethke, M. (1999) war ein Ausschnitt der International Geosphere Biosphere Programme (IGBP) Global Landcover Map (WWW_03.IGBP). Das Untersuchungsgebiet in Westafrika erstreckte sich im Ganzen über die Länder Ghana, Togo und Benin und teilweise Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Niger und Nigeria. In diesem Ausschnitt waren 12 der 17 Klassen der IGBP-Karte vertreten. Ein Vergleich mit historischen Daten zeigte eine relative grobe Klasseneinteilung und dass einige Klassen aufgrund ihrer geringen Ausdehnung vernachlässigt werden konnten. Regenwald besteht nur noch aus Mosaiken und Feuchtgebiete sind auffällig groß in ihrer Ausdehnung. Geklärt werden sollte, ob die IGBP-Karte für regionale Aufgaben, im Umfeld Klima und Umweltbeobachtungen, detailliert genug ist, durch die Regionalisierung mehr Klassen abgeleitet werden können und ob eine bessere räumliche Auflösung erreicht wird. Weiterhin sollte durch die Erstellung zweier Karten 1992/1993 und 1995/1996 ermittelt werden, ob und wie Veränderungen der Landbedeckung stattgefunden haben. Primäre Ursache hierfür wird auf Änderungen in der Landnutzung, bedingt durch das hohe Bevölkerungswachstum und der daraus resultierenden Ausdehnung landwirtschaftlicher Flächen, vermutet.

Die regionalisierte Landbedeckungskarte für den Zeitraum 1992/93 wurde mithilfe einer ISODATA Klassifikation erstellt. Hierfür wurden die gleichen Daten wie für die Erstellung der IGBP Global Landcover Map verwendet, April 1992 – März 1993 10-Tages-Maximum-Komposites NOAA-NDVI-LAC Daten. Das Resultat mit 12-14 Cluster, welches sich aus verschiedenen Berechnungen ergab, wurde für weitere Bearbeitungen verwendet. Die Zusammenfassung der Cluster und abschließende Benennung der Klassen erfolgte durch statistische Auswertungen und Vergleich mit den Ausschnitten der IGBP Global Landcover Map, einer überarbeiteten Seasonal Land Cover Regions Map (WWW _03 IGBP) und der vom Remote Sensing Applications Unit der Universität Accra Ghana erstellten Landnutzungskarte von Ghana. Bei der überarbeiteten Seasonal Land Cover Regions Map wurden für die Auswertung Regionen mit abweichendem Reflexionsmuster aber gleicher Landbedeckung zusammengefasst.

Die zweite Landbedeckungskarte für 1995/1996, die auf der gleichen Datengrundlage wie zuvor über den Zeitraum Februar 1995 bis Januar 1996 der 10-Tages-Maximum-Komposites basieren, wurde mittels einer überwachten Klassifikation nach Maximum Likelihood erstellt. Hierfür wurde aus der Klassifizierung der ersten Karte eine Vektorisierung durchgeführt. Die so entstandenen Polygone mit ihrer Klassenzugehörigkeit dienten dann als Grundlage für die Erstellung von Trainingsgebieten, die für die Maximum Likelihood Klassifikation verwendet wurden. Mit diesen wurde zusätzlich die 1992/93 Karte mit Maximum Likelihood klassifiziert.

Die Unterschiede der regionalisierten Landbedeckungskarte und der zweiten Bestimmung mittels der überwachten Klassifizierung wurde aufgrund ihrer geringen Abweichungen für signifikant erklärt. Im Vergleich der regionalisierten Karte 1992/93 und der 1995/96 Karte wurden jedoch erhebliche Abweichungen in der räumlichen Verteilung der Klassen festgestellt. In Kapitel 5.3.3, Seite 82 wird dann die Aussage getroffen, dass diese gravierenden Veränderungen nicht nur auf Änderung der Landnutzung zurückzuführen sind und dass andere Faktoren Einfluss auf die Ergebnisse haben. Durch einen Vergleich mit den Niederschlagsmengen in den Zeiträumen wurde die Sensibilität der NDVI-Werte ge-

genüber der Niederschlagsmenge und der Zusammenhang zu den Unterschieden in der räumlichen Veränderung der Klassen festgestellt. Als Fazit wird festgehalten, dass mittels dieses Verfahrens keine Aussagen über Veränderungen der Landbedeckung / -nutzung, aufgrund des dominierenden Einflusses des Niederschlags, gemacht werden können.

Aus den abschließenden Kapiteln 6 Diskussion und 7 Schluss filterten sich noch einige relevante Fakten, die sich auf andere Autoren beziehen und von der Autorin Bethke selbst festgelegt wurden.

Die für diese Arbeit relevanten Fakten werden im Folgenden zusammengefasst aufgeführt. Wird von der Autorin (Bethke) Bezug auf fremde Arbeiten genommen, werden die Quelle mit angegeben. Diese Angaben beziehen sich auf die Schwierigkeit der Ableitung der regionalisierten Landbedeckungskarte. Da für diese Arbeit Satellitendaten mit der gleichen räumlichen Auflösung verwendet werden und das Untersuchungsgebiet in dieser Region liegt, weisen die folgenden Punkte auf Schwierigkeiten, mit denen zu rechnen ist.

Die von Loveland et al. (1999) ausgesagte Objektivität und Wiederholbarkeit der Methode zur Erstellung der IGBP Global Landcover Map wird von der Autorin in Zweifel gestellt. Aus Scepan (1999) entnimmt die Autorin Ursachen, die zu Fehlern der Klassenzuordnung bei der Ableitung der IGBP Global Landcover Map führten. Spektral ähnliche Gebiete wurden durch Zusatzinformationen in Ackerbaugelände und natürliche/seminatürliche Vegetation aufgeteilt. Grassland wurde häufig mit Cropland verwechselt, Cropland/Natural Vegetation Mosaic Klasse mit Evergreen Broadleaf Forest und Cropland.

Laut Reenberg, Rasmussen (1990) wird die Ableitung landwirtschaftlicher Flächen aus Fernerkundungsdaten durch die kleinflächige Feldbewirtschaftung in Afrika erschwert. Die Differenzierbarkeit der Landbedeckungstypen lässt sich, aufgrund der groben räumlichen Auflösung, nur anhand allgemeiner Muster bestimmen, komplexe Strukturen hingegen nur unzureichend differenzieren (Estes et al. 1999).

Waldtypen wie Regenwald und alter Sekundärwald sind vom NDVI her kaum zu unterscheiden (Steininger 1996). Eine zeitverzögerte Reaktion des NDVI zum Niederschlag von 1-3 Monaten wird aus Eklundh (1998) entnommen. Eine Korrelation zwischen NDVI und Niederschlag im Sahel, die mit 0.9 angegeben wurde, wurde aus Nicholson et al. (1998) wiedergegeben.

Weiterhin wird auf Arbeiten verwiesen, die sich mit der Problematik der Landbedeckungsermittlung aus Fernerkundungsdaten beschäftigt haben. Bei diesen Studien geht es um Untersuchungen von Parametern, die eine größere Unabhängigkeit der Niederschlagsvariationen aufweisen, um Veränderungen der Landbedeckung in semiariden Gebieten über längere Zeiträume, zu ermitteln. Verwiesen wird auf Nicholson et al. (1998) Untersuchungsgebiet Sahel, Rain-Use-Efficiency Quotient aus Primärproduktion und Niederschlag. NDVI-Werte können in ariden und semiariden Gebieten als Näherung verwendet werden. Geringere Biomasse wird durch ein Sinken des Faktors trotz Niederschlag gedeutet. Eventuell Degradationserscheinungen können dadurch gedeutet werden. Die Neunjahresstudie ergab nur geringe interannuelle Schwankungen, ein langfristiges Absinken wurde nicht festgestellt. Aus Ehrlich und Lambin (1996) einen Vergleich zweier Methoden, um kurzfristige Klimaschwankungen zu verringern, die die Landbedeckungsklassifikationen beeinflussen. A) Quotient aus Oberflächentemperatur zum NDVI, relativ klimaunabhängig, Klassifikationen waren stabiler gegenüber NDVI – Wert basierten. B) mehrjährige Mittelwerte des NDVIs für entsprechende Monate. Interannuelle Effekte konnten eliminiert werden. Änderungen in der Landbedeckung wurden jedoch ausgeglichen.

Nicht ersichtlich ist ob von Ehrlich und Lambin (1996) oder eine Schlussfolgerung der Autorin; in der Region Westafrika ist mit einem beschleunigten Wandel in der Landnutzung aufgrund des hohen Bevölkerungswachstums und der hohen Variabilität des Klimas zu rechnen. Die jährlichen Niederschläge sind zu berücksichtigen, wenn Veränderungen in der Landbedeckung mittels Fernerkundungsdaten ermittelt werden sollen.

Die Diplomarbeiten von Schöttker, B. (2002) und Judex, M. (2003) konzentrieren sich auf das von IMPETUS betreute Untersuchungsgebiet Haute Vallée de L' Quémé (HVO) (siehe Grundlagen Seite 7). Verwendet wurden Satellitendaten von Landsat TM und ETM+ mit einer wesentlich höheren räumlichen Auflösung von 30X30 Meter. Beide Arbeiten beschreiben ausführlich das Untersuchungsgebiet Benin und insbesondere der HVO. Die Arbeit von Schöttker, B. (2002) beschäftigt sich primär mit Methoden zur Bestimmung von Veränderungen der Landbedeckung mittels einer Kombination der Klassifikation Maximum Likelihood und Entscheidungsbaum Klassifikation und Lokalisierung sowie Bestimmung von Veränderungen mittels Change Detection Verfahren. Die Arbeit von Judex konzentriert sich auf den Nachweis, worauf die Veränderungen der Landbedeckung (Vegetation) zurückzuführen sind. Z. B. Bevölkerungswachstum und Infrastruktur. Betrachtet wurden Satellitendaten in Form von Tagesaufnahmen zum Beginn und während der Trockenzeit. Hierdurch sollten negative Einflüsse durch Wolken minimiert werden.

Zusätzliche Themen, die umfassend bei Schöttker, B. (2002) und Judex, M. (2003) betrachtet werden, sind Klima, Geologie und Böden, Vegetation und HVO. Judex geht zusätzlich auf Bevölkerung, Wirtschaft und Agrarpolitik, Landnutzung und Landbesitz ein und Schöttker auf die soziodemographische und wirtschaftliche Situation.

Landwirtschaftlich genutzten Flächen gliedern sich in kleinflächigen Anbau von 0,2 ha – ca. 3 ha in Form von Mono- und Mischkulturen entlang der Pisten (Straßen) und Einzugsgebiete der Siedlungen, in einer Tiefe von einigen Kilometern. Das Prinzip der Landwirtschaft wird als Brandrodungswechselwirtschaft definiert. Bewirtschaftung der Felder ca. 6 Jahre, danach Wechsel zur Brache oder teilweiser Cashewanbau. Diese Sukzessionszeit zur Regenerierung der Bodenfruchtbarkeit wird für den Süden mit 3-8 Jahre und dem Norden bis zu 20 Jahre beschrieben. Ursprüngliche Vegetationsformen findet man nur noch weit entfernt von Siedlungen, insbesondere die der Wälder. Zu den wichtigen Anbauregionen gehören im Norden die Departements Borgou und Atakora Baumwolle und im Süden des Landes Ölpalmen.

Verwendet wurden die Klassifikationsverfahren Maximum Likelihood und Entscheidungsbaum. Beide Arbeiten stützen sich jedoch nicht auf aus zeitlich fortlaufenden NDVI-Daten abgeleitete phänologische Maße, die für die Bestimmung der Klassifizierung und Veränderungen der Landbedeckung verwendet werden, sondern verwenden Kanalkombinationen und Tagesszenen der Satelliten zu unterschiedlichen Zeiten. Festgehalten werden kann für diese Arbeit nur die Methodik und die sich daraus ableitbare Komplexität der Arbeit und der enorme Aufwand, wenn eine jährliche Wiederholbarkeit erfolgen soll. Insbesondere die Ableitung der Klassen anhand der erstellten Trainingsgebiete, aufgrund der zum Teil ähnlichen spektralen Signaturen einzelner Vegetationsformen und Landnutzungen. Die entstehende Inhomogenität soll laut Judex M. (2003) durch viele Trainingsgebiete aufgefangen werden. Für die Untersuchungen standen Judex wesentlich mehr GTP' s über einen längeren Zeitraum zur Verfügung, wodurch die Probleme besser beschrieben werden konnten. Vor allem die Bildung von unterschiedlichen Signaturen für eine Klasse, die durch Mischpixel entsteht, bedingt durch unterschiedliche Vegetationsvorkommen bezogen auf ein Trainingsgebiet, welches eine Ausdehnung von mehr als ein Pixel beinhaltet. Auch wird deutlich die Aussagekräftigkeit der GTPS besprochen, die sich bei mehrjährigen Auswertungen ergibt. Punkte die zu einem Zeitpunkt erfasst wurden und erstellte Trainingsgebiete für diesen Zeitpunkt, können in einem Folgejahr nicht verwendet werden, wenn eine Änderung der Landnutzung, oder der Vegetation erfolgte. Auch wurden saisonale Veränderungen der Niederschläge für Fehlklassifizierungen verantwortlich gemacht.

Die folgenden Projekte verwenden für die Klassifizierungen gänzlich andere Ansätze. Im Gegensatz zur Einzelbildauswertung werden hierbei NDVI-Zeitreihen über ein oder mehrere Jahre verwendet. Die Klassifizierung wird mittels Parameter über den Verlauf der Vegetation eines Jahres, sogenannte phänologische Maße und der Verwendung eines binären Entscheidungsbaumes durchgeführt (hierarchische Klassifizierung mit phänologischen Maßen). Phänologische Maße werden im Kapitel 9 Bestimmung der phänologischen Maße Seite 67 ausführlich besprochen. Deren Bestimmung und welche Parameter für die Klassifizierung

benötigt werden, erfolgt im Rahmen der Datenauswertung und Untersuchung im Kapitel 12 Planung, Erstellung und Auswertung der Trainingsgebiete S. 85

Im Nordwesten Namibias in Westafrika wurde über einen Verlauf von 7 Jahren von Richters, J. (2004). ein automatisiertes Verfahren, zur Ableitung jährlicher Landbedeckungskarten, vorgestellt. Diese Region ist geprägt durch hohe Niederschlagsvariabilität, rapider Landschaftswandel und starke Nutzung der natürlichen Ressourcen. Die Gründe für die Verwendung von phänologischen Maßen und einer Klassifizierung mittels Entscheidungsbaum werden mit dem Scheitern der Klassifikationsverfahren Maximum Likelihood und ISODATA, aufgrund der hohen interanuellen und intersaisonalen Variabilität der Niederschläge, begründet. Verwendet wurden die 10-Tages Maximum value composites (MVC) 1994-2000 des National Oceanic and Atmospheric Administration Advanced Very High Resolution Radiometer (NOAA-AVHRR) mit einer räumlichen Auflösung 1X1km. Der Auswertungsprozess gliedert sich in folgende Schritte:

- Glättung der NDVI-Zeitreihen mit dem Ziel: Minimierung der Schwankungen der NDVI-Werte im Jahresverlauf, Betonung des phänologischen Verlaufs und Reduzierung des Wolkenaufkommens. Verwendet wurde ein gleitender Mittelwertfilter.
- Bestimmung der phänologischen Maße und Klassifizierung mittels eines binären Entscheidungsbaums. Die Referenzparameter (phänologische Maße) der einzelnen Klassen für den Entscheidungsbaum wurden einmal für das Startjahr festgelegt. Die Klassifizierung der Folgejahre wurde mit den gleichen Parametern durchgeführt.

Aus der Untersuchung der Ergebnisse der entstanden Karten wurden folgende Schlüsse gezogen:

- Deutliche Zu- und Abnahmen im Anteil der jeweiligen Klassen.
- In trocknen Jahren deutliche Zunahme der weniger komplexen Vegetationseinheiten Grassland, Open Shrubland und vegetationslosen Oberflächen.

- In regenreichen Jahren eine Ausdehnung der Klassen mit dichter Vegetation.

Klar hervorgehoben wird jedoch, dass diese Veränderungen nicht nur auf Änderungen in der Landnutzung zurückzuführen sind, sondern vielmehr auf Veränderungen der Wachstumsbedingungen beruhen. Generell wurde aber ein Trend zu weniger anspruchsvollen Vegetationen festgestellt.

Auf der Basis der SPOT VEGETATION 10 Tages Maximum Value Composites (MVC) wurde eine phänologische Klassifizierung für das HVO-Gebiet in zentral Benin von Röhrig et al. (2004) durchgeführt. Aufgrund saisonaler, innerjährlicher und langzeitlichen Klimaveränderungen, sowie durch Eingriffe der Bevölkerung, unterliegt diese Region einer starken Vegetationsdynamik und Veränderung. Charakteristische Merkmale der Landbedeckung sind kleinflächige Landwirtschaft und ein mosaikartiger Wechsel zwischen verschiedenen Wald- und Savanntentypen. Verschiedene Länderbedeckungsklassen wie Grassavanne und Waldland oder trockener Laub abwerfender Wald zeigen sehr ähnliche Niveaus von NDVIs während der Wachstumsperiode. Aufgrund des sehr ähnlichen NDVI-Werte sind sie daher nur sehr schwer mit einem NDVI-Bild und Standardklassifikationen, wie z. B. Maximum Likelihood, zu unterscheiden und zu klassifizieren.

Von 13 untersuchten phänologischen Maßen wurde 4 für die Klassifizierung verwendet. Das jährliche Mittel der NDVI-Werte und die über die NDVI-Werte der Trockenzeit ermittelte Soil – Line, waren die entscheidenden Parameter für die Bestimmung der Landbedeckung. (Ausführliche Beschreibung der Parameter siehe Kapitel 9 Bestimmung der phänologischen Maße Seite 67). Nachteilig hervorgehoben wurde, dass eine Übertragung dieser Werte für Klassifizierungen anderer Jahre nicht möglich ist. Begründet wurde dies aufgrund der großen Grenzwerte und der Niederschlagsvariabilität.

Grundlegende Probleme, die die Klassifizierung beeinflussten, wurden auf die starke Wolkenbedeckung, die räumliche und zeitliche Heterogenität der Regi-

on, die zum Teil schlechte Differenzierbarkeit der Klassen und die zu geringe Anzahl an Testgebieten für diese räumliche Auflösung zurückgeführt.

Natürliche und von Menschen beeinflusste Landklassen konnten jedoch erfolgreich mit dem Ansatz unterschieden werden. Das Verfahren mittels einer Zeitserienanalyse wurde als sehr viel versprechend eingestuft. In zukünftigen Feldarbeiten vor Ort sollten weitere Daten für die Erstellung von Trainingsgebieten für die Auswertung und Überprüfung der Klassifizierung erhoben werden. Insbesondere für eine automatisierte Landklassifizierung von gesamt Benin.

Siehe Abbildung 33 Lage und Ergebnis der Spotklassifikation von Röhrig et al. (2004) Seite 97.

4.3 Zusammenfassung

Zusammenfassend ergibt sich aus dieser Voruntersuchung, dass eine jährliche Ableitung von Landbedeckungs-/ Landnutzungskarten mit den hier vorgestellten Verfahren nur unzureichende Ergebnisse liefert. Dies ist primär aufgrund der starken Abhängigkeit vom Niederschlag und der daraus resultierenden Variabilität der NDVI-Werte im Jahresverlauf zurückzuführen. Ein weiterer Faktor, der Klassifizierungen erschwert, ist die zum Teil schwierige Differenzierung einzelner Vegetationsformen. Die Grundlage aller Auswertungen bilden die vor Ort ermittelten Punkte, die für die Erstellung der Trainingsgebiete für die zu bestimmenden Vegetationen benötigt werden. Eine jährliche Überprüfung ist aber aufgrund der Menge, der Größe des Gebietes und der Entfernung zu diesen nicht möglich. Als Klassifizierungsverfahren erbrachte das Verfahren mit phänologischen Maßen und einem binären Entscheidungsbaum die besten Resultate. Jedoch für eine mehrjährige Auswertung müssen zusätzliche Parameter berücksichtigt werden, um die Variabilität im Jahreszyklus auffangen zu können. Ein weiteres Problem, welches nicht vernachlässigt werden kann, ist die zum Teil enorme Bedeckung, teilweise ganzer Landstriche, durch Wolken. Diese Wolkenbedeckung erstreckt sich über bis zu neun 10-Tages Zusammenfassungen der Satellitenbilder, was drei Monaten entspricht. Hierfür gilt es, einen geeigneten Algorithmus aus der Literatur ausfindig zu machen und zu implementieren.

Die Abbildung 8 auf der nächsten Seite zeigt bildlich einen Grobentwurf der Prozesse, Einflussfaktoren und Auswirkungen. Von oben den Ablauf der Verarbeitungsschritte der Rohdaten. In der Mitte, um das „?“, die Einflussfaktoren, die sich auf die NDVI-Werte auswirken. Unten links schematisch dargestellt den NDVI-Verlauf einer Vegetation über zwei Jahre. Das Kurvenbild mit der Überlagerung der zwei Vegetationskurven verdeutlicht das Problem, warum es von einem zum anderen Jahr zu Fehlklassifikationen kommen kann. Leitet man aus diesen Kurven phänologische Maße ab, so ergeben sich auf Grund der Unterschiede der Werte keine eindeutigen Übereinstimmungen mehr, z.B. NDVI-Max und Zeitpunkt von NDVI-Max.

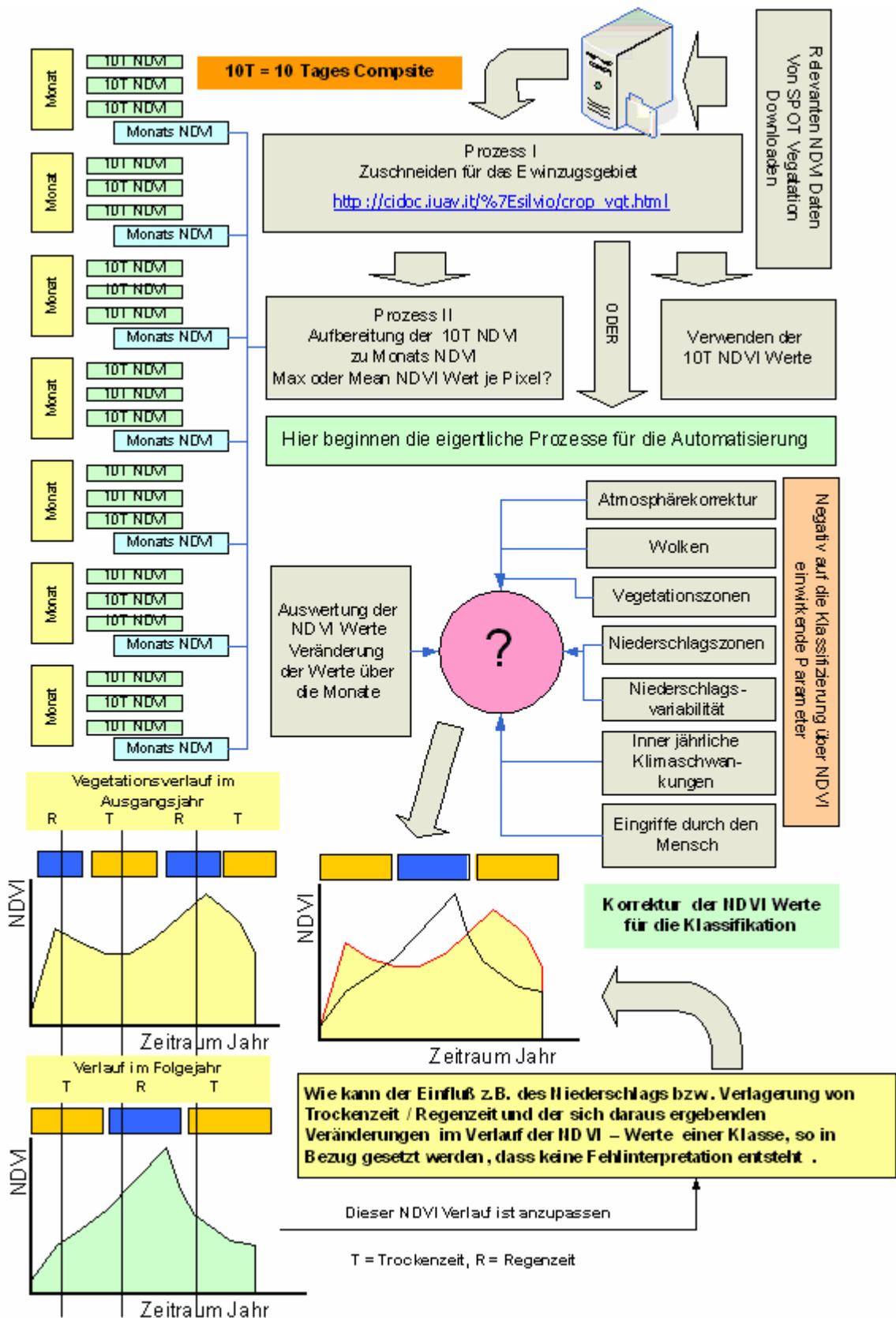


Abbildung 8 Prozessablauf Daten Einflussfaktoren

4.4 Erste Definition für den Algorithmus

Aus diesen Erkenntnissen der Voruntersuchung wäre der optimale Ansatz der, wenn man drei Werte als Basis für die Klassifikation verwenden würde. Diese setzen sich aus zwei jährlichen Beobachtungsreihen, den Satellitendaten und eine einmalig bestimmte Beschreibung der Vegetationen über die phänologischen Maße, die sich aus den NDVI-Werten ableiten lassen. Ein Beobachtungsjahr bleibt unverändert, welches als Ausgangsjahr dient; und das veränderliche Folgejahr. Betrachtet man den Verlauf der NDVI-Werte für ein Pixel über 36 10 Tages Zusammenfassungen, so kann dieser in Form einer Kurve dargestellt und parametrisiert werden. Siehe nachfolgende Abbildung 9:

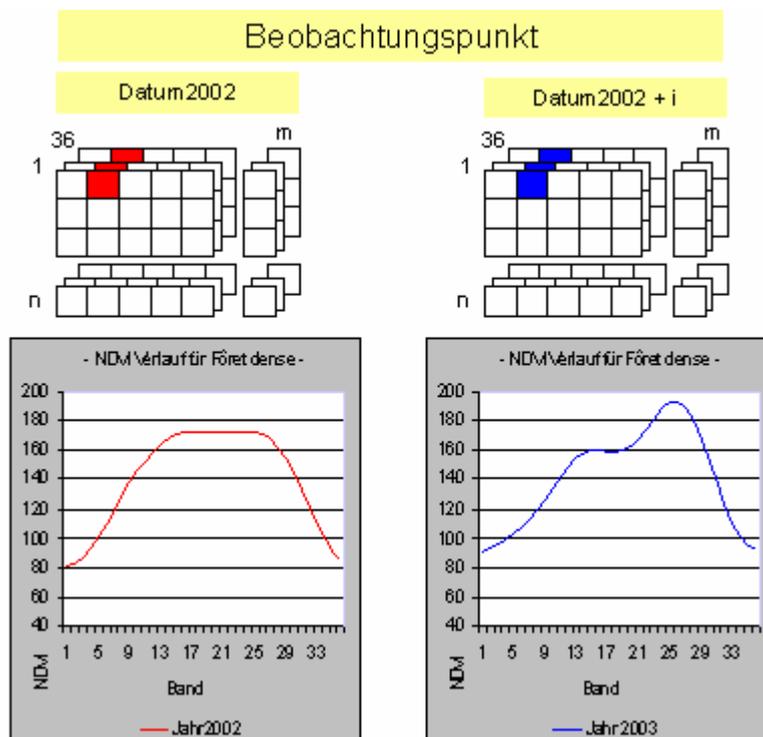


Abbildung 9 NDVI-Verlauf über zwei Jahre

Die sich hieraus ergebende Frage: Wie kann der Verlauf im Folgejahr (Datum 2002+i), dem Verlauf des Ausgangsjahres (Datum 2002) angeglichen werden, um mit den phänologischen Maßen auf die entsprechende Klasse im Ausgangsjahr zu schließen? Diese Kernfrage soll die Ausgangssituation und die Grundlage für weitere Untersuchungen bilden.

5 Ausgangssituation, Ziele, Anforderungen und Untersuchungen

Die sich aus der Voruntersuchung ergebene Komplexität der Erstellung von Landbedeckungskarten, insbesondere für Langzeitstudien über Jahre, zur Überwachung von Veränderungen der Landbedeckung und Landnutzung, stellt die Forderung nach einem wirtschaftlichen Auswertungssystem.

Dies gilt um so mehr, wenn Langzeitstudien für Untersuchungsgebiete auf Landesebene erstellt werden sollen, die eine hohe jährliche Vegetationsvariabilität aufweisen, die auf natürliche Phänomene und menschliche Eingriffe zurückzuführen sind.

Primär ist die Problematik, die sich auf die Erstellung von Trainingsgebieten und der Ableitung von geeigneten phänologischen Maßen ergeben, die für jährliche Klassifizierungen notwendig sind. Da eine jährliche Überprüfung nicht möglich ist, sollen diese nur einmal ausgewertet werden. Die sich ergebenden Klassen und deren phänologischen Maße bilden dann die Referenzwerte für die Klassifizierung aller Jahre.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Verarbeitungsschritte zur Aufbereitung und Auswertung der Daten, sowie deren Untersuchung, kurz erläutert. Diese Punkte dienen als roter Faden für die nächsten Schritte und sollen grundlegende Informationen für die Herleitung des Algorithmus geben. Über eine ausgiebige Recherche soll während der einzelnen Arbeitsblöcke nach Methoden und Ansätzen recherchiert werden, ob Methoden und Verfahren Bestandteile dieser Arbeit werden. Insbesondere ob es Ansätze zu dem hier zugrunde liegenden Gedanken für die Entwicklung gibt und wie diese qualitativ und funktionell eingestuft wurden.

5.1 Vorgaben und Ziele

Für die Erstellung der Klassifizierung sind NDVI-Zeitreihen zu verwenden. Die jährlichen Klassifizierungen sind mit dem Verfahren eines binären Entscheidungsbaums durchzuführen. Dieses Verfahren wird aufgrund der Ergebnisse der Voruntersuchung festgelegt. Die notwendigen Parameter für diesen sind durch die zu ermittelnden phänologischen Maße, einer zu bestimmenden Anzahl von Vegetationsklassen, festzulegen. Die phänologischen Maße, die über die NDVI-Werte im Jahresverlauf der Vegetationsformen definiert werden, sind über zu erstellende Trainingsgebiete zu bestimmen. Die Bestimmung der Trainingsgebiete ist mit den vorhandenen GTPs durchzuführen. Benennung und Gliederung der Klassen sind in Anlehnung an die Projekte aus der Voruntersuchung durchzuführen. Ausgangsbasis für den zu entwickelnden Algorithmus soll auf den Basisansatz der Voruntersuchung basieren. Die primären Parameter, die vom Algorithmus verwendet werden, sind auf drei Datensätze zu reduzieren:

- 1) Die NDVI-Zeitreihe für ein festzulegendes Ausgangsjahr, welches für jede Auswertung verwendet wird,
- 2) eine Liste der phänologischen Maße der Referenzklassen, die einmalig zu bestimmen sind,
- 3) und die NDVI-Zeitreihe für das zu klassifizierende Jahr.

Der zu entwickelnde Algorithmus soll zum einen ein mathematisches Modell beschreiben, mit welchem eine Klassifizierung mittels der zuvor genannten Parameter und Vorgaben ermöglicht wird, und zum anderen die notwendigen Verarbeitungsprozesse und Validierungsverfahren beinhalten. Verarbeitungsprozesse beschreiben alle durchzuführenden Tätigkeiten, die sich als einen durchgängigen Prozess automatisieren lassen und jene die unabhängig oder möglicherweise iterativ erfolgen müssen. Als unabhängige Prozesse können schon hier festgelegt werden, sind die Ermittlung der Trainingsgebiete und der phänologischen Maße für die festzulegenden Klassen, die die Basis für alle Klassifizierungen bilden. Differenzierbare Landbedeckungsklassen und die phänologischen Maße sind im Vorfeld zu ermitteln. Iterative Arbeitsschritte müssen definiert

werden, wenn z. B. Glättungsalgorithmus und Wolkeneliminierung auf Algorithmen beruhen, die variable Eingabeparameter benötigen. Dies ist im Rahmen der Datenaufbereitung und Auswertung zu ermitteln.

5.2 Basisansatz für den zu entwickelnden Algorithmus

Aus den Erkenntnissen der Voruntersuchung und den Überlegungen aus dem vorherigen Seite (siehe Aufzählung 1-3) soll folgendes Modell die Basis für die Untersuchungen und Herleitung des Algorithmus sein.

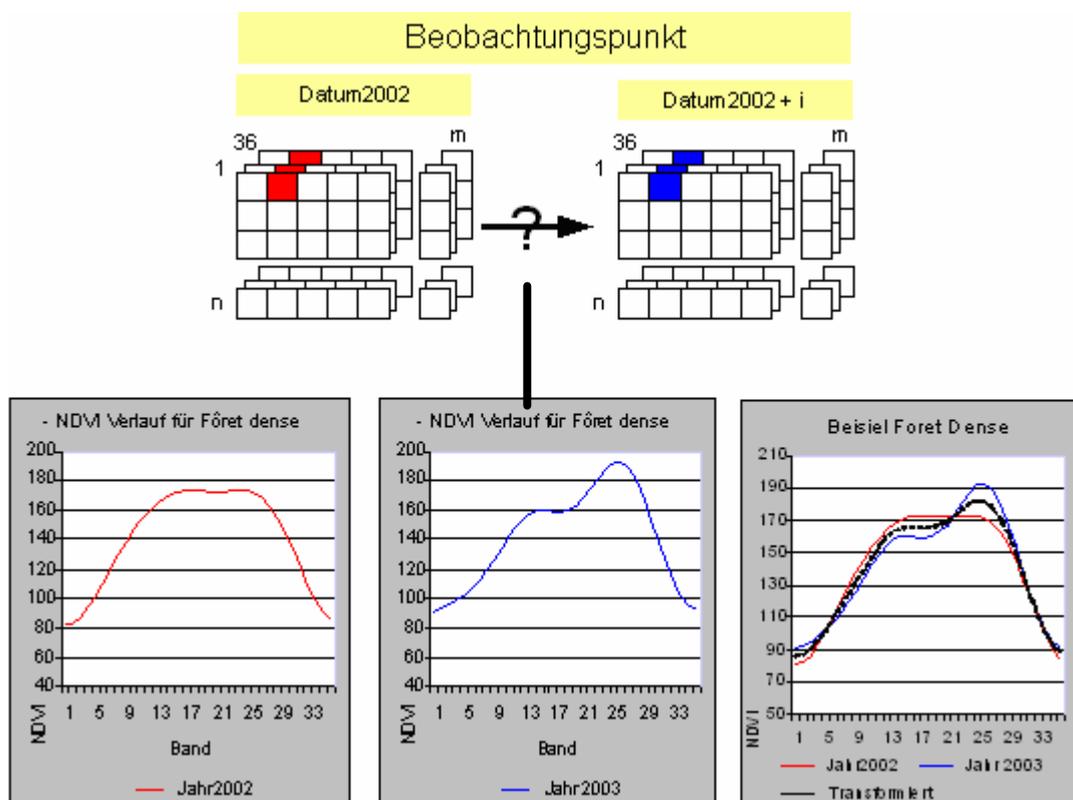


Abbildung 10 Basisansatz für den Algorithmus

Tabelle 1 Einflussfaktoren auf den Vegetationsverlauf darstellbar durch die NDVI-Werte

- 1) Saisonale, innerjährliche und langzeitliche Klimavariabilität
- 2) Hohe Niederschlagsvariabilität.
- 3) Schwankungen im Auftreten der Regenzeit(en).
- 4) Zum Teil schwer zu differenzierende Vegetationsformen
- 5) Eingriffe durch die Bevölkerung.
- 6) Populationszuwachs > 3%.
- 7) Niederschlagsabhängige Phänologie.

Das "?" zwischen den beiden symbolisch dargestellten Zeitreihen in der vorherigen Abbildung steht stellvertretend für innere und äußere Einflüsse, die für die Veränderungen der NDVI-Werte ausschlaggebend sind. Diese sind zusammengefasst aus der Voruntersuchung in Tabelle 1 Seite 41 aufgeführt. Punkte 1-6 entstammen aus der Voruntersuchung, Punkt 7 der Langzeitstudie Tateishi, R., Ebata, M., (2004). Die Kurvendiagramme zeigen links den Verlauf einer Vegetation im Ausgangsjahr, in der Mitte den Verlauf im Folgejahr bzw. zu klassifizierenden Jahr. Erkennbar sind die Unterschiede im Verlauf und auch in der Höhe der NDVI-Werte. Anhand der phänologischen Maße (Siehe Kapitel 9 Bestimmung der phänologischen Maße Seite 67), die ja auf der Basis des Ausgangsjahres erstellt werden sollen, sind die Probleme abschätzbar. Die Werte für das zu klassifizierende Jahr fallen nicht in die Grenzwerte des Ausgangsjahres für die eigentliche Klasse. Folglich käme es zu Fehlklassifikationen. Man betrachte sich z. B. das Maximum in beiden Kurven.

Durchdenkt man noch einmal die Frage aus Kapitel 4.4 Erste Definition für den Algorithmus Seite 38 und betrachtet sich die Kurven, lässt sich diese mit folgender theoretischen Überlegung beantworten. Können diese Veränderungen durch Dehnungen, Stauchungen, Skalierungen beschrieben werden, dann muss folgende These durchführbar sein. Mittels einer Transformation die NDVI-Werte des zu klassifizierenden Jahres so zu verbessern, dass sich der ergebende Kurvenverlauf, dem des Ausgangsjahres annähert. Man simuliert für die NDVI-Werte des zu klassifizierenden Jahres die Einflussfaktoren des Ausgangsjahres. Dies ist im rechten Kurvendiagramm symbolisch durch die schwarz gepunktete Linie dargestellt. Durch die Transformation soll dann erreicht werden, dass die zu bestimmenden phänologischen Maße für das zu klassifizierende Jahr in den Wertebereich des Ausgangsjahres fallen. Für diese Transformation ist ein mathematischer Ansatz zu definieren.

Zusätzlich ist zu untersuchen, ob Parameter benötigt werden, mit denen die Einflussfaktoren in die Transformation eingehen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass sich diese Einflussfaktoren nur durch erheblichen Zusatzaufwand beschaffen bzw. bestimmen lassen. Aus diesem Grund soll untersucht werden, diese

durch Beziehungen der zwei NDVI–Zeitreihen zu bestimmen. Dieser oder diese Parameter stehen dann wieder für das symbolische "?" in der Abbildung 10

Basisansatz für den Algorithmus Seite 41

Betrachtet man das Pixel als Beobachtungspunkt, so ergeben sich pro Pixel zwei unabhängige Messreihen, eine für das Ausgangsjahr und eine für das zu klassifizierende Jahr. Dies sind die 10tägigen NDVI–Werte über das Jahr, also 36 Messwerte pro Jahr, pro Pixel. Ferner ist davon auszugehen dass zwischen diesen beiden Messreihen eine Beziehung (Korrelation), und/oder eine Bedingung (Gewicht) die die Transformation beeinflussen existieren. Korrelation und/oder Bedingung stehen stellvertretend für die unbekanntes Einflussfaktoren. Diese Punkte führten zu der Überlegung den Ansatz in der Ausgleichsrechnung bzw. Regressionsanalyse zu suchen (siehe Grundlagen Seite 7).

Der ausschlaggebende Impuls, diesen Ansatz weiter zu verfolgen, wurde durch die Ergebnisse der Langzeitstudie von Tateishi, R., Ebata, M., (2004) bestätigt. Mit den phänologischen Maßen peak (Maximaler NDVI), Zeitpunkt onset/offset (Beginn Ende der Vegetation) und der Summe der NDVI-Werte (SNDVI) über die Zeitspanne offset – onset, wurden mit NOAA AVHRR NDVI Zeitreihen über den Zeitraum 1982 – 2000 globale Veränderungen der Vegetationsdynamik untersucht, ob diese in Beziehung zu klimatischen Veränderungen wie Niederschlag und Lufttemperatur stehen und ob sich Veränderungsmuster ableiten und geographisch zuordnen lassen. Hierfür wurden Klimadaten der Climatic Research Unit (CRU), das Globale Höhenmodell von ETOPO05 (NOAA-EPA 1992) (WWW_19 NOAA) und die IGBP Global Landcover MAP 1997 (WWW_03 IGBP) hinzugezogen.

Die Untersuchung der Korrelation NDVI Temperatur ergab positive und negative Korrelationen. Den positiven Korrelationen wurde eine Abhängigkeit der geographischen Breite und Geländehöhe nachgewiesen. Gebieten mit mittlerer und hoher geographische Breite wurde dann eine temperaturabhängige Phänologie zugewiesen. Für die Regionen Zentral - Afrika, teile Südamerikas und Australiens mit negativen Korrelationen, eine niederschlagsabhängige Phänologie zu-

gewiesen. Eine weitere Erkenntnis, die sich aus der Untersuchung der niederschlagsabhängigen Phänologie ergab, ist die zeitversetzte Vegetationsaktivität bezogen auf den Niederschlag. Für den Start und Anstieg der NDVI-Werte wurde für Zentralafrika ein zeitlicher Versatz von 20 – 40 Tagen nach dem Niederschlag ermittelt. Das Ergebnis dieser Untersuchung ergab 11 Veränderungsmuster (Change patterns) welche Trends der saisonalen Veränderungen der Vegetationsaktivität beschreiben, die durch die NDVI-Werte wiedergegeben werden. In der Abbildung 11 sind die Patterns grafisch dargestellt. Die Patterns 7, 9, 10, 11 beschreiben eine Zunahme, 6,8 eine Verringerung und 1-5 keine Veränderung der Vegetationsaktivität.

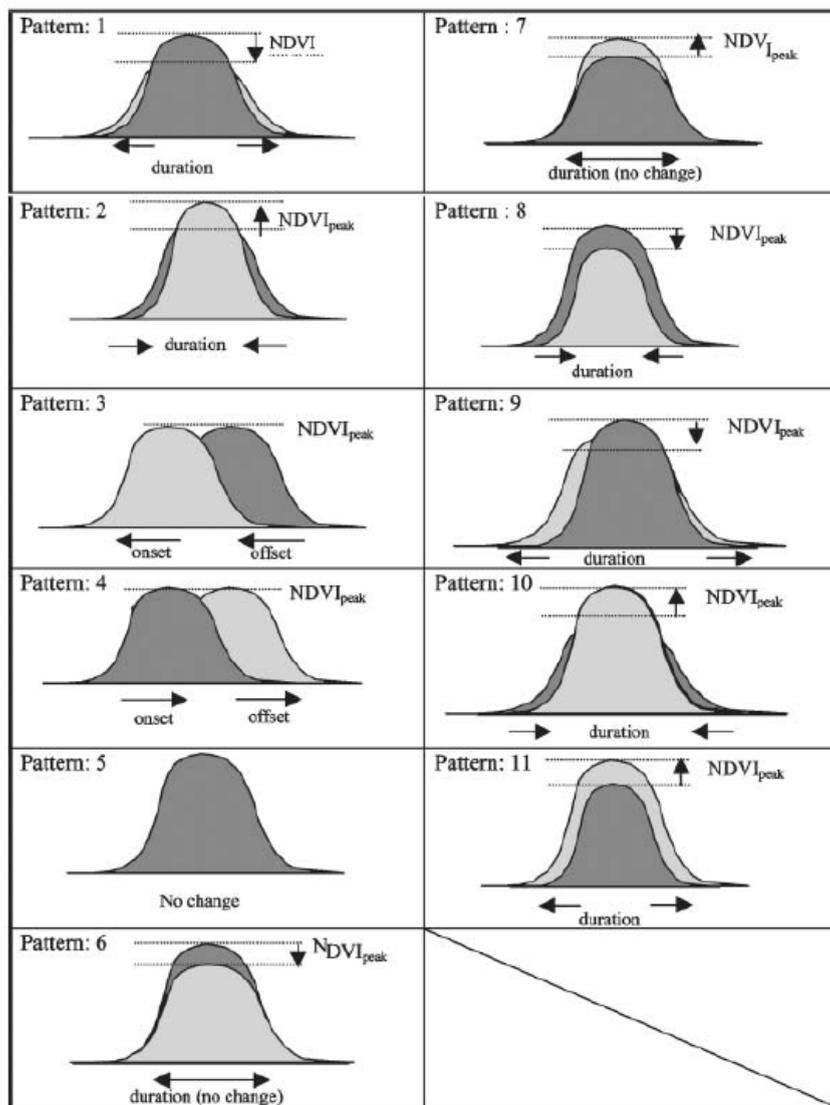


Abbildung 11 Patterns of phenology change Quelle Tateishi, R., Ebata, M., (2004)

Die folgenden Abbildungen zeigen die Verteilung der Pattern über die Kontinente. Verteilung der Korrelationen oben. Zu und abnehmender Trend in der Vegetation unten.

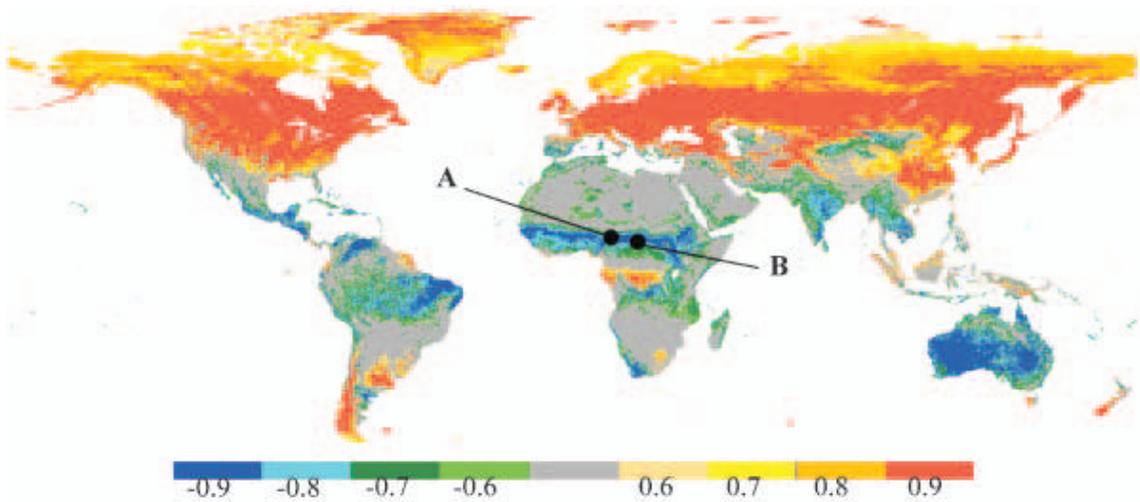


Abbildung 12 Correlation coefficient between NDVI and LST. A, woody savanna; B, savanna. Quelle Tateishi, R., Ebata, M., (2004)

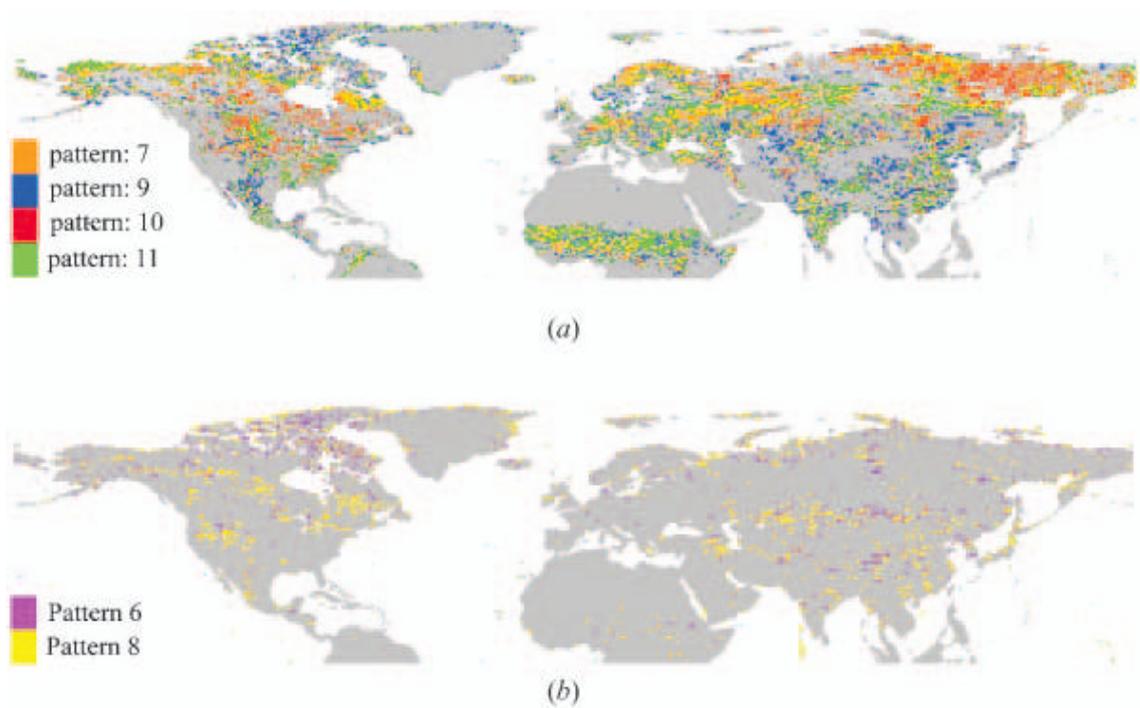


Abbildung 13 Geographical distribution of (a) SNDVI increasing trend; (b) SNDVI decreasing-trend. Quelle Tateishi, R., Ebata, M., (2004)

[precipitation-dependent phenology were identified by analysis of NDVI seasonal change with land surface temperature, air temperature and precipitation]

5.3 Zu erwartende Probleme

Aussagekraft der GTPs: Die Erfassung erfolgte über mehrere Jahre. Veränderungen der Landnutzung können nicht nachvollzogen werden. Die punktuelle Beschreibung der Vegetation und Umsetzung auf die räumliche Auflösung von 1 qkm. Ein Großteil der Punkte wurde vorwiegend für die LANDSAT - Klassifikation 30X30m Auflösung im Untersuchungsgebiet Benin HVO aufgenommen. Lage der Punkte hauptsächlich entlang der Pisten (Straßen). Liegt eine flächendeckende Erfassung für ganz Benin vor, stehen zusätzliche Quellen zur Verfügung auf die zurück gegriffen werden.

Kann für die Wolkenbedeckung ein zufriedenstellendes Verfahren zur Interpolation gefunden werden, um die NDVI-Werte der Vegetation, die vorhanden ist, nicht zu verfälschen, was dann zu Fehlklassifizierungen führen wird? Besteht die Möglichkeit dies zu kontrollieren? Wie soll mit Restwolken verfahren werden?

Festlegung der Klassen: Für die räumliche Auflösung kann auf Klassen globaler Projekte, der Klassifizierung von Röhrig et al (2004) und dem IMPETUS Klassenspiegel, der bis auf einzelne Anbauarten differenziert ist, zurückgegriffen werden. Letztere müssen in Oberklassen generalisiert werden. Reichen diese für die Klassifizierung auf Landesebene, werden weitere Mischklassen für die 1 qkm Auflösung benötigt. Wie können diese definiert werden? Wie verhalten sich die NDVI-Werte einer Vegetationsklasse z. B. ein Savannentyp auf Landesebene? Weisen diese in allen Vegetations-/ Niederschlagszonen einen mehr oder weniger unveränderten phänologischen Verlauf vor oder kann es zu skalaren Verschiebungen kommen? Durch die Veränderung der Kurve, die sich anhand der NDVI-Werte ergibt, und der daraus ermittelten phänologischen Maße, besteht die Gefahr, dass es zu Verschiebungen der Vegetation in eine höhere oder niedrigere Klasse kommt.

Dies hätte fatale Auswirkungen bei der phänologischen Klassifikation. Wenn ja, mit welchen Möglichkeiten können diese lokalen Einflussfaktoren auf die NDVI-Werte abgefangen werden?

5.4 Datengrundlage SPOT VEGETATION (S10 MVC oder D10 BDF)

Datengrundlage für den zu entwickelnden Algorithmus sind die NDVI-Zeitreihen von SPOT VEGETATION zu verwenden. Festzulegen ist, welche Daten von SPOT VEGETATION (S10 MVC oder D10 BDF), siehe Grundlagen Seite 7, zu verwenden sind und in welcher Form diese für weitere Auswertungen überarbeitet werden müssen. Worin liegen die Unterschiede zwischen den MVC und BDF Daten? Ist eine Atmosphärenkorrektur anzubringen oder liegen bereits atmosphärenkorrigierte Daten vor? Das zu verwendende Format ist im Rahmen der Recherche festzulegen. Im Fall einer anzubringenden Atmosphärenkorrektur ist ein geeignetes Verfahren zu recherchieren und zu implementieren.

5.5 Aufbereitung der NDVI - Rohdaten

Verarbeitungsschritte für die Aufbereitung der NDVI Zeitreihen sind in der Datenaufbereitung festzulegen. Es ist zu entscheiden, ob zu berechnende Monatsmittel, oder die 10tägigen Daten, zu verwenden sind. Des weiteren, warum eine Glättung der NDVI-Zeitreihen Rohdaten durchzuführen ist und welcher Glättungsalgorithmus verwendet wird. Weiterhin ist ein Verfahren für die Eliminierung der Wolken zu recherchieren und zu implementieren. Ansätze hierfür können folgende Verfahren sein: lineare Interpolation, gleitender Mittelwert über n Beobachtungspunkte, glättende Funktion.

5.6 Aufbereitung der GTPs (Ground Truth Points)

Dieser Abschnitt betrifft die Untersuchung, Überarbeitung und Validierung der vorhandenen GTPs. Insbesondere ist zu berücksichtigen, dass die Punkte über einen Zeitraum von mehreren Jahren ermittelt wurden. In welchem Format liegen die Daten vor? Wie aussagekräftig sind die Vegetationsbeschreibungen?

Wie können die punktuellen Beschreibungen für die räumliche Auflösung 1x1 km verwendet werden? Wie können Beschreibung und Bilder zu den Punkten verwaltet werden? Die Verwaltung ist in einer Geodatabase in ArcGIS (WWW_18 ESRI) durchzuführen.

5.7 Festlegung der Klassen

Definition von Landklassen als Schnittmenge aus bestehenden Klassifikationen unter der Berücksichtigung, inwiefern sich Vegetationstypen, bei einer räumlichen Auflösung 1X1Km/Pixel, differenzieren lassen. Grundlage hierfür soll der Klassenschlüssel von IMPETUS sein, die in Röhrig et al. (2004) festgelegten Klassen im Einzugsgebiet der HVO sowie aus globalen Projekten der IGBP (www_03), USGS (www_05) und GLC2000 (www_04). Diese vorgegebenen Klassen gliedern sich in generalisierte und bis auf differenzierte Vegetationsformen bzw. Anbauarten abgestufte Klassen. Für die Erstellung der Trainingsgebiete ist aus diesen eine hierarchische Abstufung der Klassen aufzubauen. Im Rahmen der Auswertung wird dann entschieden, ob neue Klassen definiert werden müssen und in welcher Ebene diese hinzuzufügen sind. Kapitel 12 Planung, Erstellung und Auswertung der Trainingsgebiete Seite 85

5.8 Bestimmung der Trainingsgebiete ROI (Region of interest)

Die Grundlage hierfür sind die festgelegten Klassen und die zuvor zu überarbeitenden und nach Klassen zu gliedernden GTPs. Es wird untersucht, welche zeitliche Auflösung notwendig ist, um die phänologischen Maße ableiten zu können. Festzustellen ist, ob über das Kalenderjahr Januar bis Dezember alle Maße bestimmbar sind, oder ob eine andere, zeitlich versetzte, Zusammenstellung der NDVI-Zeitreihen notwendig ist. Die in der Voruntersuchung ermittelten Probleme der Differenzierbarkeit einzelner Klassen und die Aussagekräftigkeit der GTPs sind besonders zu berücksichtigen. Zu beachten ist hierbei die Zeitspanne der Erfassung der GTPs und die punktuelle Beschreibung der Vegetation im Bezug zur räumlichen Auflösung der Satellitendaten, der Klassenbeschreibung sowie die Variabilität der NDVI – Werte. Um klar definierbare Trainingsgebiete zu

erhalten, werden die einzelnen ROI's statistisch ausgewertet und die Ergebnisse verfeinert. Untersuchungen der NDVI–Werte über die Jahre, eventuelle Abhängigkeiten bezogen auf die Lage der Punkte über die Region, sollen die Grundlage für ableitbare Zusammenhänge und Parameter für den Algorithmus ergeben. Siehe Kapitel 12 Planung, Erstellung und Auswertung der Trainingsgebiete Seite 85

5.9 Ableitung der phänologischen Maße

Über die NDVI–Werte einer jährlichen Zeitreihe und der Trainingsgebiete werden die phänologischen Maße der Klassen bestimmt. Der Verlauf der NDVI–Werte über die Zeitreihe kann dann in Form einer Kurve parametrisiert und ausgewertet werden. Über diese Kurve, die den phänologischen Verlauf einer Vegetationsform wiedergibt, lassen sich dann die phänologischen Maße wie z. B. Start der Vegetation, Anstieg und Maximum, ableiten.

Definition geeigneter phänologischer Maße: welche werden in der Literatur beschrieben und wie können bzw. werden diese Parameter ermittelt. Welche wurden für ähnliche Untersuchungen verwendet, um eine optimale Parameterkombination festlegen zu können? Diese Fragen werden im Kapitel 9 Bestimmung der phänologischen Maße Seite 67 untersucht.

5.10 Recherche und Modellentwurf für den Algorithmus

Über die Recherche, siehe Kapitel 8 Auswerten der recherchierten Literatur Seite 62 soll geprüft werden, ob der in Kapitel 4.4 Erste Definition für den Algorithmus Seite 38 und Kapitel 5.2 Basisansatz für den zu entwickelnden Algorithmus Seite 40 beschriebenen Ansatz, in der Form oder ähnlicherweise untersucht wurde, oder andere Verfahren zur jährlichen Klassifikation verwendet bzw. als mögliche Ansätze verwendet wurden. Wenn dies der Fall ist, ist zu prüfen, inwieweit diese Verfahren integriert bzw. erweitert oder verändert werden müssen, um Bestandteil dieser Arbeit zu werden. Welche Ergebnisse mit diesen erzielt wurden und wie das verwendete Verfahren von der Genauigkeit her ein-

gestuft werden kann. Wurde der Basisansatz dieser Arbeit als nicht geeignet eingestuft, dann ist ein alternativer Ansatz weiter zu verfolgen. Im Fall, dass kein überzeugender Ansatz ermittelt werden konnte, ist der beschriebene Ansatz weiter zu verfolgen. Alternative Ansätze sind dann aus dem Ergebnis der Recherche herzuleiten.

Der Modellentwurf ist in zwei Kapitel zu gliedern: die Konzeption und die Spezifikation. Im Kapitel 13 126, ist der Basisansatz sowie die ermittelten Alternativen aus der Recherche gegenüberzustellen. Grundlegende Definitionen, die für das Verfahren erfüllt sein müssen, sind anzugeben und eventuelle Varianten der Methode, in sofern sinnvoll, festzulegen. Das endgültige Verfahren ist dann festzusetzen.

Im Kapitel 14 Grob Spezifikation Seite 147 sind die für eine softwaretechnische Umsetzung relevanten Beschreibungen aufgeführt.

5.11 Zielplattform für die softwaretechnische Umsetzung

Der Algorithmus und alle dazu gehörenden Arbeitsschritte sollen in einer reproduzierbaren Notation erstellt werden. Mit der Programmierumgebung der Software ENVI/IDL (WWW_17 RSI) soll die Entwicklung durchführbar sein. Bereits vorhandene Routinen z. B. Glättungsalgorithmus und Eliminierung der Wolken sind zu übernehmen und dem Projekt beizufügen.

5.12 Hilfs- und Arbeitsmittel

Tabelle 2 Verwendete Arbeitsmittel

IDRISI	Integrated GIS and Image Processing software Clark Labs http://www.clarklabs.org/
ENVI / IDL	The Remote Sensing Exploitation Platform RSI ITT Industries http://www.rsinc.com/index.asp
ESRI ArcGIS 8.2	Geoinformationssystem ESRI http://www.esri.com/
MS Office	Microsoft Office 2003 Word, Excel, Access, Powerpoint http://www.microsoft.com/germany/default.aspx
MindManager	Mindjet MindMap Programm http://www.mindjet.com/de/
VSIO	Grafikprogramm von Microsoft

5.13 Anforderungen an die Daten

Die Wichtigkeit der Auswertung der Daten wurde hinreichend in der Voruntersuchung festgestellt. Aufbereitung der Bilddaten bezüglich der Wolkenbedeckung ist für eine lückenlose Klassifizierung notwendig. Eine gute Glättung der NDVI-Zeitreihen für die Ableitung der phänologischen Maße ist ausschlaggebend. Der wichtigste und aufwendigste Block ist die Analyse und Auswertung der GTPs, die für die Erstellung der Trainingsgebiete und die Grundlage für die Bestimmung der phänologischen Maße dienen. Diese Daten bilden das Fundament für die Ergebnisse, zumal diese für alle Auswertungen herangezogen werden.

5.14 Validierung der Ergebnisse

Festlegung von geeigneten Validierungsverfahren zur Genauigkeitsanalyse der Ergebnisse der Klassifizierung aus dieser Arbeit. Welche Verfahren werden verwendet? Können diese auch bei diesem Klassifizierungsverfahren verwendet werden?

Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit mit bestehenden Klassifizierungen aus globalen Projekten IGBP (www_03), USGS (www_05), GLC2000 (www_04). Zu berücksichtigen ist hier aber die Erkenntnis von Bethke (1999) bezüglich der räumlichen Verteilung der Klassen, Genauigkeit und Klassenanzahl, siehe Voruntersuchung Kapitel 4 Seite 26.

5.15 Zusätzlicher ableitbarer Nutzen

Gelingt es, den zu entwerfenden Algorithmus nicht nur statistisch signifikant, sondern auch vertrauenswürdig in Hinsicht regionaler Ortskenntnisse über die Gliederung der Vegetation zu validieren, ergibt sich theoretisch ein positiver Nebeneffekt gegenüber Verfahren aus dem Change Detection Umfeld. Spiegeln bei diesem Verfahren die Ergebnisse nur eine Veränderung ohne die direkte Information, wie sich etwas verändert hat wieder, erhält man anhand der Ergebnisse bei diesem hier entwickelten Verfahren konkrete Aussagen, die sich aus der Ausgangsklassifizierung und der Folgeklassifizierungen bestimmen lassen.

Durch den Vergleich der Klassifizierung des Ausgangsjahrs mit dem klassifizierten Folgejahr können dann durch einfache Operationen folgende Informationen ermittelt werden:

- a) wo sich etwas geändert hat, um Trends zu erkennen.
- b) ermitteln was hat sich wie geändert, von Klasse zur Klasse.
- c) ermitteln von Flächenbilanzen.

6 Daten und Recherche

6.1 NDVI Zeitreihen der Satellitenbilder SPOT VEGETATION

Die Bestimmung des Vegetationsverlaufs der Klassen und die Ableitung der phänologischen Maße, sind mit den NDVI Zeitreihen von SPOT VEGETATION, mit einer 1km * 1km Auflösung durchzuführen. Diese Daten sind frei verfügbar und können über das Internetportal Free Vegetation (www_01) bezogen werden

6.2 Zu verwendende Daten von SPOT VEGETATION S10 oder D10

Festgelegt wurde die Verwendung der 10 Tages composite NDVI BDC D10 (Bi-directional Reflectance syntheses respectively). Sie basieren auf einer bidirektionalen Reflexionsverteilungsfunktion. Die Pixelhelligkeit ist die Reflexion des Bodenbereichs; Pixel im Meerbereich sind auf Null gesetzt. Duchemin, B., Maisongrande, P., Dedieu, G., Leroy, M., Roujean, J.L., Bicheron, P., Hautecoeur, O., Lacaze, R., (2000)

6.3 Ground truth Points (GTPs)

Die Bestimmung der Trainingsgebiete, die Festlegung der Klassen und die Definition der phänologischen Maße für das Untersuchungsgebiet sind anhand von ca. 3500 mit GPS gemessenen Punkten und Beschreibung der Vegetation durchzuführen. Diese Punkte wurden im Zeitraum von 2001 bis 2005 vor Ort erhoben und stehen in Form von ESRI Shapefile zur Verfügung.

6.4 Digitale Karten über Benin

Digitales Kartenmaterial über Benin wurde vom Atlas of natural and agronomic resources of Niger and Benin bezogen (www_02). Die Karten werden in Form einzelner Shapefiles bereitgestellt und gliedern sich in politische Grenzen, Vegetationszonen, Niederschlagszonen, Straßen, Städte, Flüsse und Population.

6.5 Digitale Karten anderer Forschungsprojekte

Daten und Informationsmaterial von globalen Forschungsprojekten aus dem Umfeld Klima, Umwelt, Landbedeckung und Landnutzung wurde für Gegenüberstellungen, über die Internetseiten vom U.S Geological Survey USGS (www_05), dem International Geosphere-Biosphere Programme IGBP (www_03) und GVM Global Vegetation Monitoring Global 2000 Lancaster GLC2000 (www_04) bezogen.

6.6 Analoge Karte (Topografische Karte)

Die Karte „Republique du Benin“ vom INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL (IGN) (WWW_16 IGN) im Maßstab 1:600 000 diente in Benin zur Orientierung und für die Erstellung der Trainingsgebiete in gescannter und georeferenzierter Form zur Festlegung von Regionen, die für die Ermittlung der Trainingsgebiete herangezogen wurden. Dabei war jedoch zu berücksichtigen, dass die Datengrundlage der Karte ca. 20 Jahre alt ist.

6.7 Literatur

Im ersten Schritt wurde Literatur vorwiegend über das Internet recherchiert. Hierbei wurde Google allgemein <http://www.google.de/> und das für Literatursuche optimierte Google Scholar <http://scholar.google.com/> verwendet. Gesucht wurde nach Begriffen wie z. B. „NDVI and phenology“, „Soil Line NDVI“, „Phenological Metrics“, „NDVI Time Series“, „Change detection“

Veröffentlichungen in Form von Dissertationen, Diplomarbeiten und Publikationen über Benin, wurden von der Arbeitsgruppe Fernerkundung (WWW_15 rsrg.uni-bonn) des Geographischen Institut der Rheinischen Friedrich -Wilhelms - Universität Bonn bezogen. Teilweise konnten diese auch direkt von der Homepage herunter geladen werden.

7 Datenaufbereitung und Organisation

Die Aufbereitung der Daten gliedert sich in drei Schwerpunkte

- a) der Satellitenbilder von SPOT VEGETATION,
- b) Verwaltung und Gliederung der Literatur aus Recherche nach fachlichen Schwerpunkten mittels einer Datenbank und
- c) Auswerten und Verwalten der Ground Truth Points mit dem GIS-System (Geoinformationssystem) ArcGIS18.2 und einer GEO-Database (siehe Grundlagen Seite 7).

7.1 SPOT VEGETATION

Free Vegetation Products (www_01) stellt die 10-Tages composite NDVI-Daten Kontinental im HDF Format (siehe Grundlagen Seite 7) frei verfügbar zum Herunterladen bereit. Zeitraum, Bereich und Formate können über das Internetportal interaktiv ausgewählt werden. Mit dem Programm Crop_VGT (www_06) wurde das Untersuchungsgebiet Benin aus diesen Szenen extrahiert. Verwendet wurden die NDVI D10 BDC Daten (siehe Grundlagen Seite 7) (Bidirectional Reflectance syntheses respectively), welche seit Juli 2001 bereitgestellt werden. Der Ausschnitt wurde wie folgt festgelegt:

- Linke obere Ecke 0E 00 00,00 13N 00 00,0
- Rechte untere Ecke 5E 00 00,0 5N 00 00,0

Aus den Originaldateien im Zip Format ausgelesen, wird der Ausschnitt im RAW/BIL Format zuzüglich einer Parameterdatei abgelegt. In dieser sind alle Informationen enthalten, die zum Import nach ENVI oder anderen Programmen notwendig sind. Hierbei handelt es sich um die Parameter für die Georeferenzierung, die Pixel-Auflösung, die Anzahl der Spalten/Reihen und Eckkoordinaten des Bildes. Für die spätere Behandlung der Wolken wurde die Einstellung gewählt, aus der Status Map für das Cloud flag in den NDVI Dateien den Wert 255, zu setzen. Siehe Beispiele aus der nächsten Seite. Ein direkter

Import in ENVI/IDL mit Auswertung der Parameterdatei von Crop_VGT war aufgrund eines unterschiedlichen Aufbaus nicht möglich. Zu diesem Zweck wurde eine default-Headerdatei angelegt und eine IDL-Routine entwickelt, mit der die Umwandlung nach ENVI im Batchbetrieb erfolgte.

Beispiel Crop_VGT Header Datei:

```
File < E:\FreeVegetation\A_BN_D10_VGT1_MCS\01072NDV.bil > - Documentation
```

```
TYPE OF PRODUCT D10
PLANE NDV
HEADER_LENGTH 0
ROWS 897
COLUMNS 561
BITS_PER_PIXEL 8
SLOPE 0.004000
INTERCEPT -0.100000

PROJECTION Plate_Carree (Lon/Lat)
PROJ_CENTER_LON 0.000000
PROJ_CENTER_LAT 0.000000
PIXEL_SIZE_UNITS DEGREES/PIXEL
PIXEL_SIZE_X 0.0089285714
PIXEL_SIZE_Y 0.0089285714
SEMI_AXIS_MAJ 6378137.000000
SEMI_AXIS_MIN 6356752.314000
UL_LON (DEG) -0.000000
UL_LAT (DEG) 13.000000
LR_LON (DEG) 5.000000
LR_LAT (DEG) 5.000000
```

Pixels declared cloudy in the Status Map have been assigned byte value 255.
Pixels with original value 255 have been recoded to 254.

Beispiel ENVI Header Datei:

```
ENVI
description = {
  ENVI File, Created [Thu Jul 14 09:51:32 2005]}
samples = 561
lines = 897
bands = 1
header offset = 0
file type = ENVI Standard
data type = 1
interleave = bsq
sensor type = Unknown
byte order = 0
map info = {Geographic Lat/Lon, 1.0000, 1.0000, 0.00000000, 13.00000000, 8.9285714000e-003, 8.9285714000e-003, WGS-84, units=Degrees}
wavelength units = Unknown
```

Für die weitere Verarbeitung wurden aus den einzelnen NDVI – Dateien die Zeitreihen für die Jahre 2002-2004 erstellt. Hierbei handelte es sich dann um eine n-dimensionale Matrix aus den jeweiligen 10tägigen NDVI BDC Daten. Die Steuerung, welche der 10tägigen NDVI BDC Daten zu einer Jahreszusammenfassung gehören sollten, wurde über eine Textliste durchgeführt. Für erste Untersuchungen können über Flags auch direkt

Monatszusammenfassungen der Mittelwerte, Maxwerte und Minwerte der NDVIs in Optionalen Dateien erstellt werden.

7.2 Verwaltung und Organisation der Literatur

Die Verwaltung der Publikationen, die vorwiegend in Form von Adobe PDF Dokumenten und Microsoft Powerpoint Präsentationen PPT vorlagen, erfolgte in einer entworfenen Microsoft Access Datenbank mit der Möglichkeit, das Dokument über eine Schaltfläche sofort aufrufen zu können. Das Format wird automatisch erkannt und das entsprechende Programm gestartet. Verwaltet werden Autoren, Artikel, Herkunft und Datum des Downloads mit Link zur Downloadseite. Gegliedert werden die Artikel in 2 Kategorien die frei benannt werden können. Zur Lokalisierung des Dokumentes kann das Verzeichnis auf der Festplatte zum Aufruf und der Ordner in welchem sich die gedruckte Version befindet, angegeben werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, Textpassagen aufzunehmen, um sich einen schnellen Überblick zu verschaffen. Ziel bestand primär darin ortsunabhängig einen direkten Zugang zu den Dokumenten zu bekommen, wenn die gedruckten Versionen nicht greifbar waren.

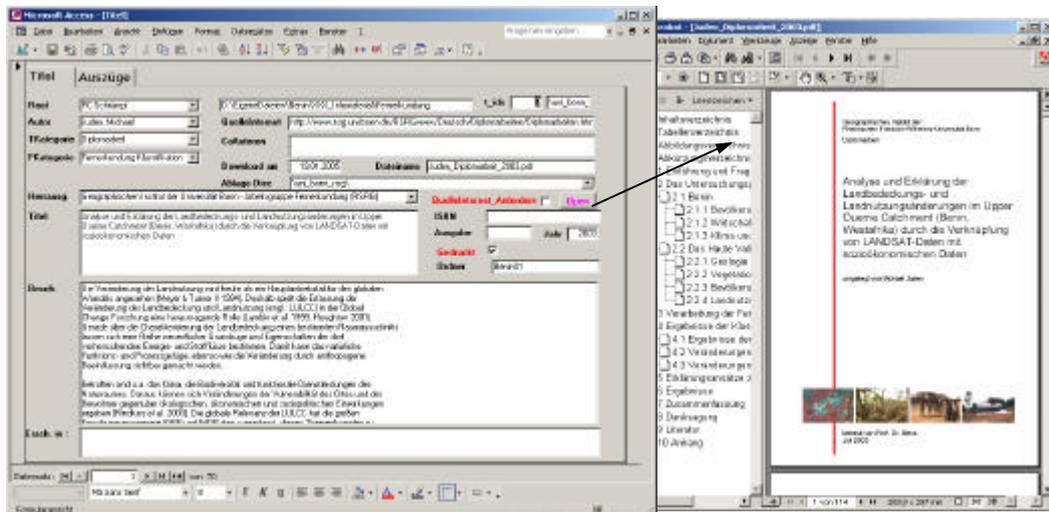


Abbildung 14 Literatur Datenbank

7.3 Auswerten der Ground Truth Points (GTPs), Entwurf einer Geo-Database

Die Verwaltung der GTPs sowie der Karten des Atlas of natural and agronomic resources of Niger and Benin (www_02) und alle Daten für die Erstellung von Karten der Auswertungen und Ergebnisse erfolgen mit dem Geoinformationssystem ArcGIS 8.2 der Firma ESRI. Hierfür wurde eine zentrale Geo-Database angelegt, in welcher alle Daten importiert wurden. Der Schwerpunkt lag jedoch in der Verwaltung und Organisation der GTPs. Jeder Punkt enthält die mit einem GPS Empfänger ermittelte Koordinaten, eine kurze Beschreibung der vorgefundenen Vegetation, Angaben zu Bildern sowie unterschiedliche Informationen aus vergangenen Projekten.

Eine erste Sichtung der Shapefiles zeigte jedoch, dass eine Überarbeitung zwingend notwendig ist, um für spätere Arbeiten eine einheitliche Datenstruktur zu erhalten. Gründe hierfür werden im folgenden erläutert.

Aufgrund des unterschiedlichen Aufbaus der in den Tabellen der Shapefiles abgelegten Informationen wie Benennung der Felder in den Tabellen, der unterschiedlich zugewiesenen Koordinatensysteme (Geographisch und UTM) und des unterschiedlichen Informationsgehaltes, war eine sofortige Zusammenführung in ein Shapefile für den Import in die Geo-Database nicht möglich. Im ersten Schritt wurden alle in ein einheitliches Koordinatensystem überführt - Geographische Koordinaten Lat/Lon (Latitude/ Longitude) Datum WGS 84 (World Geodetic System 1984) -, dann in die Geo-Database importiert und Informationen der Spalten in einer neuen Punkt – Tabelle, mit einer einheitlichen Datenbank-tabellenstruktur, zusammengeführt.

Im nächsten Schritt wurden die Beschreibungen über die Vegetation am Beobachtungspunkt in der Form gesichtet, ob man durch eine Attributabfrage mit ArcGIS, Punkte bestimmter Klassen extrahieren kann.

Unterschiedliche Arten der Beschreibungen, Abkürzungen und die Verwendung von deutschen, englischen und französischen Bezeichnungen, erforderten eine

vollständige Überarbeitung. Mit einer SQL DISTINCT Abfrage wurden alle Beschreibungen einmalig aus der Tabelle nach Microsoft EXCEL kopiert und eine neue Beschreibung eingeführt.

Folgende Tabelle zeigt einige Beispiele für die Schreibweisen und verdeutlicht die Problematik und warum eine Umbenennung notwendig war.

Tabelle 3 Variationen in der Beschreibung der vorgefundenen Vegetation

Variationen in den Beschreibungen	Beispiele hierfür
Deutsch, englisch, französisch	felder / brache
Mit / ohne Umlaute	Felder und Brache
Unterschiedliche Abkürzungen	Kleine Felder und Brachen gemischt
Schreibweisen, Sonderzeichen	fields fallow and trees
Zustände, Beschreibungen mal am Anfang, mal am Ende (xyz Brache, Brache xyz)	Fôret claire f.Claire f.c mit f.d f.claire/dense Usw.....

Für die Umbenennung wurde eine Syntax entworfen, nach welchem Muster die Beschreibungen umgruppiert und umbenannt wurden.

Tabelle 4 Benennungssyntax für die Vegetationsbeschreibungen bei den GTPs

ART [/ Art] [: Zustand], [ART: Zustand]	
Diese ist wie folgt zu verstehen ist.	
Art :	Was vorgefunden wurde. Z.B. Feld, Brache, Fôret dense,....
Zustand :	Klein, großflächig, ...
Art / Art :	Mischstrukturen z.B. Fôret dense / claire

Alle Beschreibungen wurden in Microsoft EXCEL in einer neuen Spalte übernommen. Diese beiden Spalten wurden dann in der Geo-Database in einer separaten Tabelle importiert. Mittels eines kleinen VBA (Visual Basic for Application) Programms konnten dann die alten Beschreibungen gesucht, in eine Spalte für die Originalbeschreibung kopiert und die neue Beschreibung eingefügt werden. Folgende Tabelle fasst die Wichtigkeit noch einmal zusammen und führt einige Beispiele der Beschreibung im neuen Zustand auf.

Tabelle 5 Ziele der Überarbeitung der Vegetationsbeschreibung und Beispiele

Ziel der Überarbeitung	Beispiele nach der Überarbeitung
Reduzierung der Begriffe Entfernung von Abkürzungen Logische Reihenfolge erstellen Sortierung soll Art - Zustand logisch sein Erstellen von Gruppen nach Art - Zustand für die Erstellung von Shapefiles, die für die Erstellung der Trainingsgebiete verwendet werden.	Felder, Brachen Felder, Brachen, Bäume, Palmen: junge Felder, Brachen, Bäume, Sträucher:klein Fôret claire Fôret claire / dense Fôret claire / dense, Brache: alt Fôret claire / Savanne arbustive Savanne arboree Savanne arboree / arbustive Savanne arboree / arbustive, Brache

Für weitere Auswertungen und eventuellen Zuordnungen der GTPs zu bestimmten Regionen wurden in dieser Geo-Database alle Karten vom Atlas of natural and agronomic resouces of Niger and Benin (www_02) aufgenommen.

Zu den Punkten wurden bei den Feldvergleichen teilweise Fotos der vorgefundenen Vegetation erstellt. Hierbei handelt es sich um Aufnahmen, die mit einer ferngesteuerten Flugdrone mit Kamera und GPS-System oder mit normalen Fotoapparaten am Boden gemacht wurden. Bei den Bodenaufnahmen handelt es

sich zum Teil um Bilder mit und ohne geografische Richtungsangaben. Die Bildnamen die in der Punktetabelle in der Geo-Database angegeben waren, wurden mit einem in Microsoft ACCESS erstellten Formular verknüpft und konnten bei der Erstellung der Trainingsgebiete über die Punktnummer betrachtet werden.

Folgende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau der Geo-Database, das Access Formular und die Beziehungen untereinander.

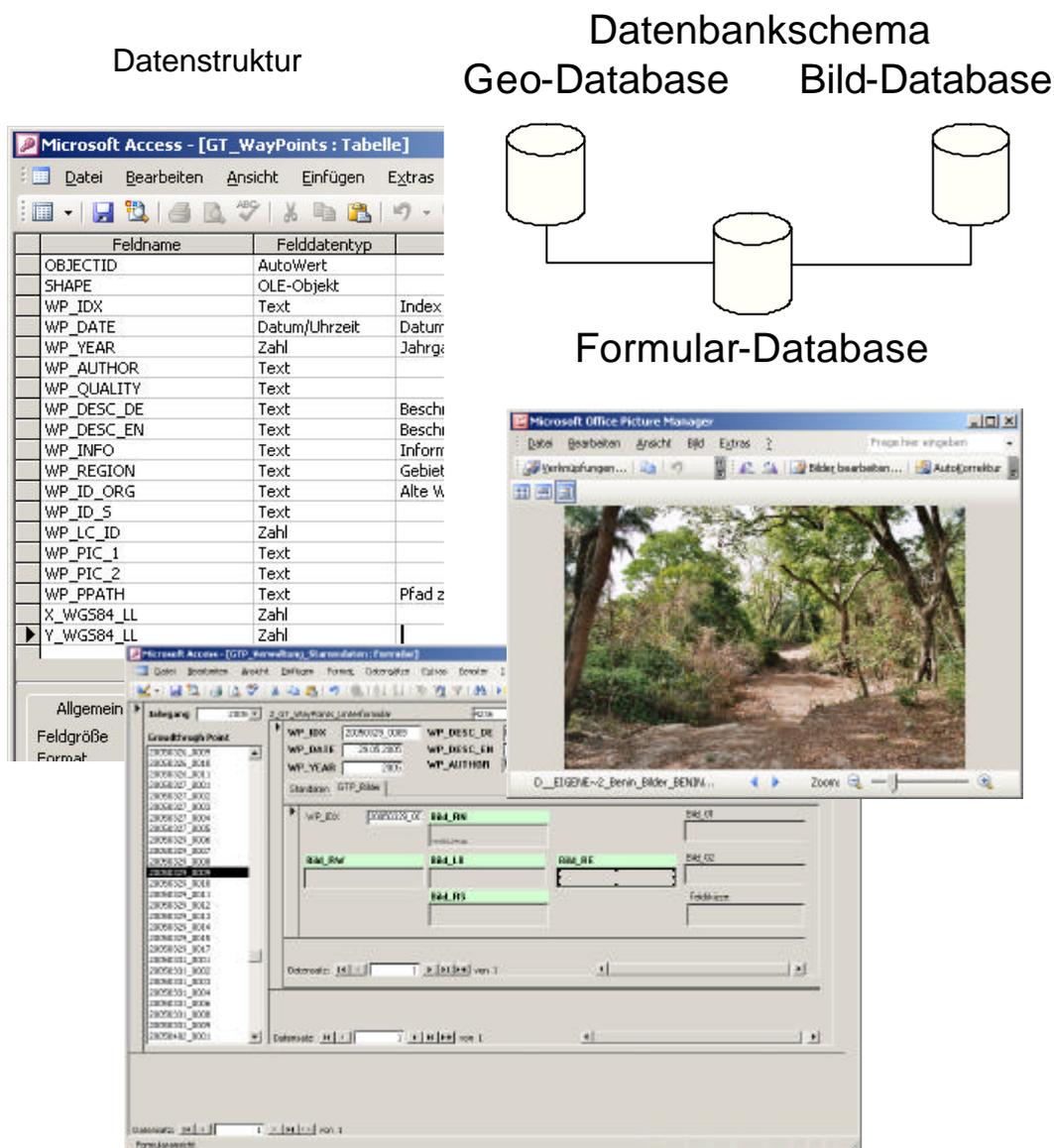


Abbildung 15 Datenbankschema Geodatabase / Formular / Bildabruf

8 Auswerten der recherchierten Literatur

Eine fachlich ausgedehnte Recherche lieferte Informationen über Methoden und Verfahren, wie Projekte verwirklicht wurden, erbrachte wichtige Aspekte für die Umsetzung der in diesem Projekt verlangten Anforderungen und zu erwartenden Probleme. Der Schwerpunkt richtete sich auf Verfahren globaler Langzeitstudien mittels derer die Veränderungen und Trends der Vegetation überwacht werden sowie Langzeitstudien, die die Abhängigkeiten des Vegetationszyklus, bezogen auf klimatischen Veränderungen bestimmen und in Form von Veränderungsmustern (Pattern) beschrieben. Aus dem Umfeld der Vegetationsindizes wurde ermittelt, ob Indizes existieren, die vom NDVI abgeleitet sind und ob diese Bestandteil dieser Arbeit werden können. Über eine Gegenüberstellung der verwendeten phänologischen Maße wurde die Aussagekräftigkeit einzelner Parameter zur Bestimmung der Vegetation mittels Klassifizierung über einen Entscheidungsbaum ermittelt.

Abbildung 16 Stichpunkte der Literaturrecherche zeigt das für die Recherche angefertigte MindMap mit den Schwerpunkten und Stichwörtern.

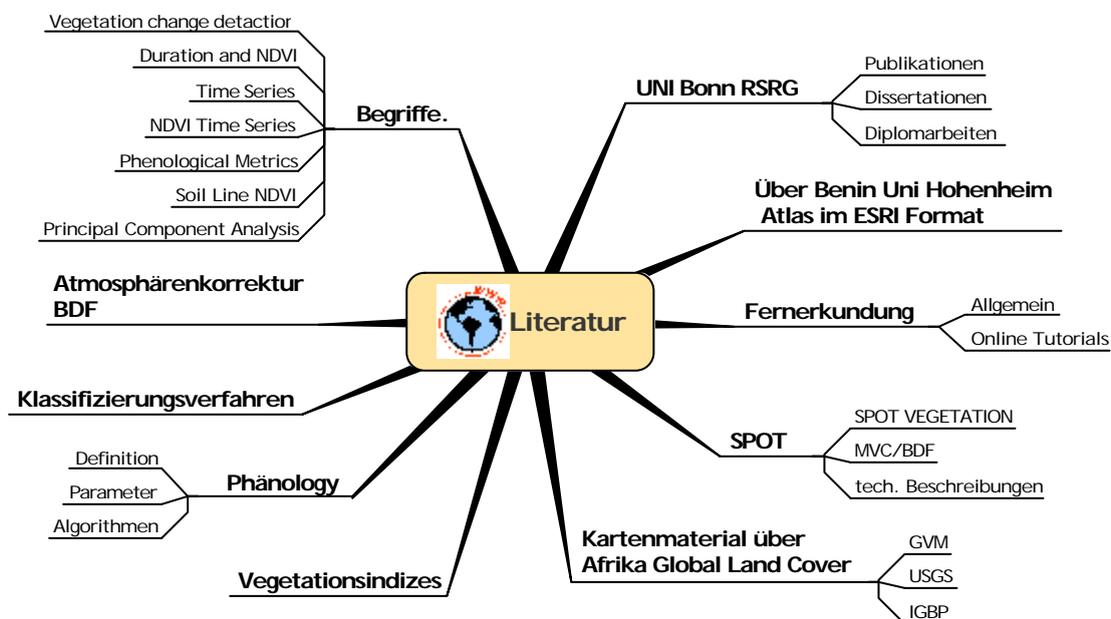


Abbildung 16 Stichpunkte der Literaturrecherche

Im ersten Schritt galt es, sich einen Überblick über Vegetationsindizes zu verschaffen, mit dem Ziel Indizes ausfindig zu machen, die vom NDVI abgeleitet sind und keine fremden Parameter benötigen. Die Diplomarbeit von Franke, J. (2003) bietet eine umfassende Gegenüberstellung gebräuchlicher Vegetationsindizes. Von allen Aufgeführten wurde der Vegetation Condition INDEX (VCI) für eine weitere Verwendbarkeitsprüfung ausgewählt. Dieser Index findet seinen Einsatz in Langzeitstudien um saisonale Vergleiche von Dürregebieten, insbesondere für landwirtschaftliche Zwecke, zu untersuchen. Mit dem Verweis auf (LIU & KOGAN 1996) wird er als sehr zuverlässiger Indikator für Untersuchungen großräumiger Klimavariabilität und der dynamischen Veränderung von Dürregebieten ausgewiesen.

Die folgende Beschreibung des VCI wurde von der Webseite des Drought Assessment and Migration in Southwets Asia im Original entnommen.

<http://www.iwmi.cgiar.org/droughtassessment/index.asp?nc=9398&id=843&msid=138> (22.04.2006)

Vegetation condition index (VCI)

"This index was first suggested by Kogan (1995, 1997). It shows, effectively, how close is the current month's NDVI to the minimum NDVI calculated from the long-term record of RS images.

$$VCI_j = \frac{(NDVI_j - NDVI_{\min}) * 100}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})}$$

Gleichung 2 Vegetation condition index (VCI)

Where, and are calculated from the long-term record (e.g., 20 years) for that month (or week), and j is the index of the current month (week). The condition (health) of vegetation presented by VCI is reported in percent and may serve as an approximate measure of how dry the current month is. In the case of extremely dry month, the vegetation condition is poor and the VCI is close or equal to zero. The VCI of 50% reflects a fair vegetation condition. At optimal

condition of vegetation the VCI is close to 100%. At this condition, NDVI for the current time step (month, week) is equal to NDVImax".

In der obigen Formel des VCI bedeutet NDVI min/max der minimale / maximale NDVI über die Zeitreihe. NDVI j ist der NDVI-Wert einer Monats- oder einer n-tägigen Zusammenfassung.

Eine Verwendung des VCI findet sich in der Publikation „Monitoring Seasonal Dynamics of North American Grasslands using VEGETATION“ (D.J. Meyer, B.C. Reed, et al. 1996).

In der Publikation von Jesslyn F. Brown et al. (2002) „A PROTOTYPE DROUGHT MONITORING SYSTEM INTEGRATING CLIMATE AND SATELLITE DATA“ über einen Prototypen eines Trockenzeiten Monitoring System werden etliche Untersuchungen und weiter abgeleitet Indizes z.B. der Temperature Condition Index (TCI) und der Standardized Precipitation Index (SPI) mit erfolgreichen Ergebnissen aufgeführt.

Weiterhin wird in diesen Veröffentlichungen von (Jesslyn F. Brown et al. 2002) und (D.J. Meyer, B.C. Reed, et al. 1996) ein weiteres phänologische Maß beschrieben, welches im Rahmen der Ermittlung phänologischer Maße nicht aufgeführt war. Dieses phänologische Maß wird Seasonal Greenness genannt. Eine ausführliche Beschreibung erfolgt im Kapitel 9 Bestimmung der phänologischen Maße Seite 67.

Klein, D (2001) vergleicht in ihrer Diplomarbeit drei Verfahren aus dem Bereich Change-Detection-Methoden. Mit dem Verweis auf (LILLESAND, T. M. & R. W. KIEFER (2000) beschreibt sie das Grundprinzip mit der Ermittlung von Flächen, die eine Veränderung der Landbedeckung wiedergeben. Die Verfahren basieren auf Satellitenbildern die zu unterschiedlichen Zeiträumen aufgenommen wurden. Sie weist aber auf die Probleme, die aus der Veröffentlichung von SINGH (1989) stammen, dass unterschiedliche Verfahren zu jeweils anderen Ergebnissen führen und das vergleichende Studien der Region durchgeführt werden müssen. Verglichen werden Postklassifikation, Grenzwertverfahren aus Diffe-

renzen von NDVI Bilder und die Change-Vektor-Analyse. Das Kernergebnis dieses Vergleichs besagt aber, dass mit nur einem Verfahren keine ausreichende Untersuchung von Veränderungen der Landbedeckung und Veränderung möglich ist. Auch geht hervor, dass die einzelnen Verfahren unterschiedlich sensibel auf Veränderungstypen reagieren. Die Grundlage eines solchen Vergleichs, egal mit welchem Verfahren, erfordert aber die Normalisierung der Daten um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Verwendet wird hierfür die Atmosphärenkorrektur mit „Pseudo Invariant Features“. Die Gründe für die Anwendung werden auf YANG, X. & C. P. LO (2000) zurückgeführt, dass dieser Normierungsansatz zu den Methoden mit dem höchsten dynamischen Wertebereich gehört, der keine tatsächliche Veränderung der Landnutzung unterdrückt. Diese Ergebnisse decken sich mit der Arbeit von Thamm, H.-P., Drey, T. & Menz, G. (2004) in der die Methoden Grenzwertverfahren, Principal Component Analyses (PCA) und Change Vector Analyses verglichen werden. Ein weiterer Punkt, der aus diesen Arbeiten hervorgeht, ist die Komplexität der Methoden und dass ein sehr aufwendiger Nachbearbeitungsprozess notwendig ist, die verschiedenen Ergebnisse zu interpretieren und zu analysieren, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Thamm, H.-P., Drey, T. & Menz, G. (2004) weisen noch darauf hin, dass diese Verfahren sehr zeitaufwendig sind, fundierte Ortskenntnisse benötigt werden, gute Referenzdaten vorhanden sein müssen und das vom Anwender qualifizierte Bildinterpretationskenntnisse verlangt werden.

Für diese Verfahren wurde zuvor die Notwendigkeit einer radiometrischen Normierung angesprochen. Durch die Verwendung der SPOT VEGETATION BDC Daten wird eine zusätzliche radiometrische Normierung der Daten nicht benötigt. (Siehe Grundlagen Seite 7)

Darüber hinaus wurden viele Publikationen gesichtet, die sich mit den Themen Change detection, Zeitreihenanalyse, Abhängigkeiten der Phänologie vom Klima und mit der Vorstellung neuer Methoden für eine Klassifizierung beschäftigen. Auf alle tiefer einzugehen, war im Rahmen der Arbeit nicht möglich und auch nicht der Sinn dieser Arbeit. Für das Gesamtverständnis über das Verhalten der Vegetation, die Abhängigkeit vom Klima und dessen Veränderung und die Kom-

plexität aus Satellitendaten für kontinuierliche Klassifizierungen und Veränderungsnachweise Auswertesysteme zu definieren, leisteten diese einen sehr guten Beitrag.

8.1 Fazit der Literaturrecherche

Für den in dieser Arbeit definierten Ansatz wurde kein konkretes Verfahren (Stand der Recherche November 2005) ermittelt bis auf die Publikation von Markus Schwarz, Niklaus E. Zimmerman(2004) auf die im Kapitel 13 näher eingegangen wird. Der erste Ansatz, der sich aus der Voruntersuchung und der Festlegung der Ziele und Anforderungen ergab, soll somit weiter verfolgt werden.

Für die Glättung der Zeitreihen und Eliminieren der Wolken soll HANTS Bestandteil des zu entwerfenden Algorithmus werden. Die Begründung erfolgt im Kapitel 10 Aufbereitung der NDVI Rohdaten, Glättung der Zeitreihen Seite 78

Die Erkenntnis, dass der VCI ein Größenparameter ist, der Auskunft darüber gibt, wie trocken es in einem Monat war, wird im Kapitel 13 Konzeptionelle Ansätze für den Algorithmus Seite 126 näher diskutiert. Es wird dort dann untersucht, inwiefern sich dieser Index integrieren läßt. Siehe Kapitel 5.2 Basisansatz für den zu entwickelnden Algorithmus Seite 41.

Definition, Bestimmung und Verwendung der phänologischen Maße wird im nachfolgenden Kapitel untersucht und die für das Projekt relevanten Parameter festgelegt.

9 Bestimmung der phänologischen Maße

9.1 Definition phänologische Maße

Phänologie „(Biol.) Wissenschaft von den jahreszeitlich bedingten Erscheinungsformen bei Tier u. Pflanze (z. B. die Laubverfärbung der Bäume)“, (Duden - Das Fremdwörterbuch, 8. Aufl. Mannheim 2005 [CD-ROM])“

„Die Phänologie befasst sich mit dem im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Entwicklungserscheinungen in der Natur. Das Wort stammt aus dem Griechischen und bedeutet wörtlich übersetzt Lehre von den Erscheinungen.“ (WIKIPEDIA_08 Phänologie)

Zur Beobachtung dieser Entwicklungserscheinungen und deren Wechselwirkung auf Umwelteinflüsse wie z. B. Klimaveränderungen, Umweltverschmutzung und anthropogene (vom Menschen verursachte) Faktoren verwendet man verstärkt Daten aus der Fernerkundung. Die Grundlage solcher Beobachtungen bilden sogenannte Zeitreihen, die sich aus in kontinuierlichen Zeitabständen erfassten Satellitendaten zusammenstellen. Diese bilden dann die Grundlage für Untersuchungen der Landbedeckung und Landveränderungen von globalen bis lokalen Einzugsgebieten. Wie im Fall von SPOT VEGETATION werden dann die Daten der Zeitreihe in Form eines Vegetationsindex, dem NDVI (siehe Grundlagen Seite 7), der sich aus den vom Satellitensensor gemessenen Reflexionen berechnen lässt, für solche Untersuchungen verwendet. Je nach verwendetem Klassifizierungsverfahren (Hildebrandt, G. 1996), (Albertz, Jörg 2001) gilt es, im Vorfeld Vegetationsformen diesen Zeitreihendaten in Form von Trainingsgebieten (Siehe Kapitel 12 Planung, Erstellung und Auswertung der Trainingsgebiete Seite 85) gegenüberzustellen, um anhand des Verhaltens der Vegetation, repräsentiert durch die NDVI-Werte, eine Differenzierung der Landbedeckung durchführen zu können. (Hildebrandt, G. 1996), (Albertz, Jörg 2001), (Bethke, M. 1999), (Richters, J. 2004), (Röhrig, J. et al. 2004)

Soll die Klassifizierung, wie in dieser Arbeit mittels eines binären Entscheidungsbaumes und phänologischen Maßen durchgeführt werden, so gilt es aus,

diesen NDVI-Zeitreihen Daten über den Entwicklungsverlauf (biologische Ereignisse) (Reed, B.C. and K. Saylor, 1997) der Vegetation über einen gewählten Zeitraum zu ermitteln.

Betrachtet man die NDVI-Werte für einen gemessenen Punkt über eine Zeitspanne, so lässt sich der Vegetationsverlauf in Form einer Kurve darstellen. Durch Festlegung und Bestimmung phänologisch charakteristischer Punkte auf der Kurve wird dann eine Vegetationsform definiert. Diese Punkte und deren Bestimmung werden nun im Folgenden diskutiert. Im Anschluss daran werden ein paar Referenzbeispiele aus Projekten aufgeführt.

9.2 Definition und Recherche verwendeter phänologischer Maße

Röhrig, J. et. al. (2004) Spot Klassifikation Upper Quémé in Benin (HVO). Von 13 untersuchten phänologischen Maßen, die in Anlehnung an die Veröffentlichungen von (WWW_09 Reed, Bradley), (Reed, B.C. et al. 1994), (Richters, J. 2004) und (WWW_08 Sheng, Yongwei) in Betracht gezogen wurden, wurden 4 für die Klassifizierung verwendet. Jährliche Mittelwerte der NDVIs in Verbindung mit der Soil Line erwiesen sich als gutes Unterscheidungskriterium. Über die Bestimmung der Soil Line wurde zum einen die Trockenzeit ermittelt und alle weiteren Maße im NDVI-Verlauf oberhalb dieser festgelegt. Die Soil line als solches wurde über 15 10tages MVC's mit den niedrigsten NDVI-Werten bestimmt. Dies entspricht einer 5monatigen Trockenzeit, die als typisch für diese Region beschrieben wurde. Weiterhin wurde der Time-integrierte NDVI (Net primary production), der maximale NDVI-Wert (Maximum measurable level of photosynthetic activity) und der mittlere NDVI-Wert über den Jahresverlauf (Mean level of photosynthetic activity) bestimmt.

Richters, J. (2004) Klassifizierung im Nordwesten von Namibia verwendete folgende Maße für die Klassifizierung. Die Soil Line wird auch hier über einen Mittelwert mit 18 10tages MVC Szenen aus der Trockenzeit bestimmt. Die duration als Schnitt der Soil line mit den NDVI-Werten, Max-NDVI, Min-NDVI oberhalb der Soil line, Pg-PA und Rate of Greenup. Die Bestimmung erfolgte auch hier in

Anlehnung an (WWW _08 Sheng, Yongwei 1998), (Reed, B.C. et al. 1994) und (Reed, B.C. and K. Sayler 1997).

In den Veröffentlichungen im Internet von Sheng, Yongwei (WWW _08 Sheng, Yongwei) und Reed, Bradley (WWW_09 Reed, Bradley) werden 14 phänologische Maße definiert, die wie folgt benannt und beschrieben werden. Da zum Teil unterschiedliche Bezeichnungen verwendet wurden, sind hier alle aufgeführt.

Tabelle 6 Verwendete Bezeichnung der phänologischen Maße und deren Beschreibung.

NR	Bezeichnung	Beschreibung
1	Number of growing seasons (NR_GS).	Legt die Anzahl der NDVI – Spitzen in einer Zeitreihe fest.
2	Soil Line (S_L)	Zeitpunkt oberhalb dessen photosynthetische Aktivität möglich ist.
3	Onset time, Start of growing season (SOS).	Startpunkt des Vegetationsbeginns.
4	NDVI at start of growing season (NDVI_SOS).	NDVI-Wert zum Startpunkt des Vegetationsbeginns.
5	End time, Offset, End of growing season (EOS).	Endpunkt der Vegetation.
6	NDVI at end of growing season (NDVI_EOS).	NDVI – Wert am Endpunkt der Vegetation.
7	Period of growing season (PGS), Duration.	Länge der Vegetationsperiode. Onset-Offset
8	Maximum of photosynthesis activity (MAX_PA).	Maximal messbare photosynthetische Aktivität in der Vegetationsperiode.
9	Minimum of photosynthesis activity (MIN_PA).	Minimale messbare photosynthetische Aktivität in der Vegetationsperiode.
10	Time of maximum photosynthesis activity (TMAX_NDVI).	Zeitpunkt der maximalen photosynthetischen Aktivität in der Vegetationsperiode.
11	Range of photosynthesis activity (RG_PA).	Spannbreite der photosynthetischen Aktivität.

12	Time integrated NDVI (TI_NDVI).	Fläche unter der Kurve.
13	Rate of greenup (RG_UP).	Steigung der photosynthetischen Aktivität.
14	Rate of greendown / senescence (RG_DOWN).	Gefälle der photosynthetischen Aktivität.

Die nachfolgende Grafik zeigt die einzelnen phänologischen Maße visuell dargestellt.

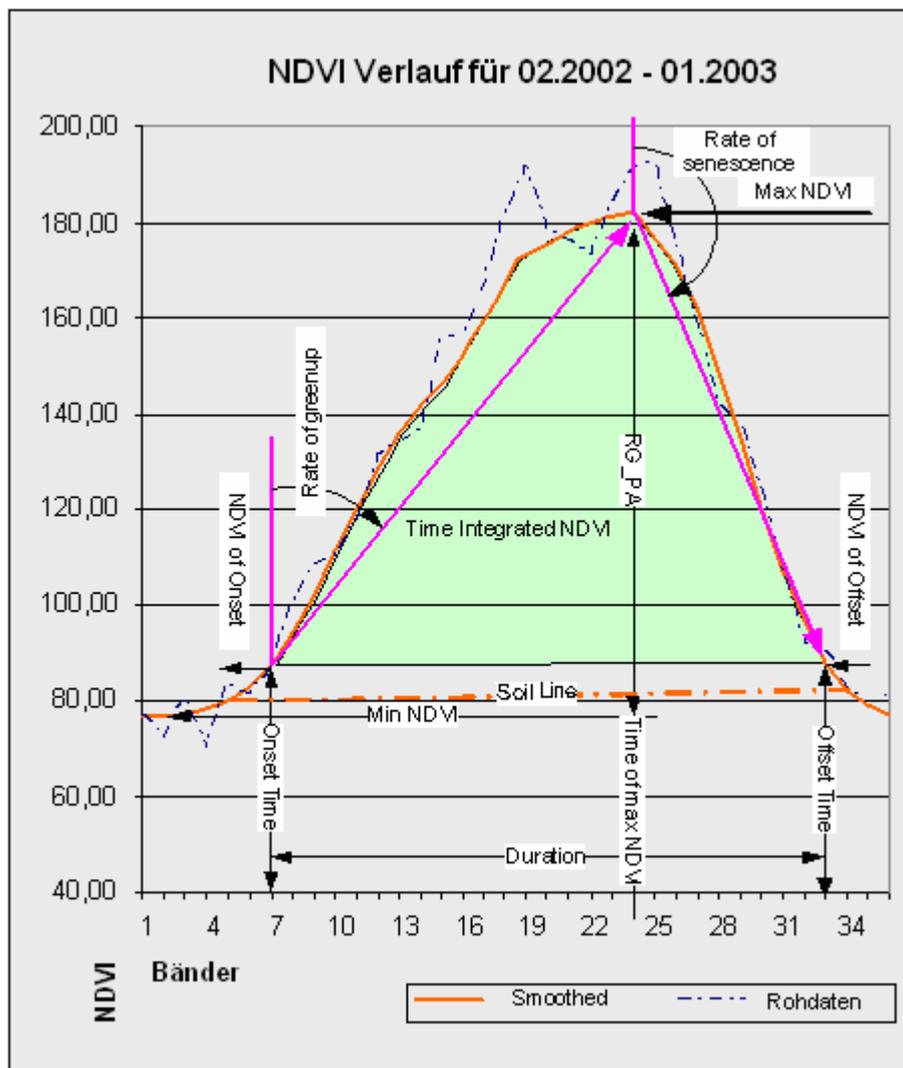


Abbildung 17 Darstellung der phänologischen Maße eigener Entwurf nach Vorlagen von S. Yongwei (WWW_08 Sheng, Yongwei) und Reed, Bradley (WWW_09 Reed, Bradley)

Abweichend von den zuvor identischen Beschreibungen definiert S. Yongwei (WWW _08 Sheng, Yongwei) in seiner Veröffentlichung noch das phänologische Maß „Number of growing seasons: - the number of peaks in the NDVI time-series profile“. Hierbei handelt es sich um einen Zähler, der die Anzahl der NDVI-Max-Werte innerhalb der Zeitreihe festhält. Zu den Max-Werten sollte noch der Zeitpunkt mit festgehalten werden. Die Abbildung 18 zeigt dies an einer Beispielvegetationskurve.

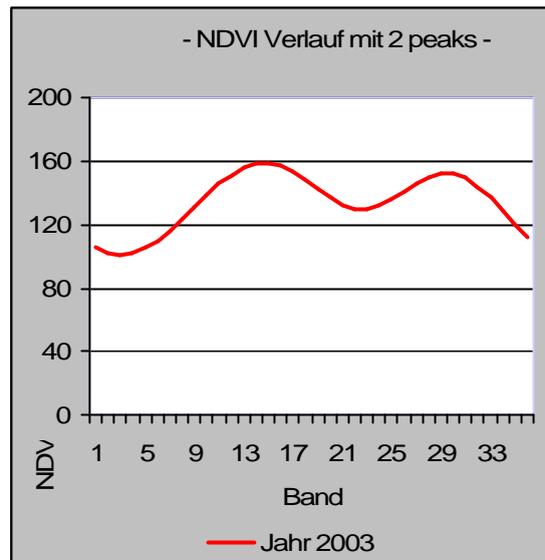


Abbildung 18 Beispiel NDVI Verlauf mit 2 peaks

Allard de Witt, Bob Su bestimmten für die Klassifizierung der Niederlande den Startpunkt (Zeitpunkt in der Zeitreihe des Jahres) der Vegetation über den Punkt der größten positiven Steigung über die erste Ableitung der Kurve, die sich aus den mit HANTS ergebnen geglätteten NDVI-Werten ergibt. Für den Endpunkt der Vegetation wurde der erste NDVI gewählt, der unter dem des Startpunktes lag. Der Grund hierfür wird damit angegeben, dass die Ermittlung der maximalen negativen Veränderung (Abnahme des Gefälles) nicht präzise genug ermittelt werden konnte.

Tateishi, R., Ebata, M. (2004) verwendet für die Patternanalyse onset, offset, peak und duration. Onset wurde als maximaler Anstieg der NDVI-Werte über drei fortlaufende 10tägige NDVI-Werte bestimmt; Offset wie Onset jedoch mit der maximalen Verringerung der NDVI-Werte. Peak wurde jeweils über die Maximumsumme dreier fortlaufender NDVI-Werte im Jahreszyklus ermittelt; Duration als Zeitspanne offset – onset.

Auf der Webseite von Reed, B.C. and K. Saylor, (1997) "Colorado 1991-1995", und (WWW_09 Reed, Bradley) "Phenological Characterization" auf der USGS Homepage, werden für die Bestimmung von Onset und Offset die geglättete Zeitreihe (siehe nächstes Kapitel) und die über eine zeitlich verzögerte mit langfristigen Durchschnittswerten, über einen gleitenden Mittelwert mit n frei wählbaren Stützpunkten, berechnete Kurve verwendet.

Dieses Verfahren wird als „delayed moving average (DMA)“ bezeichnet. Onset Offset Bestimmung: Originaltext übersetzt: "Wir verwenden einen sogenannten delayed moving average (DMA) Ansatz zum Vergleich zur geglätteten NDVI-Zeitreihe. Dabei werden NDVI-Datenwerte mit dem Durchschnitt von n vorherigen, nutzerbestimmten NDVI-Beobachtungen verglichen, um Abweichungen von einem existierenden Trend zu finden. (Reed und andere, 1994).

Der DMA-Wert dient als Vorhersagewert, mit welchem die tatsächlichen NDVI-Werte verglichen werden. Eine Trendabweichung liegt vor, wenn sich der NDVI-Wert vom moving average-Wert unterscheidet, also größer wird, zum Beispiel wenn niedrige NDVI-Werte mittels moving average vorgesagt werden, aber die tatsächlichen NDVI-Werte höher sind. Diese Abweichung markiert den Start der Wachstumsperiode (start of the growing season - SOS). Entsprechend wird das Ende der Wachstumsperiode (end of growing season - EOS) berechnet, aber dabei entwickelt sich der moving average-Wert in die entgegengesetzte Richtung."

Skizzenhaft dargestellt in der folgenden Abbildung 19 im rechten Ausschnitt.

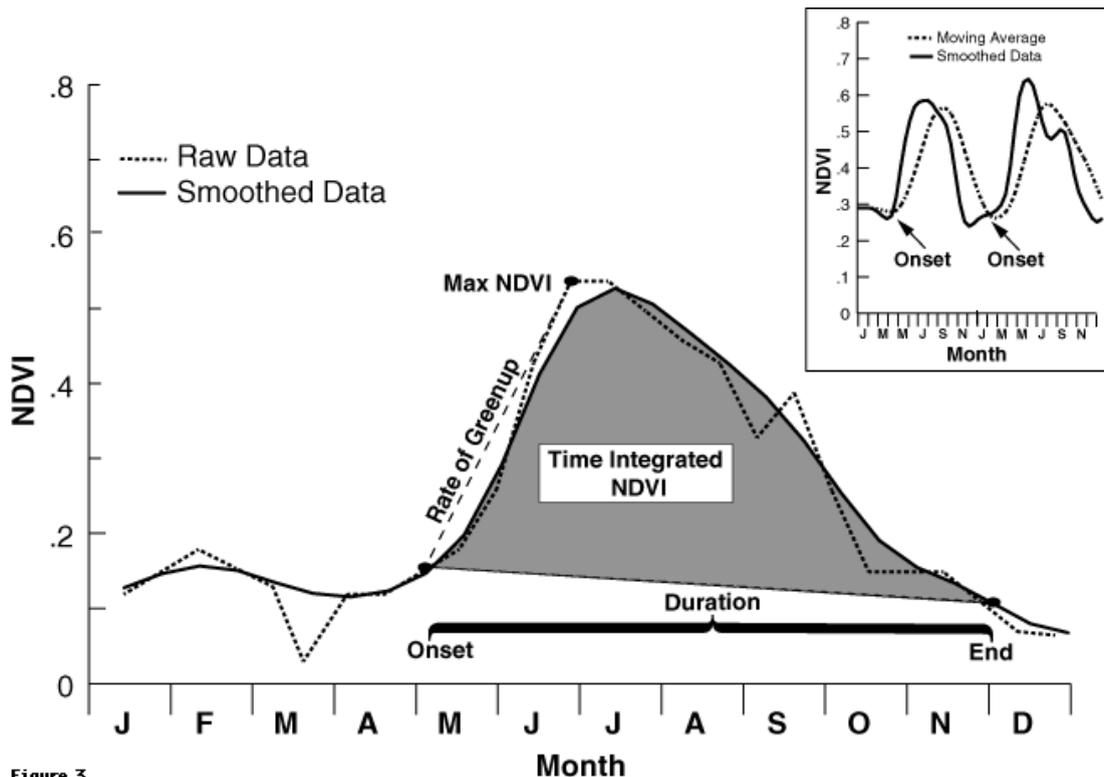


Figure 3
 Reed and Sayler, 1997, "A Method for Deriving Phenological Metrics from Satellite Data, Colorado 1991-1995"
 USGS EROS Data Center

Abbildung 19 Bestimmung Onset / Offset Quelle (Reed, B.C. and K. Sayler, 1997)

Ein weiteres phänologisches Maß, ist der "Seasonal Greenness" (SG) der in den Publikationen von (Jesslyn F. Brown et al. (2002) „A PROTOTYPE DROUGHT MONITORING SYSTEM INTEGRATING CLIMATE AND SATELLITE DATA“ beschrieben wird. Betrachtet wird die Fläche beginnend an Onset bis Max-NDVI. Über die Zeitreihe wurde dann ein prozentualer SG berechnet und als Vergleichswert verwendet. „Percent of Average SG = (current SG / mean SG) * 100“.

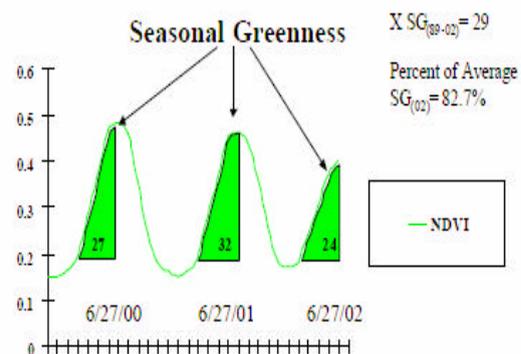


Abbildung 20 Percent of Average SG
 Quell: (D.J. Meyer, B.C. Reed, et al. 1996)

Der Wert mean SG ist das langjährige Mittel und current SG der eines Jahres. Verwendet wurde der SG als Indikator zur Bestimmung von trockenen Regionen.

Die folgende Abbildung unten zeigt die Werte über den langjährigen Durchschnitt (>80%) und hebt Werte unter dem Durchschnitt in Abstufungen hervor. Bereiche unterhalb des Mittels können aus einer Vielzahl von Einflüssen einschließlich stehendes Wasser, Dürre, Abholzung oder Verfeinerung resultieren.

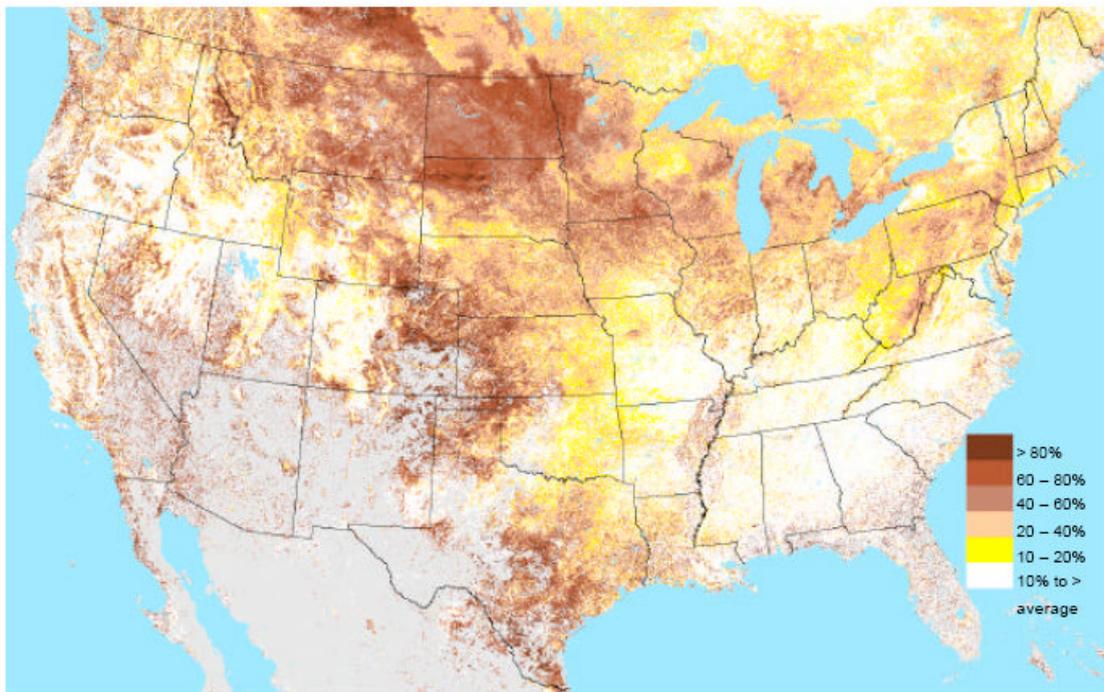


Figure 5. Percent of Average SG for June 27, 2002 (Colored classes show below average SG).

Abbildung 21 Quelle (D. J. Meyer, B.C. Reed, et al. 1996)

In D.J. Meyer, B.C. Reed, et al. (1996) „Monitoring Seasonal Dynamics of North American Grasslands using VEGETATION“ werden unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung des SG's diskutiert und verglichen. Diskutiert werden 3 Varianten mit und ohne dem Flächenanteil auf der Zeitachse, der bis zum NDVI-Wert = 0 entsteht und als latent NDVI (Abbildung 23 Seite 75) bezeichnet wird. In einer hypothetischen Versuchsreihe wird gezeigt, wie sich ein gebildeter Ratio aus dem Mittel einer Langzeitstudie und dem laufenden Jahr auf das Ergebnis auswirken. Siehe Abbildung 23 Seite 75.

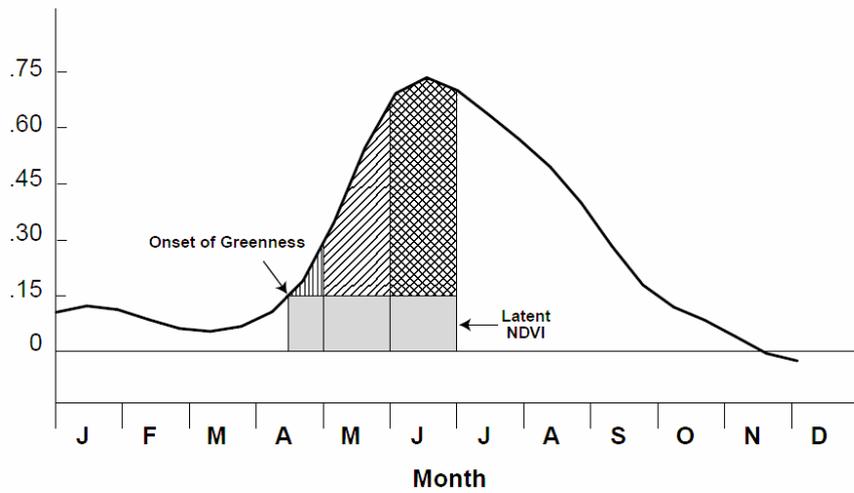


Figure 6. Deviation of adjusted accumulated NDVI and latent NDVI.

Abbildung 22 Onset / Latent NDVI Quelle (D.J. Meyer, B.C. Reed, et al. 1996)

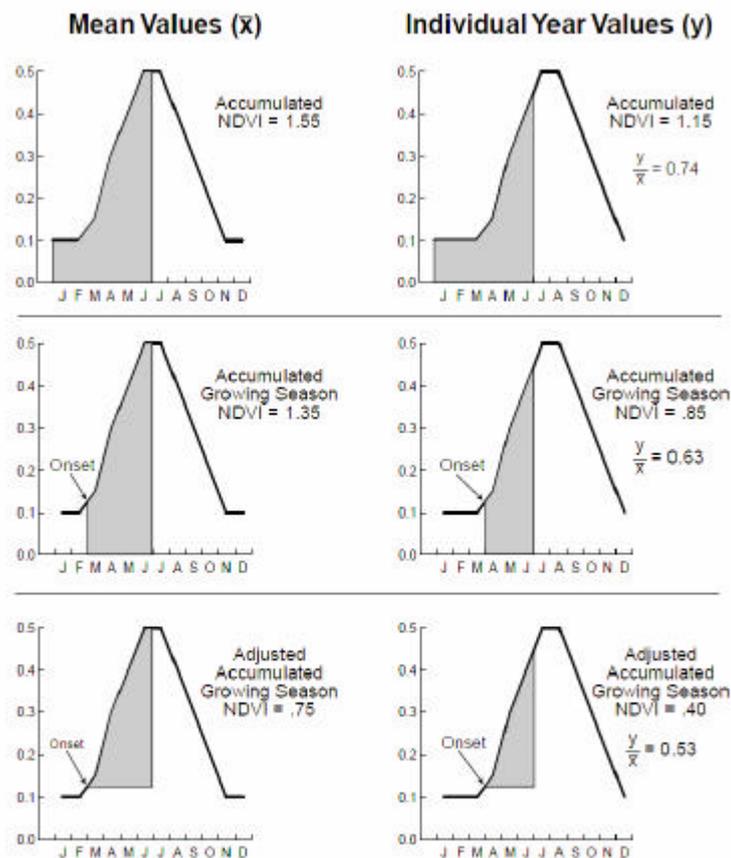


Figure 7. Three methods of accumulating NDVI; a) total accumulated NDVI, b) accumulated growing season NDVI, and c) adjust accumulated NDVI.

Abbildung 23 Seasonal Greenness (SG) bestimmung Quelle (D.J. Meyer, B.C. Reed, et al. 1996)

Eine präzise Bestimmung dieser phänologischen Maße ist jedoch erst dann möglich, wenn die Rohdaten einer Glättung unterzogen werden. Siehe Abbildung rechts. Die blaue Linie verfolgt die Roh-NDVI-Werte, die Magentafarbene das Ergebnis einer Glättung. Im Nächsten Kapitel werden die Ziele einer solchen Glättung beschrieben und verschiedene Verfahren vorgestellt, die aus der Literatur ermittelte wurden und welches Verfahren Bestandteil des Algorithmus wird.

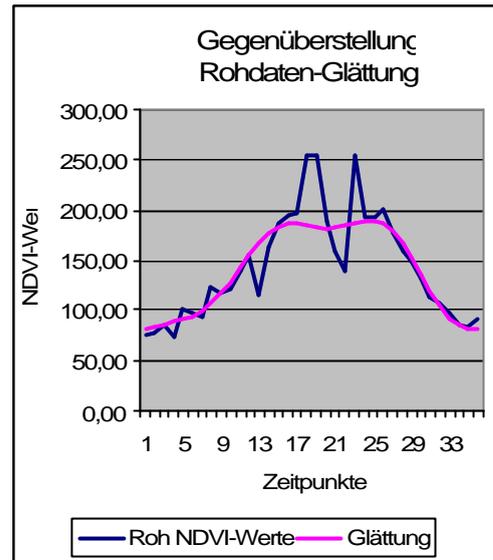


Abbildung 24 Gegenüberstellung Rohdaten-Glättung

Anhand dieser Definitionen der phänologischen Maße und den Ergebnissen der Zeitreihenglättung wird dann im Rahmen der Erstellung der Trainingsgebiete, die zeitliche Zusammenstellung der Bänder für die Bestimmung der phänologischen Maße, festgelegt.

9.3 Zusammenfassung

Anhand der Bestimmung der phänologischen Maße sind die Punkte Onset und Offset die mit den meisten unterschiedlichen Verfahren ermittelten phänologischen Maße. In wieweit unterschiedliche Punkte durch die einzelnen Verfahren ermittelt Einfluss auf die Ergebnisse einer Klassifizierung haben, konnte nicht in Erfahrung gebracht werden. Auch war nicht eindeutig ersichtlich, ob man je nach Untersuchungsgebiet und in Abhängigkeit der NDVI-Werte, eines der Verfahren wählen sollte, um optimale Daten für Onset und Offset zu erhalten.

In D.J. Meyer, B.C. Reed, et al. (1996) wird aber erläutert, dass die Verfahren zu unterschiedlichen Start und Endpunkte führen. Dem entsprechend ergeben sich für abgeleitete phänologische Maße ebenfalls unterschiedliche Werte, z. B. Duration (Länge der Vegetationsperiode) und Time integrated NDVI.

Um den Algorithmus möglichst flexibel zu halten, sind die einzelnen Verfahren zu berücksichtigen. Die folgende Abbildung 25 Seite 77 visualisiert schematisch die unterschiedlichen Onset Punkte und die korrespondierenden Offset Punkte.

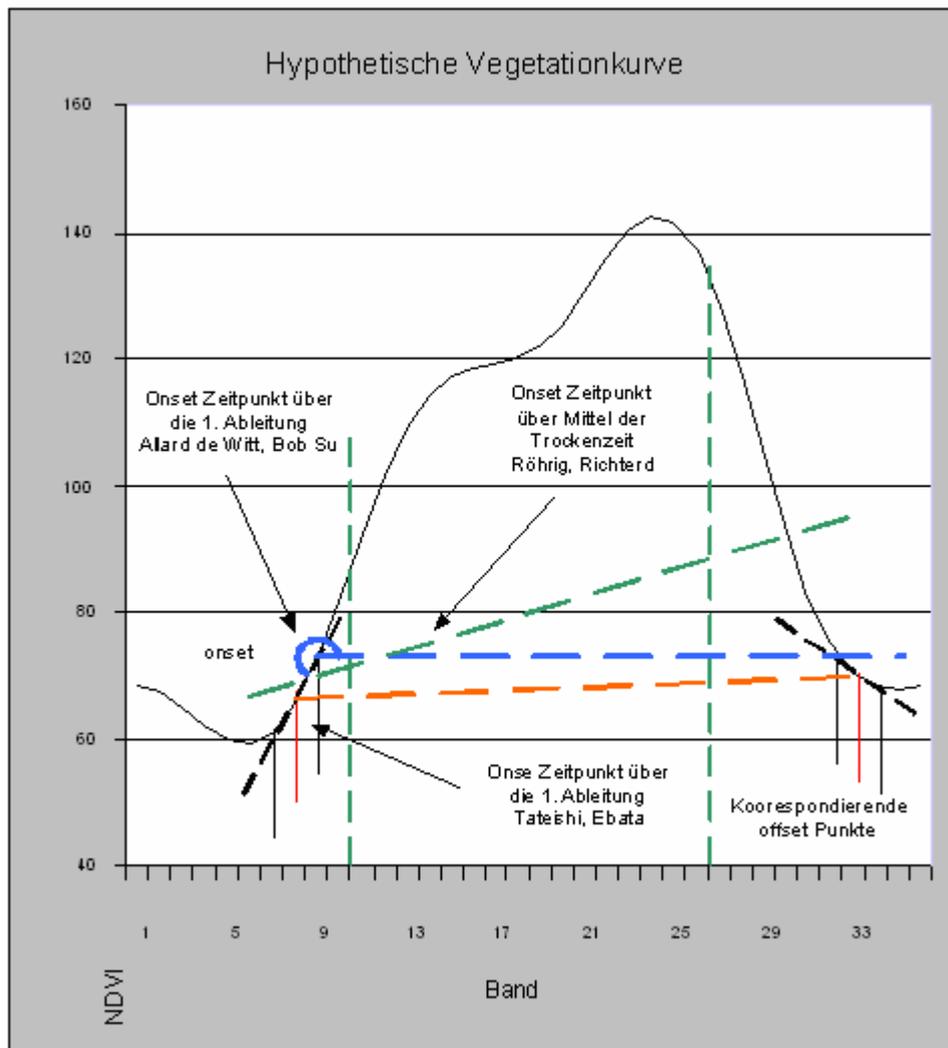


Abbildung 25 Schematische Darstellung von Onset über verschieden Verfahren

Durch diese Darstellung wird dann auch ersichtlich, dass alle von Onset / Offset abgeleiteten Maß unterschiedliche Ergebnisse ergeben.

Zu den beschriebenen phänologischen Maßen, die auf (WWW_09 Reed, Bradley) und (WWW_08 Sheng, Yongwei 1998) beschrieben sind, konnten anhand der Recherche noch zwei weitere ermittelt werden: jährlicher Mittelwert (Röhrig, J. et. al. 2004) und der Seasonal greenness (SG) in Jesslyn F. Brown et al. (2002) und D.J. Meyer, B.C. Reed, et al. (1996)

10 Aufbereitung der NDVI Rohdaten, Glättung der Zeitreihen

Betrachtet man in der Abbildung rechts oben den Verlauf der gemessenen NDVI-Werte, so erkennt man einen unruhigen Verlauf, der insbesondere durch Wolken stark gestört wird. Spitzen mit NDVI = 255. Dieses Verhalten der NDVI-Werte ist auf eine Reihe von Faktoren zurückzuführen, die das Signal stören und negativ beeinflussen. Abgesehen von Wolken sind atmosphärische Störungen, variable Lichteinflüsse und die Beobachtungsgeometrie laut Bradley Reed (WWW_09 Reed, Bradley), (Reed, B.C. and K. Sayler, 1997) und (WWW_08 Sheng, Yongwei 1998), verantwortlich für diese negativen Einflüsse. Mittels einer Glättung sollen diese Einflüsse, die für die Schwankungen in den NDVI-Werten in der Zeitreihe verantwortlich sind, ausgeglichen und der phänologische Verlauf betont werden (Reed, B.C. et al 1994). In der unteren Abbildung sieht man ein Beispiel für den Verlauf als geglättete Kurve, über die die phänologischen Maße dann ermittelt werden.

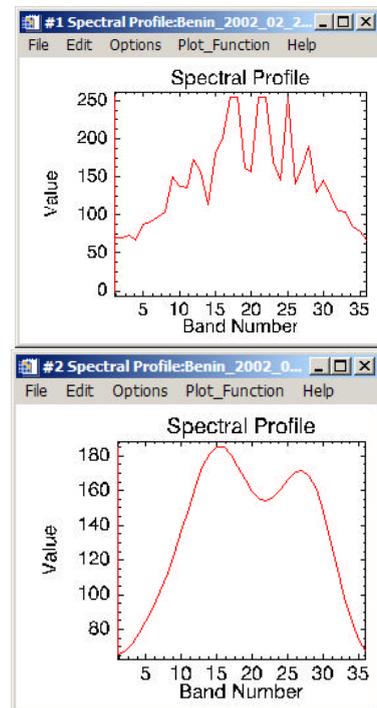


Abbildung 26 Oben, NDVI-Rohdaten, unten Glättungskurve nach Anwendung von HANTS

10.1 Recherche verwendeter Methoden

Ziel dieser Arbeit war es, einen Glättungsalgorithmus zu implementieren, der für die Zielplattform ENVI/IDL zur Verfügung steht. Anhand der Recherche in der Literatur konnten verschiedene Methoden ausfindig gemacht werden, die mehr oder weniger komplex, alternativ in der Umsetzung, Bestandteil des Algorithmus werden könnten. Einige werden nun kurz vorgestellt. Im Anschluss wird dann genauer auf das Zielsystem eingegangen.

Röhrig, J. et al (2004), Spot Klassifikation Upper Quémé in Benin (HVO) verwendete einen einfachen Mittelwert an den Stellen, wo in der Szene davor und

danach wolkenfreie Pixel vorhanden waren. Restwolken, bei denen eine Interpolation scheiterte, wurden als eigenständige Klasse definiert.

Siehe Karte Abbildung 33 Lage und Ergebnis der Spotklassifikation von Röhrig et al. (2004) Seite 97

Richters, J. (2004) Klassifizierung im Nord-Westen-Namibias, verwendete einen gleitenden Mittelwert der Breite 5 auf jedes Pixel für die Glättung und Behebung der Lücken, die durch Wolken vorhanden waren, und zur Betonung des phänologischen Verlaufs in Anlehnung von Reed, B.C. et al. (1994).

Tateishi, R., Ebata, M. (2004) verwendet für die Glättung einen Algorithmus, der Temporal Window Operation (TWO) genannt wird. Dieser wird auf der folgenden Webseite kurz erläutert.

<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1998/ps2/ps2004.asp> (09.04.2006)

Original Titel siehe: Kensuke Kawamura, Tsuyoshi Akiyama, Hiro-omi Yokota, Michio Tsutsumi, Tai-suke Yasuda, Osamu Watanabe⁵ and Shiping Wang (2005)

Auf der Internetseite des USGS (WWW_05 USGS) wird ein Verfahren von Bradley Reed (WWW_09 Reed, Bradley) vorgestellt, welches auf die Bezugsquelle für Informationen auf Swets, D.L., B.C. Reed, J.R. Rowland, S.E. Marko, (1999) verweist. Bei diesem Verfahren wird der dieser Arbeit zugrunde liegende mathematische Ansatz für die Zeitreihenglättung verwendet. Ausgehend von einer zweiwöchigen Zusammenfassung, um eine erste Reduzierung der negativen Einflüsse auf die NDVI-Werte zu eliminieren, erfolgt die Glättung mittels einer gewichteten linearen Regression nach der Methode der kleinsten Quadrate (siehe Grundlagen Seite 7 Ausgleichung). Im dritten Durchlauf wurden die durch die Glättung reduzierten NDVI-Werte in den Bereichen der konterminierten Punkte, wo Spitzen und Senken vorlagen, mit einem Gewichtungsfaktor wieder angehoben, um diese Stellen zu betonen.

10.2 Funktionsweise von HANTS (Harmonic Analysis of NDVI Time-Series)

Für die Glättung der Zeitreihen wird dieser Algorithmus, der mit ENVI/IDL umgesetzt wurde, Bestandteil des Algorithmus werden. HANTS (Allard de Witt, Bob Su) basiert auf der Original-Implementierung von Wout Verhoef vom National Aerospace Laboratory (NLR) der Niederlande, die in Fortran erstellt wurde. Die Grundidee der ENVI/IDL Umsetzung bestand darin, dieses Verfahren einem breiten Anwenderkreis zugänglich zu machen und die Verwendung gegenüber der Fortranimplementierung zu vereinfachen. Das Grundkonzept besteht darin, saisonale Effekte in NDVI-Zeitreihen mittels „low frequency sine“ Funktionen mit verschiedenen Phasen, Frequenzen und Amplituden zu beschreiben. Wolken und andere störende Effekte, die mehr oder weniger zufällig in Form von plötzlichen Spitzen auftreten, werden als hohes Frequenzrauschen interpretiert. Daher arbeitet der Algorithmus auf der Basis einer Fourieranalyse. Im Gegensatz zu einer reinen Fouriertransformation arbeitet HANTS iterativ. Ausgehend von den Roh-NDVI-Daten werden im ersten Schritt aus dem Fourierspektrum relevante Frequenzen wie usually mean, annual und half year signal ermittelt. Diese ermittelten Ergebnisse werden dann mit der inversen Fouriertransformation in eine gefilterte NDVI-Zeitreihe zurücktransformiert. Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse untersucht und die Differenz gebildet. Alle Punkte in der original NDVI-Zeitreihe, die unter einem definierten Grenzwert liegen, werden als Wolken betrachtet und mit dem Wert der gefilterten NDVI-Zeitreihe ersetzt. Da sich durch diesen Prozess der Durchschnitt im gesamten Profil ändert, ist ein erneuter Durchlauf notwendig. Diese Prozesse werden dann so oft wiederholt bis keine neuen Punkte gefunden werden.

Die notwendigen Analysen und Ergebnisse verschiedener Durchläufe mit den Rohdaten zur Ermittlung des besten Ergebnisses, warum ein Preprozessor eingesetzt werden musste und welche Schwierigkeiten überwunden werden mussten sowie die Anleitung und die Parameterbeschreibung befinden sich in der Anlage. Siehe Anlage 17 Anhang A Analyse der Ergebnisse der Zeitreihenglättung und Wolkeninterpolation mit HANTS Seite 170

10.3 Fazit der Analyse der Recherche und der HANTS Analyse

Aus der Analyse der Recherche ist ersichtlich, dass das Verfahren nach der Methode der kleinsten Quadrate im Bereich der Zeitreihenglättung schon Verwendung gefunden hat. Insbesondere gilt es im Rahmen der Methodenerstellung die Verwendung des Gewichtungsfaktors und dessen Bestimmung genauer zu untersuchen siehe Swets, D.L., B.C. Reed, J.R. Rowland, S.E. Marko, (1999)

Aus der HANTS-Analyse ergab sich zuletzt, dass der Preprozessor als ein notwendiger Bestandteil von HANTS zu betrachten ist. An einigen Stellen war es auch für HANTS nicht mehr möglich, alle Wolken durch die Interpolation zu entfernen. Diese sind in Form einer Maske (Restwolkenmaske) zu ermitteln, um diese in weiteren Schritten zu berücksichtigen.

Offen und auch nicht so ohne weiteres überprüfbar ist die Frage, in wie fern die interpolierten NDVI-Werte, in den durch Wolken bedeckten Bereichen, von HANTS einen möglichen wahren NDVI-Werte Verlauf wieder spiegeln. Auf die Vegetationsklasse bezogen, gibt der interpolierte Verlauf die tatsächliche nicht bestimmbare Vegetationsklasse wieder oder in wie weit kann es zu einer Fehlklassifizierung kommen, da durch die Interpolation der theoretische, mögliche wahre Verlauf zu sehr verändert wird.

Hierfür ist eine Qualitätsmaske vorzusehen. Auf der Basis der Anzahl verwendeter 10tages NDVI-Daten, die als 100% betrachtet werden, und der Anzahl mit wolkenbedeckter Pixel über die Zeitreihe soll diese Maske dann besagen, mit welchem prozentualen Anteil der Pixel mit tatsächlich gemessenen Werten die Klassifizierung ermittelt wurde. Über eine farbliche Abstufung lässt sich diese Maske oder Statuskarte dann dem Klassifizierungsergebnis hinzufügen, um eine weitere Qualitätsaussage treffen zu können. Beispiel: Insgesamt wurden 36 Szenen für die Zeitreihe verwendet $S = 36$, in 8 Szenen war ein Pixel als Wolke maskiert $C=8$. Siehe Gleichung 3 oben. Daraus folgt, dass die ermittelte Klasse für dieses Pixel mit 77% der wolkenfreien Pixel der Zeitrei-

$$\frac{S}{S-C} \Rightarrow \frac{36}{36-8} = \frac{100}{x} = 77\%$$

Gleichung 3 Formel für HANTS
Qualitätsmaske

he bestimmt ist und mit 23% interpolierten Werten im wolkendedeckten Bereich durch HANTS beeinflusst ist.

Als best fit für das verwendete Untersuchungsgebiet Benin (Westafrika) wurden folgende Parameter ermittelt.

Tabelle 7 Parameter für die Zeitreihenglättung HANTS

FREQ	FET	TAT	IMAX
0,1,2,3	20	15	30

Diese Parameter müssen aber nicht bindend für andere Gebiete sein. Dies legt für den zu entwickelnden Algorithmus fest, dass dieser Teil innerhalb des Gesamtprozesses zu den iterativen gehören muss.

11 Festlegung der Klassen

Ausgehend von einer Gegenüberstellung der Landklassen verschiedener Projekte IGBP (www_03), USGS (www_05), GLC2000 (www_04) und IMPETUS (www_07) wurde folgende Abstufungen für die Untersuchung und Erstellung der Trainingsgebiete festgelegt. Diese entspricht den Vorgaben von IMPETUS und der Gruppierung wie sie in der Arbeit von Röhrig et al. (2004) durchgeführt wurde. (Level II).

Level I	Level II	Level III
Wasser	Wasser	Wasser
Siedlung	Siedlung	Siedlung
Landwirtschaft	Landwirtschaft	Landwirtschaft
Savannen	Gras Savannen	Savanne herbeuse
		Savanne saxicole
		Savanne arbustive
	Baum Savannen	Savanne arboree
		Savanne boisee
Wald	Fôret claire	Fôret claire
	Fôret dense	Fôret dense

Abbildung 27 Definition der Klassen

Diese hierarchische Abstufung bildete die Grundlage bei der Auswertung der GTPs und Erstellung der Trainingsgebiete. Konzentriert wurde sich auf Level II. Inwiefern eine weitere Abstufung möglich ist oder zusätzliche Klassen eingeführt werden müssen, wird im Rahmen der Erstellung der Trainingsgebiete untersucht und gegebenenfalls durchgeführt werden.

Die folgende Tabelle enthält eine Beschreibung der Klassen sowie die Farbwerte im RGB-Format

Tabelle 8 Klassenbeschreibung Röhrig et al. (2004)

Nr	Klasse	Beschreibung	R:G:B
1	Barley Vegetation	Bare ground: Uncovers by vegetation and a max. vegetation of 10% within a season cycle.	213:210:159
2	Settlement	Cities: Urban areas with a high degree of impervious sites.	255:000:000
3	Agriculture Landssite	Cultivated sites: Agriculture and used land sites (including fallow and villages)	139:000:000
4	Grass Savannah	Grass Savanna 2 – 0% tree canopy cover	255:255:006
5	Woody Savannah	Tree Savanna / Savanna Woodland: 2% tree canopy cover	162:255:000
6	Fôret claire	Woodland Open forest of deciduous and semi-deciduous trees (sparse grass stratum) and up to 75% tree canopy cover	000:150:000
7	Fôret dense	Dry deciduous Forest Closed stand with several strata; grass stratum generally discontinuous and more than 75% tree canopy cover	000:100:000
0	Unklassifiziert		000:000:000
8	Wolken		255:255:255

12 Planung, Erstellung und Auswertung der Trainingsgebiete

12.1 Grundlagen der Erstellung von Trainingsgebieten

In Gegensatz zur unüberwachten Klassifizierung, wo Klassen über verschiedene Arten von Clusteranalysen gebildet werden, diese jedoch nicht unmittelbar mit den angestrebten Klassen übereinstimmen, gilt es für die überwachte Klassifikation, die zu erstellenden Klassen vorher anhand ihrer spektralen Merkmale festzulegen. Anhand von Trainingsgebieten gilt es, Bildelemente, die ähnliche Merkmale zu den Trainingsgebieten aufweisen, ausfindig zu machen und für die Klassifizierung festzulegen. Die Festlegung von Trainingsgebieten ist als eine Gegenüberstellung des tatsächlichen Zustandes mit den Bilddaten der Satelliten im Untersuchungsraum zu verstehen. Um diese Trainingsgebiete zu erstellen, verwendet man vor Ort bestimmte Punkte oder Flächen, die die zu klassifizierende Vegetation beschreiben sowie andere Informationsmaterialien wie aktuelle Karten und Luftbildaufnahmen. Ein gewisses Maß an Ortskenntnissen ist weiterhin sehr hilfreich, wenn diese Daten am Monitor gegenübergestellt werden. Für die Erstellung der Trainingsgebiete gelten folgende Kriterien:

- Die zu ermittelnden Gebiete müssen repräsentativ und komplett sein und ihre statistischen Werte, die spektrale Signatur, für jede Klasse wiedergeben.
- Für jede zu bildende Klasse sollte mindestens ein Trainingsgebiet vorliegen, mehrere sind aber anzustreben.
- Diese sollten geschlossen, homogen und keine kassenfremden Pixel aufweisen.
- Trainingsgebiete einer Klasse sollen sich über das Untersuchungsgebiet verteilen.
- Die Anzahl der Pixel je Trainingsgebiet sollte mindestens $n+1$ Pixel, mit n = Anzahl der Kanäle, betragen. Lillsand et al. (2004) empfiehlt aber für die Praxis $10*n$ bis $100*n$ Pixel für eine Klasse.

Je mehr Pixel ein Trainingsgebiet beschreiben, desto höher ist die Stabilität der statistisch ermittelten Signatur gewährleistet und Variationen in der Signatur werden besser berücksichtigt. Dies erreicht man dadurch, dass man bei der ermittelten Anzahl von Pixeln je Trainingsgebiet, dieses in mehrere Gebiete im Untersuchungsgebiet aufteilt. Entscheidend bei der Festlegung der Trainingsgebiete und der statistischen Auswertung ist es, diese so anzulegen, dass diese anhand ihrer statistischen Parameter eindeutig sind, die Variabilität statistisch erfasst wird und dass es nicht zu Redundanzen kommt: essentially normaly distributed, spectrally pure (Lillsand et al. 2004). Trainingsgebiete, die mehr als eine spektrale Klasse aufweisen, sind zu überarbeiten, neu auszuwerten oder gar zu entfernen.

Um dies zu ermitteln und für die Trainingsgebiete eine Qualitätskontrolle durchzuführen, werden in der Literatur verschiedene Verfahren vorgeschlagen.

- Auswerten von Mittelwerten und Standardabweichung
- Scatterdiagramme mit Wahrscheinlichkeitsellipse im Merkmalsraum
- Statistische Methoden zur Ermittlung der Separierbarkeit (Transformed Differegnce oder Jeffries-Matusita)
- Gaußsche Normalverteilung der Graustufen der Trainingsgebiete (bei Verwendung von Maximum Likelihood Klassifikator)
- Analyse einer Contingency Matrix

Quellen: (Lillsand et al. 2004), (Hildebrandt, G. 1996), (Albertz, Jörg 2001), Universität Salzburg (WWW_14)

12.2 Gruppierung der vorhandenen Ground truth Points GTPs

Die Festlegung erfolgt mittels der zur Verfügung stehen GTPs die im Rahmen mehrerer Feldvergleiche in Benin erstellt wurden und in Form von Arc-View/ArcGis Shapefiles bereitgestellt wurden. Diese lassen sich in folgenden Gruppen aufteilen:

- Punkte mit Beschreibung und Luftbild, welches mit einer Drohne gemacht wurde.
- Punkte mit Beschreibung inklusive einer Lageskizze und Bilder in die entscheidenden Himmelsrichtungen
- Punkte mit Beschreibung und Bildern, zu denen es keine Angabe zur Richtung gibt.
- Punkte zu denen nur eine Beschreibung existiert.

Weiterhin stehen für eine flächenhafte Zuordnung im Bereich Upper Queme (HVO) zwei bereits erfolgte Klassifikationen zur Verfügung die LANDSAT Klassifikation von Schöttker, B. (2002) und Judex, M. (2003) und die Spot Klassifikation von Röhrig, J. et al. (2004), mit denen Trainingsgebiete überprüft werden können.

12.3 Zuverlässigkeit der GTPs und Abgrenzungsprobleme

Die vorhandenen Punkte erstrecken sich über einen Erfassungszeitraum von 2001 bis 2005. Punkte, die für eine Klasse in Frage kommen, erstrecken sich über mehrere Vegetations- und Niederschlagsgebiete. Ein GTP steht im Grunde repräsentativ für ein Pixel. Da jedoch ein Pixel eine Ausdehnung von 1qkm hat, müssen die GTP anhand ihrer Beschreibung selektiert und klassenspezifischen Gruppen zugeteilt werden. Punktuelle Beschreibungen spezifischer Anbauarten sind zu vermeiden oder in eine Oberklasse zusammen zu führen. Bei einer Auflösung von 1km² ist mit einem Wechsel zu einer anderen Klasse schon bei benachbartem Pixel zu rechnen. (Richters, J. 2004)

12.4 Erstellung der Trainingsgebiete

In der Geo-Database wurden mittels Attributabfragen für die einzelnen Landbedeckungen Layer, entsprechend den Klassen Level III, wie sie von IMPETUS vorgegeben sind, angelegt. Die Abbildung unten zeigt den Screenshot von ArcMap, links die gebildeten Klassen und rechts die Verteilung der GTPs, Verkehrswege sowie die Vegetationszonen innerhalb von Benin, die Niederschlagszonen als Hintergrund sowie den Umring der SPOT Klassifikation von Röhrig et al. (2004) dem Einzugsgebiet der HVO (Siehe Grundlagen Seite 11).

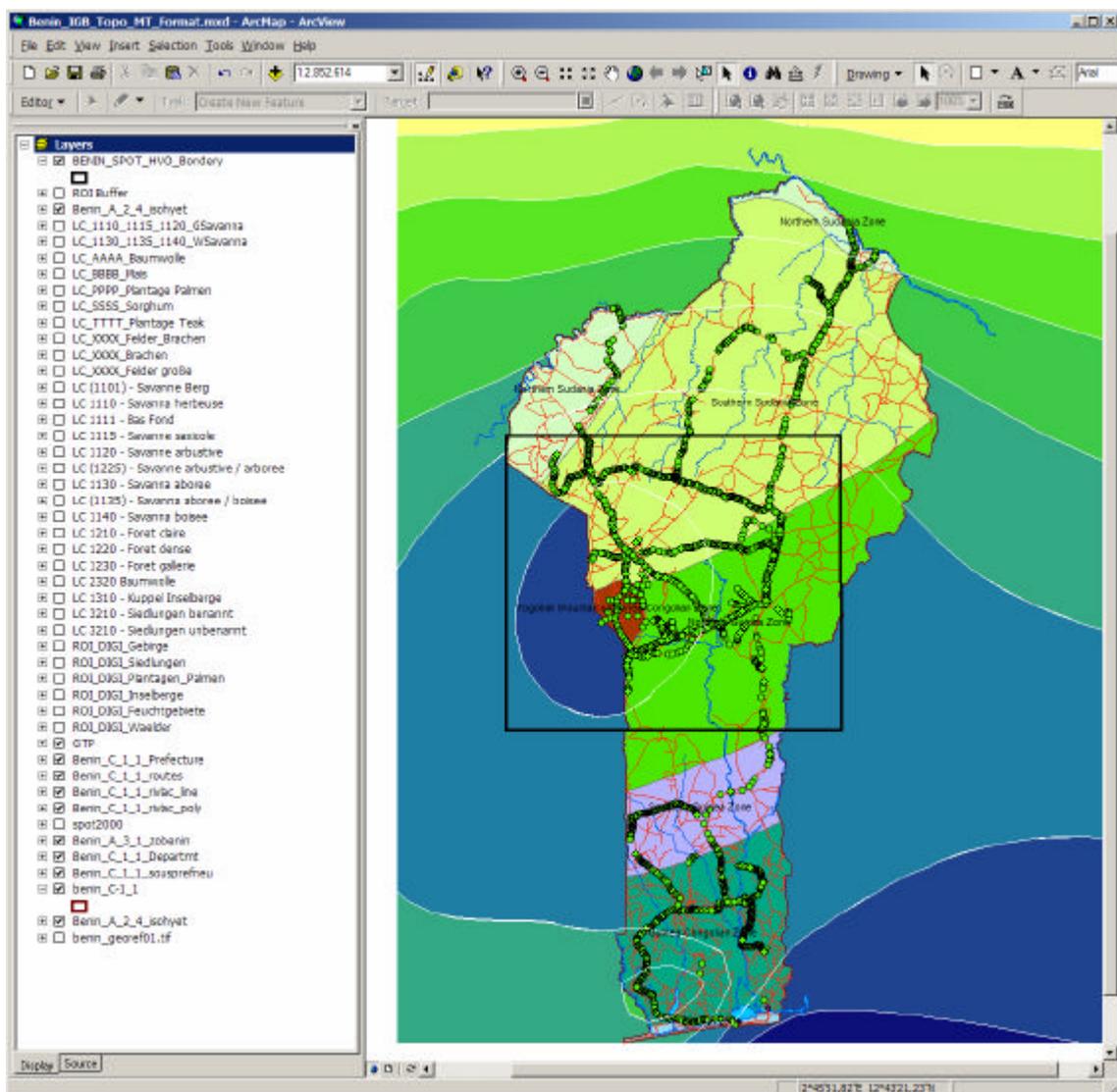


Abbildung 28 Geo-Database mit Landklassen Layern, Benin, Vegetationszonen und Niederschlagszonen und GTPs.

Deutlich erkennbar ist in der vorherigen Abbildung die räumliche Verteilung der GTPs entlang der Hauptverkehrswege, die Konzentration auf Zentralbenin (HVO) und dem südlichen Drittel sowie die großen Bereiche, in denen noch keine Punkte ermittelt wurden. Inwiefern sich punktuelle Vegetationsbeschreibungen auf die Gebiete ohne GTPs bei der Erstellung der Trainingsgebiete übertragen lassen, wird im Rahmen der Erstellung ermittelt. Untersucht wurde zudem die räumliche Verteilung der Punkte einer zugeordneten Klasse über die einzelnen Vegetationszonen. Hierbei wurde festgestellt, dass einige Klassen nur in einzelnen Vegetationszonen, andere wiederum in fast allen erfasst wurden.

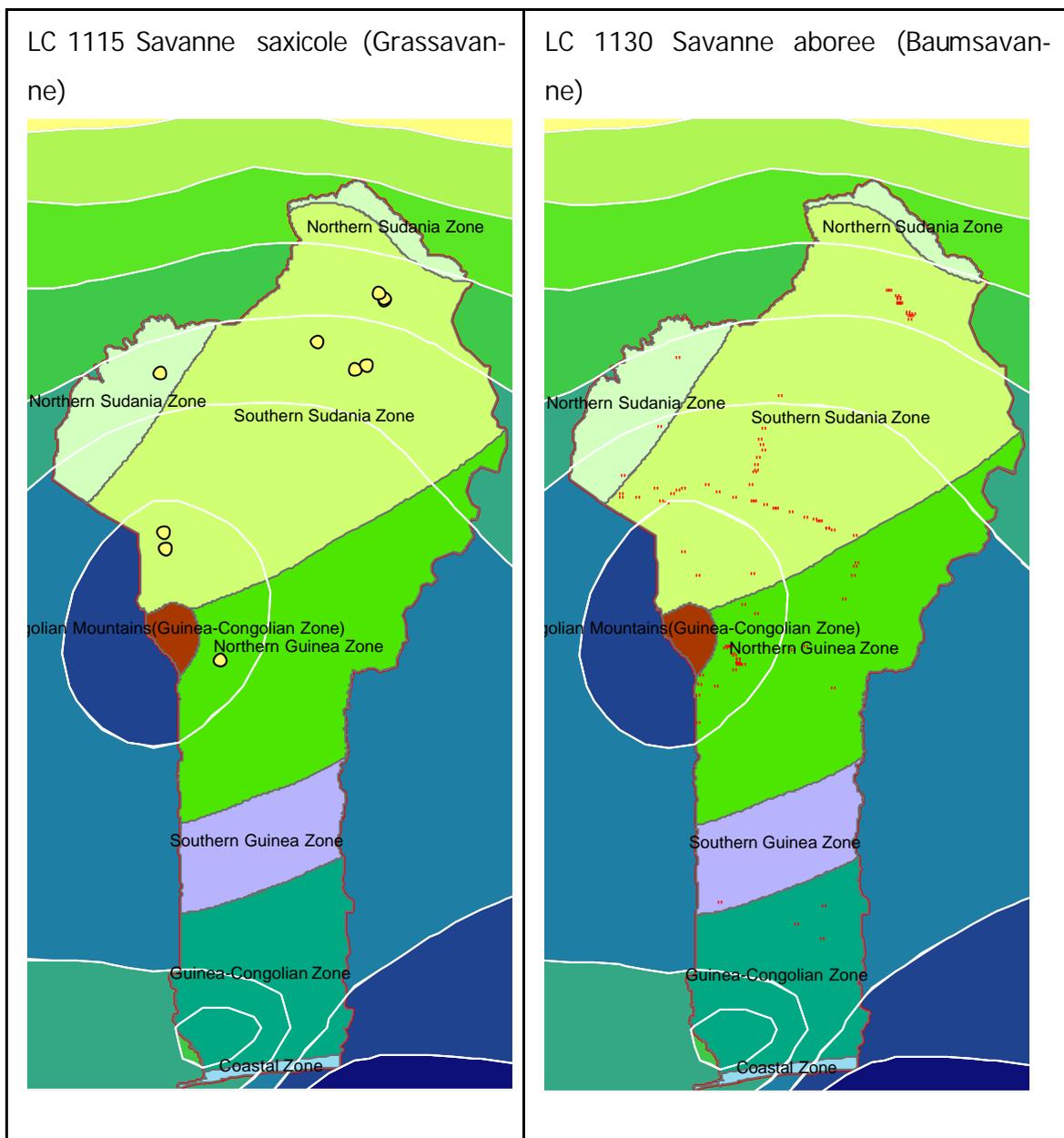


Abbildung 29 Beispiel GTP Verteilung Savanne saxicole / aboree

Punktuelle Beschreibungen, die unterschiedliche Klassen beschreiben, wie z.B. Mischklassen gleicher Oberklasse oder unterschiedlicher Oberklassen, wurden für die Erstellung der Trainingsgebiete nur zur Entscheidungshilfe verwendet, wenn eine Zuordnung zweifelhaft war. Beispiel Abbildung rechts zeigt den Layer mit Punkten, die landwirtschaftliche Nutzung anbauspezifisch beschreiben, wurden nur Teilweise verwendet und den Punkten mit allgemeiner Beschreibung landwirtschaftlicher Nutzung (Felder, Felder und Brachen) zugeordnet. Zur Weiterverarbeitung in ENVI/IDL wurden die einzelnen Layer in Form von Shapefile gespeichert. Hierbei wurden Klassen aus Level III in Gruppen zu Level II zusammengeführt. Siehe Kapitel 11 Festlegung der Klassen Seite 83



Abbildung 30 LC (1225) Savanne arbustive / aboree (Oberklassen Gras/Baumsavanne)

12.5 Vorgehen Ermittlung der Trainingsgebiete und Auswertung

In ENVI importiert, bildeten die so ermittelten Punkte die Grundlage für die Bestimmung der Trainingsgebiete. Von den ersten Stichproben über ausgewählte Punkte bis hin zu den endgültigen Trainingsgebieten wurden drei Bearbeitungsprozesse durchlaufen. Diese ergaben sich aufgrund der Erkenntnisse aus der Voruntersuchung, bezüglich der dort angesprochenen Probleme Trainingsgebiete in dieser Region zu bestimmen und das erst während der Erstellung der Trainingsgebiete ein geeigneter Algorithmus ermittelt wurde, um eine Zeitreihen-glättung und Wolkeneliminierung durchführen zu können. Durch das stufenwei-

se Auswerten und Verfeinern der Trainingsgebiete sollten die Probleme der Differenzierbarkeit und Aussagekräftigkeit der GTPs möglichst gut abgefangen werden und klar differenzierbare Kriterien für die einzelnen Klassen abgeleitet werden, da die NDVI_Werte der Trainingsgebiete die Grundlage für die Definition der phänologischen Maße der Referenzklassen bilden. In Punkto Aussagekräftigkeit der GTPs war es jedoch fast immer notwendig den NDVI-Verlauf am Pixel mit dem sich aus den Stichproben ergebenden NDVI-Verlauf zu vergleichen, um eine Zuordnung einer Klasse festlegen zu können. Je lokaler die Vegetationsbeschreibung war, desto schwieriger wurde eine Klassenzuteilung. Hilfreich war hierbei die von ENVI bereitgestellte Funktion, automatisch benachbarte Pixel zu suchen, die eine statistische Ähnlichkeit aufweisen. Über die Angabe eines Vielfachen der Standardabweichung konnte die Trefferquote gut optimiert werden. Eine statistische Überprüfung der gefunden Pixel gibt hierbei Auskunft über die Standardabweichung, Min/Max Werte der NDVIs. Ergaben sich im Gesamtbild zu hohe Abweichungen in den statistischen Werten, wurden die auswirkenden Pixel entfernt. Die Auswertung der Trainingsgebiete erfolgte dann in Microsoft Excel. In jedem Durchlauf wurden folgenden Schritte durchgeführt:

- Export der NDVI Werte der Trainingsgebiete in eine Textdatei feste Breite mittels einer in IDL entworfenen Routine. Ausgegeben werden Name des Trainingsgebiets (ROI Region of Interest), Pixelkoordinate X Y, geografische Koordinate, NDVI-Werte der Bänder 1-36.
- Importiert in Excel wurden Pixel mit Werten > 254 ermittelt. Hierdurch wurden Pixel, die als Wolken markiert waren (Wert 255, bzw. Artefakte von HANTS) ausfindig gemacht. Diese Punkte wurden dann in Excel und in den ROIs in ENVI/IDL entfernt.
- Für jede Klasse wurden dann Mittelwert, Min, Max, Standardabweichung, Mittelwert \pm Standardabweichung als Grundlage für die statistische Analyse berechnet.

Die Bestimmung der Trainingsgebiete erfolgte nach dem Prinzip vom Einfachen zum Detaillierteren. Dies bezog sich auf die Trainingsgebiete der zu bestimmenden Klassen und der Abarbeitung der Gebiete innerhalb von Benin, wo Trai-

Trainingsgebiete erstellt werden sollten. Die Klassen Wald und Savanne wurden zuerst bestimmt, dann landwirtschaftlich genutzte Gebiete, Barely Vegetation, Siedlungen. Weiterhin wurden Übergangsklassen ermittelt, die sich keiner Klasse zuordnen ließen. Die regionale Untersuchung erfolgte von Zentral Benin aus, da hier die meisten GTPs vorlagen, über den Norden zum Süden. Der enorme Unterschied in der Homogenität der NDVI-Werte zu benachbarten Pixel des Südens gegenüber des Nordens erschwerte die Erstellung der Trainingsgebiete je weiter man in den Süden vordrang. S. hierzu Abbildung 31 Seite 93

Im ersten Durchlauf erfolgte die Erstellung der Trainingsgebiete über den Zeitraum der Trockenzeit von Oktober 2003 bis März 2004 mit den Monatsmitteln der SPOT VEGETATION NDVI – Werten, da zu diesem Zeitpunkt noch kein Verfahren für die Eliminierung der Wolken bereit stand. In dieser Zeit ist das Wolkenaufkommen minimal und ein Großteil konnte durch die Mittelbildung weginterpoliert werden. Weiterhin liegt diese Zeitspanne ungefähr in der Mitte der erfassten GTPs 2001 - 2005. Anhand ausgewählter Punkte ließen sich dann für die wichtigsten Merkmale für diesen Zeitraum, Min / Max – NDVI für Oktober und März, ermitteln und dienten als Anhaltspunkt für weitere Festlegungen von Trainingsgebieten. Ergebnisse siehe nachfolgende Tabelle.

Tabelle 9 MIN/MAX NDVI für Oktober 2003, März 2004

Klasse	Beschreibung	Oktober		März	
		MIN	MAX	MIN	MAX
1210	Fôret dense	180	215	70	115
1220	Fôret claire	160	180	60	120
1180	Woody Savanna	140	190	65	100
1130	<i>Savanne arboree</i>				
1140	<i>Savanne boisee</i>				
1190	Gras Savanna	150	190	65	100
1110	<i>Savanne herbeuse</i>				
1115	<i>Savanne saxicole</i>				
1120	<i>Savanne arbustive</i>				
	Barly Vegetation	135	160	50	70
	Landnutzung	140	190	70	130

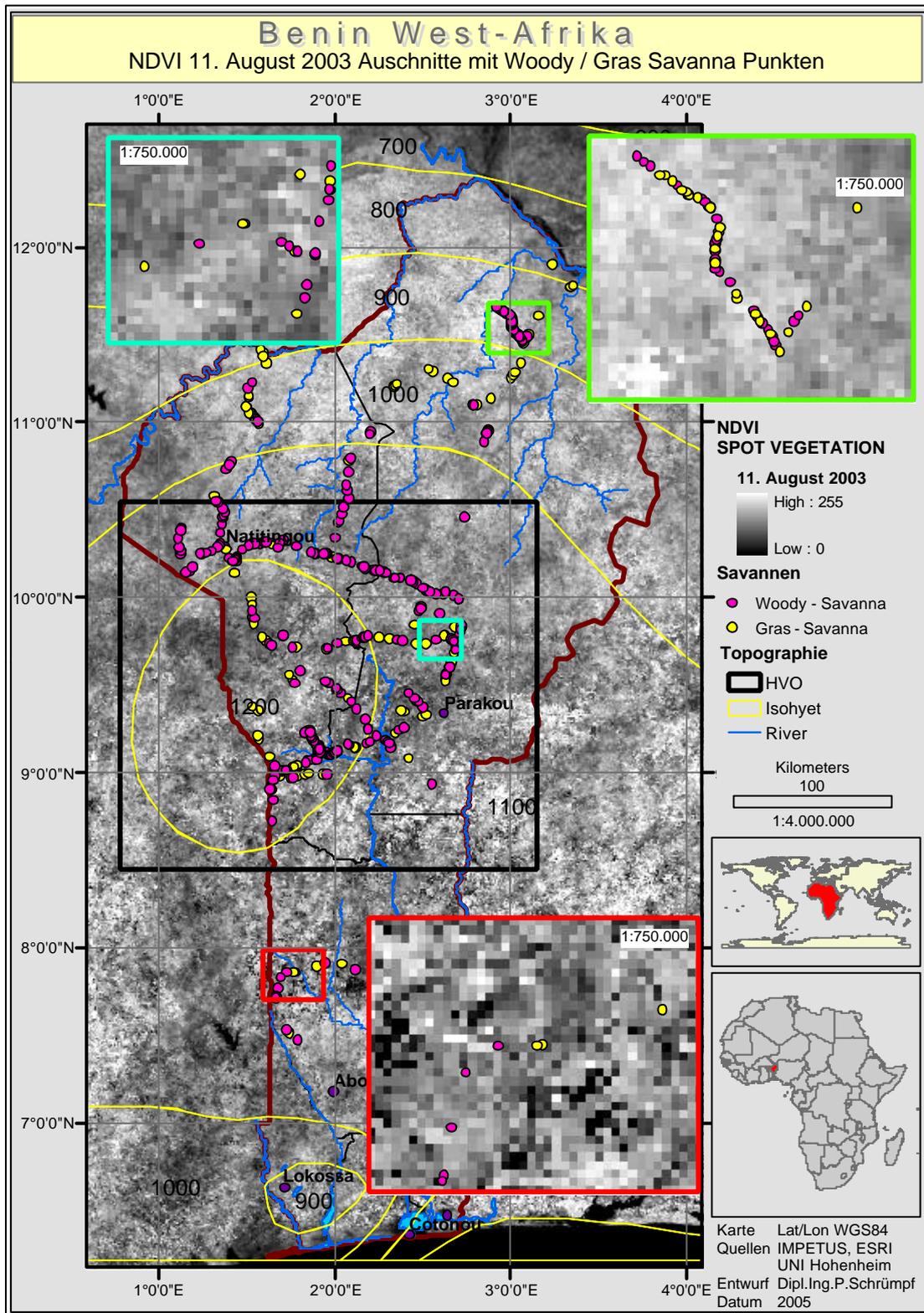


Abbildung 31 Darstellung der NDVI Nachbarschaft in Nor-, Zentral- und Südbenin

Die NDVI–Werte der erstellten Trainingsgebiete aus der ersten Untersuchung wurden dann ausgelesen und in Excel statistisch ausgewertet. Für die Bänder Oktober und März wurden zusätzlich Häufigkeitsanalysen erstellt um Ausreißer im oberen / unteren NDVI Bereich einer Klasse ermittelt zu können. Diese Punkte wurden dann anhand der Pixelkoordinaten aus den Trainingsgebieten in ENVI/IDL und in der Exceltabelle entfernt. Hierdurch konnte die Spannweite der NDVI-Werte verringert und somit eine bessere Abgrenzung der Klassen erzielt werden. Nachfolgende Tabelle zeigt ein Beispiel hierfür. Verwendet wurden die Daten von Woody – Savanna.

Tabelle 10 Statistische Auswertung der NDVI-Werte der Trainingsgebiete

Max		212,33	190,67	154,33	129,33	128,33	150,00
Min		116,67	106,67	79,33	66,67	59,00	54,33
Mean		168,30	152,58	118,11	93,89	92,26	91,43
Staw		15,19	14,72	14,39	7,98	10,88	14,00
Mean+Staw		183,49	167,30	132,50	101,87	103,14	105,43
Mean-Staw		153,11	137,86	103,72	85,90	81,39	77,42
Häufigkeit	B1	120,00	2,00		B6	60,00	9,00
		130,00	8,00			70,00	30,00
		140,00	29,00			80,00	99,00
		160,00	162,00			100,00	441,00
		180,00	380,00			120,00	146,00
		190,00	133,00			140,00	19,00
		210,00	32,00				3,00
			<140				<70
			>190				>120

Im ersten Durchlauf wurde für alle Klassen aus Level II, sowie für einige Übergangsklassen, ein Grundstock von Trainingsgebieten festgelegt. Die Abbildung XX auf Seite YY zeigt, die sich aus den Mittelwerten der NDVI-Werte der Trainingsgebiete ergebenden Kurvenverlauf. Abgesehen von den Klassen KüstenBinnenGewässer01 und KüstenBinnenGewässer02 spiegeln sich die Erkenntnisse aus der Voruntersuchung, bezüglich der schwierigen Differenzierbarkeit der Klassen sehr gut wieder.

Im Zeitraum Januar bis März teilen sich alle anderen Klassen einen NDVI-Bereich von 60-95 Die Klassen Woody-Savanna, Gras-Savanna sowie die Land-

nutzung zeigen über den gesamten Zeitraum einen fast gleichen Kurvenverlauf. Im Oktober hingegen lassen sich einige Klassen schon recht gut differenzieren.

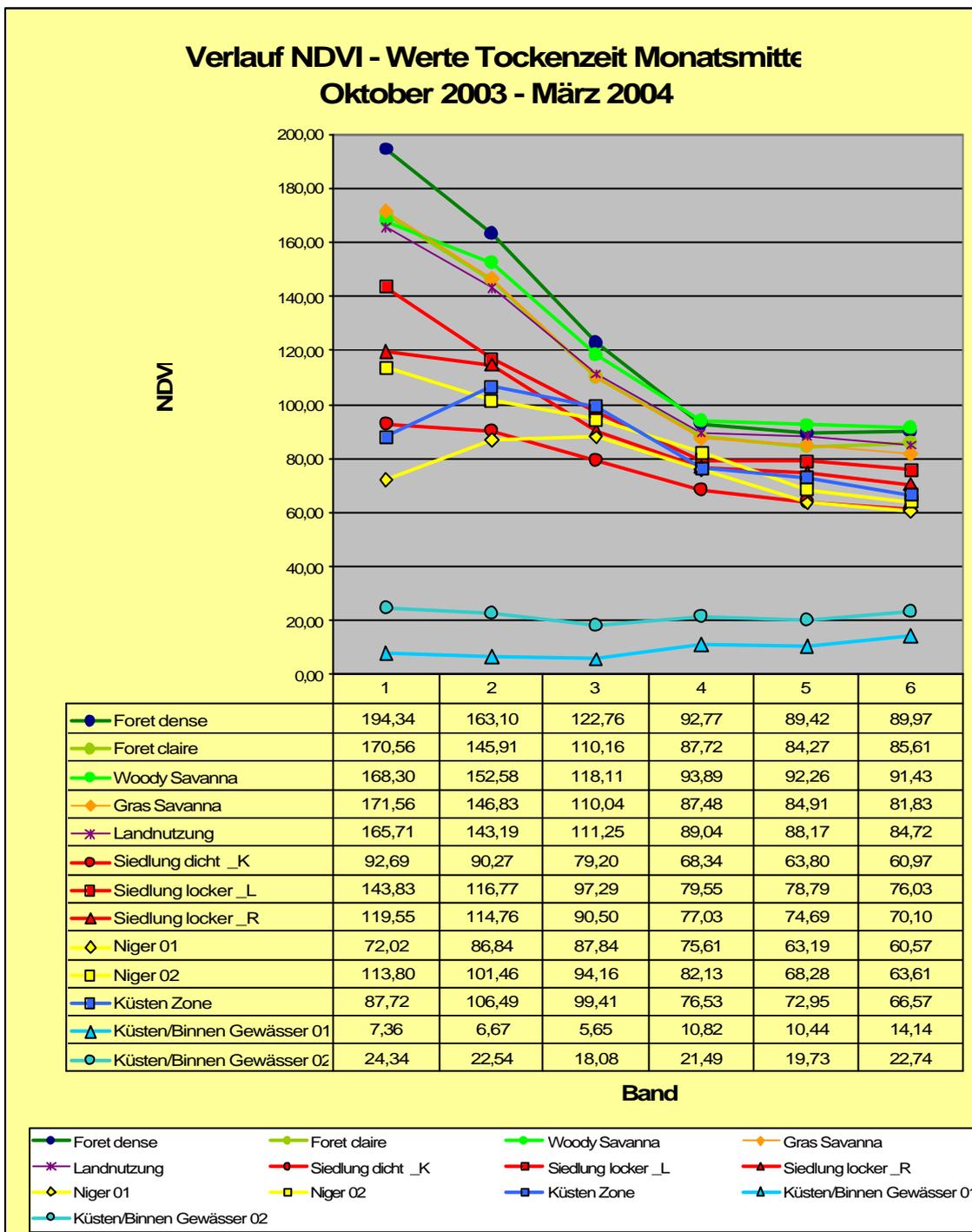


Abbildung 32 Verlauf der NDVI-Werte über die Trockenzeit Monatsmittel von
Oktober 2003 - März 2004

Darüber hinaus konnte die Klasse Siedlung in 3 Klassen unterteilt werden. Siedlung_dicht_K bezieht sich auf den Siedlungskern größerer Städte. Siedlung_locker_L kleine Städte und Siedlung_locker_R. Hierbei handelt es sich um Gebiete im Umfeld von Siedlung_dicht_K. In Norden von Benin entlang des Grenzfluss Niger wurden zwei Klassen hinzugenommen, da anhand der NDVI-Werte und dem Kurvenverlauf eine Zuordnung in eine der Klassen von Level II nicht möglich war. Niger01 enthält Trainingsgebiete entlang der Fluß- und Uferzone, Niger02 beschreibt eine Übergangszone Richtung Süden bis sich wieder Trainingsgebiete aus Level II zuordnen ließen. Das gleiche Verhalten wurde auch im Süden von Benin, entlang der Atlantikküste und im Umfeld der Binnengewässer festgestellt. Hierfür wurden die Klassen KüstenZone, KüstenBinnengewässer01 und KüstenBinnengewässer02 festgelegt.

Gegen Ende des ersten Durchlauf wurde dann der Algorithmus HANTS Harmonic Analyses of NDVI Time-Series (Allard de Witt, Bob Su), als Bestandteil diese Arbeit integriert. Über einen aufwendigen Prozess erfolgte für die Jahre 2002-2004 die Erstellung annähernd wolkenfreier Zeitreihen. Siehe Kapitel 10 Aufbereitung der NDVI Rohdaten, Glättung der Zeitreihen Seite 78

Der zweiten Durchlauf beschäftigte sich dann mit der Überarbeitung, Verfeinerung und Verdichtung der Trainingsgebiete über das gesamte Untersuchungsgebiet. Sowie die Auswertung und Analyse in Excel, über die Zeitreihen der Kalenderjahre 2002-2004. Zusätzliche Hilfsmittel für diesen Arbeitsschritt war die SPOT Klassifikation Zentral Benin HVO von Röhrig et al. (2004), siehe Abbildung 33 auf Seite 97 und eine eigens angefertigte grobe Digitalisierung der Topographischen Karte von Benin (WWW_16 IGN). Siehe Abbildung 34 auf Seite 98

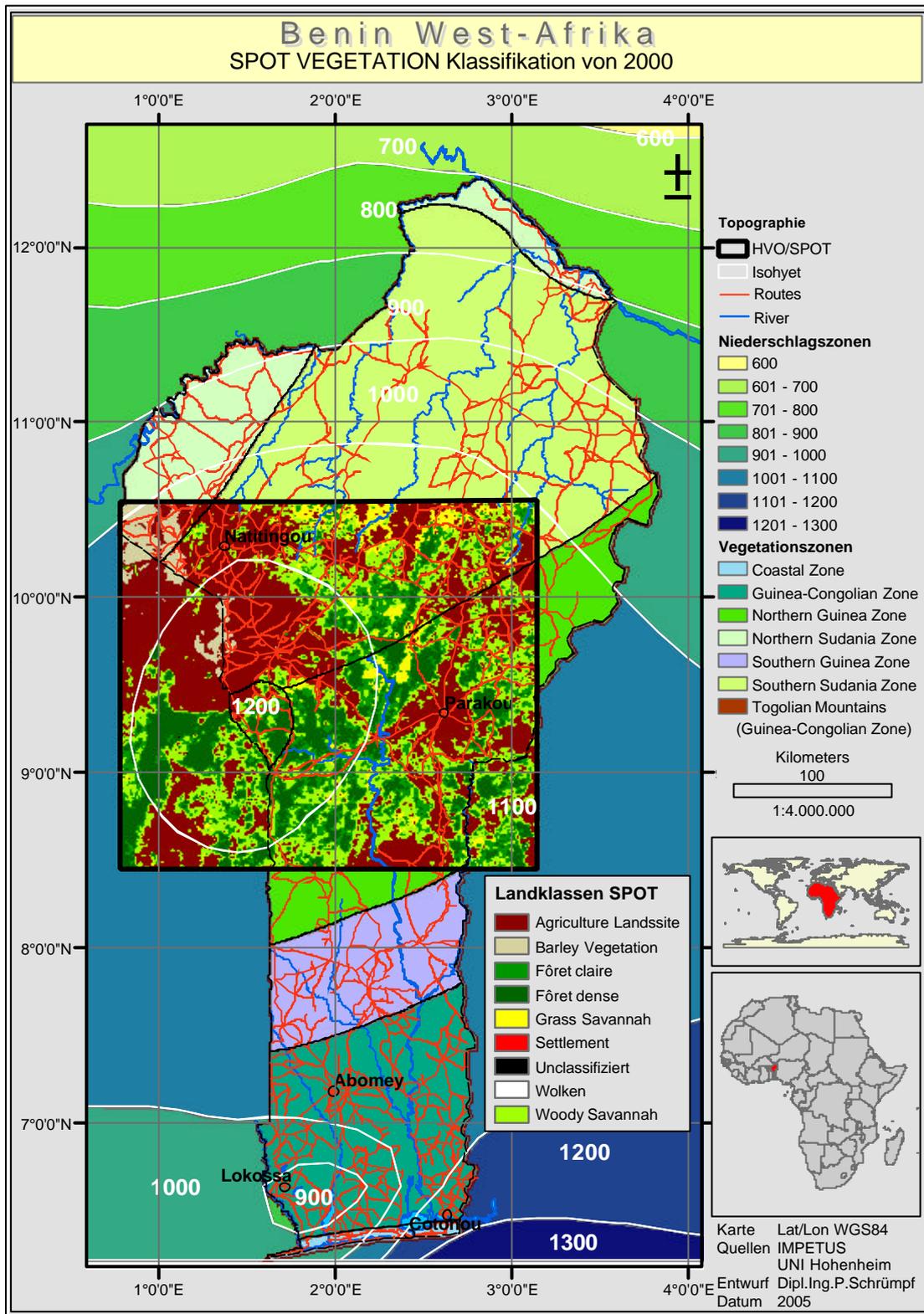


Abbildung 33 Lage und Ergebnis der Spotklassifikation von Röhrig et al. (2004)

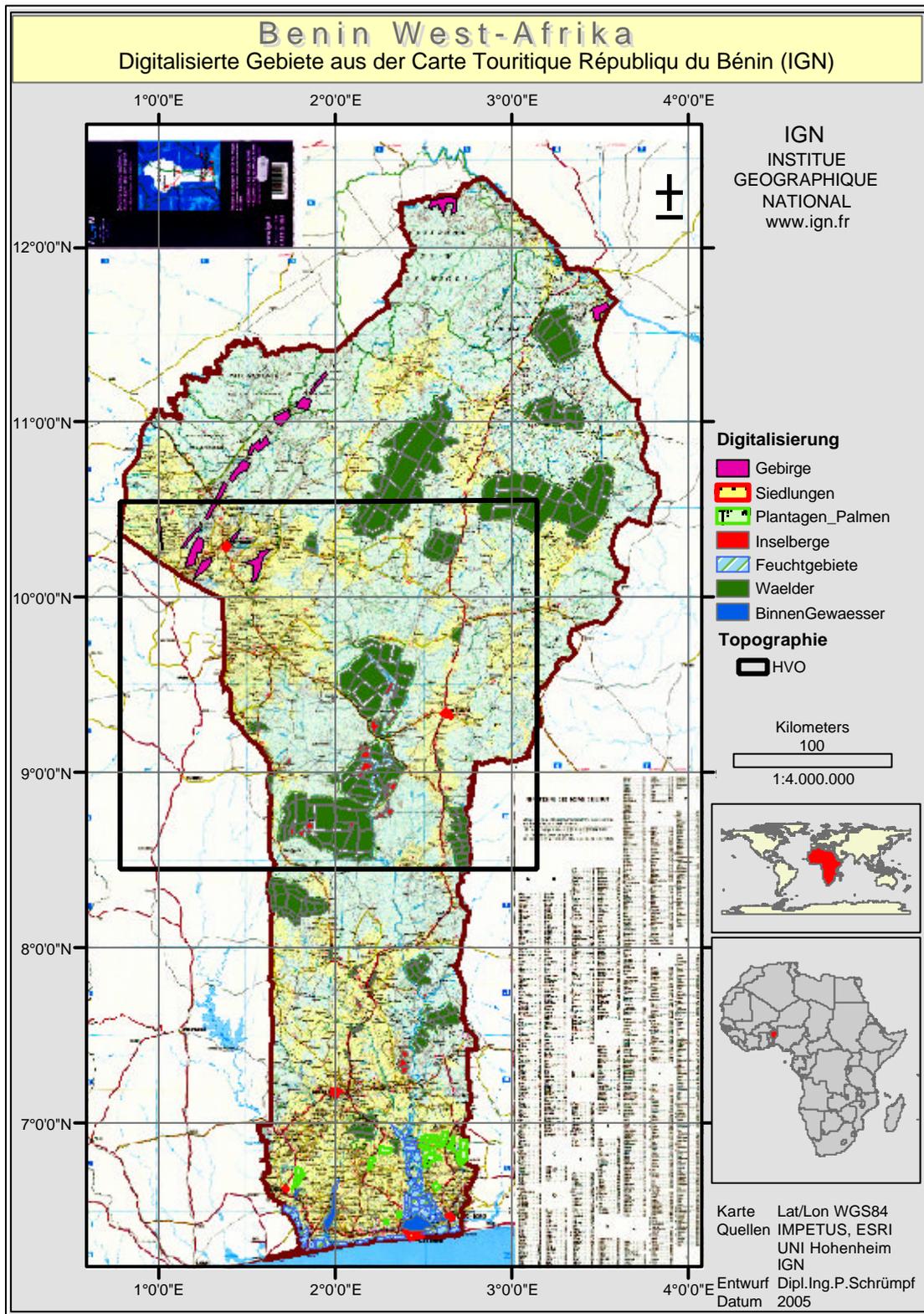


Abbildung 34 Digitalisierung der topografischen Karte von Benin (IGN) (WWW_16 IGN)

Erste statistische Auswertungen über den Jahresverlauf zeigten jedoch, dass sich für alle Klassen eine sehr große Spannbreite zwischen dem Minimum und Maximum NDVI bei den einzelnen Bändern ergaben. Weiterhin kam der Verdacht auf, dass mit einer Steigerung der NDVI-Werte für eine Klasse in den einzelnen Bändern in der Nord – Süd - Achse zu rechnen ist. Was sich demzufolge in der großen Spannbreite widerspiegelt Siehe Kapitel 12.7 Statistische Analyse der Klasse Seite 106. Um hier eventuell eingreifen zu können, wurden die Trainingsgebiete in Zonen eingeteilt und die Überlegung angestellt, diesen Zonen bei der Klassifizierung mit einzubeziehen. Die Legitimität dieses Ansatzes wurde im Rahmen der Recherche dann in (Hildebrandt 1996) im Kapitel „Einbeziehung nicht spektraler Zusatzdaten“ Seite 549 verifiziert und wird dort als sehr hilfreiches Verfahren beschrieben, wenn große Gebiete klassifiziert werden sollen und wenn mit Problemen wie in diesem Fall zu rechnen ist. Auch wird klar hervorgehoben, dass hierdurch nicht nur merklich bessere Ergebnisse erzielt werden, sondern dass es zum Teil nur mit solchen Zusatzinformationen gelingt, komplexe Gebiete zu klassifizieren. Nachfolgende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau, wie er in Hildebrandt (1996) beschrieben wird. Es zeigt die Kombination der spektralen Kanäle der Bilddaten und die zusätzlichen geokodierten Zusatzinformationen.

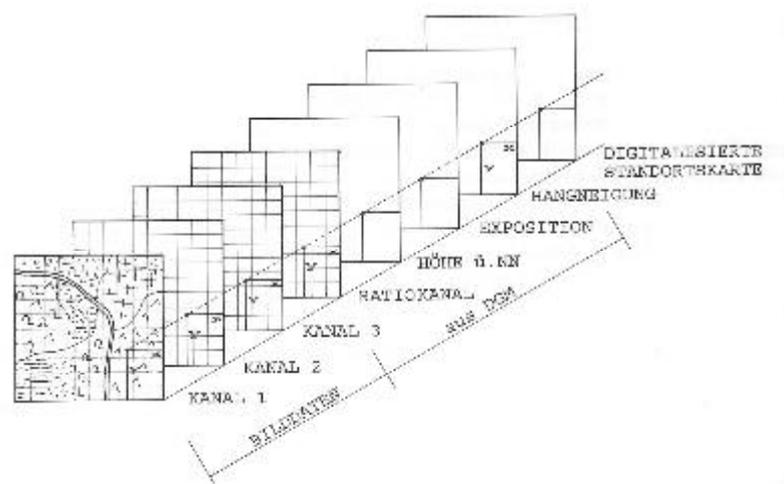


Abbildung 35 „Prinzip der Zuordnung geokodierter Zusatzdaten zu den spektralen Bilddaten“, (Hildebrandt 1996, Seite 550)

Für weitere Untersuchungen und Analysen erfolgte dann eine Zuordnung der Trainingsgebiete entsprechend der Vegetationszonen. Siehe nachfolgende Abbildung

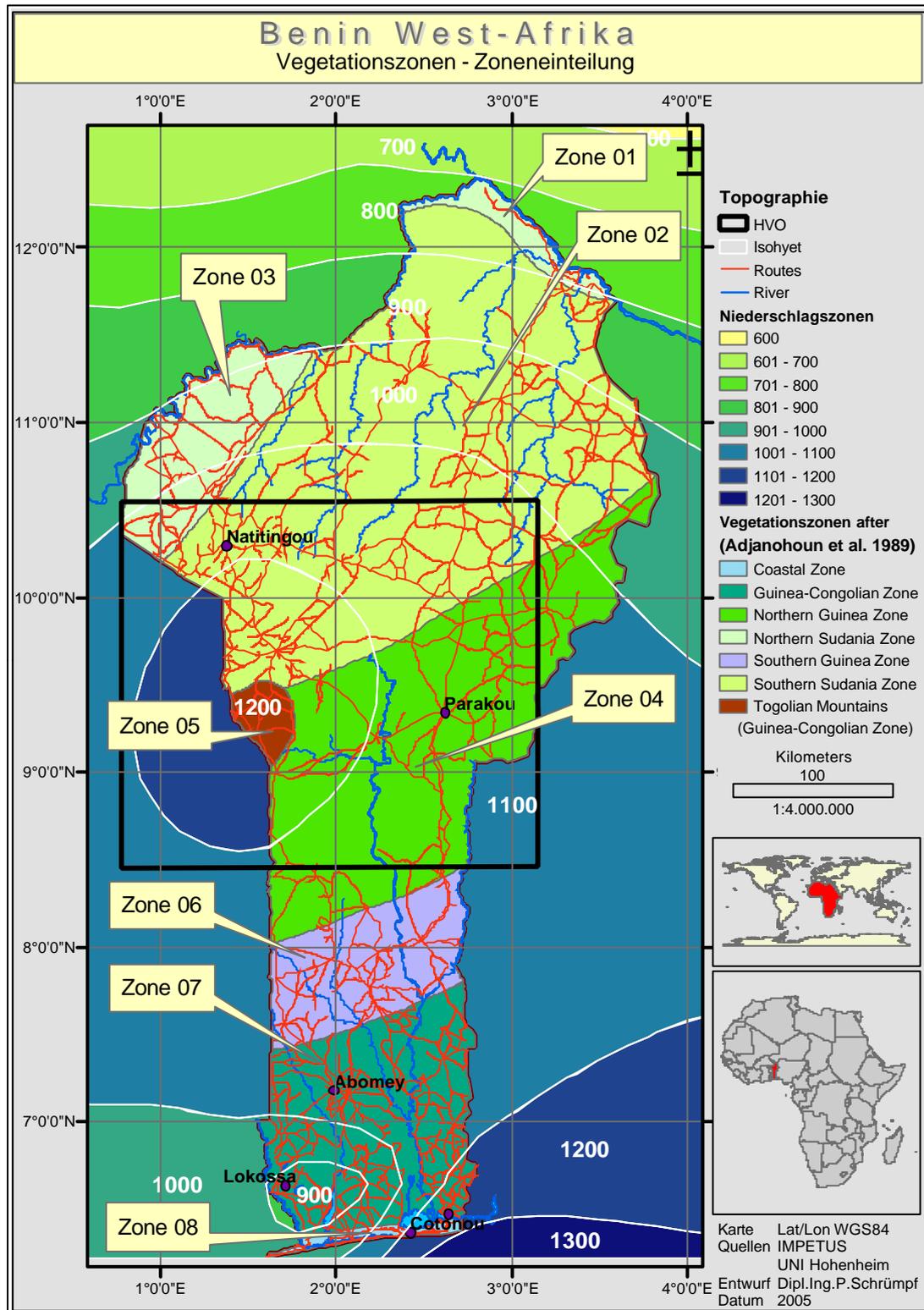


Abbildung 36 Zoneneinteilung für die Trainingsgebiete

Über die statistischen Auswertungen soll dann entschieden werden, ob es sinnvoll bzw. notwendig ist, bei der Klassifizierung diese Zonen zu berücksichtigen und wie sich dies in den zu entwickelnden Algorithmus integrieren lässt.

An dem Zwischenpunkt, wo für die Auswertung der Literaturrecherche der Abschnitt Bestimmung der phänologischen Maße abgeschlossen war, wurde untersucht, wie gut sich die phänologischen Parameter über den Jahresverlauf bestimmen lassen. Hier stellte sich dann heraus, dass sich aufgrund des Kurvenverlaufs der NDVI-Werte der Trainingsgebiete, die phänologischen Parameter für das Vegetationsende nicht eindeutig bestimmen lassen. Verdeutlicht ist dies in Abbildung 37 Seite 102 linkes Kurvenbild NDVI Verlauf 2002. Zu erkennen die noch fallenden Werte im Zeitraum Januar und der Wechsel zum Vegetationsanstieg im Februar. Im Dezember dagegen der fehlende Übergang vom fast linearen Fallen der Vegetationsintensität ohne den Übergang, der sich im Januar ergibt.

In einem dritten Durchlauf wurden dann die Daten von Februar Band 4 bis Januar des folgenden Jahres Band 3 zusammengestellt, mit HANTS durchgerechnet und mit den angefertigten IDL Routinen die Daten der Trainingsgebiete ausgelesen und in EXCEL importiert. Das sich hieraus ergebende Kurvenbild zeigt eine wesentlich bessere Bestimmung der phänologischen Parameter für Vegetationsbeginn und Ende. Diese Bandzusammenstellung wurde dann für die restlichen Überarbeitungen und Bestimmungen von Trainingsgebieten beibehalten. Siehe Abbildung 37 Seite 102 rechtes Kurvenbild NDVI Verlauf für 02.2002. – 01.2003.

Die aus der Auswertung über die Trockenzeit ermittelten Übergangsklassen KüstenZone, KüstenBinnenGewässer01, KüstenBinnenGewässer02, Niger01, und Niger02 wurden in der Jahreszusammenstellung noch einmal genauer analysiert und nachbearbeitet. Niger01, und Niger02 wurde beibehalten die anderen drei Klassen in folgende Klassen umgewandelt: Feuchtgebiete (FGebiete) Küstenzone (KüZone 01, 02) und Küsten-/ Binnengewässer. (KBGewaesser)

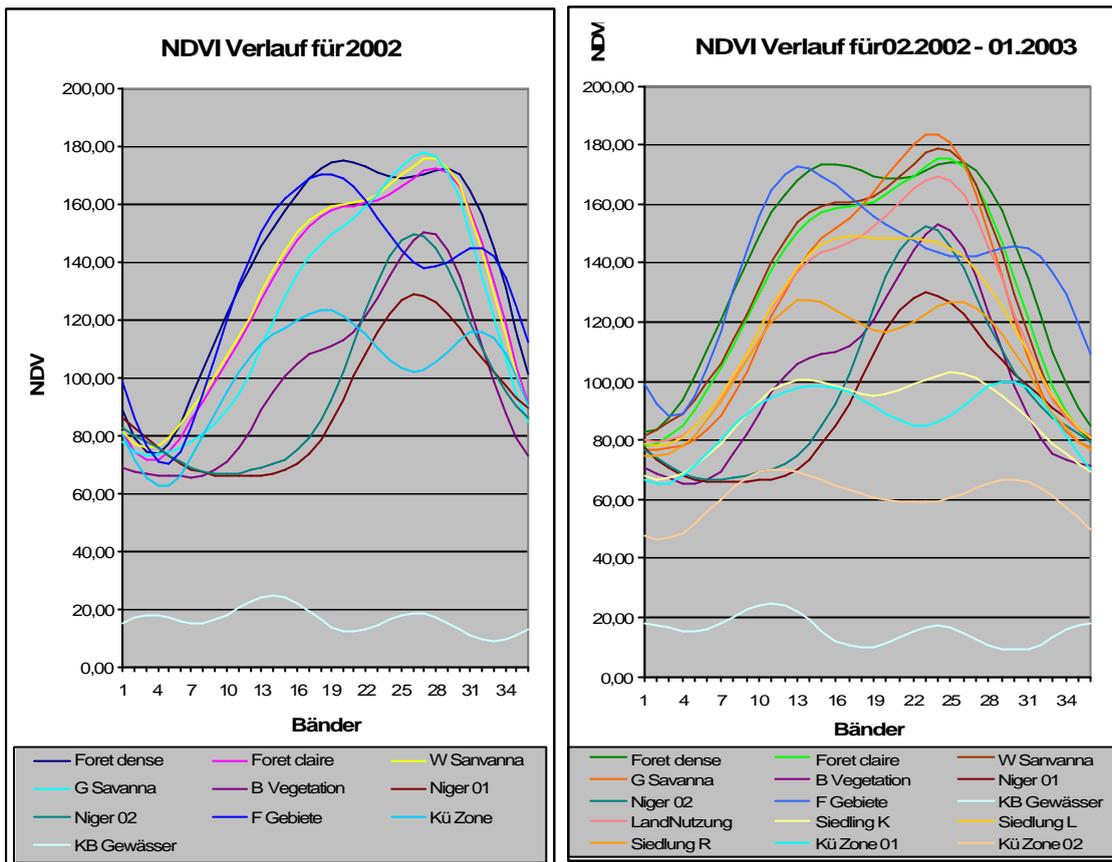


Abbildung 37 Gegenüberstellung des phänologischen Verlauf für die Jahreszusammenstellung Januar (Band 1) bis Dezember (Band 36) und für Februar(Band 4) bis Januar des Folgejahres Band(3)

12.6 Beschreibung der ermittelten Klassen

Anhand der Ground Truth Points (GTPs) wurden für alle Klassen aus Level II wie im Kapitel 11 Festlegung der Klassen Seite 83 Trainingsgebiete ermittelt. Darüber hinaus konnten einige in Unterklassen aufgeteilt und Norden und Süden Übergangsklassen anhand der NDVI-Signatur ermittelt werden.

Tabelle 11 Die aus den GTPs ermittelten Klassen

Klasse Level II	Bezeichnung in Abbildungen usw. und Verfeinerung
Wasser	Abgesehen von der Klasse Ozean (NDVI=0) erfolgte eine Unterteilung in Feuchtgebiete (F Gebiete) im Süden von Benin und Küsten-, Binnengewässer (KBGewässer). Eine Unterteilung in zwei Klassen Küstengewässer und Binnengewässer ist nicht möglich, da die NDVI-Signatur identisch ist.
Siedlung	Diese Klasse wurde in drei Klassen aufgeteilt. Es standen zwar sehr viel GTPs, die als Siedlung oder Dorf beschrieben waren, zur Verfügung, aber es ließen sich nicht viele Trainingsgebiete erstellen. <ul style="list-style-type: none"> • Siedlung dicht (Siedlung K) Kernbereiche größerer Städte. • Siedlung locker (Siedlung L) kleinere Städte. • Siedlung Rand (Siedlung R) Randzonen um Siedlungen, die an Hauptknotenpunkten von Verkehrswegen, die sich anhand ihrer Signatur von anderen Klassen abtrennen ließen.
Landwirtschaft	Landwirtschaft, LWN
Gras Savannen	Gras Savanna, GSavanna
Baum Savannen	Woody Savanna, WSavanna
Fôret claire	Fôret claire, Fclaire
Fôret dense	Fôret dense, Fdense

Klasse Level II	Bezeichnung in Abbildungen usw. und Verfeinerung
Sonstige Klassen	
Niger 01, 02	<p>Im Norden von Benin entlang des Niger ergaben sich zwei Zonen, die von der NDVI-Signatur der Klassen aus Level II abwichen.</p> <p>Niger 01 sind Punkte, die sich mit dem Flusslauf des Nigers decken.</p> <p>Niger 02 ist ein Streifen, der an Niger 01 angrenzt und parallel dazu Richtung Süden verläuft.</p>
KÜ Zone 01, 02	<p>Hierbei handelt es sich um Trainingsgebiete (Küstenzone) entlang des Küstenstreifens von Benin, die sich ähnlich wie Niger verhalten.</p> <p>KÜ Zone 02 grenzt an Küsten-, Binnengewässer an, Kü Zone 01 an Kü Zone 02. Die NDVI-Signatur dieser Streifen fand sich auch entlang der Binnengewässer und Feuchtgebiete.</p>
Barely Vegetation	Dies Klasse stammt aus der SPOT-Klassifikation von Röhrig et al. (2004)

Auf der nachfolgenden Seite ist die Verteilung der Trainingsgebiete über das Untersuchungsgebiet Benin dargestellt.

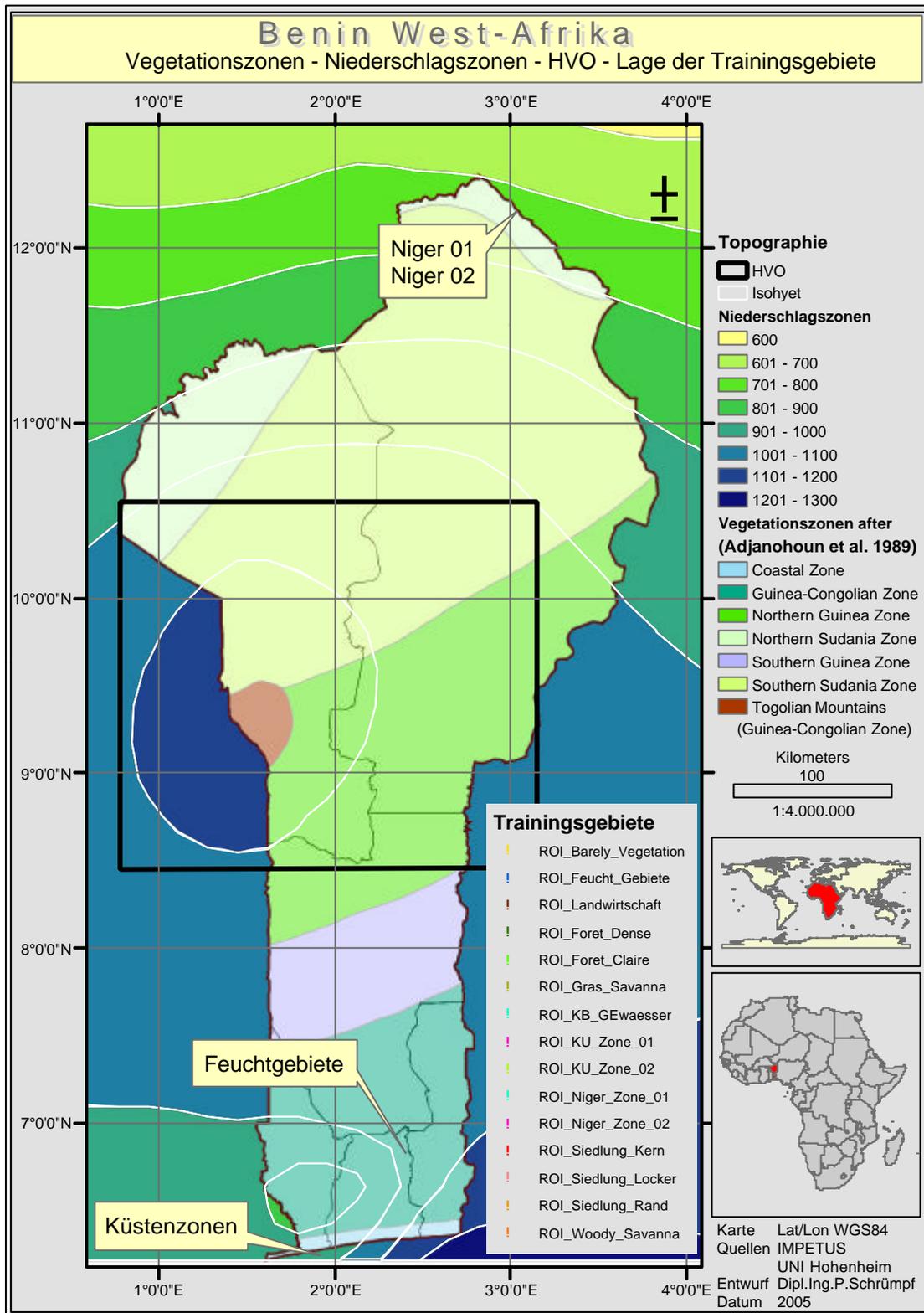


Abbildung 38 Verteilung der Trainingsgebiete über Benin

12.7 Statistische Analyse der Klasse

Darüber hinaus wurden mit den Daten verschiedene Auswertungen und Charts erstellt. Diese sollten Auskunft darüber erkennbar und visualisierbar machen, inwieweit Verhaltensmuster ableitbar sind, die sich auf die NDVI-Werte auswirken, sich mit den Erkenntnissen der vorhergehenden Kapitel decken, wie diese berücksichtigt werden können und eventuell Verbesserungen erzielt werden. Herausgehen soll aus diesen Untersuchungen auch, welche Erkenntnisse, wie in den Algorithmus, optional oder bindend, integriert werden können oder müssen. Je Trainingsgebiet wurden in Excel die Mittelwerte, Min/Max NDVI, die Standardabweichung (STABW) sowie Mittelwert \pm STABW über die Bänder berechnet.

Bei den folgenden Untersuchungen, a – g, handelt es sich um Auswertungen die mit Microsoft Excel erstellt wurden. Zu beachten ist hierbei, das Excel R^2 ausgibt, das Bestimmtheitsmaß.

a) Eine Gegenüberstellung der einzelnen Klassen über die Jahr 2002-2004, um grafisch darzustellen, wie sich die NDVI-Werte im Jahresverlauf als Kurve abbilden. Diese Darstellung zeigt einen ersten Eindruck über die Differenzierbarkeit der Klassen. Verwendet wurden die Mittelwerte je Klasse. Siehe Beispiele:

Abbildung 39 Gegenüberstellung der NDVI Signatur der Klassen je Jahr
Seite 109

b) Eine Gegenüberstellung des phänologischen Verlaufs der einzelnen Vegetationsklassen über die Jahre. Mit dieser Gegenüberstellung sollte ermittelt werden ob sich die Veränderungsmuster, wie sie von Tateishi, R., Ebata, M., (2004) beschrieben werden (Siehe Kapitel 5.2 Basisansatz für den zu entwickelnden Algorithmus Seite 41), widerspiegeln. Verwendet wurden die Mittelwerte der Klassen für die Jahre 2002-2004. Siehe Beispiele:

Abbildung 40 Gegenüberstellung der Klassen über die Jahre 2002 –
2004 Seite 110

c) Untersuchung wie sich einzelne Klassen in der Nord-Süd Achse verhalten. Hierdurch sollte überprüft werden ob tatsächlich eine Verschiebungen der NDVI-Werte einer Klasse auftreten. Für 2002-2004 jeweils eine Szene aus der Trockenzeit Band 3 21.02 und Regenzeit Band 19. Verwendet wurden alle Punkte. Siehe Beispiele:

Abbildung 41 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret Dense, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19 Seite 111

Abbildung 42 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Grass Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19 Seite 112

d) Darstellung des Verlaufs einer Vegetationskurve einer Klasse aufgeteilt in die Vegetationszonen in welchen die Trainingsgebiete lagen. Hierüber sollte ermittelt werden inwieweit sich durch die Trennung in Vegetationszone Abweichungen im Kurvenverlauf ergeben, bzw. wie unterschiedlich der phänologische Verlauf in den Vegetationszonen ist. Siehe Beispiele:

Abbildung 43 Klassen über Vegetationszonen Fôret dense/clair für die Jahre 2002 - 2004 Seite 113

e) Durch die Bestimmung der Korrelation je Klasse 2002-2003, 2002-2004 für jeweils eine Szene aus der Trockenzeit Band 3 und Regenzeit Band 19 mit allen Punkte wurde untersucht ob sich eine Beziehung ermitteln lässt. Siehe Beispiele. Eine Darstellung mit Wahrscheinlichkeitsellipsen wär sinnvoller, aber Excel unterstützt die Funktionalität nicht. Siehe Beispiele:

Abbildung 44 Korrelation über die 2002-2003 alle Punkte einer Klasse über Band 3 und 19 Seite 114

Abbildung 45 Korrelation über 2002-2004, alle Punkte einer Klasse über Band 3 und Band 19 Seite 115

f) Gleiches Verfahren wie unter d) jedoch wurde hier die Korrelation je Klasse über die Mittelwerte Beispielhaft für 2002-2003 dargestellt. Weiterhin galt es zu überprüfen ob eine lineare Korrelation für alle Klassen verwendbar ist. Die linke Spalte enthält die lineare Korrelation, die rechte Spalte ein anderes Regressionsmodell. Siehe Beispiele:

Abbildung 46 Korrelation einer Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002 2003 links lineare Regression, rechts andere Regressionsfunktion
Seite 116

Abbildung 47 Korrelation einer Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002 2003 links lineare Regression, rechts andere Regressionsfunktion
Seite 117

g) Weiterhin wurde eine Gegenüberstellung der Mittelwerte \pm Standardabweichung je Klasse für 2003 Band 3 und Band 19 erstellt. Ermittelt werden sollte, wie sich die Spannbreiten der Klassen überlagern. Siehe Beispiele:

Abbildung 48 Gegenüberstellung Mittelwert \pm Standardabweichung je Klasse für 2003 Band 3 Seite 118

Abbildung 49 Gegenüberstellung Mittelwert \pm Standardabweichung je Klasse für 2003 Band 19 Seite 119

i) Darstellung der Klassen im Merkmalsraum mit Wahrscheinlichkeitsellipsen. Diese Darstellung war nur über den Umweg mit CrimeStat III und ArcGIS möglich. Verwendet wurde SDE (1SDE) was einem Wahrscheinlichkeitsintervall von 68% entspricht. Siehe Beispiele:

Abbildung 50 Standardabweichungsellipse SDE 68% Seite 120

In der Anlage Kapitel 18 Anhang B Diagramme der statistischen Auswertung der Trainingsgebiete Seite 194 befindet sich eine vollständige Zusammenstellung aller statistischer Auswertungen für alle Klassen. In der Einleitung werden die Unterkapitel kurz erläutert.

12.7.1 Zu (a) Gegenüberstellung alle Klassen je Jahr

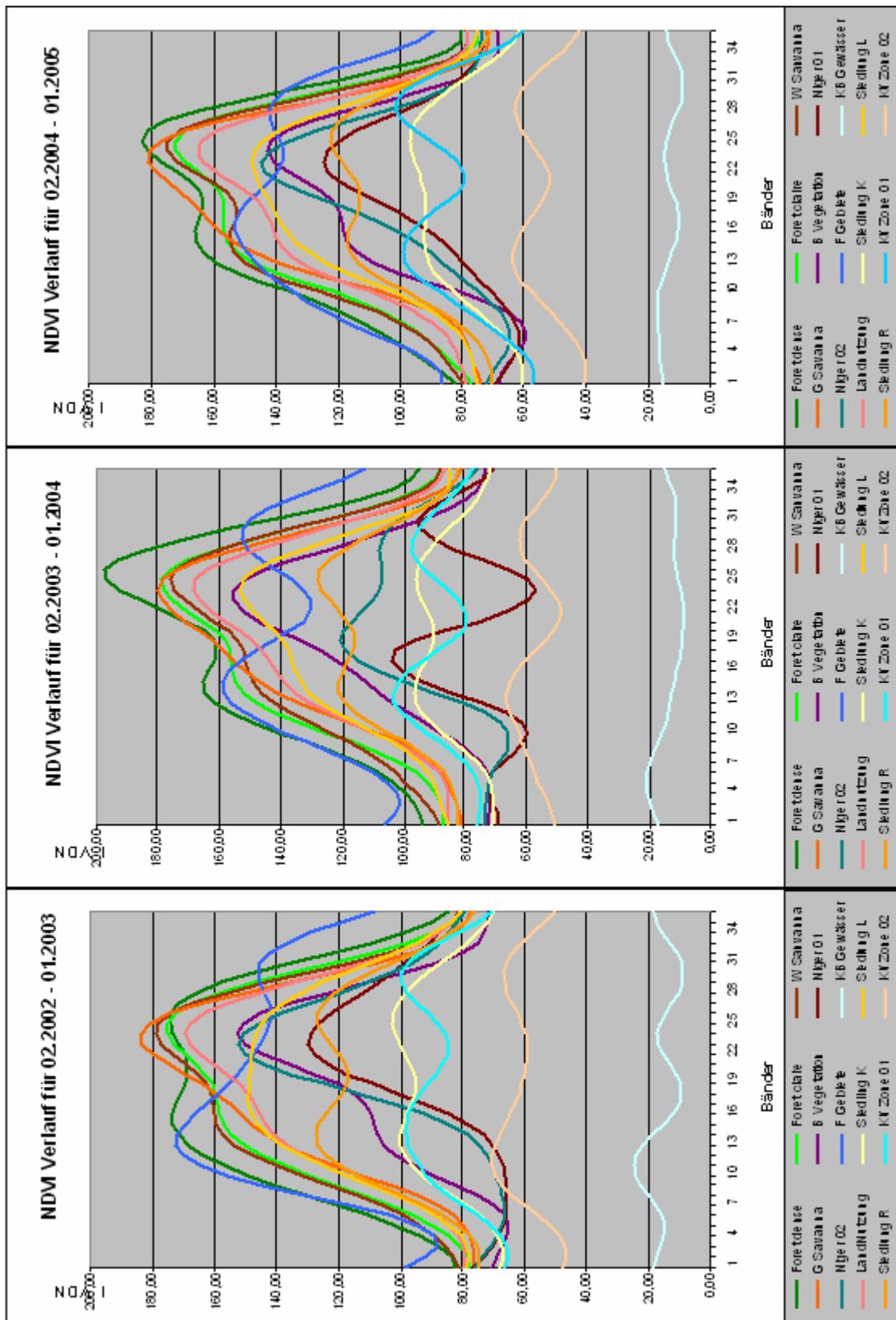


Abbildung 39 Gegenüberstellung der NDVI Signatur der Klassen je Jahr

12.7.2 Beispiele zu (b) Gegenüberstellung der Klassen für 2002-2004

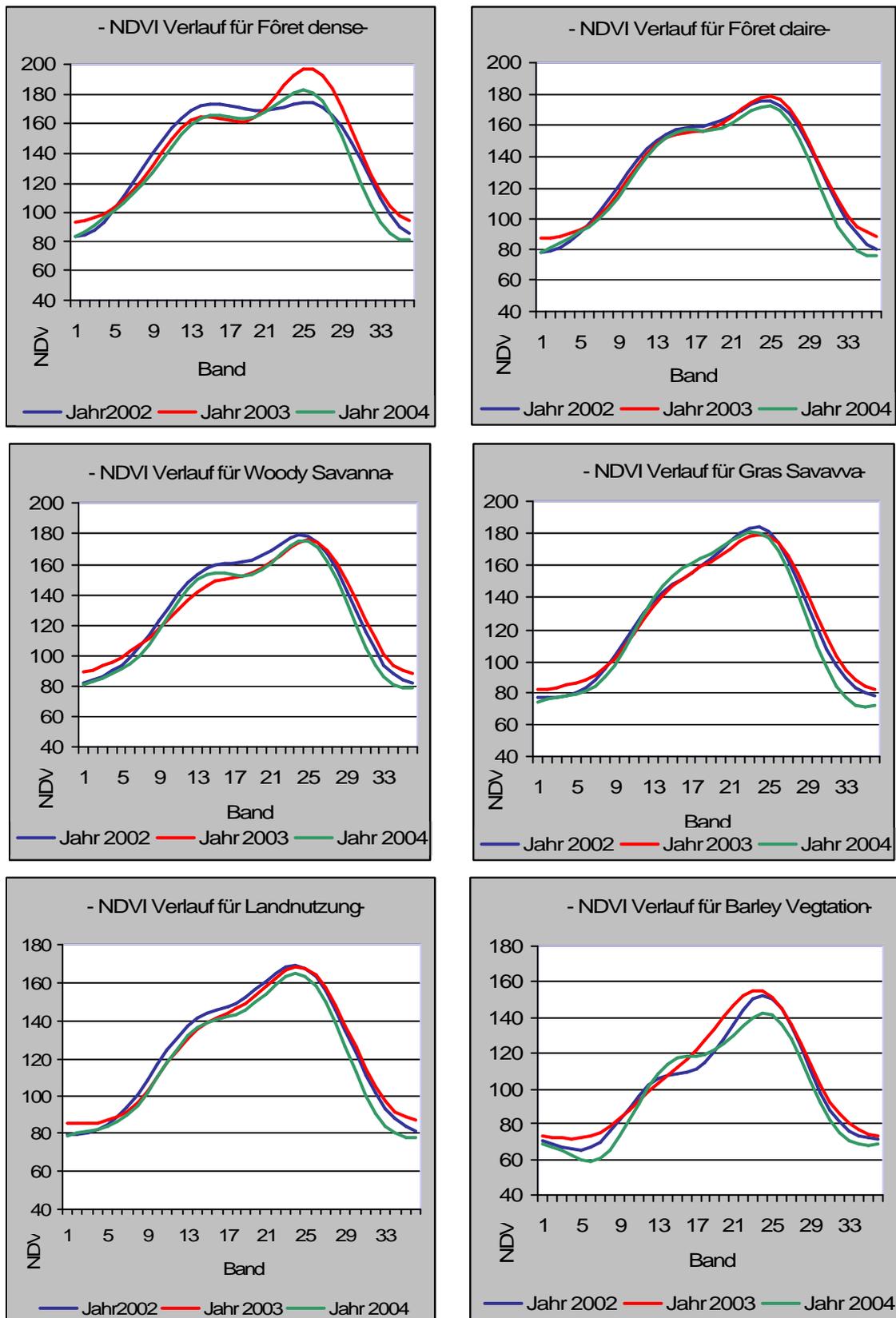


Abbildung 40 Gegenüberstellung der Klassen über die Jahre 2002 – 2004

12.7.3 Beispiel zu (c) ein Klasse mit Min Max Mean NDVI, Standardabweichung und Süd-Nord Korrelation für Fôret Dense

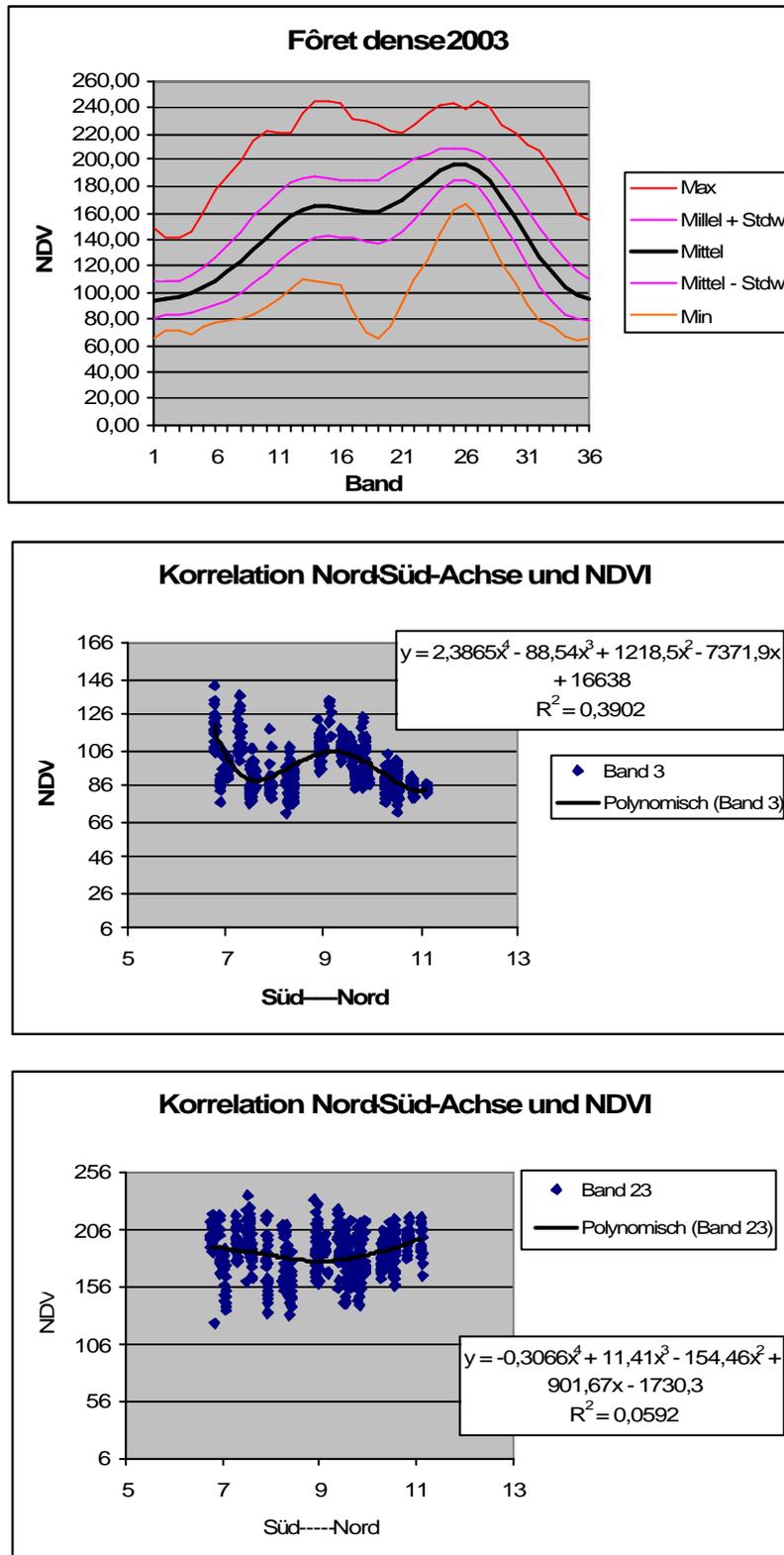


Abbildung 41 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret Dense, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19

12.7.4 Beispiel zu (c) eine Klasse mit Min Max Mean NDVI, Standardabweichung und Süd-Nord Korrelation für Gras Savanna

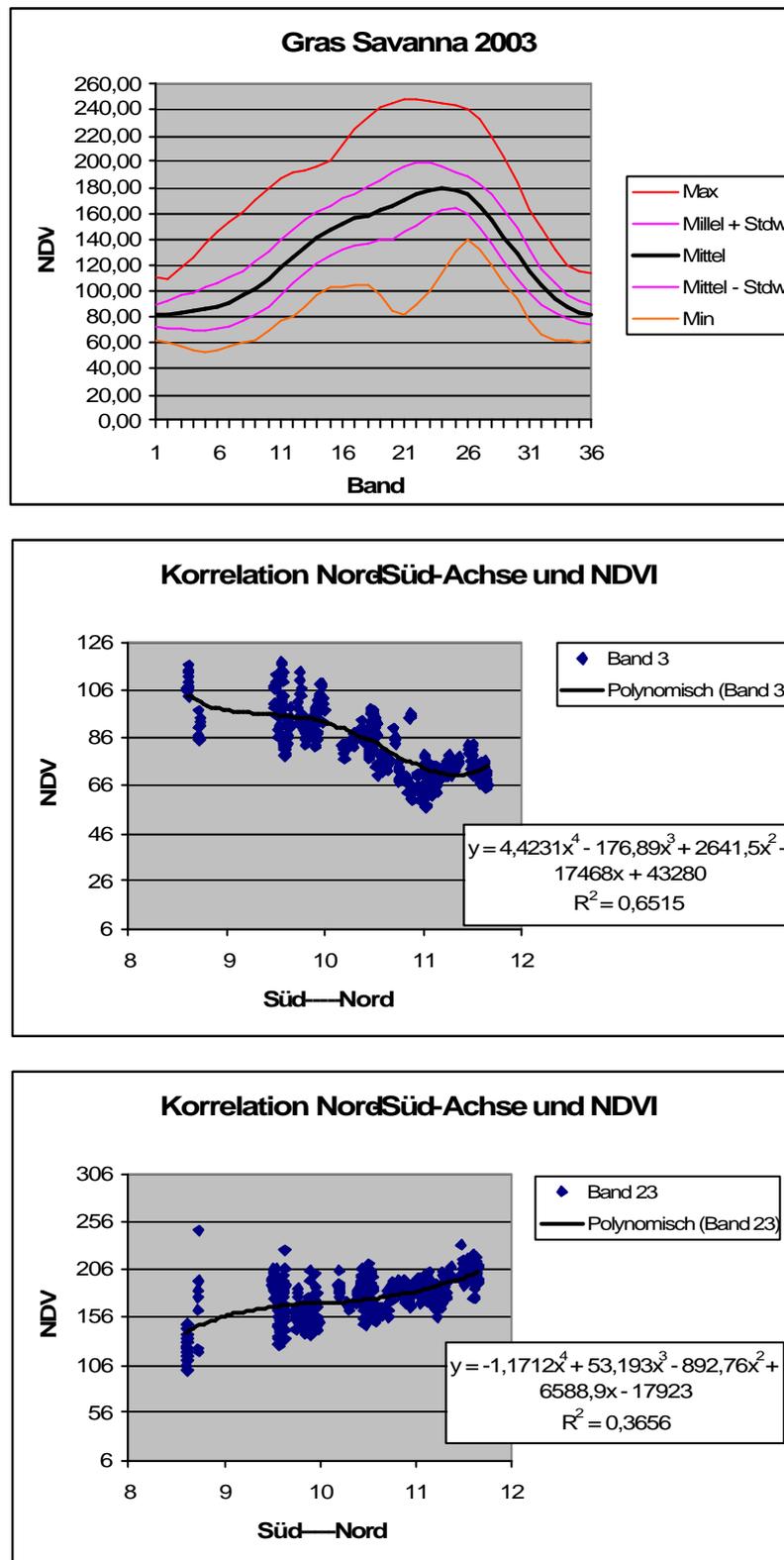


Abbildung 42 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Grass Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19

12.7.5 Beispiele zu (d) NDVI Verlauf über die Vegetationszonen für 2002-2004

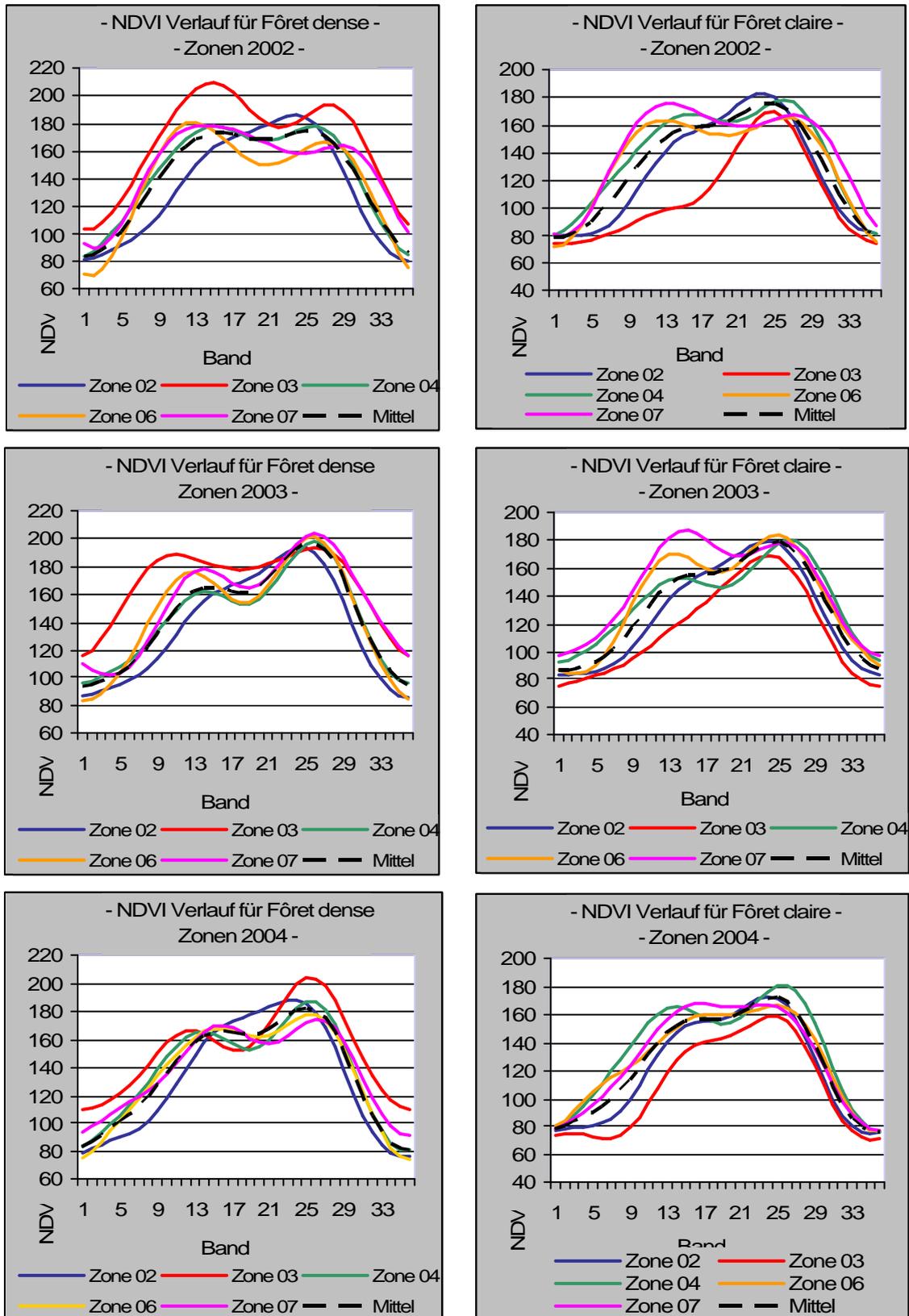


Abbildung 43 Klassen über Vegetationszonen Fôret dense/clair für die Jahre 2002 - 2004

12.7.6 Beispiele zu (e) Korrelation 2002-2003 der Klassen über zwei Bänder

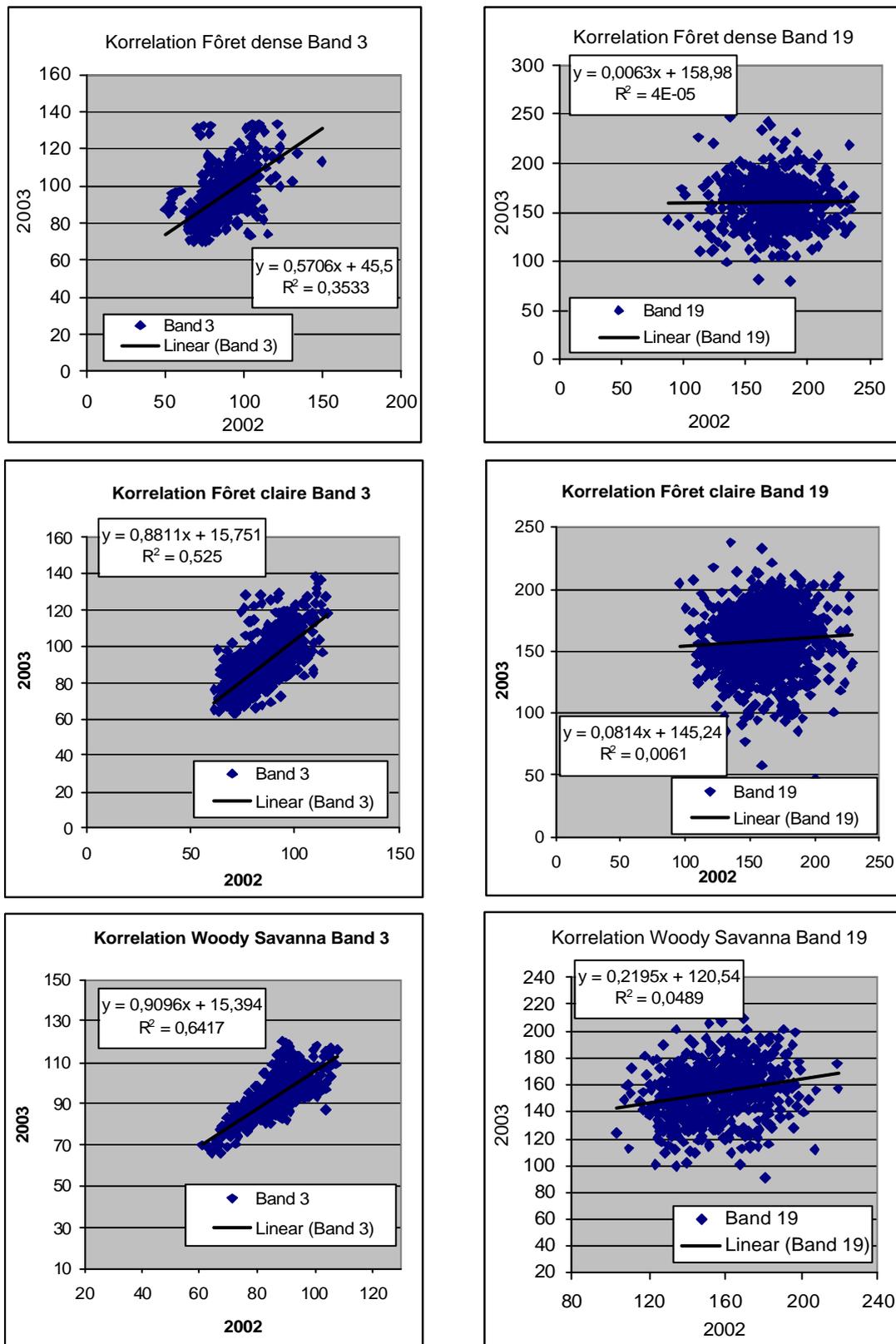


Abbildung 44 Korrelation über die 2002-2003 alle Punkte einer Klasse über Band 3 und 19

12.7.7 Beispiele zu (e) Korrelation 2002-2004 der Klassen über zwei Bänder

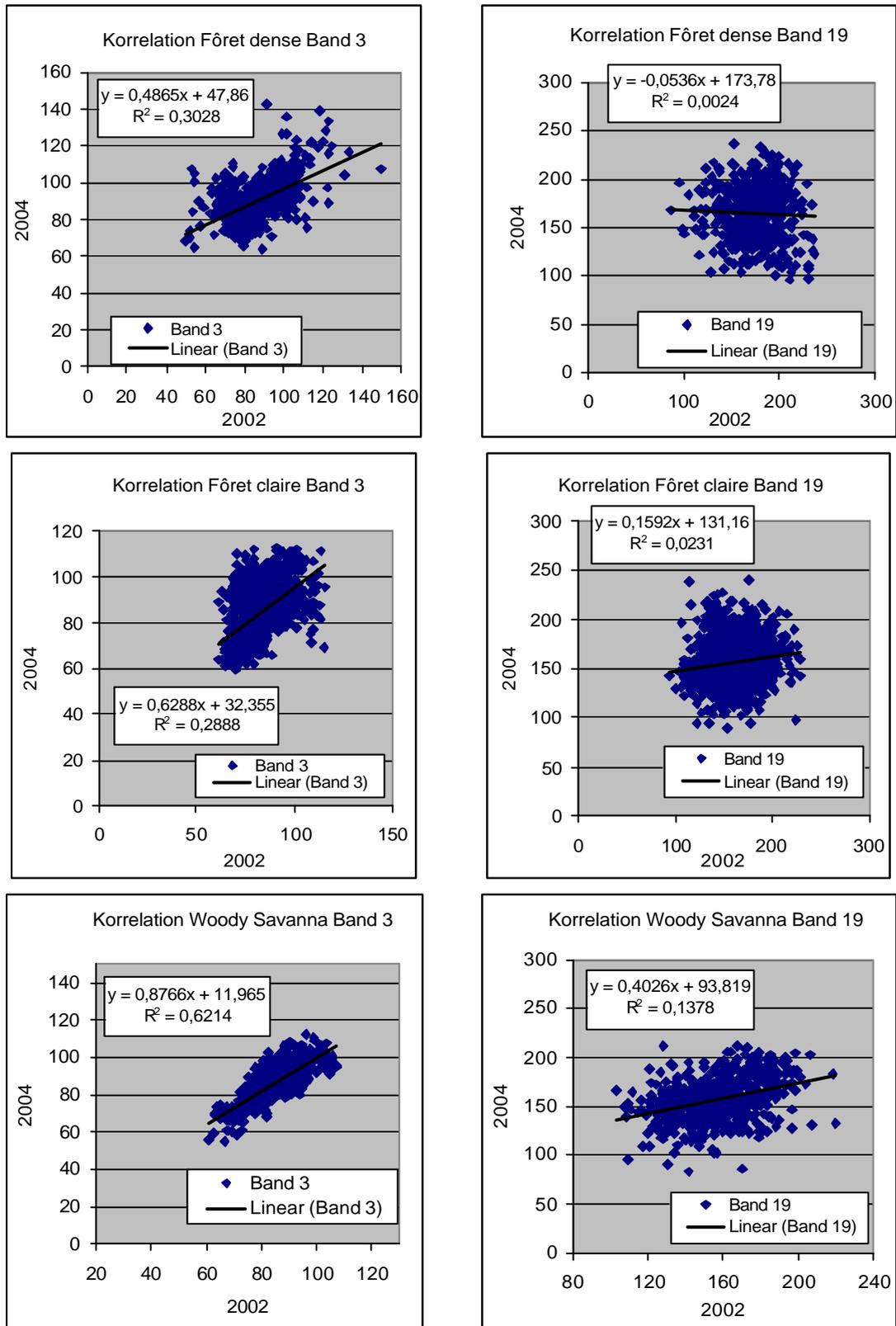


Abbildung 45 Korrelation über 2002-2004, alle Punkte einer Klasse über Band 3 und Band 19

12.7.8 Beispiele zu (f) Korrelation einer Klasse über die NDVI – Mittelwerte

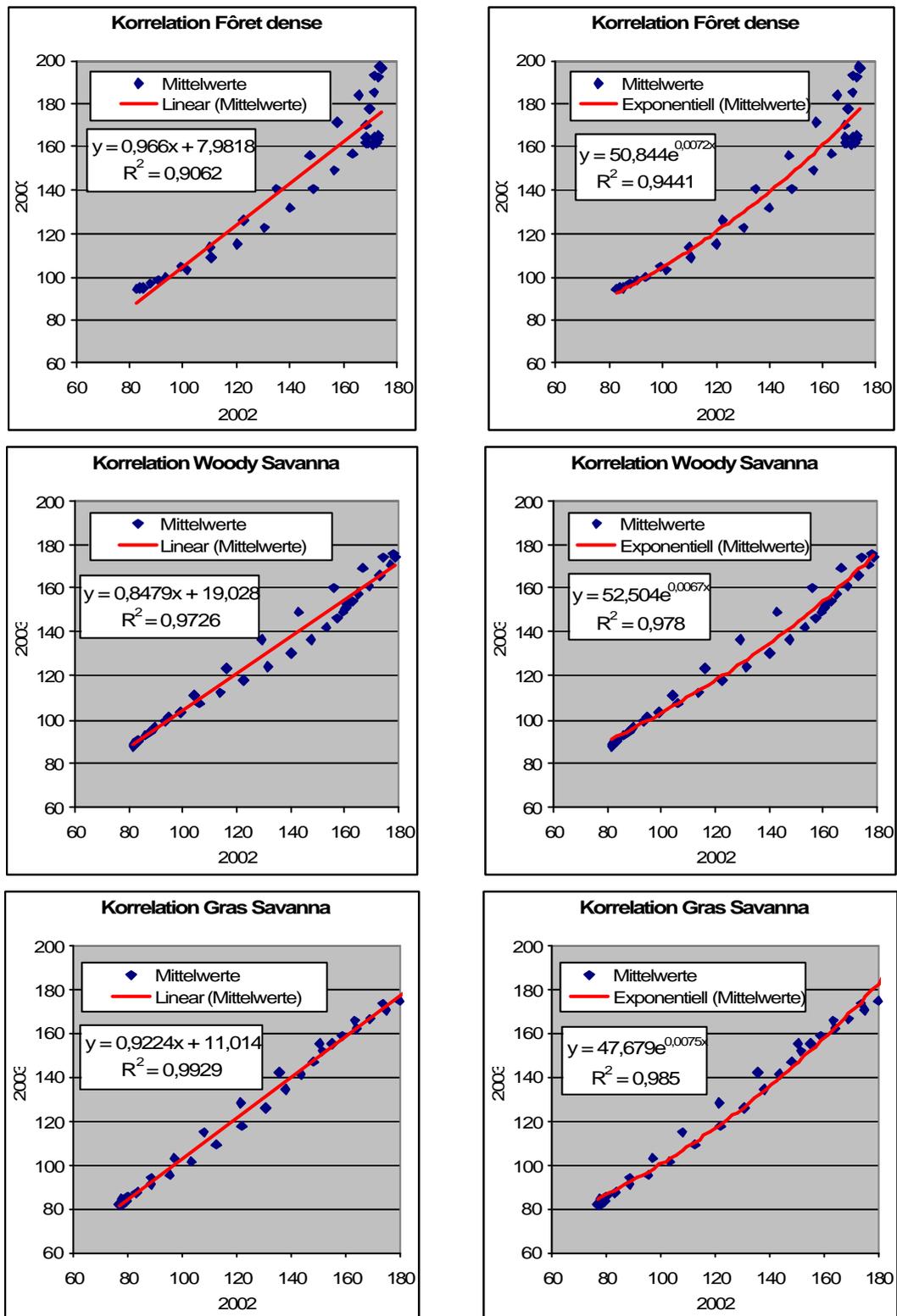


Abbildung 46 Korrelation einer Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002 2003 links lineare Regression, rechts andere Regressionsfunktion

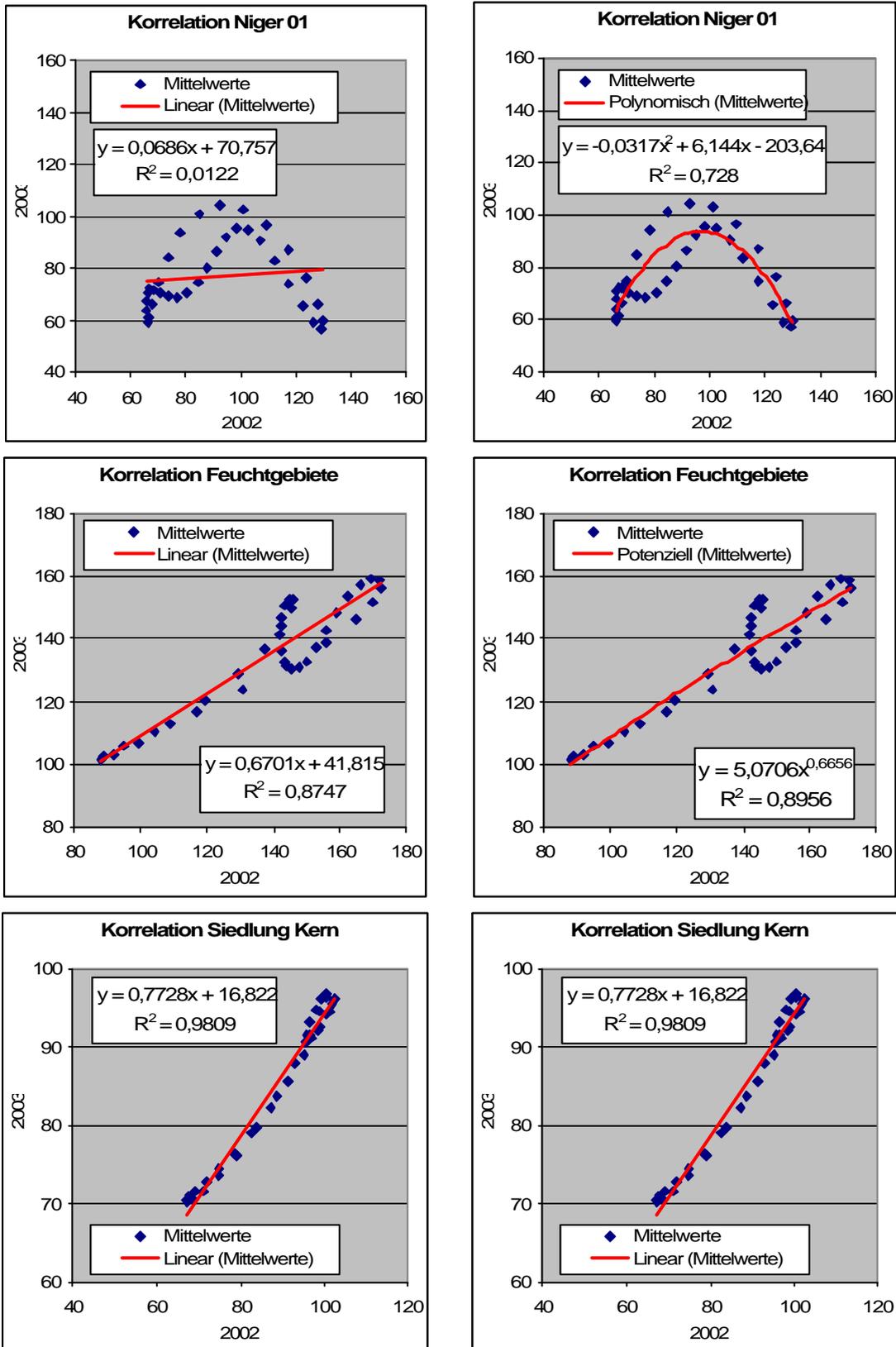


Abbildung 47 Korrelation einer Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002 2003 links lineare Regression, rechts andere Regressionsfunktion

12.7.9 Zu (g) Gegenüberstellung Mittelwert \pm Standardabweichung je Klasse für 2003 Band 3

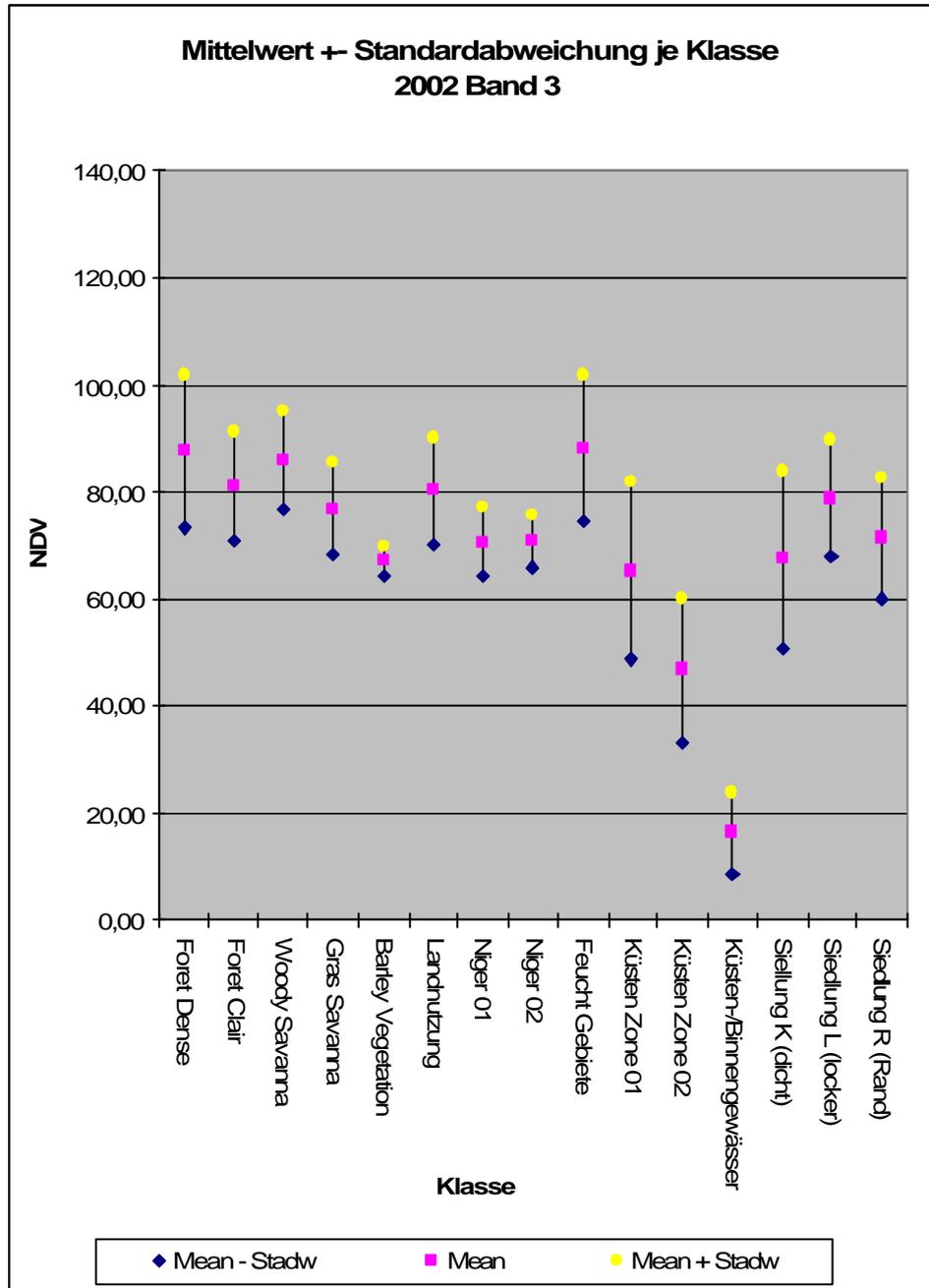


Abbildung 48 Gegenüberstellung Mittelwert \pm Standardabweichung je Klasse für 2003 Band 3

12.7.10 Zu (g) Gegenüberstellung Mittelwert +- Standardabweichung je Klasse für 2003 Band 19

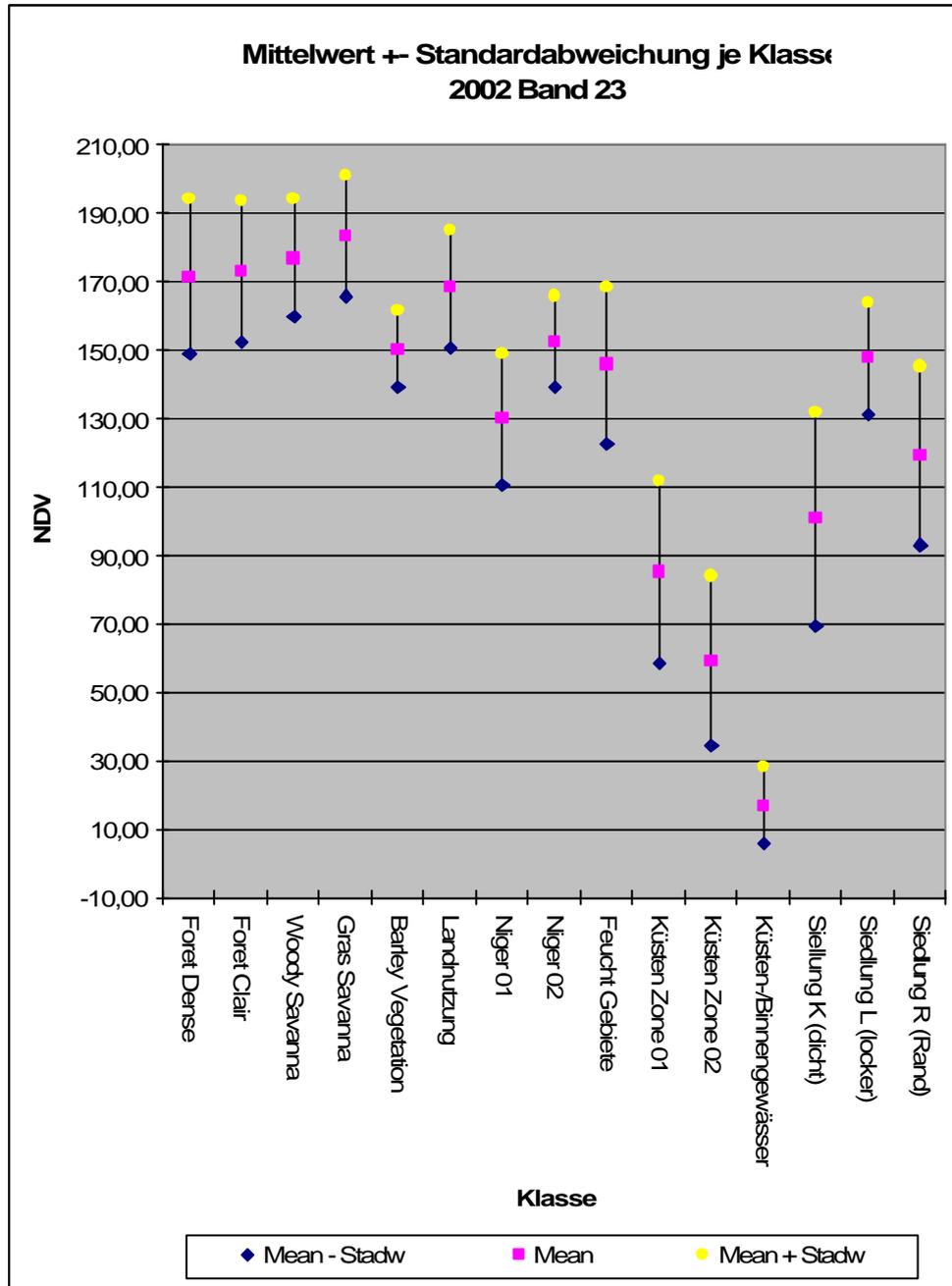


Abbildung 49 Gegenüberstellung Mittelwert +- Standardabweichung je Klasse für 2003 Band 19

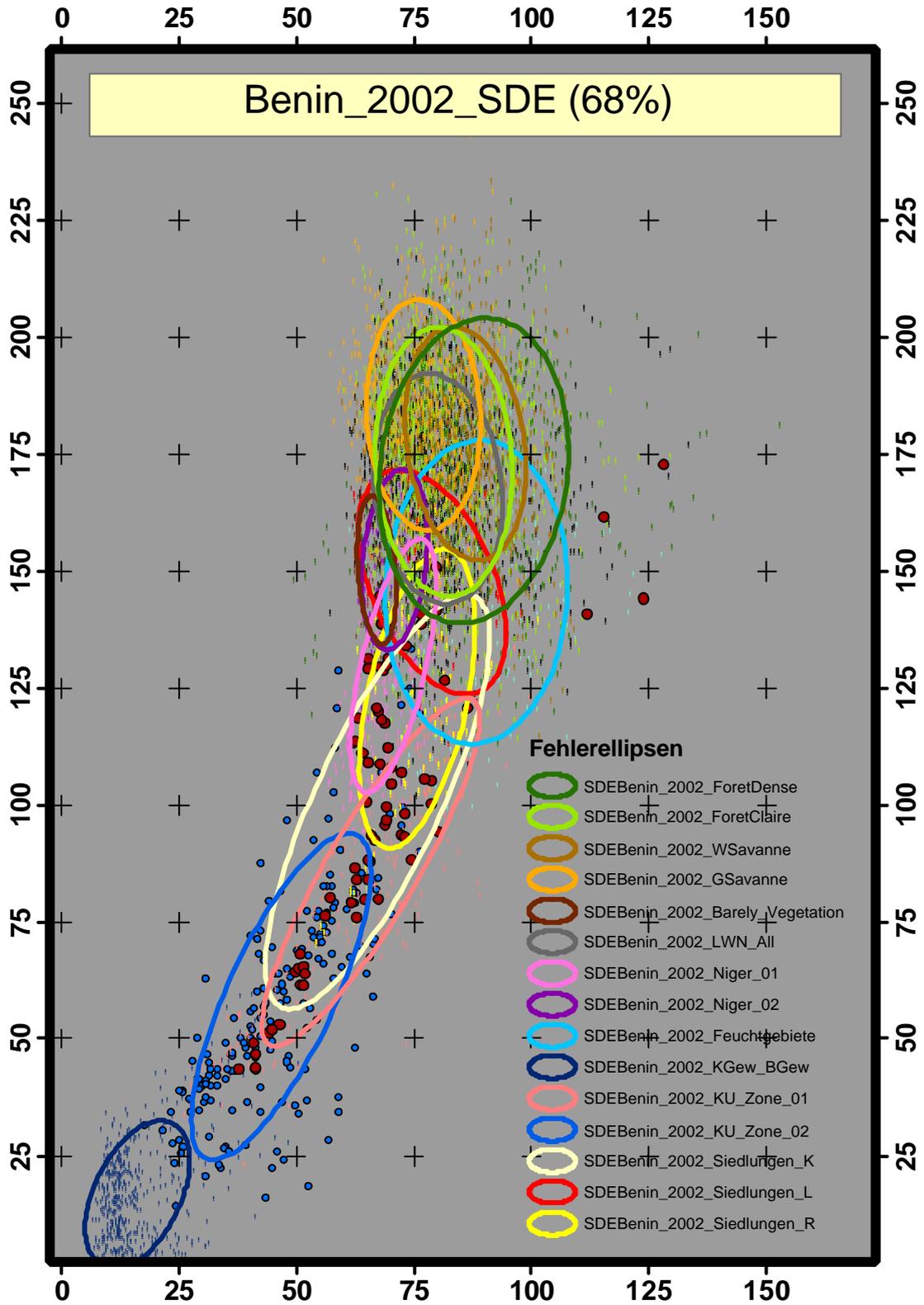


Abbildung 50 Standardabweichungsellipse SDE 68%

12.8 Diskussion der statistischen Auswertungen

Zu a) - die folgende Beurteilung der Alleinstellungsmerkmale der Klassen erfolgte mit der optischen und gefühlsmäßigen Transformation und Gegenüberstellung der Jahre 2002 bis 2004. Durch die visuelle Gegenüberstellung der phänologischen Maße kann eine erste theoretische Differenzierung der Klassen festgelegt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass die extremen Standardabweichungen und die sich ergebenden Unterschiede in den Signaturen in den einzelnen Vegetationszonen hier nicht berücksichtigt sind.

Feuchtgebiete (FGebiete) weisen sich durch den höchsten NDVI im Onset (NDVI_SOS) und Offset (NDVI_EOS) aus.

Die Übergangszonen im Norden von Benin Niger 01 und Niger 02 zeichnen sich 2002 und 2003 durch einen sehr späten Onset (SOS) aus. In 2003 weicht der Kurvenverlauf jedoch drastisch ab; zwei Peaks (NR_GS) mit einem starken Rückgang der Vegetation zwischen diesen. Unter Berücksichtigung eines funktionierenden Algorithmus sind Onset (SOS) und MAX-NDVI (MAX_PA) aber die Alleinstellungsmerkmale.

Küstenzone 02 (KÜ Zone 02) lässt sich durch Max-NDVI (MAX_PA) abgrenzen.

Küsten-, Binnengewässer (KBGewaesser) ist durch die Abgrenzung $NDVI > 0$ bis ca. $NDVI < 30$ definiert.

Küstenzone 01 (KÜ Zone 01) und Siedlung Kern (Siedlung K) weisen einen fast identischen Onset auf und 2 Peaks (NR_GS), jedoch liegt der zweite etwas über dem Ersten und unterscheidet über den Zeitpunkt die Klassen.

Siedlung Rand (Siedlung R) lässt sich durch NDVI-Max (MAX_PA) des ersten Peaks definieren.

Siedlung locker (Siedlung L) hier erscheinen Onset (SOS), Offset (EOS), Rate of greenup,-down (RG_UP, RG_DOWN) als Merkmal der Klasse problematisch. Max-NDVI (MAX_PA) und Zeitpunkt Max NDVI (TMAX_NDVI) kennzeichnen diese Klasse.

Barely Vegetation (B Vegetation) lässt sich durch Onset (SOS) und MAX-NDVI (MAX_PA) abgrenzen.

Bei Fôret dense ist eine Abgrenzung mit $NDVI > \text{Max-NDVI (MAX_PA)}$ nicht möglich, da die Gras Savanna den höchsten NDVI-Wert hat und die von HANTS nicht interpolierten Wolken oberhalb von $NDVI=254$ liegen. Onset (SOS) und Offset (EOS) in Verbindung mit dem ersten Max-NDVI (MAX_PA) sollten zu Erfolg führen.

Landnutzung lässt sich über greenup (RG_UP) und Max-NDVI (MAX_PA) gut identifizieren.

Gras Savanna (GSavanna) kennzeichnet sich durch einen relativ späten Onset (SOS) und NDVI-Onset (NDVI_SOS) sowie dem höchsten MAX-NDVI (MAX_PA) aus.

Zum Schluss bleibt noch die nicht definierte Klasse, die dem Fôret dense zugeordnet werden kann, die oberhalb des höchsten NDVI aller Klassen aus Trainingsgebieten liegt. $T\text{Max-NDVI und Max-NDVI (MAX_PA)} < NDVI < 254$ vom ersten Peak, wäre diese theoretische Abgrenzung.

Der Ozean ist definiert durch $NDVI = 0$ und die restlichen Wolken durch $\text{MAX-NDVI} > 254$. (MAX_PA)

Zu b) - in der Gegenüberstellung der Klassen für die Jahre 2002-2004 lassen sich die Veränderungen über die Jahre deutlich erkennen. Jedoch fällt bei genauer Betrachtung auf, dass es bei den Ergebnissen von HANTS zu Unterschieden im NDVI bei Band 1 und 36 beim Jahreswechsel kommt. Beispiel Fôret dense 2002 Band 36 und 2003 Band 1. Der NDVI für Band 1 2003 müsste theoretisch im Bereich von Band 36 2002 liegen. Liegt aber um einige NDVI-Einheiten höher. Betrachtet man sich in der Anlage Kapitel 18.1 Seite 196 alle Kurven so stellt man fest, dass dies für alle Klassen zutrifft. Inwiefern es sich hierbei um eine Konstante Niveaushiftung handelt, oder es zu diesem Versatz nur in den ersten/letzten Stützpunkten aufgrund der Glättung und einem unkontrollierten Ausschwingen kommt, ließ sich nicht feststellen.

Zu c) - mit dieser Auswertung sollte gezeigt werden, wie enorm groß die Spannbreite Min/Max-NDVI ist und untersucht werden ob hier die Vermutung aus den Voruntersuchung einer Niveauverschiebung in Süd-Nord-Richtung zutrifft. An den Beispielen ist es deutlich an der Klasse Gras Savanna zu erkennen. Zur Trockenzeit Band 3 liegen die NDVIs im Norden wesentlich niedriger als im Süden. In der Regenzeit Band 23 dagegen liegt der Trend zu einem Anstieg im Norden gegenüber dem Süden. Die streifenhaften Punkte in der Vertikalen zeigen die geographische Lage der Trainingsgebiete im groben und die Spannbreite zwischen Min/Max-NDVI. Ein linearer Trend trifft bei allen Klassen nicht zu.

Zu d) - Verlauf über die Vegetationszonen. Aufgrund der Erkenntnisse von c) wurden die Trainingsgebiete, die über mehrere Vegetationszonen verlaufen, getrennt abgebildet. In den Abbildungen entspricht die schwarz gestrichelte Kurve der Jahreskurve aus b). Deutlich lässt sich erkennen dass jede Klasse in einer Zone starke Abweichungen in den phänologischen Maßen aufweist. Beispiele sind Max-NDVI, TMax-NDVI, Onset und NDVI_SOS. Das auffällige Verhalten der Vegetationskurven, die in Zone 3 (Siehe Abbildung 36 Zoneneinteilung für die Trainingsgebiete Seite 100) liegen, ist eventuell auf einer zu geringen Anzahl Punkte zurückzuführen.

Zu e) - Korrelation 2002-2003 über zwei Bänder. Perfekt wäre es, diese Abbildungen mit Wahrscheinlichkeitsellipsen darzustellen. Excel bietet dies aber nicht und der Umweg über CrimeStat III und ArcGIS war viel zu aufwendig. Feststellen kann man eine geringe Korrelation zur Trockenzeit. In der Regenzeit verhalten sich die Punkte unkorreliert.

Zu f) - Korrelation einer Klasse über die NDVI-Mittelwerte. Untersucht wurde für eine Klasse über zwei korrespondierende Jahre, inwieweit für alle Klassen eine lineare Korrelation zutrifft. Zum Vergleich wie sich das Bestimmtheitsmaß ändert wurde zusätzlich eine nichtlineare Regression gegenübergestellt. Bis auf die Übergangszonen in Norden (Niger 01, Niger 02), im Süden (Kü Zone 01, Kü Zone 02), Küsten Binnengewässer und Feuchtgebiete lassen sich alle anderen Klassen einer linearen Abhängigkeit zuordnen. Aus der nachfolgenden Seite

sind die Bestimmtheitsmaße der Klassen für die Jahreskombinationen 2002-2003 und 2002-2004 in tabellarischer Form gegenübergestellt.

Tabelle 12 Bestimmtheitsmaße der Klassen für die Jahre 2002-2003 und 2002-2004

Klasse	2002-2003	2002-2004
Fôret dense	0,9062	0,9574
Fôret claire	0,9892	0,9855
Woody Savanna	0,9726	0,9942
Gras Savanna	0,9929	0,9852
Landwirtschaft	0,9852	0,9918
Barely Vegetation	0,9807	0,9657
Feuchtgebiete	0,8747	0,837
Küsten-, Binnengewässer	0,2016	0,5894
Siedlung locker	0,931	0,9647
Siedlung Kern	0,9809	0,9815
Siedlung Rand	0,9544	0,9628
Niger 01	0,0122	0,8754
Nider 02	0,7482	0,9151
Küstenzone 01	0,7987	0,9452
Küstenzone 02	0,605	0,8506

Zu g) - Gegenüberstellung Mittelwerte \pm Standardabweichung. Visualisiert die Korridore der Standardabweichungen um den Mittelpunkt für Band 3 Trockenzeit und Band 23 Regenzeit. In der Trockenzeit eine fast durchgängige Überlagerung. In der Regenzeit ist die Verteilung etwas aufgelockert. Nur Wald und

Savannen Klassen liegen mit dem Mittelwert und der Standardabweichung auf fast gleichem Niveau.

Zu i) - die Vegetationsklassen im Merkmalsraum. Abgebildet werden die Punktwolken der Punkte einer Klasse mit der Standardabweichungsellipse für 2002 die mit CrimeStat III berechnet und in ArcGIS als Map erstellt wurde. Das Wahrscheinlichkeitsintervall beträgt 68%, was bedeutet 68% der Punkte liegen in dieser Ellipse. Hier spiegeln sich die Aussagen aus der Voruntersuchung sehr gut wieder, was die Schwierigkeit der Trennbarkeit der Klassen angeht und der daraus resultierenden Probleme eine Klassifizierung, mit zum Beispiel Maximum Likelihood, durchzuführen. Die Klassen, bis auf Küsten-, Binnengewässer, weisen keine freistehenden Merkmalsräume auf.

12.9 Zusammenfassung und Ergebnisse

Abschließend lassen sich aus der Analyse 3 Punkte festhalten.

Erstens es muss näher untersucht werden wie sich das unter zu b) erkannte Phänomen (Konstante Niveauverschiebung, Ausschwingen der Glättungskurve) von HANTS auswirkt bzw. welche Ursache es erzeugt oder ob es sich in Form eines konstanten Parameters (additiver Wert) als Fehler bestimmen lässt.

Zweitens in wiefern sich die enormen Unterschiede der Vegetationskurven in den einzelnen Vegetationszonen auf eine Klassifizierung auswirken. Dies kann nur über zwei getrennte Klassifizierungen ermittelt werden. Eine mit den Mittelwerten über gesamt Benin und eine mit der Splittung in Vegetationszonen.

Drittens konnte bei korrespondierenden Klassen über zwei Jahre für fast alle Klassen eine lineare Korrelation festgestellt werden. Abweichend sind die Übergangsklassen im Norden und Süden, sowie die Klasse Küsten-, Binnengewässer von Benin. Auf diese Erkenntnis wird dann im Kapitel 13 Konzeptionelle Ansätze für den Algorithmus 126 weiter eingegangen.

13 Konzeptionelle Ansätze für den Algorithmus

13.1 Gegenüberstellung möglicher Ansätze, Alternativen

Aus den recherchierten Verfahren und Informationen, wie sich Landbedeckungen aus Satellitenbildern in Form von Momentaufnahmen oder Zeitreihen ermitteln lassen und welche Informationen oder Rückschlüsse ermittelt werden können, siehe Kapitel 8 Auswerten der recherchierten Literatur Seite 62 und Kapitel 4 Voruntersuchung Seite 26, konnten vier Verfahren, für die Erreichung der Ziele, ermittelt werden. Die Postklassifikation bei der zwei unabhängige Klassifizierungen verglichen werden, das Grenzwertverfahren welches aus der Abschätzung von Schwellenwerten beruht und die statistischen Verfahren Principal Component Analysis sowie die Change Vector Analysis.

Mögliche Ansätze für den Entwurf des Algorithmus		
Postklassifikation Grenzwertverfahren	Principal Component Analysis (PCA) Change Vector Analysis (CVA)	Ausgleichung Regressionsanalyse

Abbildung 51 Ansätze für den Algorithmusentwurf

Jedes für sich reicht für eine jährliche Bestimmung der Landbedeckungsänderung als Auswertesystem nicht aus, sondern es müssen Kombination gewählt werden. Dies steht im Widerspruch zu den geforderten Zielen, ein durchgängiges Klassifizierungsverfahren zu entwickeln und eine softwaretechnische automatisierte Analyse der Ergebnisse ist nicht definierbar, da sich zu viele Kombinationen ergeben.

Der Ansatz über die Ausgleichung soll somit weiter verfolgt werden und soll zur Umsetzung der Grundüberlegungen siehe Kapitel 4.4 Erste Definition für den Algorithmus Seite 38 und Kapitel 5.2 Basisansatz für den zu entwickelnden Algorithmus Seite 41 dienen.

13.2 Definition der grundlegenden Theorien für den Algorithmus

Folgende These soll die Grundlage für die Herleitung des Algorithmus sein:

Transformation der NDVI-Werte eines Untersuchungsjahr, unter Berücksichtigung innerer Faktoren, in den NDVI-Wertebereich eines Ausgangsjahres, um die äußeren Gegebenheiten des Ausgangsjahres zu simulieren.

Innere, äußere Faktoren siehe (Siehe Kapitel 4 Voruntersuchung Seite 26)

Im Folgenden werden die Grundprinzipien definiert. Diese sind aber mehr als Thesen zu verstehen und dienen dem Grundverständnis.

Ziel dieser Transformation ist, den Verlauf der Vegetationskurven für das Untersuchungsjahr, die sich durch einen Beobachtungspunkt (Pixel) und den Beobachtungszeitpunkten, in diesem Fall die Bänder 1-36, bestimmen lassen, möglichst nahe an den Verlauf der Vegetationskurve im Ausgangsjahr anzugleichen. Betrachtet man nur die äußeren Faktoren (Niederschlagsmenge, Variabilität) (Siehe Kapitel 4 Voruntersuchung Seite 26), die es gilt zu überwinden, lässt sich dies theoretisch noch relativ einfach mittels einer Transformation über die Stützpunkte der Kurven des Untersuchungsjahres in das Ausgangsjahr mathematisch für ein Pixel definieren. Hierbei ist aber anzunehmen, dass z. B. Änderungen der Vegetation durch Veränderungen des Klimas verloren gehen. Bei den inneren Faktoren hingegen muss zwischen den Faktoren unterschieden werden, die die Differenzierbarkeit der Klassen beeinflussen (z. B. Vegetationszonen) und denen, die zu einer tatsächlichen Änderung der Landnutzung führten. Insbesondere wenn natürliche Vegetation in landwirtschaftliche Nutzfläche gewandelt wird, Siedlungen ausgedehnt oder Boden rekultiviert wird. Diese Veränderungen müssen bei der Transformation erhalten bleiben. Siehe Kapitel 12.7 Statistische Analyse der Klasse 106.

13.3 Definition der Transformationsfaktoren

Es gilt also zwei Veränderungen aufzufangen, die mittels der Transformation gesteuert werden sollen und durch entsprechende Parameter oder Funktionen beschrieben werden müssen.

Dies ist zum einen der Faktor, der über die Pattern von Tateishi, R., Ebata, M. (2004) beschrieben ist (S. Kapitel 5.2 Basisansatz für den zu entwickelnden Algorithmus S. 41) und sich in Form von Dehnungen, Stauchungen, Translationen und Skalierungen beschreiben lässt, im Folgenden PFaktor (Patternfaktor) genannt und zum anderen der Faktor, mit dem eine Änderung der Landbedeckung erkannt werden muss, im Folgenden CFaktor (Changefaktor) genannt. Weiterhin lässt sich eine Korrelationsmatrix berechnen, die KFaktor (Korrelationsfaktor) genannt werden soll. Als Letztes soll ein zusätzlicher Faktor festgelegt werden, der aber unbekannt ist und eventuell im Gesamtgefüge mit eingreift und benötigt wird, einen eventuellen systematischen Fehler aus der HANTS-Interpolation abzufangen (Siehe statistische Auswertung Kapitel 12.9 Zusammenfassung und Ergebnisse Seite 125). Im Folgenden GFaktor genannt.

Tabelle 13 Definitionen der Transformationsparameter

KFaktor	Korrelationsfaktor, Korrelationsmatrix
PFaktor	Patternfaktor der die Änderungen der NDVI-Werte der Vegetation beinhaltet, die laut Tateishi, R., Ebata, M. (2004) vom Niederschlag oder von der Temperatur bedingten Veränderungen hervorgerufen werden.
CFaktor	Veränderungsfaktor, der die tatsächlichen Änderungen der Landbedeckung erkennt und auf den PFaktor stärkend oder schwächen, in Form eines Gewichtkoeffizienten, einwirkt.
GFaktor	Gewichts Faktor, der global auf die Transformation einwirkt. Z. B. als skalare Wert oder konstanter Wert, der für jedes Band berechnet wird.

Dies geht jedoch nur dann, wenn sich die genannten Faktoren so bestimmen lassen, dass zusätzliche Daten, wie z. B. Niederschlagsmengen, im Einzelnen nicht bekannt sein müssen. Die Begründung hierfür ist durch die Ziele definiert, nur die NDVI-Daten von SPOT VEGETATION zu verwenden. Siehe Kapitel 5 Ausgangssituation, Ziele, Anforderungen und Untersuchungen Seite 39. Im folgenden werden die Funktionen vom CFaktor und PFaktor anhand einer schematischen Zeichnung erklärt.

Abb. Rechts zeigt den Zustand Fôret dense (Jahr2002 FD schwarz) und Fôret claire (Jahr2002 FC magenta) im Ausgangsjahr 2002 als Sollverlauf (Mittel der NDVI der Trainingsgebiete). Im Untersuchungsjahr 2003 ergibt sich aber die grüne Vegetationskurve, die für 2003 als Fôret claire (Jahr2003 FC) interpretiert werden muss. Also von einer Veränderung auszugehen ist. Die blaue durchgezogene Kurve zeigt den möglichen Verlauf durch den PFaktor. Der Einfluss des CFaktors soll die Veränderung der Vegetation auffangen und die blaue durchgezogene Kurve näher an die magentafarbene Jahr2002 FC Kurve ziehen. Im gesamten, nach der Ausgleichung, soll dann die ausgeglichene Kurve, blau gestrichelt, hervorgehen.

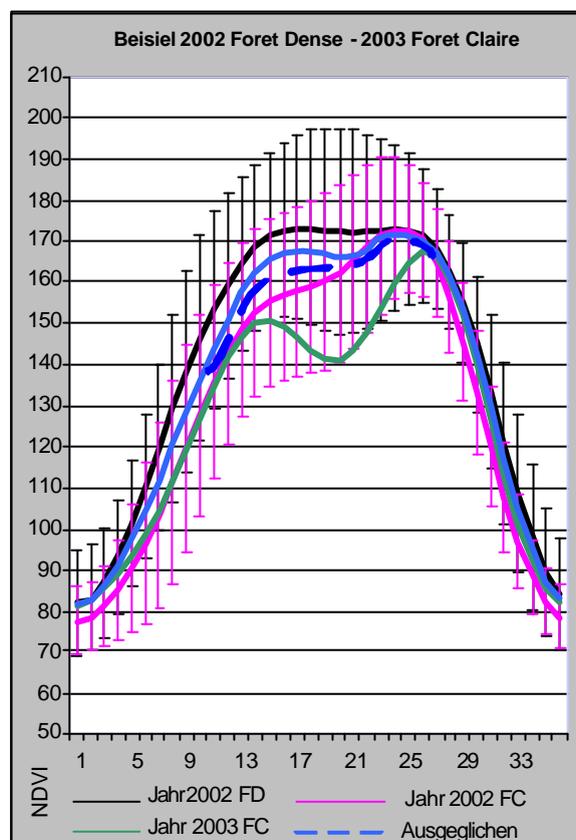


Abbildung 52 Schematische Darstellung der Transformation

Im nächsten Kapitel soll nun näher betrachtet werden, wie die Faktoren bestimmte werden können und wie sich diese auf die NDVI-Werte auswirken.

13.4 Ermittlung der Transformationsparameter

13.4.1 Berechnung der Korrelationsmatrix KFactor

Aus der statistischen Auswertung der Trainingsgebiete siehe Kapitel (Verweis) wurde ermittelt, dass die Mittelwerte einer Klasse aus den NDVI-Werten der Trainingsgebiete über zwei Jahre (Ausgangsjahr und Untersuchungsjahr) in einer Beziehung zueinander stehen und als lineare Korrelationskoeffizienten bestimmt werden können. Es lässt sich somit aus den beiden Jahreszusammenstellungen eine Korrelationsmatrix berechnen, die sich als Resultat der Korrelation der korrespondierenden Pixel ergibt. Dies ist schematisch in nachfolgender Grafik dargestellt. Cor steht hier synonym für einen Befehl, der die lineare Korrelation berechnet.

Für diese und folgende Abbildungen gilt Datum2002 ist das Ausgangsjahr, Datum2002+i ist das Untersuchungsjahr. $i = 1,2,..n$ Jahre zum Ausgangsjahr.

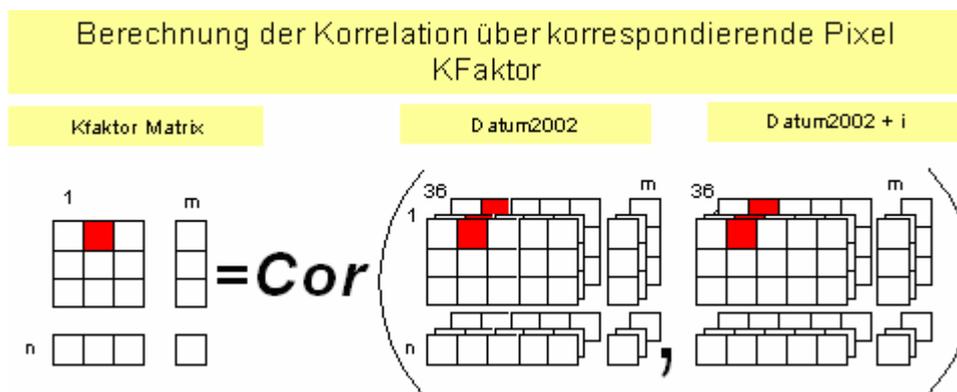


Abbildung 53 Schema zur Berechnung der Korrelationsmatrix (KFactor) eine Pixels

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass bei einigen Klassen schwache Korrelationen bis hin zu unkorrelierte Werte entstehen können. Insbesondere die Klasse Niger 01 und Küsten-, Binnengewässer. (Siehe Kapitel 12.7 Statistische Analyse der Klasse 106)

13.4.2 Berechnung der Patternmatrix PFaktor

Aus der Literaturrecherche ergab sich aus der Arbeit von Franke, J. (2003) ein Vegetationsindex, der als Indikator bei Untersuchungen von Dürreperioden steht, der Vegetation Condition INDEX (VCI), dessen Formel wie folgt definiert ist. (Siehe Kapitel 8 Auswerten der recherchierten Literatur 62)

$$VCI_j = \frac{(NDVI_j - NDVI_{\min}) * 100}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})}$$

Gleichung 4 Vegetation Condition INDEX (VCI)

Dieser Index ist die Grundlage für die Berechnung der Verbesserungsparameter für die äußeren Faktoren, die zu den Veränderungen der Kurven einer Klasse führen, wenn man die vom Ausgangsjahr und Untersuchungsjahr betrachtet. Für die Berechnung musste die Gleichung etwas geändert werden, um einen Multiplikator zu erhalten, der mit der Differenz der NDVI-Werte Ausgangsjahr – Untersuchungsjahr multipliziert wird. Die so erhaltenen Verbesserungen werden dann wieder zum Untersuchungsjahr addiert. Im folgenden die veränderte Gleichung und das Berechnungsschema. PFA ist die Routine für die Berechnung.

$$VCI_j = 1 + \frac{(NDVI_j - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})}$$

Gleichung 5 Veränderter Vegetation Condition INDEX (VCI) für Pfaktor Matrix

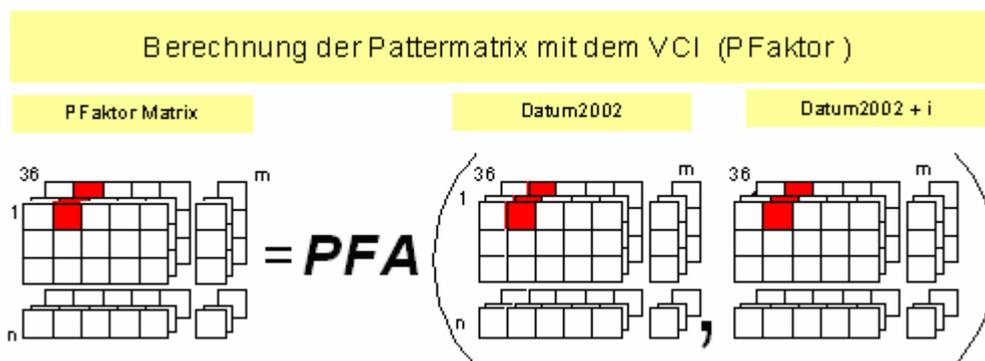


Abbildung 54 Schema zur Berechnung der Patternmatrix (PFaktor)

Das Ergebnis der Berechnung der PFaktormatrix ist die Differenz (Datum2002-Datum2002+i) +1 der VCI-Werte, berechnet über den gesamten Zeitraum Datum2002 und Datum2002+i (Zusammenfassung der zwei Jahre).

Für eine Überprüfung wie sich dieser Faktor auswirkt, wurde die nachfolgende Berechnung testweise durchgeführt, um das Verhalten bei identischen Klassen im Ausgangsjahr und Untersuchungsjahr zu prüfen und wie sich dieser Faktor bei einer Veränderung einer Klasse im Untersuchungsjahr verhält. Verwendet wurden die Mittelwerte der Klassen. Dif = Differenzberechnung Pixelweise.

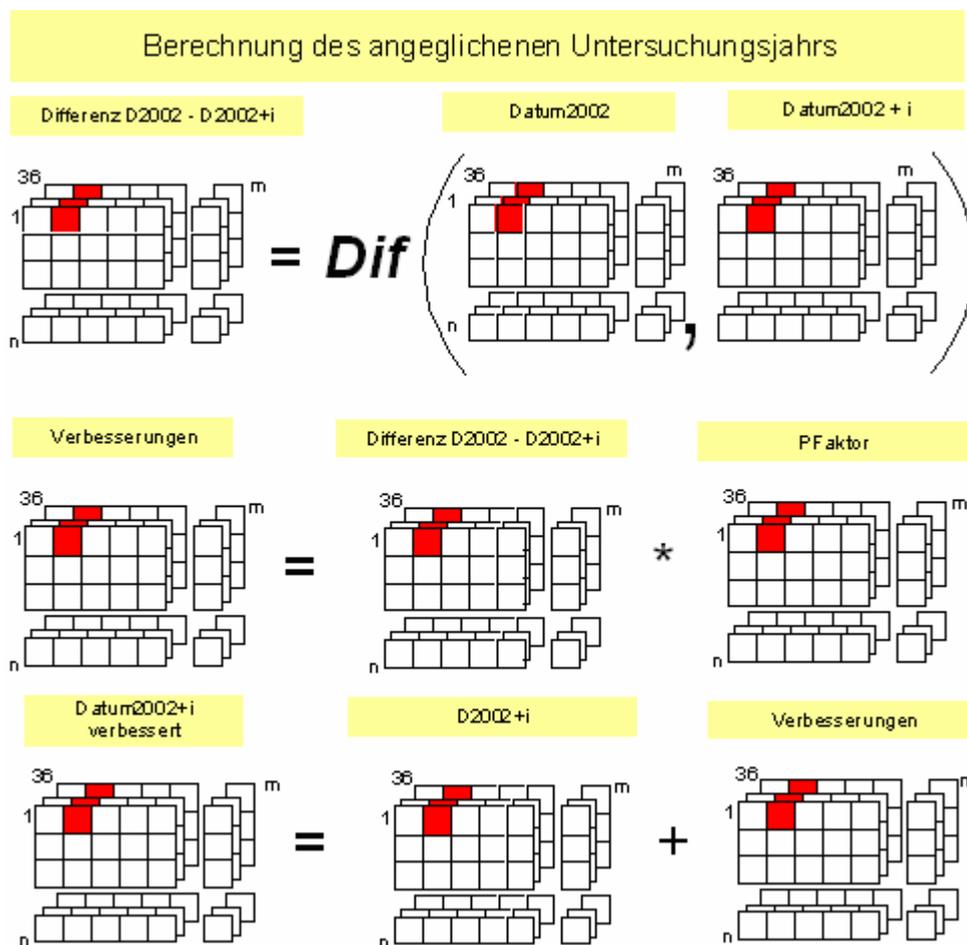


Abbildung 55 Schema Anwendung des PFaktors

Getestet wurde einmal, wie sich der PFaktor bei gleichen Klassen verhält. Hier zeigt sich das dieser Faktor sich sehr positiv auswirkt und die äußeren Faktoren kompensiert. Siehe Abbildung 56 Auswirkung PFaktor bei identischen Klassen Seite 133. Bei einer Klassenänderung im Untersuchungsjahr jedoch, wird die

rote Kurve zu sehr an die Klasse im Ausgangsjahr (blaue) transformiert. siehe Abbildung 57.

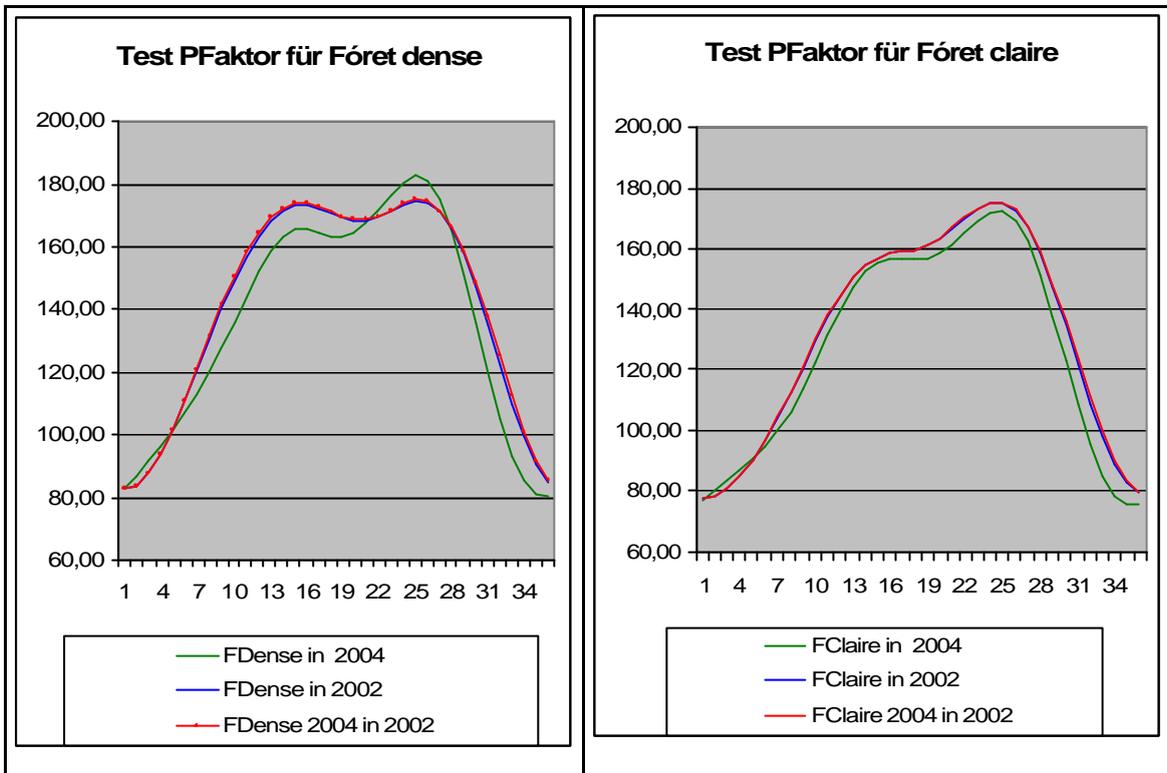


Abbildung 56 Auswirkung PFaktor bei identischen Klassen (rot)

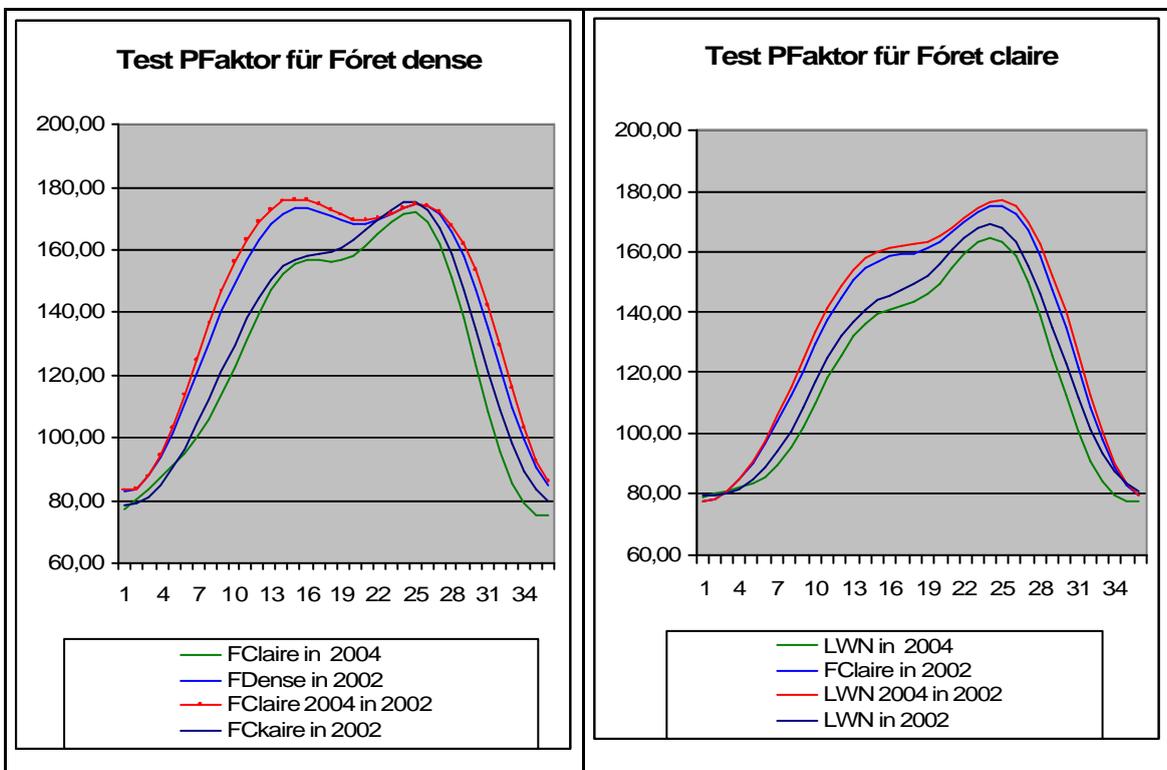


Abbildung 57 Auswirkung PFaktor bei einer Klassenänderung im Untersuchungsjahr (rot)

Betrachtet man hingegen nur den relativen Zuschlag, der sich ergibt, wenn man die Differenz roten Kurven - blaue Kurve berechnet und diesen Wert zur Kurve des Untersuchungsjahrs addiert, so verhält sich das Ergebnis gegenläufig.

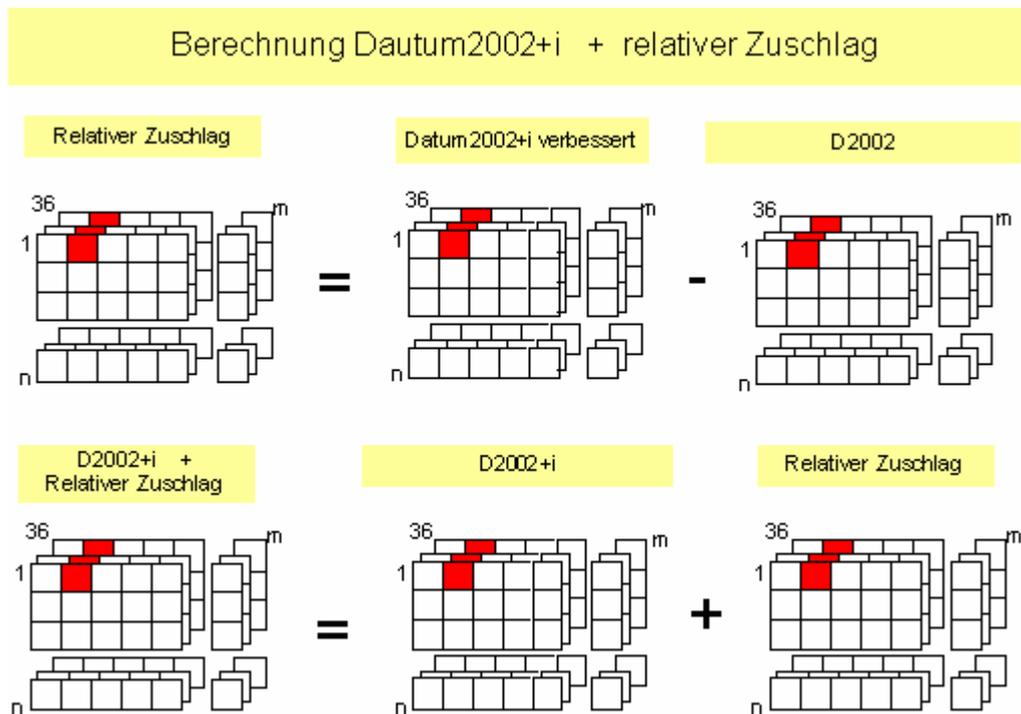


Abbildung 58 Berechnung Dautum2002+i + relativer Zuschlag

Dies soll in folgenden Abbildungen gezeigt werden. Bei diesem Verfahren liegt die transformierte Kurve bei identischen Klassen marginal höher wie im Ausgangsjahr, siehe Abbildung 59 Auswirkung des relativen Zuschlags bei identischen Klassen Seite 135. Bei einer Änderung der Klasse (Vegetationsänderung) hingegen kommt der transformierte Kurvenverlauf der Klasse im Untersuchungsjahr, dem Verlauf der Klasse, wie sie im Ausgangsjahr verläuft, sehr nahe. Rote Kurve Fôret claire in 2004 zur dunkel blauen Fôret claire in 2002, obwohl in 2002 dort Fôret dense vorliegt.

Siehe Abbildung 60 Auswirkung des relativen Zuschlags bei Klassenänderung Seite 135

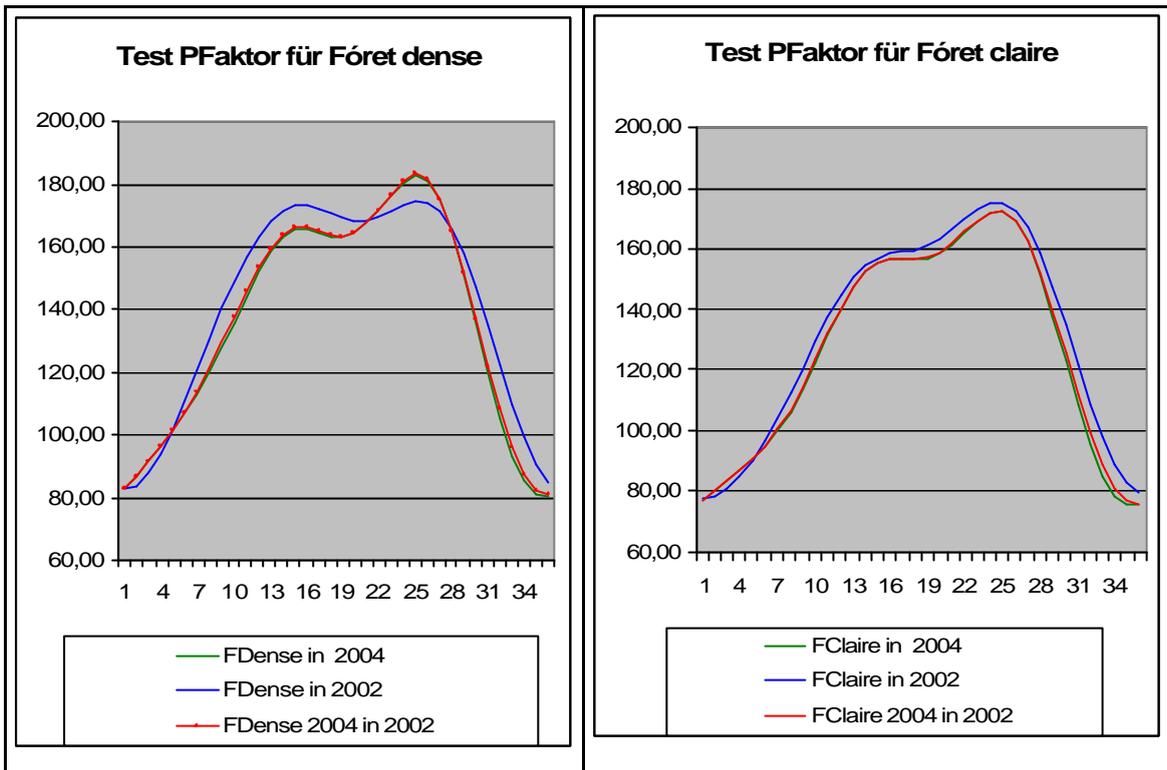


Abbildung 59 Auswirkung des relativen Zuschlags bei identischen Klassen (rot)

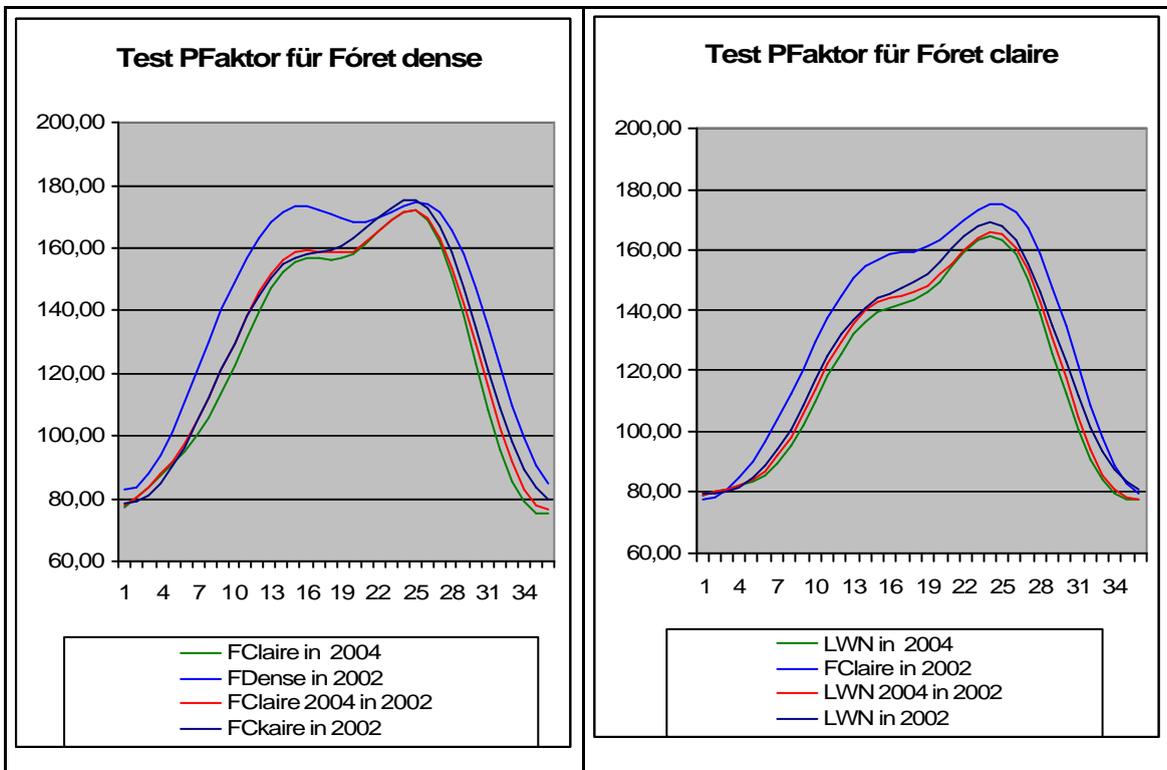


Abbildung 60 Auswirkung des relativen Zuschlags bei Klassenänderung (rot)

13.4.3 Berechnung der Gewichtsmatrix CFaktor

Der zu ermittelnde Veränderungsfaktor (CFaktor) soll nun die Veränderungen durch den PFaktor, in Form eines Gewichtes, stärkend oder schwächend beeinflussen. Versuche einen CFaktor herzuleiten führten jedoch zu keinen überzeugenden Ergebnissen. Ersichtlich wird hingegen, dass ein solches Gewicht wahrscheinlich noch benötigt wird.

Versuchweise wurde eine CFaktormatrix durch die Division der NDVI-Werte des Untersuchungsjahrs und Ausgangsjahr, nach folgender Formel berechnet. CFA Routine zur Berechnung des CFaktors

$$CFaktor_{m,n} = \frac{Datum2002+i_{m,n}}{Datum2002_{m,n}}$$

Gleichung 6 Berechnung CFaktor Matrix

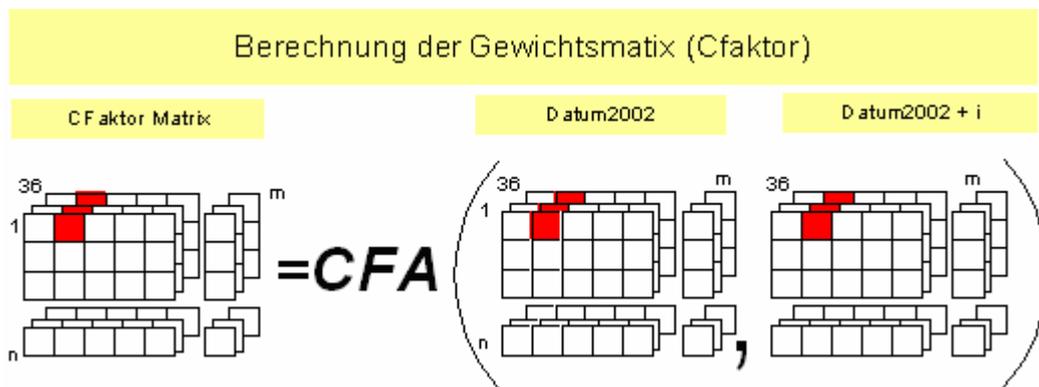


Abbildung 61 Schema Funktion zur Berechnung der Gewichtsmatrix (CFaktor)

Mit diesem Gewichtsansatz wurde dann der relative Zuschlag erneut bestimmt, indem zuerst die gewichtete Patternmatrix berechnet, die Verbesserungen ermittelt und der relative Zuschlag neu bestimmt wurde.

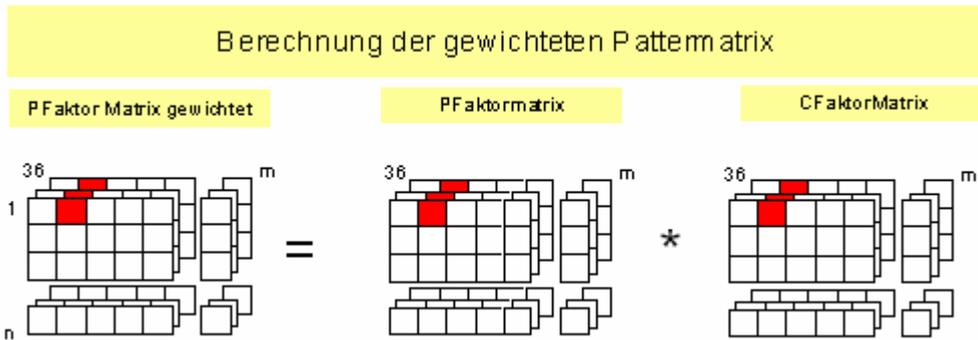


Abbildung 62 Berechnung der gewichteten Patternmatrix

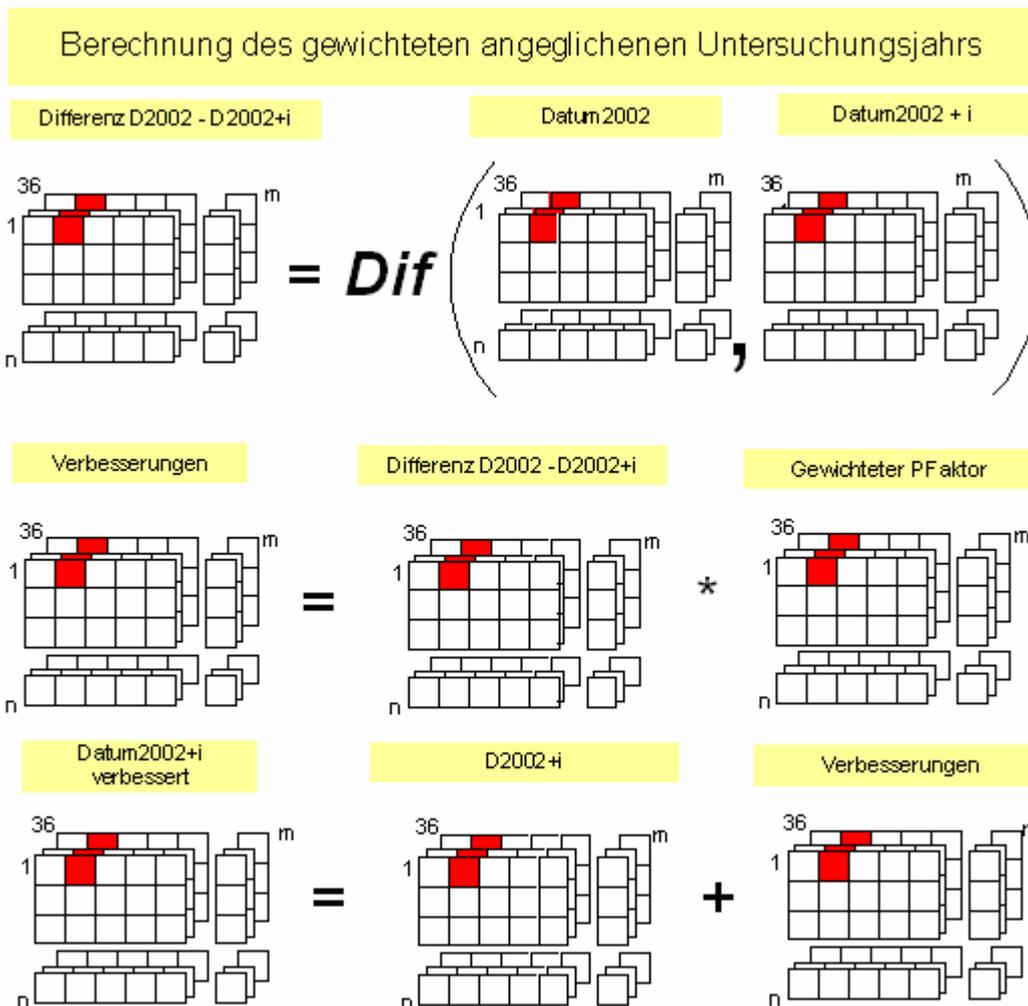


Abbildung 63 Berechnung des gewichteten angeglichenen Untersuchungsjahrs

Berechnung Datum2002+i + gewichteter relativer Zuschlag

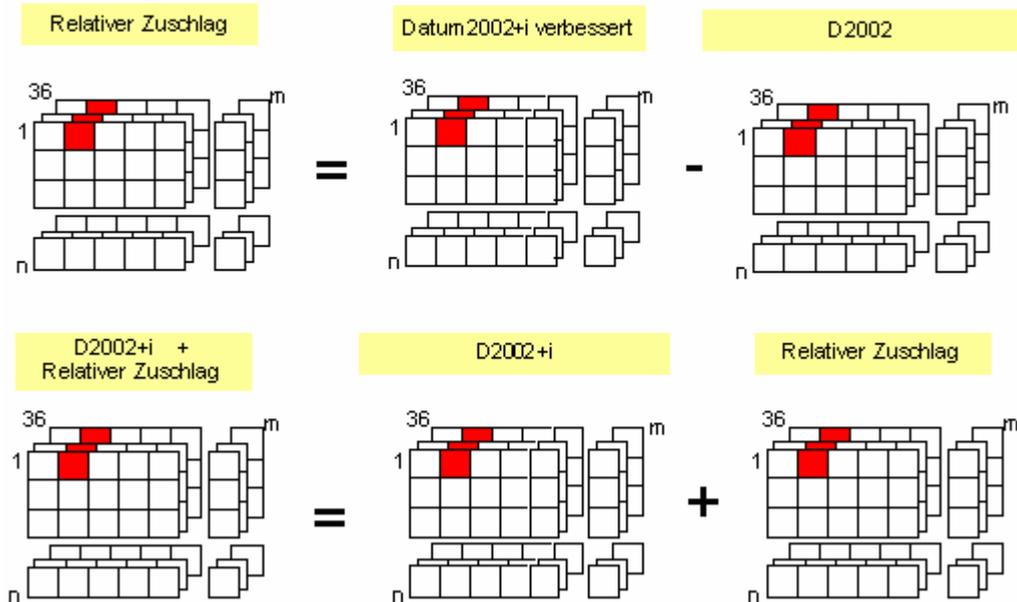


Abbildung 64 Berechnung Datum2002+i + gewichteter relativer Zuschlag

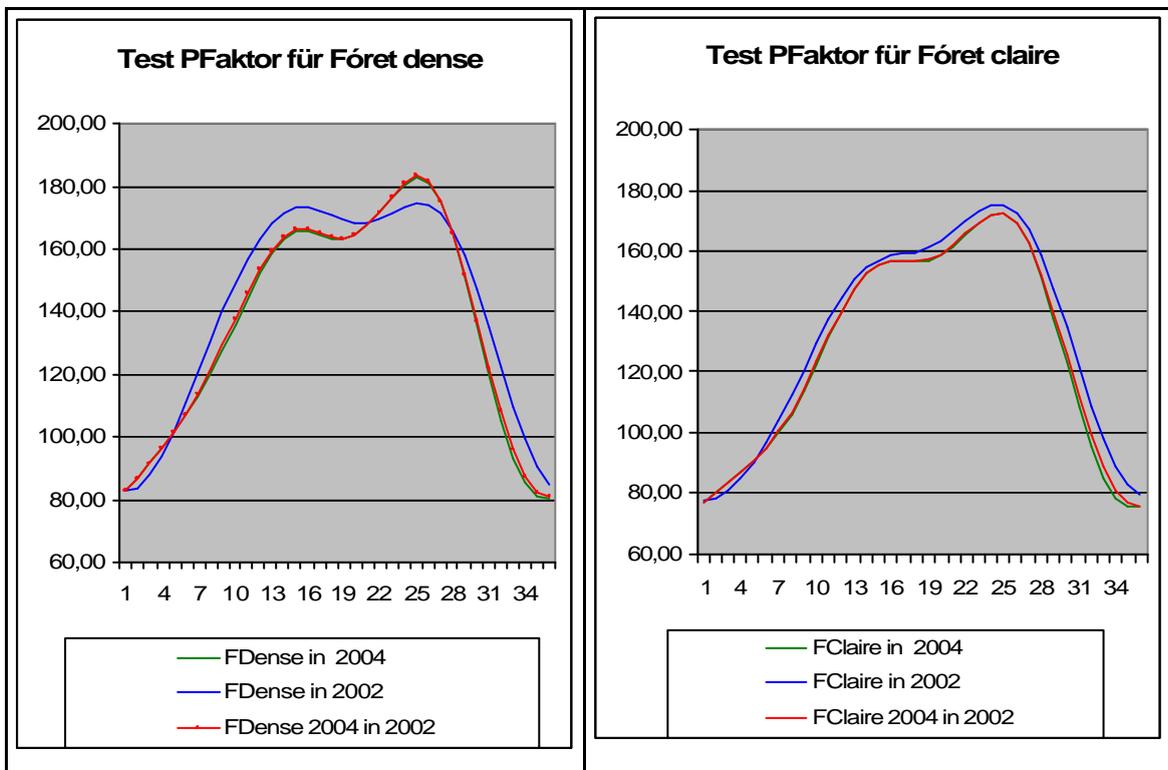


Abbildung 65 Auswirkung des gewichteten relativen Zuschlags bei identischen Klassen (rot)

Bei identischen Klassen macht sich dieser Gewichtsansatz nur ganz gering bemerkbar, da der Relativzuschlag recht gering ist. Siehe Abbildung 65

Bei einer Veränderung der Landbedeckung wo der PFaktor eine etwas größere Auslenkung erzielt macht sich das Gewicht etwas bemerkbar. Rote Kurve ohne Gewicht, gelbe mit Gewicht. Siehe Abbildung 66

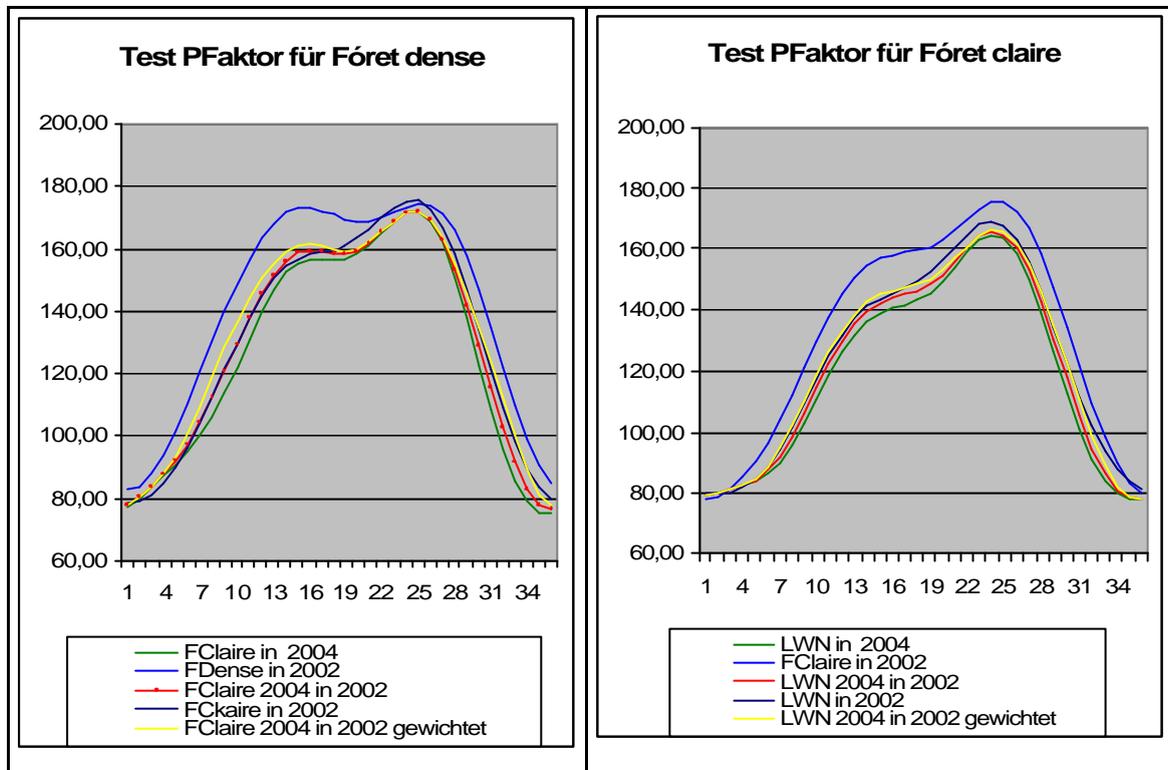


Abbildung 66 Auswirkung des gewichteten relativen Zuschlags bei Klassenänderung (gelb)

Weiter Anhaltspunkte für die Verwendung eines Gewichtungsfaktors konnten in folgenden Publikationen gefunden werden, bedürfen aber einem wesentlich tieferen Einstieg in diese Verfahren. Swets, D.L., B.C. Reed, J.R. Rowland, S.E. Marko, (1999) verwenden eine gewichtete Methode der kleinsten Quadrate für eine Zeitreihenglättung.

In dieser Veröffentlichung von Schwartz, M., Zimmermann, N. E. (2005) wird eine neue Methode beschrieben, mit der zusammenhängende Gebiete mit Baumbedeckung auf komplexen Topographien, in der Größenordnung der europäischen Alpen, mittels verallgemeinerter linearer Modelle (generalized linear models - GLM) hergeleitet und optimiert werden können. MODIS-Daten (MOD09) in einer räumlichen Auflösung von 500 Metern werden verwendet, um die Modelle an regionalen Trainingsdaten mit teilweiser Baumbedeckung zu kalibrieren. GLMs können nichtlineare Zusammenhänge in Trainingsdaten besser

behandeln und die Methode ist robust bezüglich der Probengröße und der Anzahl Monate, die zur Kalibrierung benutzt werden. Regionale Kalibrierungen von Gebieten mit zusammenhängenden Bewuchs können entscheidend verbesserte Vorhersagen, verglichen mit global kalibrierten Modellen, bieten. Solche regional kalibrierten und optimierten Modelle können als nützliche Werkzeuge zur regionalen Beobachtung von Landbedeckungsmustern und ihrer zeitlichen Veränderung dienen.

13.4.4 Ansatz nach dem Verfahren der Ausgleichrechnung

Der Methodenansatz für den zu entwickelnden Algorithmus besteht darin, die gemessenen NDVI-Werte an einem Punkt (Pixel) als unabhängige Beobachtungen zu betrachten. Betrachtet man einen Beobachtungspunkt in Form einer Kurve, die den Vegetationsverlauf und den Vegetationstypen wiedergibt für zwei Jahre, so lässt sich feststellen, dass sich Veränderungen im Kurvenverlauf auf eine der von Tateishi, R., Ebata, M. (2004). ermittelten Veränderungsmustern zurückführen lässt (Siehe Kapitel 5.2 Basisansatz für den zu entwickelnden Algorithmus Seite 41). Genauer betrachtet handelt es sich um Translationen, Dehnungen, Stauchungen und Transformationen, deren Auswirkungen sich in Form von Abweichungen an einem korrespondierenden Pixeln (Beobachtungspunkte), zwischen dem Ausgangsjahr und Untersuchungsjahr, bestimmen lassen. Mit dem zu verwendenden Rechenverfahren gilt es für diese Abweichungen, Verbesserungen zu ermitteln, sodass der allgemeine Grundsatz der Ausgleichung, für die sich ergebende Differenz zwischen Ausgangsjahr und ausgeglichenem Untersuchungsjahr zutrifft:

Summe der gewogenen Fehlerquadrate = Minimum

Die Grundvoraussetzung für eine Ausgleichung ist dann erfüllt, wenn mehr Messungen vorhanden sind, die für eine eindeutige Bestimmung der Unbekannten vorliegen Reismann (1980). Dies Bezeichnet man auch als Überbestimmungen.

Im vorliegenden Fall lässt sich dies anhand folgender Betrachtungen überprüfen. Zur Verfügung stehen zwei Beobachtungsreihen, deren Eigenschaften sich wie folgt beschreiben lassen:

- a) die für das Referenzjahr und der definierten phänologischen Maße der Klassen, auf die die nachfolgenden Klassifizierungen Bezug nehmen. Die Zeitreihe für das Ausgangsjahr Jahr 2002 Datum2002.
- b) die Zeitreihe für das Untersuchungsjahr Datum2002+i, wobei i eine fortlaufende Nummer angibt, um auf das Untersuchungsjahr zu schließen. Z. B. i=1 daraus folgt das Untersuchungsjahr 2003.
- c) Pro Beobachtungspunkt (Pixel) liegen 36 Beobachtungen vor, die 10tägigen Daten von SPOT VEGETATION. Für Datum2002 sowie für Datum2002+i.
- d) Eine zu bestimmende Anzahl von Unbekannten, über die sich die Musteränderungen indirekt bestimmen lassen (siehe Kapitel 5.2). Pro Beobachtungszeitpunkt eine, daraus ergeben sich dann in diesem Fall 36 Unbekannte.
- e) Jede Beobachtungsreihe ist festgelegt durch ca. 500X900 Pixel

Ob eine Überbestimmung vorliegt, lässt sich recht einfach mittels folgender Bedingung, die erfüllt sein muss, überprüfen;

Gilt $N_f = N - N_e > 0$ dann liegt ein Ausgleichungsfall vor.

Tabelle 14 Bedingung für einen Ausgleichungsfall

N _f	Die Anzahl der überschüssigen Beobachtungen
N	Anzahl der Beobachtungen
N _e	Anzahl der zur eindeutigen Lösung notwendigen Beobachtungen
In diesem Fall	$N = 500 \times 700$ $N_e = 36$ $\Rightarrow N_f = 500 \times 700 - 36 \quad \Rightarrow N_f > 36 \Rightarrow$ Prinzip Ausgleichung

Ferner konnte aus den vorangegangenen Untersuchungen folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- zwischen den Beobachtungsreihen besteht eine lineare Korrelation, definiert durch den KFaktor der in Form einer Korrelationsmatrix berechnet werden kann,
- es besteht eine bestimmbar Beziehungen, mit denen die Veränderungen der NDVI-Werte im Vegetationszyklus aufgefangen und manipuliert werden können, die sich aus dem abgewandelten VCI berechnen lässt und als Patternmatrix (PFaktor) definiert wurde,
- und die Erkenntnis das noch eine Gewichtmatrix (CFaktor) hergeleitet werden muss, um tatsächliche Veränderungen in der Vegetation abzufangen,
- zu guter letzt der GFaktor, als globale Gewichtsmatrix, um eventuelle systematische Fehler zwischen den Untersuchungsjahren abzufangen.

13.5 Definition des Ausgleichungsverfahrens

Das in Frage kommende Ausgleichungsverfahren, Ausgleichung korrelierter Messungen, wird in Reissmann(1980) wie folgt definiert: Seite 189 „Dieses Verfahren ist dann anzuwenden, wenn mehrere Größen, die wir als Unbekannte bezeichnen, gemeinsam zu bestimmen sind, mehr Messungen als Unbekannte vorliegen und die Messungen gegenseitig abhängig, also korreliert sind.“

Welches der Verfahren angewendet werden kann, muss in den nächsten Untersuchungen ermittelt werden.

Im folgenden Kapitel werden mögliche Varianten vorgestellt, wie das Modell für die Ausgleichung aufgebaut werden könnte und eine theoretische Genauigkeitsbetrachtung diskutiert.

13.6 Mögliche Varianten und Auswirkungen der Varianten auf die Genauigkeit

Folgende Fragestellung soll in diesem Kapitel diskutiert werden: Wie und mit welchen Verfahren, kann ein optimales Ergebnis erzielt werden? Zu Klärung dieser Frage wurden theoretische Szenarien, wie ein Untersuchungsgebiet betrachtet werden kann und wie die Daten in die Transformation eingehen können, vorgestellt.

Hierbei wurde die Variabilität der Daten, der zwei Beobachtungsreihen und die Art der Transformation und ihre Auswirkungen auf die Ergebnisse analysiert. Aus diesen Erkenntnissen ergaben sich drei theoretische Methoden für die Transformation zwischen Ausgangsjahr und Untersuchungsjahr und eine Überlegung, ein vorausgeglichenes (homogenisiertes) Ausgangsjahr zu erstellen. Letzteres, um den starken Schwankungen im Untersuchungsgebiet eventuell entgegenwirken zu können.

Folgende Genauigkeit These ist jedoch bei der Wahl eines dieser Verfahren zu berücksichtigen: Punktuelle Transformation könnte eine zu starke Veränderung hervorrufen, gerade dann, wenn eine Änderung in der Landnutzung vorliegt. Bei der Block Ausgleichung dagegen eine zu schwache Transformation aufgrund der großen Überbestimmung erzielen.

Die Auswirkungen der einzelnen Faktoren wie sie Kapitel 13.4 Ermittlung der Transformationsparameter Seite 130 definiert wurden müssen im Einzelnen untersucht werden. Hierfür sind entsprechen Berechnungsmodelle zu entwerfen und die Ergebnisse zu validieren.

Im Folgenden werden die verschiedenen Varianten beschrieben und anhand einer Skizze bildhaft gemacht.

13.6.1 Variante I Pixelweise

Diese Variante weicht von der Methode her, gegenüber den anderen Beiden ab. Hier erfolgt die Transformation pixelweise und entspricht einer Regressionsanalyse nach der Methode der kleinsten Quadrate.

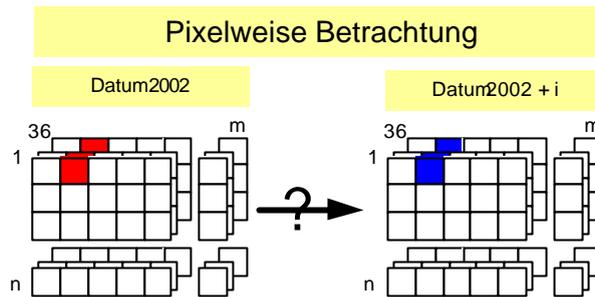


Abbildung 67 Methodenansatz Pixelweise Betrachtung

13.6.2 Variante II Zeilen-/ Spaltenweise

In diesem Fall wird eine korrespondierende Spalte oder Zeile zwischen Datum2002 und Datum2002+i der Transformation unterzogen. Die Bedingung siehe Tabelle 14 S. 141 muss erfüllt sein. Anzahl Pixel > 36. Ausgleichung

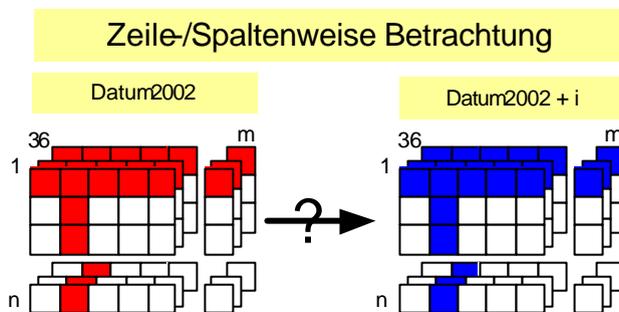


Abbildung 68 Methodenansatz Zeilen-/Spaltenweise Betrachtung

13.6.3 Variante III Block

Hier wird das gesamte Untersuchungsgebiet oder eine vorzugebende Segmentgröße für die Transformation verwendet. Die Bedingung siehe Tabelle 14 S. 141 muss erfüllt sein. Anzahl Pixel > 36. Ausgleichung.

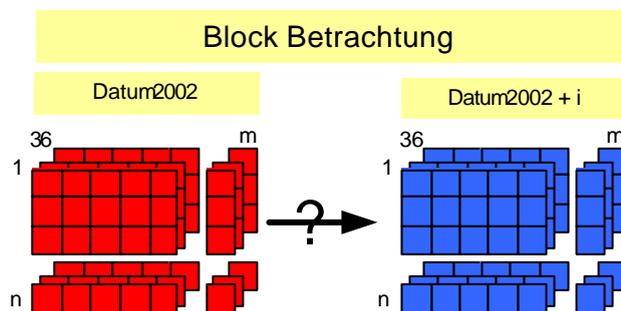


Abbildung 69 Methodenansatz Block Betrachtung

13.6.4 Homogenisiertes Ausgangsjahr

Eine weitere Überlegung geht dahin, anstelle der mit HANTS überarbeiteten Rohdaten für das Ausgangsjahr, in diesem Fall Datum2002, ein homogenisiertes Datum2002h zu erstellen. Diese homogenisierte Datum2002h leitet sich dann wie folgt ab: für Datum2002 wird mit den phänologischen Maßen für die ermittelten Klassen eine Klassifizierung mit einem Entscheidungsbaum durchgeführt. Im Anschluss werden für jede ermittelte Klasse, aus Datum2002 klassifiziert, die entsprechenden NDVI-Mittelwerte der Klassen in eine leere Matrix übertragen, die die gleiche Dimension wie Datum2002 hat. In diesem Datum2002h hätten dann alle Pixel einer Klasse identische NDVI-Werte und es lägen die enormen Schwankungen in den NDVI-Werten einer Klasse nicht mehr vor. Auch wären die Verschiebungen in der Nord-/Südrichtung behoben. Siehe Kapitel 12.7 Statistische Analyse der Klasse Seite 106.

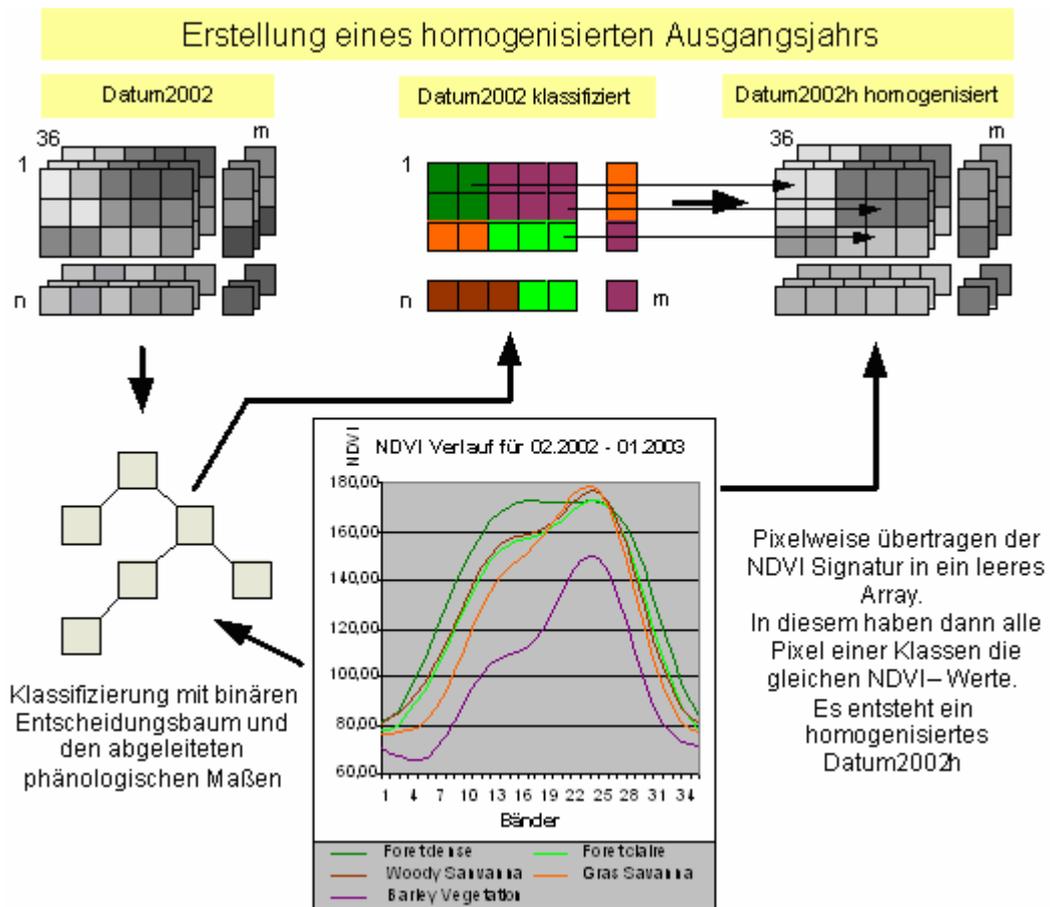


Abbildung 70 Methodenansatz homogenisiertes Ausgangsjahr

Wichtig ist jedoch die Kenntnis, wenn das Ausgangsjahr (Datum2002) klassifiziert wird und die abgeleitete homogenisierte Version als Ausgangsjahr in die Ausgleichung ein geht, muss diese Basis als wahr angenommen werden. Fehlerhaft klassifizierte Pixel pflanzen sich unweigerlich in Folgejahren fort. Datum 2002 klassifiziert müsste äußerst präzise erstellt, validiert und gegebenenfalls korrigiert werden, um das homogenisierte Ausgangsjahr zu erstellen.

13.7 Weitere zu beachtende Ergebnisse für den Algorithmus

Tabelle 15 weitere Ergebnisse für den Algorithmus

Aus der HANTS Analyse.	Es entstehen Artefakte, wo Wolken nicht eliminiert werden konnten.
Aus der Auswertung der Trainingsgebiete.	HANTS generiert in Küstennähe negative Werte.
Aus den Rohdaten von SPOT VEGETATION.	Pixelwerte 0, 1 für Wasserflächen schwanken in der Ausdehnung.

13.8 Genauigkeitsprüfung der Ergebnisse der Klassifizierungen

Trainingsgebiete wurden primär nur für das Untersuchungsjahr erstellt. Mit fortschreitenden Jahren muss die Aussagekräftigkeit in Frage gestellt werden. Es wurden zwar genügend Trainingsgebiete erstellt und eine Aufteilung in K für Klassifikation und Q für Qualitätskontrolle durchgeführt, aber in wiefern die Q Trainingsgebiete für die Qualitätskontrolle mit fortschreitenden Jahren verwendet werden können, ist fraglich. Daher stellt sich die Frage, können überhaupt Genauigkeitsprüfung wie sie für klassische (ISODATA, Maximum Likelihood, Entscheidungsbaum) Verfahren verwendet werden, hier angesetzt werden. Z.B. Confusion Matrixes, Contingency-Matrix. Hinweise zu den Verfahren findet man in Bethke, M. (1999), Judex, M. (2003) und Literatur.

14 Grob Spezifikation wichtiger Prozessabläufe

Im diesem Abschnitt werden die wichtigsten Prozessabläufe näher beschrieben und Hinweise für die Programmierung festgelegt.

14.1 Datenvorbereitung

Aus den SPOT VEGETATION ist ein Untersuchungsgebiet mit der Software Crop-VGT zu extrahieren und eine Wolkenmaske anzulegen.

14.2 Spezifikation Zeitreihenglättung mit HANTS

Für diesen Prozess ist eine Eingabemaske vorzusehen, mit welcher eine Jahreszusammenstellung aus den einzelnen Satellitenszenen (z. B. 10tages Zusammenfassungen) erfolgen kann, die notwendige Maske für HANTS festgelegt und die Zeitreihenglättung durchgeführt wird. Weiterhin sind Eingabefelder für Ausgaben und Parameter vorzusehen:

Für alle Eingangsdaten und Ausgaben von Dateien wie sie in der Anleitung von HANTS stehen sowie für die benötigten Parameter:

FET: Fit Error Tolerance, is maximum tolerable downward deviation between fourier fit and NDVI data values (in DN values)

FREQSS: 1D array with FREQUENCIES that should be selected from the fourier spectrum. i.e. FREQSS=[0,1,2,3] to use the fourier compoments 0 (mean), 1 (1 sine wave), 2 (2 sine waves) and 3. If you want to process 5 years of data you should use FREQSS=[0,5,10,15]

RANGE: Array of size 2 to specify the minimum and maximum valid data values. i.e. range=[1,254]

TAT: Throw Away Treshold, is maximum number of NDVI observations that can be discarded in the fitting process.

iMAX: Maximum nr. of iterations to be performed during processing, usually 10 should be sufficient.

Intern sind die Werte zu bestimmen, wie sie für die Analyse benötigt wurden, (Kapitel 17 Anhang A Analyse der Ergebnisse der Zeitreihenglättung und Wolkeninterpolation mit HANTS 170) und im Formular auszugeben. Hierbei handelt es sich um die Ergebnisse aus der Ausgabedatei, die mit STATUS_OF bezeichnet ist:

No.of pixel iterat.2.loop = iMax mit Anzahl Pixel > Anzahl Iterationen

Cloud Mask mit Anzahl Pixel > NDVI > 254

14.3 Spezifikation Phänologie Matrix der Klassen und Phänologie Matrix der Zeitreihe

Aus der Recherche phänologische Maße (Kapitel 9) und aus der Erkenntnis der statistischen Auswertung (Kapitel 12.7) ergibt sich nun eine Liste von 5 Ebenen für georeferenzierte Daten und 16 phänologischen Maßen.

Die Ebenen 0 – 4 dienen der Aufnahme georeferenzierter Rasterdaten die als zusätzliche Parameter, mit in die phänologische Klassifizierung eingehen sollen. Liegen die Daten in Vektorform vor, müssen diese zuvor in ein Rasterbild mit der gleichen räumlichen Auflösung gewandelt werden. Ebenen, die nicht benötigt werden, sollte von der Software auf 0 gesetzt werden. Alle weiteren Ebenen leiten sich aus den Ergebnissen vom Kapitel (Verweis Phänologie) ab.

Um Gebiete aus der Erstellung phänologischer Maße auszugrenzen, sollte je eine Maske für Gebiete wie Ozean und nicht benötigte Bereiche sowie eine für Wolken mit in den Prozess einfließen. Die Wolkenmaske wird durch den Prozess HANT ermittelt. Intern ist dann eine Gesamtmaske zu erstellen.

Für die im Kapitel 9 Bestimmung der phänologischen Maße 67 beschriebenen unterschiedlichen Varianten zur Ermittlung von „Onset time, Start of growing season (SOS)“ Index 7 und “End time, Offset, End of growing season (EOS).“

Index 9 sind entsprechende Optionen vorzusehen und in der Parametereinstellung als Optionsfelder vorzusehen. Eine Eingabemöglichkeit für die Anzahl Bänder ist zu berücksichtigen, wenn das Verfahren über die Ermittlung der Soil line über das Mittel von n-Bänder gewählt wird.

Für das phänologische Maß "Seasonal Greenness" (SG) sind die entsprechenden Varianten über Optionsfelder wie zuvor zu implementieren.

Die Steuerung dieses Prozesses ist aufgrund der vielen Parameter interaktiv über ein Eingabeformular zu steuern, in welchem alle Eingangsdaten ausgewählt werden, die phänologischen Maße einschließlich Parameter festgelegt und die Ausgabe angegeben werden kann.

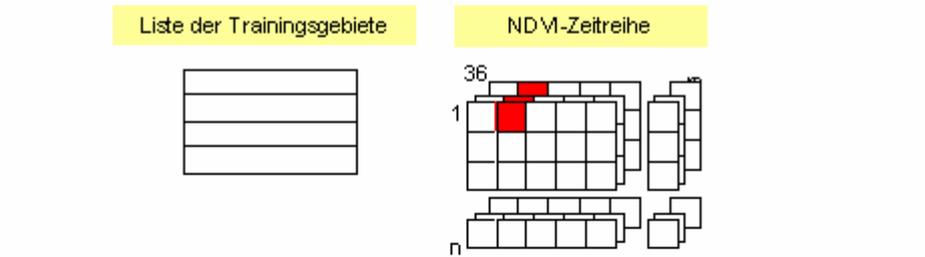
Die Bestimmung der gewählten phänologischen Maße soll in zwei Blöcke gliedern werden. Zum einen die Ermittlung der phänologischen Referenzwerte, die über die Koordinaten der Trainingsgebiete der Klassen bestimmt werden. Hierfür ist eine entsprechende Liste als Eingangsparameter festzulegen.

Diese phänologischen Referenzwerte, im Folgenden „Phänologie Matrix“ genannt, sind in Form eines drei dimensional Feldes auszugeben. In Ebene 1 sind die Mittelwerte der phänologischen Maße je Klasse in einer Reihe zu erfassen. In Ebene 2 die entsprechende Standardabweichung. Somit kann man direkt auch auf Schwellenwerte, beim Erstellen des binären Entscheidungsbaumes für die Klassifizierung, zugreifen.

Das Gegenstück ist die Transformation der NDVI-Zeitreihe in einer Matrix mit den phänologischen Maßen je Pixel. Im Folgenden „Phänologie Matrix Jahr“ genannt. Die Dimension ergibt sich aus Anzahl Rehen, Spalten und Anzahl der phänologischen Maße und der 5 Ebenen für die georeferenzierten Daten.

In der folgenden Abbildung 71 auf Seite 150 ist der Prozess schematisch dargestellt. Eingangsdaten sind die Liste der Trainingsgebiete und die NDVI-Zeitreihe und unter dem Prozessbalken die Ausgabe der Phänologie Matrix und Phänologie Matrix Jahr.

Bestimmung der phänologischen Maße aus der NDVI-Zeitreihe



Bestimme Phänologie Matrix und Phänologie Matrix Jahr

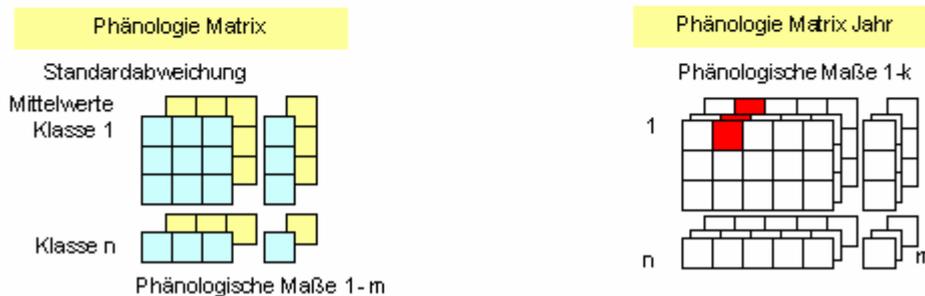


Abbildung 71 Schema Bestimmung der phänologischen Maße

In der folgenden Tabelle ist eine Gesamtzusammenstellung, die auch gleichzeitig die Indexnamen und Nummern festlegt, aufgeführt.

Tabelle 16 Phänologie Matrix und Phänologie Matrix Jahr

I	Bezeichnung	PMatrix	PJMatrix
		Beschreibung	
0	Frei. (Vegetationszonen)	PM_GREF_1 = 0	PMJ_GREF_1 = 0
		Rasterkarte der Vegetationszonen oder Maske	
1	Frei (Niederschlagszonen)	PM_GREF_2 = 1	PMJ_GREF_2 = 1
		Rasterkarte der Niederschlagszonen oder Maske	

I	Bezeichnung	PMatrix	PJMatrix
		Beschreibung	
2	Frei (Temperaturzonen)	PM_GREF_3 = 2	PMJ_GREF_3 = 2
		Rasterkarte der Temperaturzonen oder Maske	
3	Frei (Geländehöhen)	PM_GREF_4 = 3	PMJ_GREF_4 = 3
		Rasterkarte der Geländehöhen oder Maske	
4	Frei (Topographie)	PM_GREF_5 = 4	PMJ_GREF_5 = 4
		Rasterkarte der Topographie oder Maske	
5	Number of growing seasons.	PM_NGS = 5	PMJ_NGS = 5
		Legt die Anzahl der NDVI – Spitzen in einer Zeitreihe fest.	
6	Soil Line (S_L)	PM_SL = 6	PMJ_SL = 6
		Zeitpunkt oberhalb dessen photosynthetische Aktivität möglich ist.	
7	Onset time, Start of growing season (SOS).	PM_OST = 7	PMJ_OST = 7
		Startpunkt des Vegetationsbeginns.	
8	NDVI at start of growing season. (NDVI_SOS)	PM_OSTN = 8	PMJ_OSTN = 8
		NDVI-Wert zum Startpunkt des Vegetationsbeginns.	
9	End time, Offset, End of growing season (EOS).	PM_OFT = 9	PMJ_OFT = 9
		Endpunkt der Vegetation.	
10	NDVI at end of growing season. (NDVI_EOS)	PM_OFTN = 10	PMJ_OFTN = 10
		NDVI – Wert am Endpunkt der Vegetation.	
11	Period of growing season (PGS), Duration.	PM_PGS = 11	PMJ_PGS = 11
		Länge der Vegetationsperiode. Onset-Offset	

I	Bezeichnung	PMatrix	PJMatrix
		Beschreibung	
12	Maximum of photosynthesis activity. (MAX_PA)	PM_MAXN = 12	PMJ_MAXN = 12
		Maximal messbare photosynthetische Aktivität in der Vegetationsperiode.	
13	Seasonal Greenness (SG)	PM_SG = 13	PMJ_SG = 13
14	Value of annual Mean NDVI	PM_AMN = 14	PMJ_AMN = 14
		jährlicher Mittelwert	
15	Time of maximum photosynthesis activity (TMAX_NDVI)	PM_MAXNT = 15	PMJ_MAXNT = 15
		Zeitpunkt der maximalen photosynthetischen Aktivität in der Vegetationsperiode.	
16	Minimum of photosynthesis activity (MIN_PA)	PM_MINM = 16	PMJ_MINM = 16
		Minimale messbare photosynthetische Aktivität in der Vegetationsperiode.	
17	Range of photosynthesis activity RG_PA	PM_RG_PA = 17	PMJ_RG_PA = 17
		Spannbreite der photosynthetischen Aktivität.	
18	Time integrated NDVI (TI_NDVI)	PM_TIN = 18	PM_TIN = 18
		Fläche unter der Kurve oberhalb PM_OST - PM_OFT.	
19	Rate of greenup (RG_UP)	PM_GUP = 19	PM_GUP = 19
		Steigung der photosynthetischen Aktivität.	
19	Rate of greendown / senescence (RG_DOWN)	PM_GDOWN = 20	PM_GDOWN = 20
		Gefälle der photosynthetischen Aktivität.	

14.4 Transformation, Klassifikation und Genauigkeitsüberprüfung

Im Anschluss an die Zeitreihenglättung ist der Prozess der Ausgleichung des Untersuchungsjahrs durchzuführen und die Transformation des Ausgeglichenen Untersuchungsjahr in die Phänologiematrix durchzuführen.

Nun erfolgt die Klassifizierung des Untersuchungsjahrs und eine Genauigkeitsanalyse kann durchgeführt werden. Weiterhin können über die Gegenüberstellung Ausgangsjahr und Untersuchungsjahr Veränderungsnachweise durchgeführt werden.

Im letzten Abschnitt sind anhand eines Ablaufplanes alle einzelnen Schritte in einem ersten Entwurf mit Eingabe, Ausgabe und Unterbrechungsstellen bildhaft dargestellt.

14.5 Spezifikation Entwurf Prozessablauf

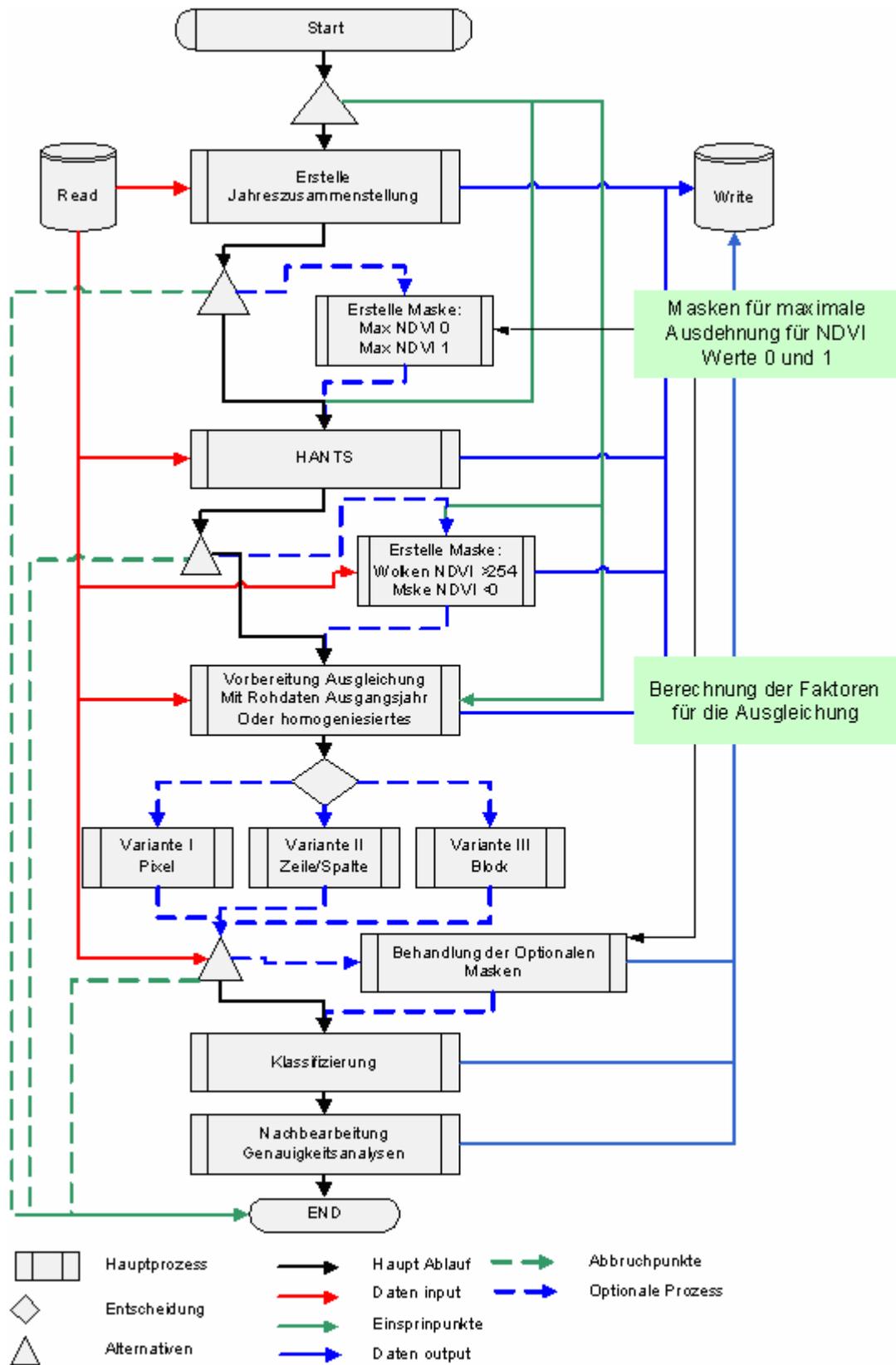


Abbildung 72 Prozessablauf

15 Schlussfolgerung

Ziel dieser Arbeit bestand darin einen Algorithmus zu entwickeln, mit dem es ermöglicht wird, eine jährliche Wiederholung einer Klassifizierung aus Fernerkundungsdaten eines Untersuchungsraums durchführen zu können. Mit den Ergebnissen entsteht dann ein Monitoring über die Landnutzung und Veränderung.

Dies ist mit der Grundlage von zwei Datensätzen durchzuführen. Erstens mit einer Menge von koordinatenmäßig erfassten Punkten mit Vegetationsbeschreibungen für die Erstellung von Trainingsgebieten. Zweitens mit fernerkundliche Satellitendaten von SPOT-Vegetation, die in Form von NDVI-Zeitreihen 10tages BDC (Bidirectional Reflectance syntheses respectively) Zusammenfassungen, frei übers Internet bezogen werden können. Diese sind aufgrund ihrer angebrachten Korrekturen, z. B. Atmosphärenkorrektur, für die sofortige Weiterverarbeitung einsetzbar.

Als Untersuchungsraum dient Benin in Westafrika (Siehe Kapitel 3 Untersuchungsgebiet Benin Westafrika 19). Eine Region, die einer starken Vegetationsdynamik unterliegt, die auf starke innerjährliche und langzeitliche Klimavariabilität, hohe Niederschlagsvariabilität und anthropogene Eingriffe zurückzuführen sind.

Die in der Voruntersuchung (Siehe Kapitel 4 Voruntersuchung Seite 26) gewonnen Erkenntnisse über die Schwierigkeit differenzierbare Vegetationsklassen in dieser Region festzulegen, wurde anhand der statistischen Auswertung bestätigt. Dies hat weiterhin zur Folge, dass die Punkte und die mit diesen erstellten Trainingsgebieten, im Laufe der Zeit aufgrund der Vegetationsveränderungen nicht mehr verwendet werden können. Deshalb ist dies nur einmal für ein festzulegendes Startjahr durchzuführen. Mit diesen Trainingsgebieten sind dann Vegetationsklassen zu definieren und für eine Klassifizierung mit einem binären Entscheidungsbaum, einmalig phänologische Maße zu erstellen, die für das Ausgangsjahr und alle Folgejahre verwendet werden sollen. Diese phänologi-

schen Maße beschreiben Zeitpunkte im Vegetationszyklus eines Jahres, z. B. Beginn der Vegetation, Ende der Vegetation.

Dies setzt jedoch spezielle Anforderungen an das zu verwendende Auswerteverfahren, um mit Langzeitstudie wiederkehrende Klassifizierungen für die Ermittlung von Vegetationsveränderungen durchführen zu können. Auch in diesem Fall konnte ermittelt werden, dass Verfahren aus dem Bereich Change detection aufgrund ihrer komplexen Anwendung, Interpretierung der Ergebnisse und dem Verlust der Aussagekräftigkeit der Trainingsgebiete nur bedingt einsetzbar sind.

Die Überlegung ein neues Verfahren theoretisch herzuleiten wurde in diese Arbeit verfolgt, da trotz fundierter Literaturrecherche kein Ansatz bzw. schlüsselfertige Lösung gefunden wurde. Bedingt durch die Tatsache dass im jährlichen Zyklus, die sich ableitbaren Kurven der Vegetationsklassen enormen Schwankungen unterliegen, ist eine Klassifizierung über zwei Jahre mit einem enormen Aufwand verbunden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die abgeleiteten phänologischen Maße der Referenzklassen und ihre ermittelten Schwellenbereich, ein x-faches der Standardabweichungen, im Folgejahr nicht mehr greifen und es zu Fehlklassifizierungen kommt, da die Daten für das Untersuchungsjahr nicht mehr im Schwellenbereich des Ausgangsjahres liegen.

Es wurde ein Algorithmus definiert mit dem der Kurvenverlauf der Vegetationsklassen des Untersuchungsjahrs in den Zustand des Ausgangsjahrs transformiert werden. Hierfür ließen sich innere und äußere Faktoren definieren, die mit dem Algorithmus überwunden werden sollen. Innere Faktoren beziehen sich auf die Vegetationszonen, Niederschlagszonen, Bevölkerungsverteilung, -zuwachs und die Landnutzung. Äußere Faktoren beziehen sich auf das Klima, vorwiegend auf den Niederschlag und dessen jährliche Variabilität.

Gegliedert wurde der Algorithmus in verschiedenen Prozessketten, die sich in Vorbereitung, Aufbereitung (Zeitreihenglättung), Erstellung der Trainingsgebiete, Ableitung der phänologischen Maße, der Transformation, der Klassifizierung und Validierung aufteilen.

Die Grundlage des Algorithmus liegt im Ausgleichverfahren bzw. der nichtlinearen Regressionsanalyse. Diese Berechnungsmethoden sind an gewisse Vorgaben gekoppelt die erfüllt sein müssen.

Die grundlegenden Bedingungen an diese Verfahren lassen sie wie folgt definieren:

- 1) Es müssen mehr Beobachtungen wie Unbekannte vorhanden sein.
- 2) Eine nachweisliche Korrelation ist zu berücksichtigen.
- 3) Eine vorhandene Beziehung und oder Gewicht ist zu integrieren.

Das Ergebnis dieser Berechnung sind dann Verbesserungen, die auf das Untersuchungsjahr angebracht werden und folgendes Kriterium erfüllen:

Summe der gewogenen Fehlerquadrate = Minimum

Fehler sind hier die Abweichungen der NDVI-Werte Ausgangsjahr minus ausgeglichenem Untersuchungsjahr.

Ein weiteres Kriterium was von diesem Algorithmus erkannt werden und berücksichtigt werden musste ist, dass eine tatsächliche Landbedeckung nach der Transformation wiedererkennbar ist.

Die erste Bedingung ist erfüllt durch die Anzahl Pixel und der Überlegung für die Beobachtungszeitpunkte der Zeitreihe, je eine Unbekannte festzulegen. In diesem Fall 36. Siehe Kapitel 13.4.4 Ansatz nach dem Verfahren der Ausgleichrechnung Seite 140

Mittels der statistischen Auswertung der Trainingsgebiete wurde eine lineare Korrelation der NDVI-Zeitreihen über zwei Jahre ermittelt und somit ist die 2te Bedingung erfüllt. Siehe Kapitel 12.7 Statistische Analyse der Klasse 106

Für die Bedingungen 2 und 3 wurden verschiedenen Parameter definiert und ermittelt. Hierbei handelt es sich um Faktoren, die in der Ausgleichung zu berücksichtigen sind. Siehe Kapitel

Die Unterschiede in den Kurven sind auf die zu Beginn genannten inneren und äußeren Faktoren zurückzuführen. Um diese Einflussfaktoren zu berücksichtigen, konnte ein etwas abgewandelter Vegetationsindex verwendet werden. Der Vegetation Condition INDEX (VCI) erwies sich als prozentualer Trockenindikator, der angibt wie trocken es zu einem Zeitpunkt bei einem Beobachtungspunkt ist, als Lösung für die Berechnung von Zuschlägen und Abschlägen auf das Untersuchungsjahr, um eine Näherung an den Zustand des Ausgangsjahrs zu erhalten. Bei unterschiedlichen Klassen konnte es sehr gut überzeugen, bei gleichen Klassen in den Untersuchungsjahren zeigten sich hingegen nur geringe Veränderungen. Hierdurch verblieb die Vegetationskurve zu sehr im Zustand des Untersuchungsjahrs. Dieser Faktor wurde Patternfaktor genannt.

Um diesem negativen Einfluss entgegen zuwirken, wurde der Veränderungsfaktor definiert, der in Form eines Gewichtskoeffizienten stärkend und schwächend auf den PFaktor einwirken soll. Dieser konnte jedoch nicht zufriedenstellend ermittelt werden und bedarf einer weiteren Bestimmung.

Zusätzlich wurde noch ein globaler Gewichtungsfaktor (GFaktor) festgelegt, der eventuelle systematische Fehler abfangen soll. Begründet wird dies aufgrund des vermuteten festgestellten Versatzes der NDVI-Werte, der bei den geglätteten Zeitreihen festgestellt wurde. Siehe Kapitel 13 Konzeptionelle Ansätze für den Algorithmus Seite 126

Abschließend kann festgehalten werden, es sind alle notwendigen Voraussetzungen für dieses Verfahren erfüllt und mit den Ergebnissen über die Auswirkungen des Patternfaktors und des Gewichtungsfaktors (Verweise) bekräftigt worden, dass ein mit diesem theoretischen Ansatz ein funktioneller Algorithmus definiert wurde. Weiterhin wurden noch vier Varianten festgelegt, nach welchem Schema die Ausgleichung aufzustellen ist. Hierbei handelt es sich um einen punktuellen, Streifen-, Zeilenweisen oder Blockweisen Ansatz sowie ein homogenisiertes Ausgangsjahr. Siehe Kapitel 13.6 Mögliche Varianten und Auswirkungen der Varianten auf die Genauigkeit 143

In weiteren Forschungsarbeiten gilt es nun die verschiedenen Varianten softwaretechnisch umzusetzen, zu validieren, um eine beste Kombination zu erhalten.

Für das Klassifizierungsverfahren mittels phänologischer Maße, wurden 16 verschiedene Parameter ermittelt. Zusätzlich wurden 5 Ebenen für georeferenzierte Daten wie z. B. Vegetationszonen, Niederschlagszonen zu den Parametern definiert und mit aufgenommen. Dies beruht auf der Feststellung das die sehr großen Schwankungen von Min,Max NDVI und der Standardabweichungen um den NDVI-Mittelwert der Klassen auf eine Niveauverschiebung auf der Süd-Nord-Achse über Benin festgestellt wurde. Daher sollte im Rahmen der Klassifizierung eine Trennung einer Klasse, die über mehrere Vegetationszonen verläuft, durchgeführt und diesen Zonen zugeordnet werden. Aus diesem Grund müssen die Vegetationszonen mit in die Klassifizierung eingebunden werden. Siehe Kapitel 9 Bestimmung der phänologischen Maße Seite 67 und Kapitel 12.7 Statistische Analyse der Klasse Seite 106

Die Grundlage für eine Klassifizierung mit phänologischen Maßen ist die Glättung der NDVI-Zeitreihenrohdaten um Schwankungen in den NDVI-Werten bedingt durch atmosphärische Störungen, variable Lichteinflüsse und die Beobachtungsgeometrie auszugleichen. Weiterhin soll durch diese Glättung, vorhandene Wolken weginterpoliert werden. Diesen Prozessablauf übernimmt nach einer ausgiebigen Analyse HANTS (Harmonic Analysis of NDVI Time-Series). Siehe Kapitel 10 Aufbereitung der NDVI Rohdaten, Glättung der Zeitreihen Seite 78

16 Literaturverzeichnis

Albertz, Jörg (2001): Einführung in die Fernerkundung, 2. überarb. Auflage, Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt

Allard de Witt, Bob Su: DERIVING PHENOLOGICAL INDICATORS FROM SPOT-VGT DATA USING THE HANTS ALGORITHM.

www.vgt.vito.be/vgtapen/pages/fullpapers/Dewit_full.pdf (28.08.2005)

Bethke, M. (1999): Regionalisierung der IGBP Global Landcover Map aus NOAA-NDVI-LAC Daten für das GLOWA Untersuchungsgebiet in Westafrika. Diplomarbeit Universität Bonn.

Bill/Zehner(2001): Lexikon der Geoinformatik, Heidelberg : Wichmann Verlag

CrimeStat: CrimeStat Spatial Statistics Program - Version 3.0 - CrimeStat III is made possible through the combined efforts of the National Institute of Justice (NIJ), Ned Levine & Associates

<http://www.icpsr.umich.edu/CRIMESTAT/>

D.J. Meyer, B.C. Reed, B.K. Wylie, T.R. Loveland and J.C. Eidenshink, EROS Data Center L.L.Tieszen, D.D. DeJong, M. Chapman, J. VanderKoi and C.Skaar, Augustana College, J.E. Lewis, McGill University, S. Schiller, B. Yu, South Dakota State University, J.W. Merchant, L. Yang, W. Yang, University of Nebraska-Lincoln. (1996): Monitoring Seasonal Dynamics of North American Grasslands using VEGETATION Interim Report, September 30, 1996

<http://vegetation.cnes.fr/vgtprep/meyer/meyervgt.pdf> (26.09.2005)

Duchemin, B., Maisongrande, P., Dedieu, G., Leroy, M., Roujean, J.L., Bicheron, P., Hautecoeur, O., Lacaze, R. (2000): A 10-DAYS COMPOSITING

METHOD ACCOUNTING FOR BIDIRECTIONAL EFFECTS. Proceedings of the VEGETATION 2000 , Belgirate Italy (3 - 6 April 2000), p. 313 - 318.

<http://vegetation.cnes.fr/vgtprep/vgt2000/duchemin.pdf> (19.02.2005)

Duden - Das Fremdwörterbuch, 8. Aufl. Mannheim 2005 [CD-ROM], Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim 2006.

<http://www.duden.de/produkte/elektronisch/korrektor/registrierung.php>

Ehrlich, D., E.F. Lambin (1996): Broad Scale Land-Cover Classification and Interannual Climatic Variability. Int J. Remote Sensing 1996, Nr. 5, S. 845-862

Eklundh, L. (1998): Estimating Relations Between AVHRR NDVI and Rainfall in East Africa at 10-Day and Monthly Time Scales. Int J. Remote Sensing 1998, Nr. 3, S. 563-568

Estes, J., et al. (1999): The Way Forward. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 1999, Nr. 9, S. 1089-1093.

Franke, J. (2003): Analyse der Aussagefähigkeit verschiedener satellitengestützter Vegetationsindizes bezüglich der räumlichen Vegetationsverteilung. Diplomarbeit Universität Bonn.

Hildebrandt, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung. Für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Wichmann Verlag, Heidelberg, 676 S.

HUETE, A.R., JUSTICE, C., VAN LEEUWEN, W. (1999): Modis Vegetation Index (MOD 13). Algorithm Theoretical Basis Document. Abrufbar unter:

http://eosps0.gsfc.nasa.gov/ftp_ATBD/REVIEW/MODIS/ATBD-MOD-13/atbdmod-13.pdf

(nicht mehr verfügbar)

Jäger/Müller/Saler/Schwäble (2005): Klassische und robuste Ausgleichsverfahren. Ein Leitfaden für Ausbildung und Praxis von Geodäten und Geoinformatikern. 2005 Herbert Wichmann Verlag, Hürthig GmbH & Co. KG, Heidelberg

Jesslyn F. Brown, Bradley C. Reed, Michael J. Hayes, Donald A. Wilhite, Kenneth Hubbard (2002): A PROTOTYPE DROUGHT MONITORING SYSTEM INTEGRATING CLIMATE AND SATELLITE DATA Pecora 15/Land Satellite Information IV/ISPRS Commission I/FIEOS 2002 Conference Proceedings www.isprs.org/commission1/proceedings/paper/00074.pdf (26.09.2005)

Judex, M. (2003): Analyse und Erklärung der Landbedeckungs- und Landnutzungsänderungen im Upper Oueme Catchment (Benin, Westafrika) durch die Verknüpfung von LANDSAT-Daten mit sozioökonomischen Daten. Geographisches Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Diplomarbeit
(19.01.2005)
<http://www.rsg.uni-onn.de/RSRGwww/Deutsch/Diplomarbeiten/Diplomarbeiten.html>

Franke, J. (2003): Analyse der Aussagefähigkeit verschiedener satellitengestützter Vegetationsindizes bezüglich der räumlichen Vegetationsverteilung. Geographisches Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Diplomarbeit
(19.01.2005)
<http://www.rsg.uni-bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Diplomarbeiten/Diplomarbeiten.html>

Kensuke Kawamura, Tsuyoshi Akiyama, Hiro-omi Yokota, Michio Tsutsumi, Taisuke Yasuda, Osamu Watanabe⁵ and Shiping Wang (2005): Comparing MODIS vegetation indices with AVHRR NDVI for monitoring the forage quantity and quality in Inner Mongolia grassland, China
Grassland Science Volume 51 Page 33 - March 2005 doi:10.1111/j.1744-697X.2005.00006.x Volume 51 Issue 1

<http://www.blackwell-synergy.com/doi/abs/10.1111/j.1744-697X.2005.00006.x?cookieSet=1&journalCode=grs> (09.04.2006)

Klein, D. (2001): Vergleich von Change-Detection-Methoden im Mount Kenya-Gebiet, Geographisches Institut der Rheinischen Friedrich - Wilhelms – Universität Bonn. Diplomarbeit

(19.02.2006)

<http://www.rsr.uni-bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Diplomarbeiten/Diplomarbeiten.html>

LILLESAND, T. M. & R. W. KIEFER (2000): Remote Sensing and Image Interpretation. New York, Chichester, Brisbane.

Lillesand, T. M, Kiefer, R. W., Chipman, J. (2004): Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, New York, 763 S.

Lissens G., Kempeneers P., and Fierens F. 2001: Development of a cloud, snow and cloud shadow mask for VEGETATION imagery. Proceedings of the VEGETATION 2000 conference, Belgirate-Italy, 3-6 April 2000 , Saint G. Ed, CNES - Toulouse & JRC - Ispra, pp 303 – 306

LIU, W.T. & F.N. KOGAN (1996): Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. In: International Journal of Remote Sensing, Vol.17. Number 14, pp. 2761- 2782.

LOVELAND, T.R. et al. (1999): An Analysis of the IGBP Global Land-Cover Characterization Process. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 1999, Nr. 9, S. 1021-1032

Maisongrande Ph, Duchemin, B., Berthelot, B., Dubegny C., Dedieu G. Leroy M. 2001: a new algorithm concept for atmospheric correction of surface reflectances delivered by the VEGETATION system. Proceedings of the VEGETATION 2000 conference, Belgirate

<http://vegetation.cnes.fr/vgtprep/vgt2000/maisongrande.pdf> (19.02.2005)

- Nicholson, S.E. et al. (1998): Desertification, Drought and Surface Vegetation: An Example from West Africa Sahel. Bulletin of the American Meteorological Society 1998, Nr. 5, 815-829
- Rahman H., Dedieu G. 1994: SMAC : a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum Int. J. Remote Sensing, vol.15, no.1, 123-143.
- Reed, B.C., J.F. Brown, D. VanderZee, T.R. Loveland, J.W. Merchant, and D.O. Ohlen, 1994. Measuring phenological variability from satellite imagery. Journal of Vegetation Science. Vol. 5: 703-714.
- Reed, B.C. and K. Saylor, (1997): A method for deriving phenological metrics from satellite data, Colorado 1991-1995. Impact of Climate Change and Land Use in the Southwestern United States, an electronic workshop.
<http://geochange.er.usgs.gov/sw/impacts/biology/Phenological-CO/> (27.08.2005)
- Reenberg, A., K. Rasmussen (1990): Remote Sensing of Agricultural Production and Land Use in Northern Burkina Faso. Report to DANIDA Copenhagen.
- Reissmann (1980): Die Ausgleichsrechnung, 1976 VEB Verlag für Bauwesen, Berlin, 5. Auflage 1980 VLN 152 Dg.-Nr. 905/54/80 Deutsche Demokratische Republik. Satz und Druck: VEB Fachbuchdruck Naumberg (Saale)
- Richters, J. (2004): Automated yearly land cover discrimination using a tree classifier and phenologic metrics approach. IN Remote Sensing in Transition, Goossens(ed.) (c) 2004 Millpress, Rotterdam ISBN 90 5966 007 2.
http://www.rsr.uni-Bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Publikationen/Press_remotesensingintransition_3.pdf (20.02.2005)

- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. (1974): Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Freden, D. C., Marcanti, E. P., Becker, M. A. (Eds.): Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume 1. WashingtonDC, 309-317.
- Röhrig, J., Thamm, H.P., Menz, G., Porembski, S., Orthmann, B. (2004): A Phenological Classification approach for the upper Quémé in Benin West Africa Using Spot Vegetation . In: Proceedings of the Second International SPOT VEGETATION Users Conferenz March 24th – 26th, 2004 Antwerp, Belgium. In Press.
- Scepan, J. (1999): Thematic Validation of High-Resoluten Global Land Cover Data Sets. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 1999, Nr. 9, S. 1051-1060
- Schöttker, B. (2002): Erfassung der Landbedeckung und Ableitung von Vegetationsveränderungen anhand multitemporaler LANDSAT-Daten in Westafrika (Benin). Diplomarbeit Universität Bonn.
- Schwartz, M., Zimmermann, N. E. (2005): A new GLM-based methode for mapping tree cover continuous fields unsing regional MODIS reflectance date. Remote Sensing of Environment 95 (2005) 428–443
www.wsl.ch/staff/niklaus.zimmermann/papers/RSE_095_0428.pdf (26.09.2005)
- SINGH, A. (1989): Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data. International Journal of Remote Sensing 10 (6): 989-1003.
- Steininger, M.K. (1996): Tropical Secondary Forest Regrowth in Arizona: Age, Area and Change Estimation with Thematic Mapper Data. Int. J. Remote Sensing 1996, Nr. 1, S. 9-27

STURM, H.-J. (1993): Produktions- und weideökologische Untersuchungen in der subhumiden Savannenzzone Nordbenins - ein Beitrag zur Konzeption ökologisch nachhaltiger Nutzungssysteme. Meurer, M. Wirthmann A. (Hrsg.), Institut für Geographie und Geoökologie der Universität (TH) Karlsruhe: Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie, Band. Karlsruhe.

Swets, D.L., B.C. Reed, J.R. Rowland, S.E. Marko, (1999). A weighted least-squares approach to temporal smoothing of NDVI. In 1999 ASPRS Annual Conference, From Image to Information, Portland, Oregon, May 17-21, 1999, Proceedings: Bethesda, Maryland, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, CD-ROM, 1 disc.

Tateishi, R., Ebata, M. (2004): Analysis of phenological change patterns using 1982-2000 Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) data. Int. J. Remote Sensing , 2004, Vol. 25, No. 12, 2287-2300.

Thamm, H.-P., Drey, T. & Menz, G. (2004): Evaluation of different change detection methods in the semi humid tropics, possibilities and limitations. Remote Sensing Research Group, Institute for Geography, University of Bonn, Germany. IN Remote Sensing in Transition, Goossens(ed.) (c) 2004 Millpress, Rotterdam ISBN 90 5966 007 2.

[http://www.rsrsg.uni-](http://www.rsrsg.uni-bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Publikationen/Press_remotesensingintransition2004.pdf)

[bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Publikationen/Press_remotesensingintransition2004.pdf](http://www.rsrsg.uni-bonn.de/RSRGwww/Deutsch/Publikationen/Press_remotesensingintransition2004.pdf)

(20.02.2005)

Wilhelm Benning (2002): Statistik in Geodäsie, Geoinformatik und Bauwesen. 2002 Herbert Wichmann Verlag, Hürthig GmbH & Co. KG, Heidelberg

Wolfgang Liebig/Rolf-Dieter Mumentey (2002): ArcGis – ArcView 8 : Das Buch für den Anwender, 1. Auflage – Norden ; Halmstad ; Points-Verlag, 2002

<http://de.wikipedia.org/wiki/Ausgleichsrechnung>

WIKIPEDIA_02 Methode der kleinsten Quadrate

http://de.wikipedia.org/wiki/Methode_der_kleinsten_Quadrate

WIKIPEDIA_03 Gauß-Newton-Verfahren

<http://de.wikipedia.org/wiki/Gau%C3%9F-Newton-Verfahren>

WIKIPEDIA_04 Carl Friedrich Gauß

http://de.wikipedia.org/wiki/Carl_Friedrich_Gau%C3%9F

WIKIPEDIA_05 Korrelation

<http://de.wikipedia.org/wiki/Korrelation>

WIKIPEDIA_06 Korrelationskoeffizient

<http://de.wikipedia.org/wiki/Korrelationskoeffizient>

WIKIPEDIA_07 Regressionsanalyse

<http://de.wikipedia.org/wiki/Regressionsanalyse>

WIKIPEDIA_08 Phänologie

<http://de.wikipedia.org/wiki/Ph%C3%A4nologie>

WWW_01: Spot Free Vegetation Products <http://free.vgt.vito.be/>

WWW_02: Atlas of natural and argonomic resouces of Niger and Benin

http://www.uni-hohenheim.de/~atlas308/startpages/page2/english/content/conframe_en.htm

WWW_03: IGBP International Geosphere-Biosphere Programm

<http://www.igbp.kva.se/cgi-bin/php/frameset.php>

- WWW_04: GVM Global 2000 Landcover
<http://www-gvm.jrc.it/glc2000/ProductGLC2000.htm>
- WWW_05: USGS: Science for a changing World. National Center for Earth Resources Observation & Science
<http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/>
- WWW_06: CROP_VGT, Extracts a user-defined region from a set of VEGETATION files in their distribution form (HDF format, zipped)
http://cidoc.iuav.it/%7Esilvio/crop_vgt.html
- WWW_07: IMPETUS Integratives Management-Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika
<http://www.impetus.uni-koeln.de/impetus.php>
- WWW_08: Sheng, Yongwei (1998): Vegetation Monitoring by NOAA/AVHRR Data PowerPoint Presentation phänologische Maße
<http://www.cnr.berkeley.edu/~sywsheng/veg/ppframe.htm>
Homepage:
<http://www.cnr.berkeley.edu/~sywsheng/index.html>
- WWW_09: Reed, Bradley: Phenological Characterization
<http://edc2.usgs.gov/phenological/index.html>
- WWW_10: OGC: The Open Geospatial Consortium, Inc. (OGC)
<http://www.opengeospatial.org/>
- WWW_11: HDF: The NCSA HDF Home Page Information, Support, and Software from the Hierarchical Data Format (HDF) Group of NCSA
<http://hdf.ncsa.uiuc.edu/>
- WWW_12: Spot FAQ, Forum, Katalog: <http://www.vgt.vito.be/>

- WWW_13: Spot Infos:
<http://www.spot-vegetation.com/>
- WWW_14: Universität Salzburg Tutorial Fernerkundung
<http://www.sbg.ac.at/geo/student/fernerkundung/> (20.05.2005)
- WWW_15 rsrq.uni-bonn: Arbeitsgruppe Fernerkundung (RSRG) des Geographischen Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn der Universität Bonn. Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn, Postfach 11 47, 53001 Bonn
http://www.rsrq.uni-bonn.de/RSRGwww/Deutsch/dindex_flash.html
- WWW_16 IGN: INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL
http://www.ign.fr/rubrique.asp?lng_id=DE&rbr_id=1464
- WWW_17 RSI: Solutions for Data Visualization and Image Analysis
<http://www.rsinc.com/>
- WWW_18 ESRI:
<http://www.esri.com/>
- WWW_19 NOAA: National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)
<http://www.noaa.gov/index.html>
- YANG, X. & C. P. LO (2000): Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 66: 967-980.

17 Anhang A Analyse der Ergebnisse der Zeitreihenglättung und Wolkeninterpolation mit HANTS

Im Folgenden wird die Analyse der Ergebnisse der Berechnungen diskutiert. Ziel ist es, zu ermitteln bei welcher Kombination der Parameter die übrig gebliebenen Wolken, die HANTS nicht eliminieren konnte, am geringsten sind und die Glättung der Rohdaten nicht zu sehr beeinflusst wird. Um diese Restwolken zu ermitteln, wurde eine kleine IDL Routine erstellt, die ein Bild zurück gibt, welches für weitere Schritte als Maske verwendet werden kann. (Wert 0 = Wolke oder 1 = keine Wolke). Die Kombinationen mit $iMax = 10-20$, $TAT=4-6-8$ und $FET=20$ sind hier nicht aufgeführt, da die Ergebnisse noch schlechtere Werte in den Spalte No.of pixel iterat.2.loop = $iMax$ und CloudMask enthielten. Anhand dieser Versuche wurde Rücksprache mit Herrn de Witt gehalten, der sich dann auch bereit erklärte sich die Probleme anzusehen. Das Ergebnis war ein zusätzlich entwickelter Preprozessor der die Pixelwerte = 255 für Wolken in alternierende hohe Frequenzwerte ändert. Siehe Kapitel 17.2 Antwort von de Witt 30.08.2005 per mail Seite 173. Mit diesem Preprozessor wurden die Versuche deutlich verbessert.

Die Ergebnisse der Untersuchung beziehen sich auf den gesamten Bildausschnitt. In den anfänglichen Versuchsreihen wurde für Ozean und Binnengewässer $NDVI = 0$ keine Maske verwendet. In Anlehnung an Herrn de Witt wurde dies dann in späteren Versuchsreihen durchgeführt. Es hatte zwar keine Auswirkung auf die Ergebnisse, jedoch konnte hierdurch die Laufzeit deutlich verbessert werden. In der folgenden Tabelle sind die Versuchsreihen mit HANTS mit und ohne Preprozessor dokumentiert und kommentiert. Darüber hinaus wurden zum besseren Verständnis der Parameter Abbildungen hinzugefügt und erläutert. Siehe Kapitel 17.1 Erläuterungen zu den Abbildungen Seite 173

Kapitel 17.3 auf Seite 184 enthält die Dokumentation und Anleitung für HANTS und dem Preprozessor entnommen der Originaldokumentationen. Für weitere Informationen über den Einsatz von HANTS siehe (Allard de Witt, Bob Su).

Tabelle 17 Auswertung der HANTS - Anwendungen mit / ohne Preprozessor

FET	TAT	iMAX	No.of pixel iterat.2.loop = iMax	Cloud Mask	Bemerkung / Abbildung
I Versuche mit unterschiedlichen Parameterkombinationen und FREQS=[0,1,2,3] ohne Preprozessor.					
25	6	40	67.096	14.673	Bei dieser Versuchsreihe wurde FET konstant gehalten und nur wechselseitig TAT und iMAX etwas erhöht. Der Wert für TAT wurde nach den ersten Vorgaben von de Witt gesetzt. Bei 36 Bändern sollte TAT nicht höher wie 8 sein, da sonst zu starke Schwingungen entstehen. De Witt: If you have 36 decades, about 8 should be the maximum. Otherwise the algorithm is "making up" data.
25	8	40	67.131	14.705	
25	6	60	48.214	14.777	
25	8	60	48.212	14.803	
50	6	40	39.779	7.149	Durch Veränderung des Parameters FET auf 50 ergaben sich deutlich bessere Werte. Diese Versuchsreihe war ohne Preprozessor die am überzeugendste. Die Auswirkung von FET ist in Abbildung 76 HANTS: Gegenüberstellung der Ergebnisse Interpolation von 25-6-40 und 50-6-40 S. 179 gegenübergestellt.
II In Anlehnung an de Witt (siehe Antwort vom 30.08.2005 per mail Kapitel 17.2 Seite 182) FREQS=[0,1,2,3] ohne Preprozessor. Insbesondere TAT hoch anzusetzen.					
25	15	30	81.222	15.012	Hier war dann auch wieder zu erkennen, dass der Parameter FET zu einer höheren Anzahl von übrig gebliebenen Wolken führte. Die Auswirkungen von TAT und iMAX waren nur geringfügig, was man bei den Versuchen unter III erkennt.
25	15	50	56.100	15.073	
25	20	30	80.817	15.158	
25	20	50	55.775	15.259	
III Eigene weitere Versuche mit dem Hinweis von de Witt TAT hoch anzusetzen. Es sollte untersucht					

FET	TAT	iMAX	No.of pixel iterat.2.loop = iMax	Cloud Mask	Bemerkung / Abbildung
werden, ob eine Verbesserung der Kombination FET= 50, TAT = 9,15,25, iMax = 40 FREQS=[0,1,2,3] entsteht. FET wurde hier aber gegenüber II auf 50 gesetzt. TAT wurde schrittweise hochgesetzt.					
50	9	40	39.322	7.154	Diese Reihe zeigt ähnliche Ergebnisse wie grün unterlegte Versuchsreihe unter I. TAT und iMAX haben nur geringen Einfluss.
50	15	40	38.825	7.174	
50	25	40	38.783	7.182	
IV Eigene Versuche in Anlehnung an die Kombination von de Witt jedoch mit folgenden Parametern FET= 50, TAT = 6, iMax = 40 FREQS=[0,1,2] ohne Preprozessor. Hierbei sollten die Auswirkungen des Parameters FREQS untersucht werden.					
50	6	40	19.698	696	Hier täuscht der erste Eindruck durch die geringe Anzahl von Pixel ≥ 255 . Siehe Abbildung 74 HANTS: Gegenüberstellung für FET=50 - TAT=6 - iMAX=40 - links FREQS 0,1,2 - rechts FREQS 0,1,2,3 S. 177 und Abbildung 75 HANTS: Wie Abbildung zuvor, jedoch mit raw data an einer anderen Position S. 178.
25	9	40	40.823	2.461	Eine Verringerung von FET zeigt bei diesen beiden Testreihen wieder eine deutliche Verschlechterung und ebenfalls eine zu starke Glättung.
25	15	40	40.240	2.764	
V Die folgenden Testreihen wurden mit dem vorgeschalteten Preprozessor durchgeführt. Siehe hinweise Antwort von de Witt. Range wurde auf folgende Werte gesetzt [1,254]. Weiterhin wurde eine Maske erstellt die alle Pixel mit NDVI=0 enthält verwendet. (Ozean und Binnengewässer). Hierdurch lassen sich die Fehler die bei den Pixeln mit NDVI-Werten = 0 auftreten vermeiden. Ersichtlich in der von HANTS erzeugten Logdatei.					
20	15	30	19.070	951	Dieses Ergebnis war aus allen Versuchen das Beste. Es ergab sich ein Minimum an Wolkenartefakten und eine sehr gute Glättung der Rohdaten, sodass der phänologi-

FET	TAT	iMAX	No.of pixel iterat.2.loop = iMax	Cloud Mask	Bemerkung / Abbildung
					sche Verlauf gut hervorgehoben wurde. Diese Parameterkombination wurde für alle weiteren Auswertungen verwendet.
20	20	50	9.988	1471	Eine Veränderung von TAT und iMax ergeben hier deutlich schlechtere Ergebnisse.
20	15	50	10.254	1426	
20	8	50	10.385	1337	

17.1 Erläuterungen zu den Abbildungen

Abbildung 73 HANTS: Gegenüberstellung Ausgabe von HANTS_OF oben FREQS=0,1,2,3 unten FREQS= 0,1,2 Seite 176 Zeigt die Gegenüberstellung der einzelnen Ebenen die über den Parameter HANTS_OF von HANTS gespeichert werden. Über diese Ergebnisse ist zu entscheiden, ob für den Parameter FREQSS=[f1,f2,f3,..] die Werte [0,1,2,3] oder [0,1,2] verwendet werden sollen. Kriterium hierfür wird laut de Witt wie folgt definiert „- *FREQSS=[0,1,2] seems to be OK, you can try FREQSS=[0,1,2,3] and have a look at the image of the FREQS uency components. If it still shows any spatial structure then you need the fourth component, if not then use FREQSS=[0,1,2].*“ Siehe 17.2 Antwort von de Witt 30.08.2005 per mail Seite 182. Da keine Vergleichsbilder, die eine bzw. keine räumliche Struktur darstellen, zur Verfügung stehen und wie sich diese unterscheiden, wurde für eine Parameterkombination ein Durchlauf mit beiden FREQS Enzeinstellungen durchgeführt. Die Auswirkungen wurden dann anhand einiger Pixel näher untersucht. Vorwiegend solche bei denen das Wolkenaufkommen im Jahresverlauf sehr hoch ist.

Die Abbildung 74 HANTS: Gegenüberstellung für FET=50 - TAT=6 - iMAX=40 - links FREQS 0,1,2 - rechts FREQS 0,1,2,3 Seite 177 und Abbildung 75 HANTS: Wie Abbildung zuvor, jedoch mit raw data an einer anderen Sei-

te 178 zeigen deutlich die weitaus stärkere Glättung bei der Verwendung von $FREQS = [0,1,2]$ gegenüber $FREQSS = [0,1,2,3]$. Daher wurde für weiteren Untersuchungen die Einstellung $FREQSS = [0,1,2,3]$ verwendet, da der phänologische Verlauf nicht zu stark verändert bzw. generalisiert wird.

Abbildung 76 HANTS: Gegenüberstellung der Ergebnisse Interpolation von 25-6-40 und 50-6-40 Seite 179 zeigt das Verhalten des Parameters FET. Zur besseren Darstellung wurden die interpolierten Ergebnisse (INTERP_OF) verwendet. Bei diesen handelt es sich um eine Ausgabe, in der Kombination der Bereiche die von FET abhängig geglättet wurden und den Rohdaten in den restlichen Bereichen. Bei einem hohen FET Wert ist die maximale erträgliche abwärts Abweichung zwischen Fourier und NDVI-Datenwerten deutlich zu erkennen, da hier die Glättung viel ausgeglichener ist.

Abbildung 77 HANTS: Gegenüberstellung Rohdaten (links), Ergebnis Preprozessor (Mitte links), HANTS ohne Preprozessor (Mitte rechts), HANTS mit Preprozessor (rechts) Seite 180. Hier wird verdeutlicht wie der Preprozessor die Rohdaten für die die Werte die die Wolken beschreiben ($NDVI=255$) überarbeitet und an deren Stellen alternierende hohe Frequenzwerte einträgt (Mitte links). In der Abbildung Mitte rechts ohne Preprozessor und rechts mit Preprozessor sind die Ergebnisse von HANTS am Beispiel des Kurvenverlaufs eines Pixels abgebildet. Deutlich zu erkennen das mit Verwendung des Preprozessors der phänologische Verlauf gegenüber den Rohdaten besser zu Geltung kommt. Verwendet wurden jeweils die Parameter der besten Resultate für Durchläufe mit und ohne Preprozessor. Siehe

Kapitel 17.3 auf Seite 184 enthält die Dokumentation und Anleitung für HANTS und dem Preprozessor entnommen der Originaldokumentationen. Für weitere Informationen über den Einsatz von HANTS siehe (Allard de Witt, Bob Su).

Tabelle 17 Auswertung der HANTS - Anwendungen mit / ohne Preprozessor Seite 170 grün unterlegt.

Abbildung 78 Band 21 FET = 25 – TAT = 6 – iMAX = 60 Range[1,254] Seite 181
Ist ein Beispiel dafür dass auch HANT an manchen Gebieten mit extremer Wolkenbedeckung an seine Grenzen stößt. Dies führt zu dem negativen Effekt von Werten über 255. Diese Pixel wurden mittels einer IDL Routine als Wolkenmaske (CloudMask) ermittelt.

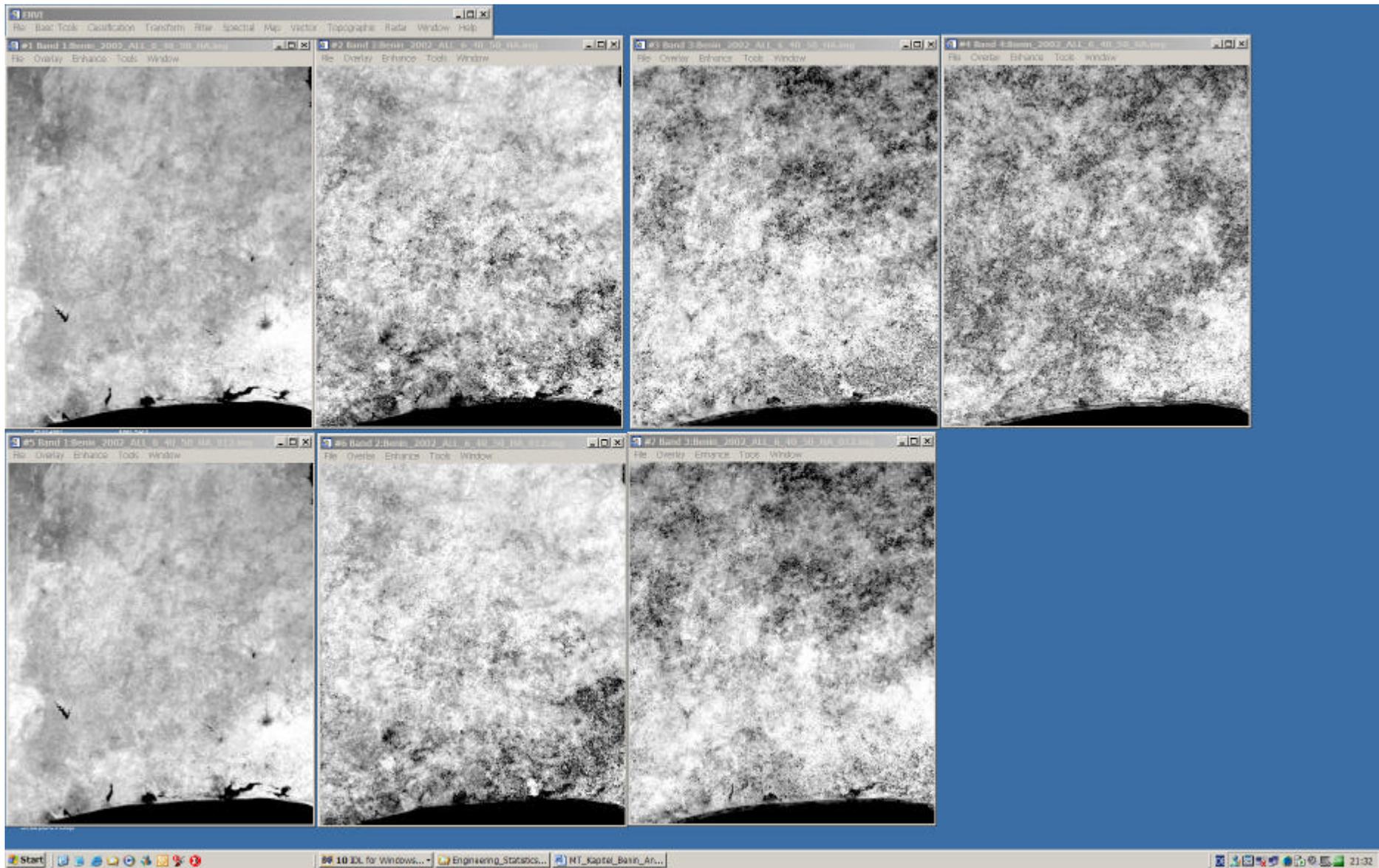


Abbildung 73 HANTS: Gegenüberstellung Ausgabe von HANTS_OF oben FREQS=0,1,2,3 unten FREQS= 0,1,2

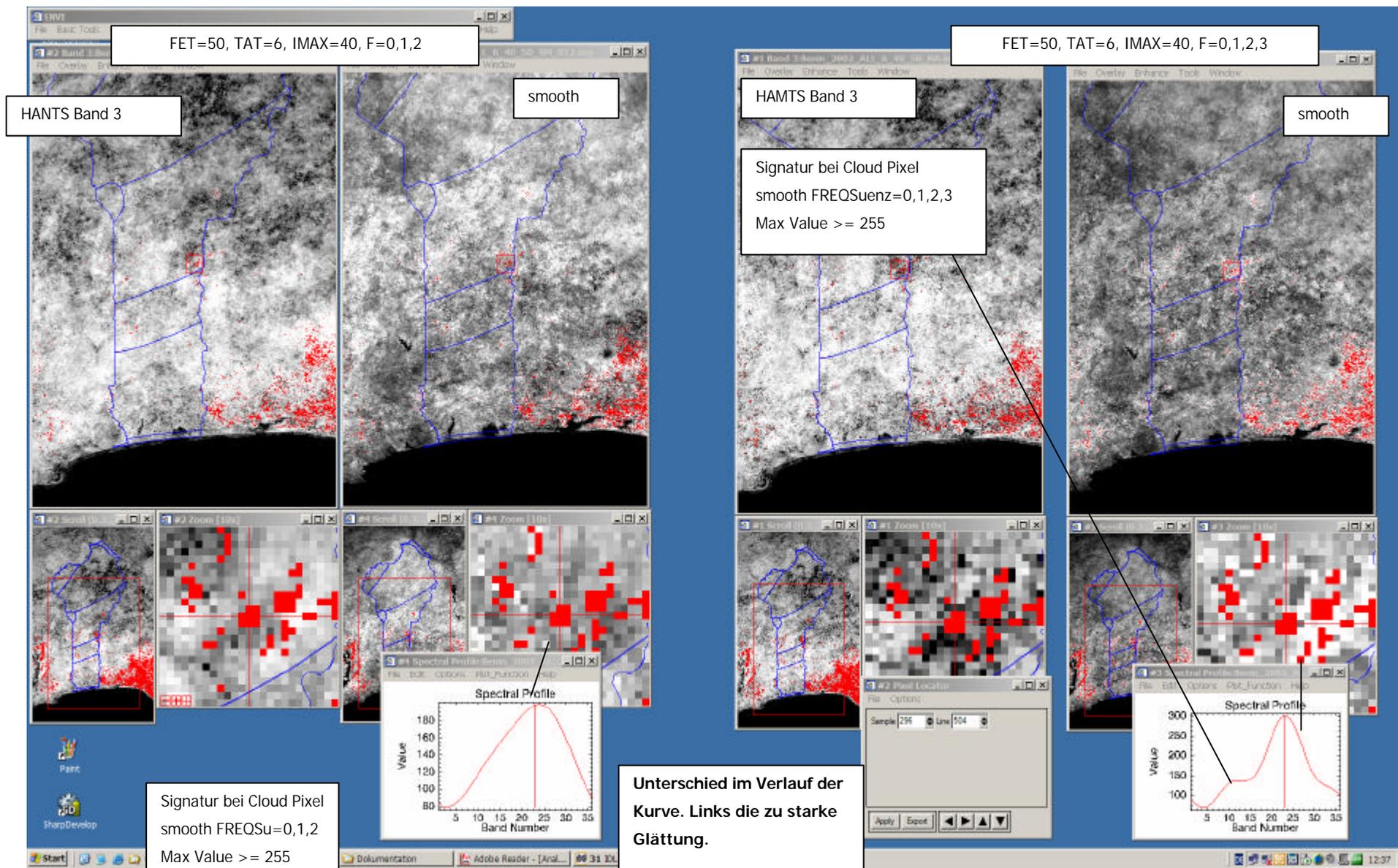


Abbildung 74 HANTS: Gegenüberstellung für FET=50 - TAT=6 - IMAX=40 - links FREQS 0,1,2 - rechts FREQS 0,1,2,3

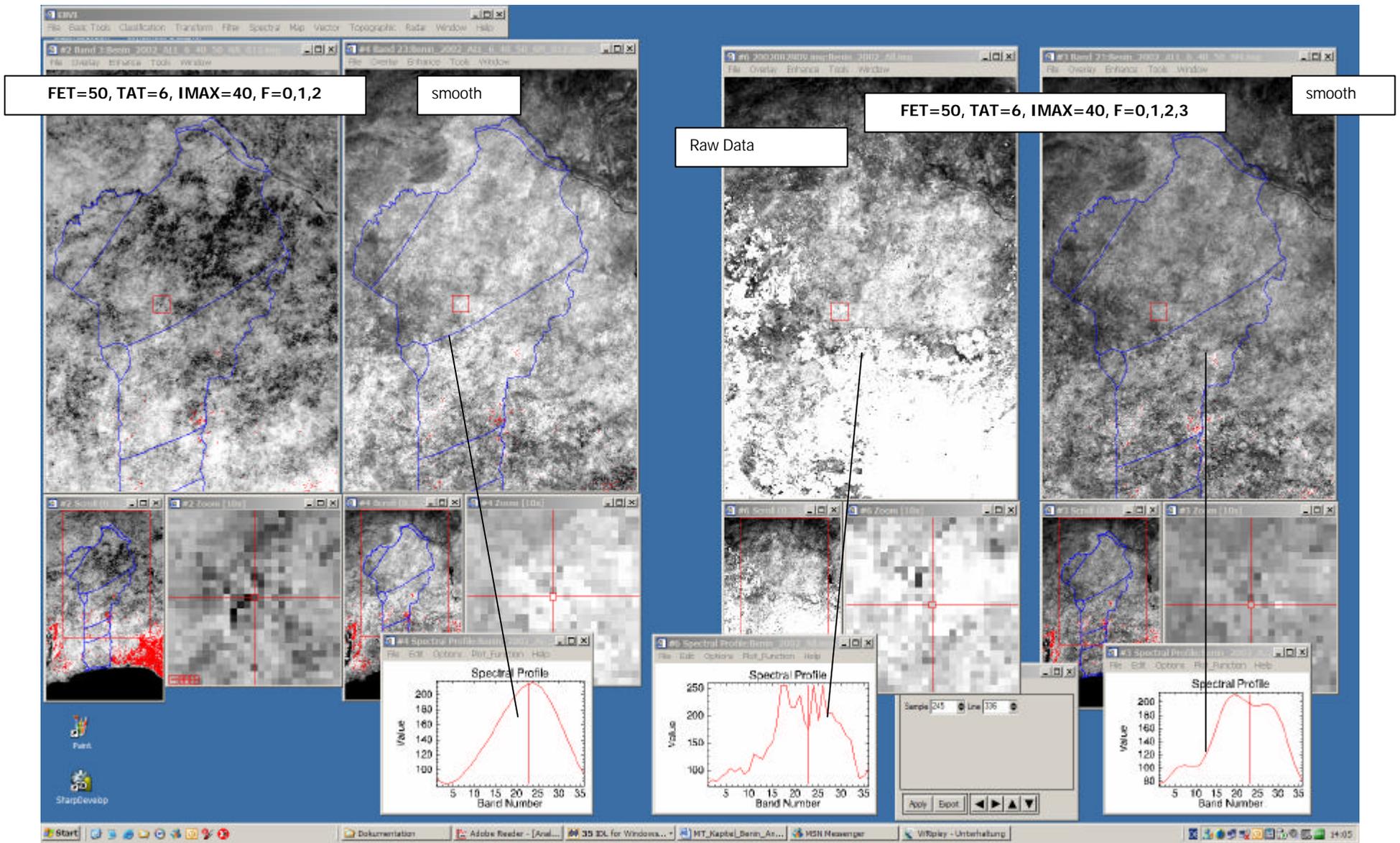


Abbildung 75 HANTS: Wie Abbildung zuvor, jedoch mit raw data an einer anderen Position

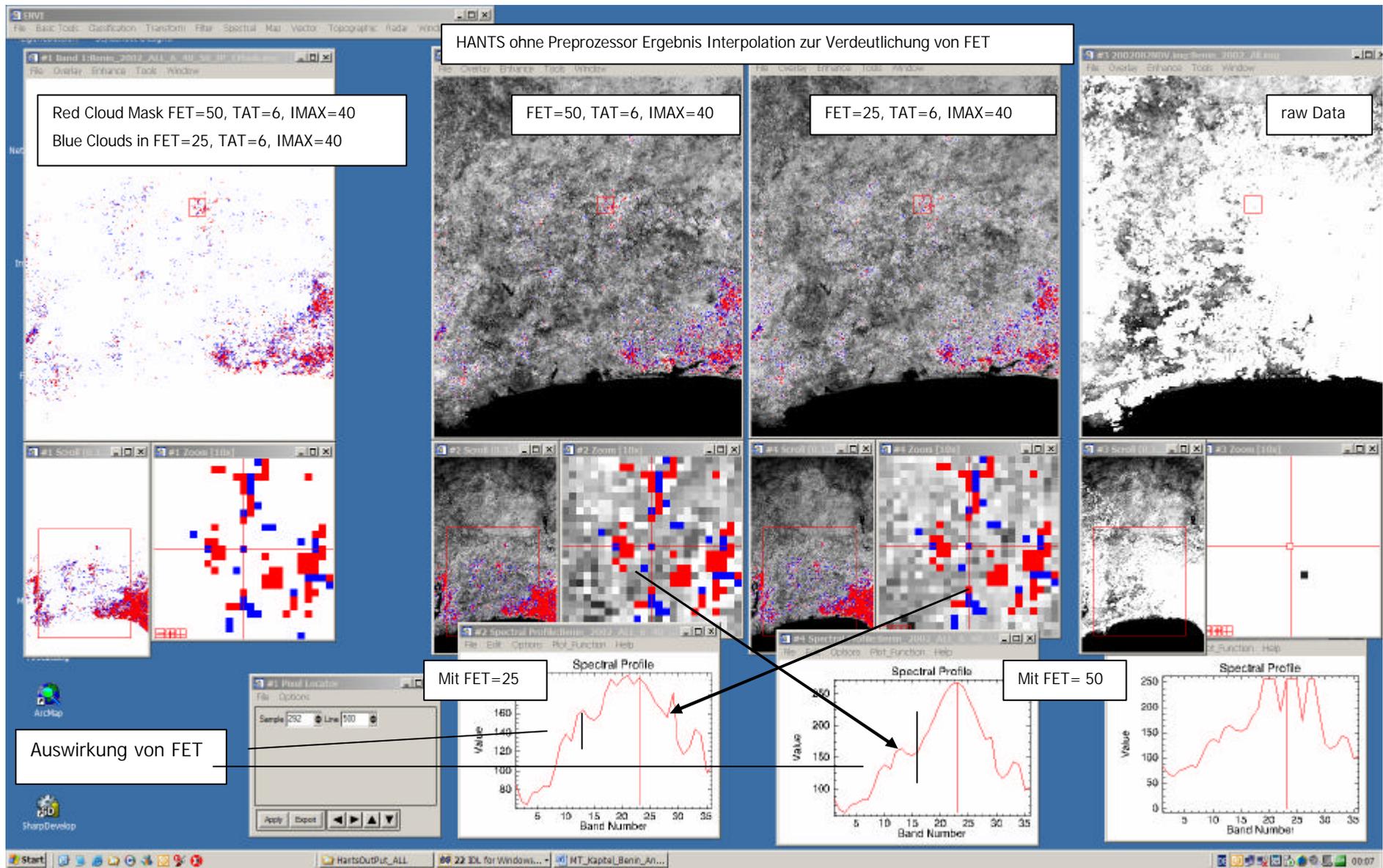


Abbildung 76 HANTS: Gegenüberstellung der Ergebnisse Interpolation von 25-6-40 und 50-6-40

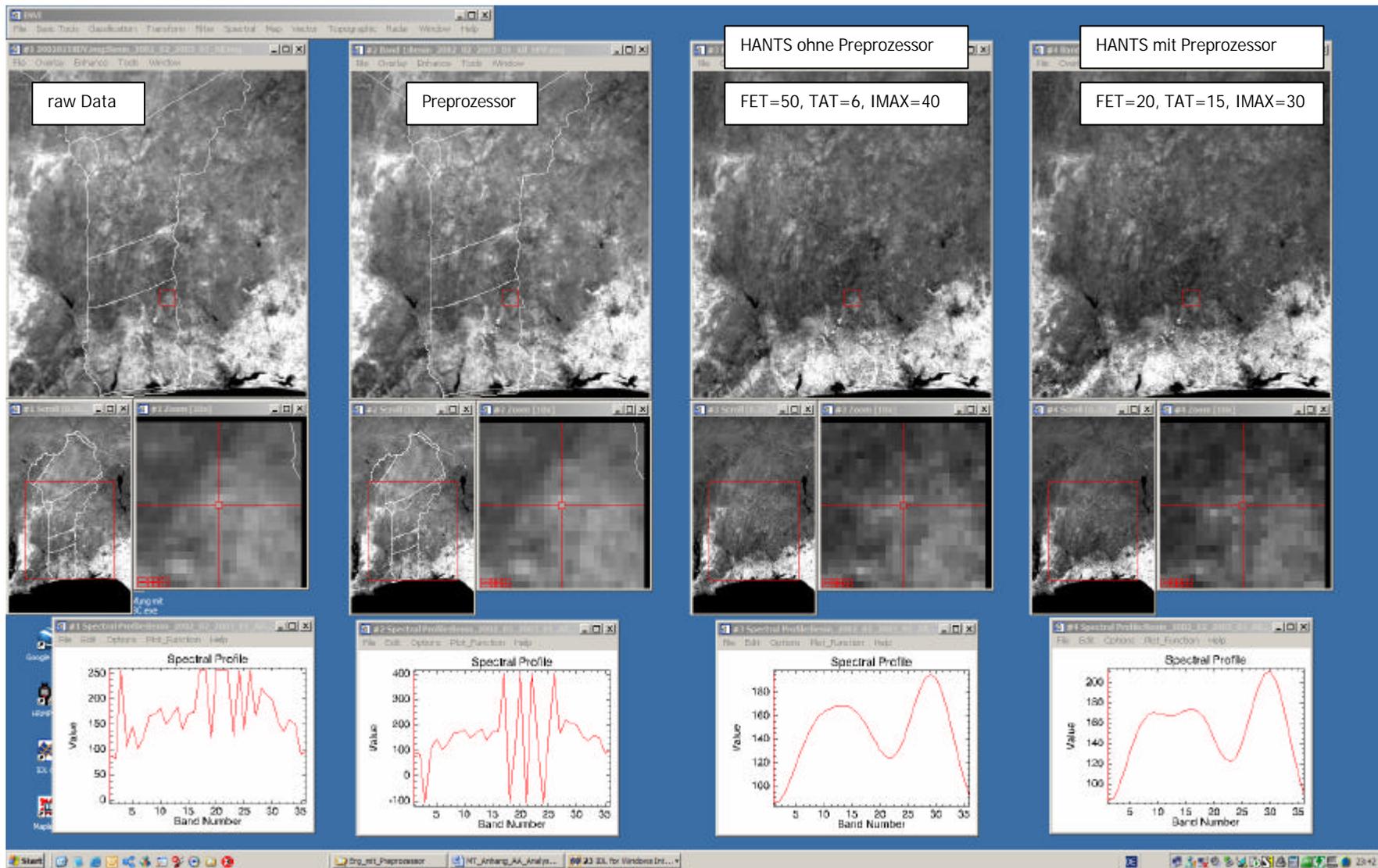


Abbildung 77 HANTS: Gegenüberstellung Rohdaten (links), Ergebnis Preprozessor(Mitte links), HANTS ohne Preprozessor(Mitte rechts), HANTS mit Preprozessor(rechts)

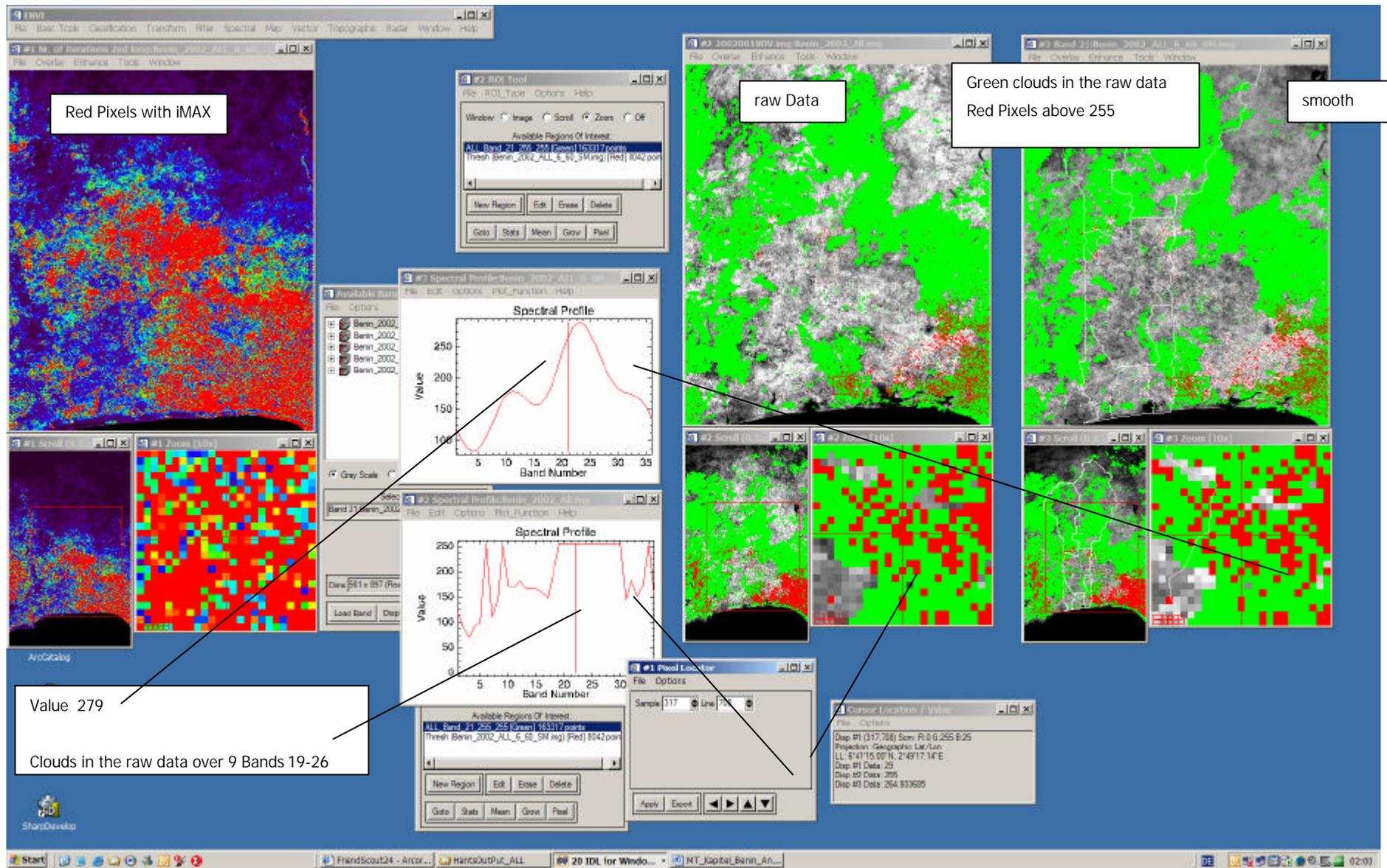


Abbildung 78 Band 21 FET = 25 – TAT = 6 – iMAX = 60 Range[1,254]

17.2 Antwort von de Witt 30.08.2005 per mail

Dear Patrick

I have quickly analysed your dataset and the problem you have is a result of the fact that you have so much no-data values in the image due to cloud cover. In the VGT processing chain no-data occurrences are assigned the value '255'. Now, because there are so many HANTS gets confused by what is actually data and what is not. Although you specify this with the RANGE keyword HANTS cannot really ignore no-data occurrences. It just processes them and "hopes for the best", this problem is directly related to the fact that the IDL FFT routines have no way of 'ignoring' data. Usually this is not a problem if the number of no-data values is small.

An additional problem is that because those '255' values strongly increase the average of the NDVI time-series HANTS needs a huge amount of iterations in order to stabilise the fit. You can see this in the status map: in layer 3 the maximum amount of iterations (iMAX) is often reached in the southern part of the study area where the cloud cover is worst.

Now, what can be done about it. Although IDL has no way of 'ignoring' no-data occurrences, we can identify them and therefore we can replace them with something else that does not influence the FFT so much: in fact the best we can do here is replace these no-data occurrences with high-FREQUENCY noise with an average which is equal to the assumed valid points in the NDVI time-series. I have written a HANTS preprocessor (attached as `cgi_HANTS_preprocessor.pro`) which does exactly that. It replaces all no-data occurrences with an alternating pattern of high FREQUENCY noise. The high FREQUENCY noise is generated as the NDVI time-series average +/- the data range. Run the HANTS preprocessor on your data and then apply HANTS, this should give a marked improvement.

What also should give an improvement in terms of NDVI fit is to use more years. If there is no need to use data from a specific year, then you might use

data over the periode 1999-2004 and let HANTS run on this time-series. HANTS will generate a kind of 'Average fit' over the entire period which is probably better then the fit on a single year. BTW, if you use 6 years then set `FREQSS=[0,6,12]!!!`

To show you the effect on the HANTS fitting I put it in a small IDL program (attached as `HANTS_demo.pro`). This program runs `cgi_fftndvi` directly and uses the `/PLOT` keyword to visualise the fitting process (a kind of 'debug' mode). You can see that the preprocessed NDVI time-series generated a better fit than the raw NDVI time-series and it uses far less iterations.

With regard to the HANTS fitting parameters (experiment yourself though!):

- Set `FET` to something like 20
- `IMAX` should be quit high 20 to 50 depending on the output from the status map
- `TAT` should be quit high (15 to 20) given all no-data occurrences in your data.
- `FREQSS=[0,1,2]` seems to be OK, you can try `FREQSS=[0,1,2,3]` and have a look at the image of the `FREQSuency` components. If it still shows any spatial structure then you need the fourth component, if not then use `FREQSS=[0,1,2]`.

I will built the preprocessor in the next version of HANTS directly so that there is not reason for a separate preprocessor.

with best regards,

Allard

17.3 Dokumentation und Anleitung für HANTS

17.3.1 The IDL-ENVI implementation of the HANTS algorithm

Allard de Wit, 19 April 2004

Updated: 20 July 2005

What's new in version IDL-HANTS v1.3

The following features have been added:

- Logging has been implemented in the IDL-HANTS package. A log file describing detailed processing results is now written to disk as 'HANTS_log.txt'.
- Error handlers have been added to the code to avoid algorithm crashes often caused by poor input data. When an algorithm crash occurs on a certain pixel, this will be written to the log file and the status map will have the value '-1'.
- Input and Output files can now be specified on the commandline through keyword variables. Setting an output keyword variable to an empty string ("") will avoid output being written to disk. Usefull for example if you only want smoothed results and do not care about FFT FREQSuen-
cies and interpolated results.
- Starting HANTS without any keywords will produce detailed information about the available keyword variables. Handy if you just forgot what that particular keyword was.

Bug fixes:

- FFT components were not properly written to disk. If you would reconstruct the signal from the FFT components then the amplitudes would be a factor 2 too small. This is now corrected.
- Better error handling in the code
- Various minor things

Cosmetic changes:

- All routines are now starting with the prefix 'CGI_'. This was done to avoid namespace conflicts between our own code in our IDL library and external code from various open source libraries on the web.

Introduction

The HANTS algorithm (Harmonic Analysis of NDVI Time-Series) was originally developed by Wout Verhoef from NLR in the Netherlands. The idea behind the algorithm was to have a fast method for smoothing and reconstructing NDVI time-series at continental scales. This effort has led to a first version of the HANTS algorithm which is a very fast implementation (FORTRAN) but difficult to use (can still be downloaded at:

<http://remotesensing.nlr.nl/upload/verhoef@nlr.nl/HANTS.zip>).

Therefore, for various purposes it was desirable to have a version of HANTS which was easy to use but with similar functionality. This has led to the implementation of HANTS using IDL-ENVI.

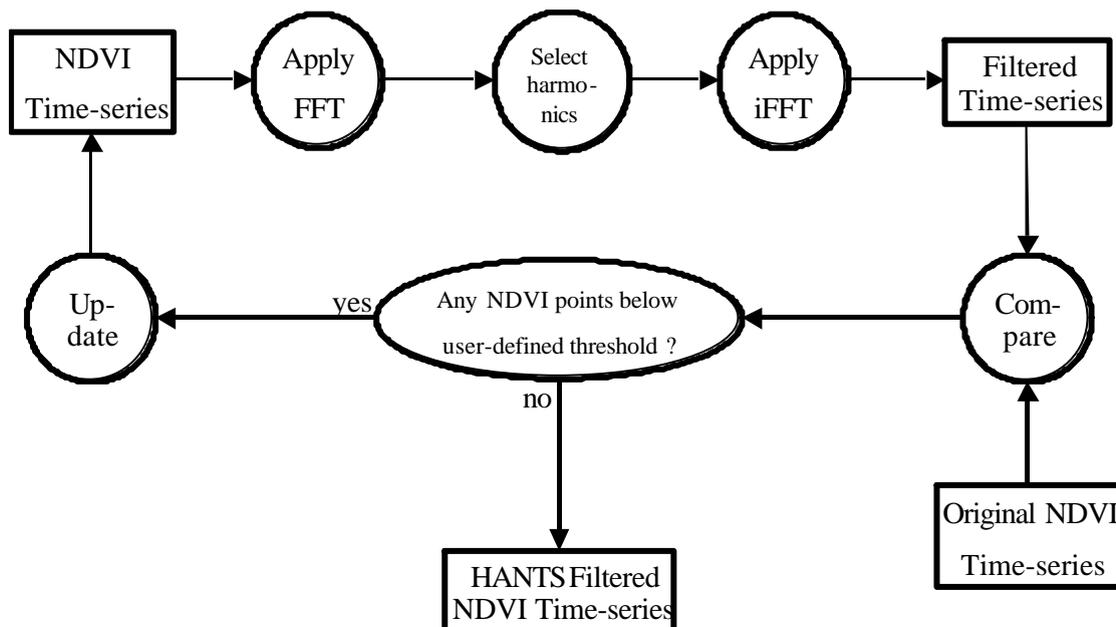
Basic concept

The basic concept behind the algorithm is that the vegetation development as indicated by the NDVI has a strong seasonal effect in most parts of the world (apart from the tropics) which can be described using a series of low frequency sine functions with different phases, frequencies and amplitudes. Cloud cover and other disturbing effects are usually more or less ran-

domly occurring “spikes” in the NDVI time-series and can be considered as high FREQSuency “noise”. The working of the HANTS algorithm is therefore based on a Fourier analyses.

In contrast to the standard fast Fourier transform (FFT), the HANTS algorithm works in an iterative manner (see next figure). The algorithm starts in the upper left block with the raw NDVI time series. These are used as input in the FFT and the relevant FREQSuencies (usually mean, annual and half-year signal) are selected from the fourier spectrum. The inverse FFT (iFFT) then transforms the spectrum back into a filtered NDVI time-series. Next, a comparison is made between the filtered NDVI time-series and the original NDVI time-series. The difference is calculated between the filtered and the original NDVI time-series. Any points in the original NDVI time-series that are below a user-defined treshold are considered ‘cloudy’ and are replaced with the value of the filtered NDVI time-series.

However, by replacing values in the NDVI time-series the average of the entire profile change (becomes larger). Therefore a next iteration is needed and again the NDVI time-series is searched for possible cloud contaminated NDVI observations. This process continues until no new points are being found.



Internal workings

The internal workings of the algorithm itself (implemented in `fftndvi.pro`) consists of three main parts:

Initial FFT / IFFT and replacement of no-data values;

First loop for searching for cloudy NDVI estimates;

Second loop for stabilising the NDVI profile.

The initial step replaces no-data values with an initial estimate of the NDVI. The first loop is the actual loop described in the figure above. The second loop is necessary for stabilising the profile because after each iteration the average value of the profile changes. This loop will continue until the difference between the current and previous NDVI profile is smaller than 1% of the average NDVI value.

Implementation of the HANTS algorithm using IDL-ENVI

The HANTS package consists of four routines:

- `CGI_HANTS.pro`: This is the main routine which handles input/output and integration with ENVI. This is the routine to be called from the ENVI command line.
- `CGI_FFTNDVI.pro`: This is the routine which implements the filtering.
- `CGI_MAKE_FFT_FILTER.pro`: This small routine creates a filter based on the specified frequencies
- `CGI_LOGGER__DEFINE.pro`: This small routine implements a logger object which is needed for logging during HANTS execution

17.3.2 Input/Output of IDL-HANTS Routines

CALLING SEQUENCE:

```
CGI_HANTS, FET=<value>, FREQSS=[f1,f2,f3,..], RANGE=[min,max], $  
    TAT=<value>, iMAX=<value>, /PLOT, DATA_IF=<data input file>,$  
    MASK_IF=<mask input file>, $  
    HANTS_OF=<output file for FFT components>, $  
    STATUS_OF=<output file with status information>, $  
    SMOOTH_OF=<output file with smoothed results>, $  
    INTERP_OF=<output file with interpolated results>
```

INPUTS:

1. An ENVI file with NDVI data.
2. An ENVI file containing a mask (0/1), only pixels with value 1 will be processed. This is practical for excluding water bodies, etc.

OUTPUTS:

Will produce 4 output files (default behaviour):

1. File for the Fourier components as DCOMPLEX. Number of layers will equal the number of FREQSuencies you specified.
2. File for the status map as INT. This consists of three layers: layer 1: contains the number of NDVI values retained after HANTS processing. This is usually larger than the number of points in your time-series minus the value of TAT. Occasionally it can become less if the algorithm already throws out more points than TAT during the first iteration cycle. Layer 2&3: the number of iterations in the 1st and 2nd loop. This should be lower than iMAX. If there are many pixels with values equal to iMAX, then you should increase iMAX for better convergence.
3. File for smoothed NDVI values as FLOAT. This is basically the fitted curve of sine waves.
4. File for interpolated NDVI values as FLOAT. This is basically the original NDVI data, but with cloud contaminated values interpolated.

KEYWORD VARIABLES

PROCESSING KEYWORDS (OBLIGATORY):

- FET: Fit Error Tolerance, is maximum tolerable downward deviation between fourier fit and NDVI data values (in DN values)
- FREQSS: 1D array with FREQSuencies that should be selected from the fourier spectrum. i.e. FREQSS=[0,1,2,3] to use the fourier compoments 0 (mean), 1 (1 sine wave), 2 (2 sine waves) and 3.

If you want to process 5 years of data you should use
FREQSs=[0,5,10,15]

RANGE: Array of size 2 to specify the minimum and maximum valid data values. i.e. range=[1,254]

TAT: Throw Away Treshold, is maximum number of NDVI observations that can be discarded in the fitting process.

iMAX: Maximum nr. of iterations to be performed during processing, usually 10 should be sufficient.

I/O KEYWORDS (OPTIONAL):

DATA_IF: (full path to) Filename used as input for processing (NDVI), will ask for filename if not specified

MASK_IF: (full path to) Filename used as mask. A dialog box will ask for filename if not specified

HANTS_OF: (full path to) Filename used to write FFT components, set this to an empty string ("") to avoid output being written to disk. A dialog box will ask for filename if not specified

STATUS_OF: (full path to) Filename used to write processing status info set this to an empty string ("") to avoid output being written to disk. A dialog box will ask for filename if not specified

SMOOTH_OF: (full path to) Filename used to write smoothed results set this to an empty string ("") to avoid output being written to disk. A dialog box will ask for filename if not specified

INTERP_OF: (full path to) Filename used to write interpolated results set this to an empty string ("") to avoid output being written to disk. A dialog box will ask for filename if not specified

OTHER KEYWORDS (OPTIONAL):

LOG_FILE: (full path to) Filename used to write the log to. If not specified 'HANTS_log.txt' is used as default.

PLOT: Visualise the optimisation & fitting process. Only applied for debugging because it is very slow!

Documentation for the other routines can be found in the header of the source code.

Limitations

- Unlike the original version of HANTS, this version cannot handle non-equally time-spaced data. So even if you don't have a value, you still need to give the algorithm a no-data value and hope for the best.
- Unlike the original version of HANTS, this version cannot 'ignore' no-data values because the IDL FFT has no way of ignoring values (setting values to !values.f_nan doesn't work btw.).

Tips

-Which FREQUENCIES should I use?

Usually you will need the mean, annual signal and half-year signal, so FREQUENCIES=[0,1,2] if you process one year of data. If you suspect you need more FREQUENCIES, then specify a larger number and look at the output Fourier coefficients. If the image becomes noisy without any spatial structure then you don't need that FREQUENCY and you can leave it out.

-Large data gaps

If you have large gaps in your data with a no-data value of '0', there is a risk that the algorithm will actually regard these as 'signal' rather than 'noise'. In that case it is better to use alternating values of high and low no-data values (i.e. 0,255,0,255,etc.)so that the algorithm will 'recognise' them as high-FREQUENCY noise.

License

This software is licenced under the GNU General Public License. See:

<http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>

References

Roerink, Menenti, Soepboer and Su, 2003. Assessment of climate impact on vegetation dynamics by using remote sensing. Physics and chemistry of the earth 28, 103-109

Roerink, Menenti, Verhoef, 2000. Reconstructing cloudfree NDVI composites using Fourier analysis of time series. Int. J. of Rem. Sens. 21(9) 1911-1917.

Contact

You can contact me with comments, improvements, errors, etc at:

Centre for Geo-information

Droevendaalsesteeg 3

6708 GA Wageningen, The Netherlands

allard.dewit@wur.nl

T: +31-317-474761

F: +31-317-419000

17.3.3 CGI_HANTS_PREPROCESSOR

; PURPOSE:

; This procedure implements a HANTS preprocessor which replaces
; no-data values in the image with high-FREQSuency noise (alternating
; high-low values). This is sometimes necessary when the image contains
; many no-data values and the HANTS algorithm get confused by what is
data
; and what is not data. This is a result of the fact that the IDL FFT
; algorithm has now way of 'ignoring' data.
; Note that the high-FREQSuency noise is generated as the average of the
valid

```

; NDVI datapoints plus/minus the range of the data. Using this method, the
; average of the profile is not altered too much, reducing the number of
; iterations that HANTS needs.
;
; CATEGORY:
; Image processing
;
; CALLING SEQUENCE:
; CGI_HANTS_PREPROCESSOR, range=range[min, max]
;
; INPUTS:
; RANGE : Keyword variable identifying minimum and maximum valid data
ranges.
; All values beyond this range are replaced with HF noise.
;
; OUTPUTS:
; image converted to FLOAT with nodata values replaced by HF noise.
;
; SIDE EFFECTS:
; Needs ENVI to run ( if you don't see the 'ENVI>' prompt then you need
; to start it by typing 'envi')
;
;
; MODIFICATION HISTORY:
; Written by: Allard de Wit, August 2005
;-

```

18 Anhang B Diagramme der statistischen Auswertung der Trainingsgebiete

Dieser Anhang enthält die Zusammenstellung aller erstellten Diagramme, die sich anhand der Auswertung der Trainingsgebiete ergaben. Verwendet wurde die Regressionsanalyse (Trendline), die bei Scatterdiagrammen in Excel verwendet werden kann. Als Koeffizient wird immer R^2 ausgegeben. Dies ist das Bestimmtheitsmaß und das Quadrat des Korrelationskoeffizienten.

Im Abschnitt 18.1 Gegenüberstellung der Klassen für 2002-2004 Seite 196 befinden sich die Kurvendigramme für alle Klassen.

Im Abschnitt 18.2 NDVI Verlauf der Klassen über die Vegetationszonen für 2002-2004 Seite 199 befinden sich die Kurvendigramme für alle Klassen, die in mehreren Vegetationszonen vertreten sind.

Abschnitt 18.3 Klasseverlauf mit Min Max Mean NDVI, Standardabweichung und Süd-Nord Korrelation Seite 202 und Unterabschnitte enthält die Diagramme für alle Klassen, die in mehreren Vegetationszonen vertreten sind.

Abschnitt 18.4 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 Seite 217 enthält die Gegenüberstellung in zwei Spalten: die Linke Spalte mit einer linearen Regression; die Rechte mit einer anderen Regressionsgraden. Der darauf folgende Abschnitt auf Seite 222 enthält die gleiche Auswertung jedoch für die Jahreskombination 2002-2004.

Diese beiden Abschnitte enthalten die Standardabweichungsellipsen exemplarisch für das Jahr 2002: 18.6 Standardabweichungsellipse SDE1 68% Seite 227 und 18.7 Standardabweichungsellipse SDE2 95% Seite 228. Erläuterungen zu SDE und 2SDE siehe nächste Seite.

Der letzte Abschnitt enthält die statistischen Daten die von CrimeStatIII ausgegeben werden. Abschnitt 18.8 Statistische Auswertung von CrimeStatIII Seite 229.

Die Bedeutung bzw. um welches Wahrscheinlichkeitsintervall es sich handelt (SDE oder SDE1, SDE2), ging aus den Handbüchern von Crimestat III nicht hervor. Auch konnte in Lehrbüchern keine konkrete Aussage gefunden werden. Eine Beschreibung konnte über die Google-Suche "standard deviational ellipse" ermittelt werden. Der folgende Abschnitt wurde der Seite entnommen.

Link: <http://bmc.ub.uni-potsdam.de/1476-072X-4-24/> (17.04.2006)

"The standard deviational ellipse (SDE)"

"For the routine activity SDE, the location of the respondent's residence and each of the routine activity destinations was mapped in the GIS. Each point was weighted based on the number of times per year the respondent went to that destination, with the respondent's residence given a value of 365, assuming the respondent was there every day. Once the spread of points was mapped, an ellipse was generated using the formula found in the spatial statistics program CRIMESTAT [41]. The standard deviation of the distances between each point and the mean center are calculated for the X direction and the Y direction. This distance is used as the major and minor axis of the ellipse [41]."

Because of the structure of the data table, it was necessary to write a script which could accommodate the data file, rather than relying on a pre-existing application such as CRIMESTAT to generate the ellipses. The script developed by the authors provides the following output: the area of the ellipse, the lengths of the ellipse's X and Y axes, its theta angle (the angle between the major axis and the horizontal or X axis), and the location of the weighted mean center of all points. Additionally a graphic representation of the ellipse was generated to be included in the GIS.

Because the literature is inconsistent on the use of one or two standard deviations in generating the ellipses, we chose to do both for comparative purposes. The SDE at one standard deviation (SDE1) contains approximately 68% of the points within the boundary of the ellipse, while the SDE at two standard deviations (SDE2) encompasses approximately 95% of the points (if all destinations are given equal weight; weighting destinations based on frequency of visit will alter these proportions)."

18.1 Gegenüberstellung der Klassen für 2002-2004

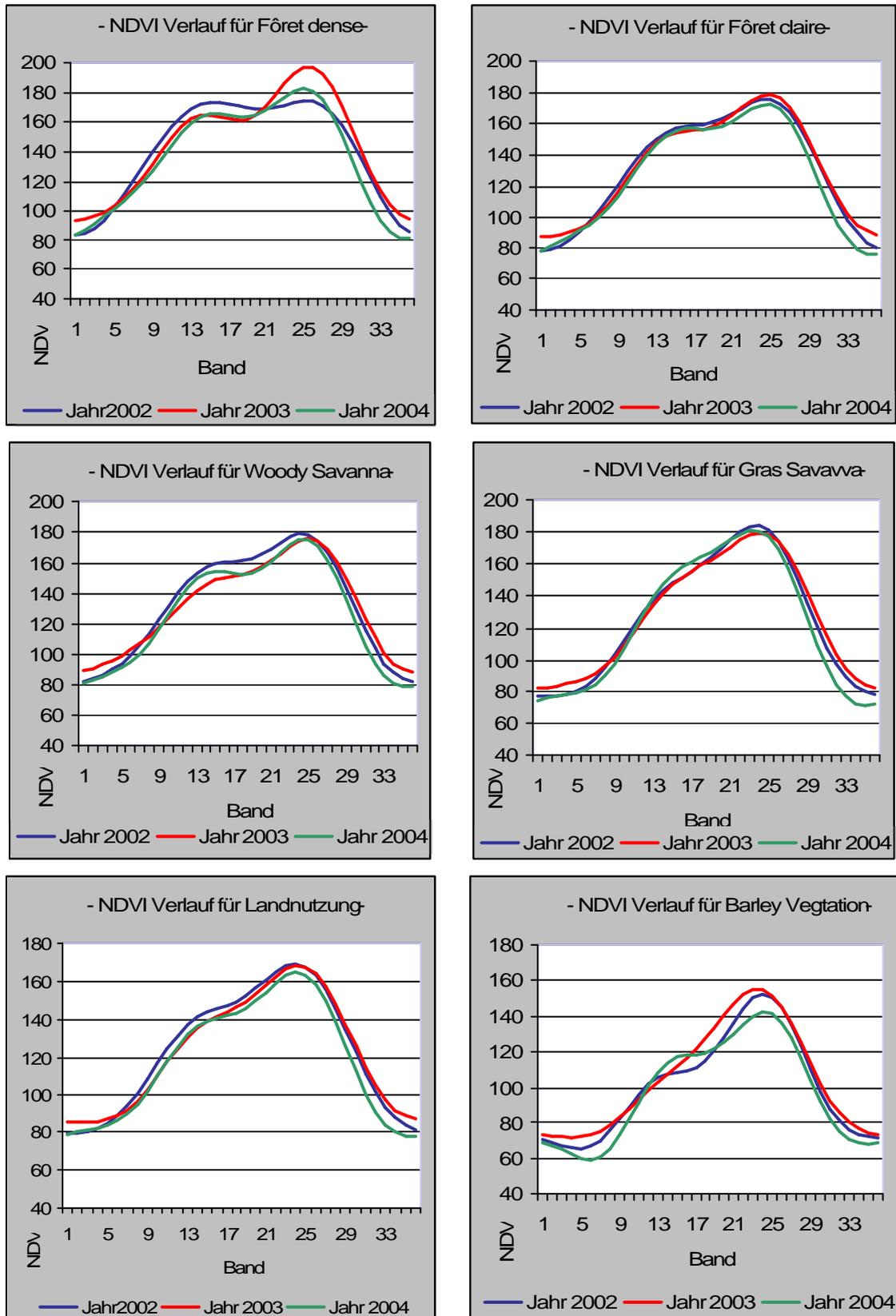


Abbildung 79 Gegenüberstellung der Klassen über die Jahre 2002 – 2004 01

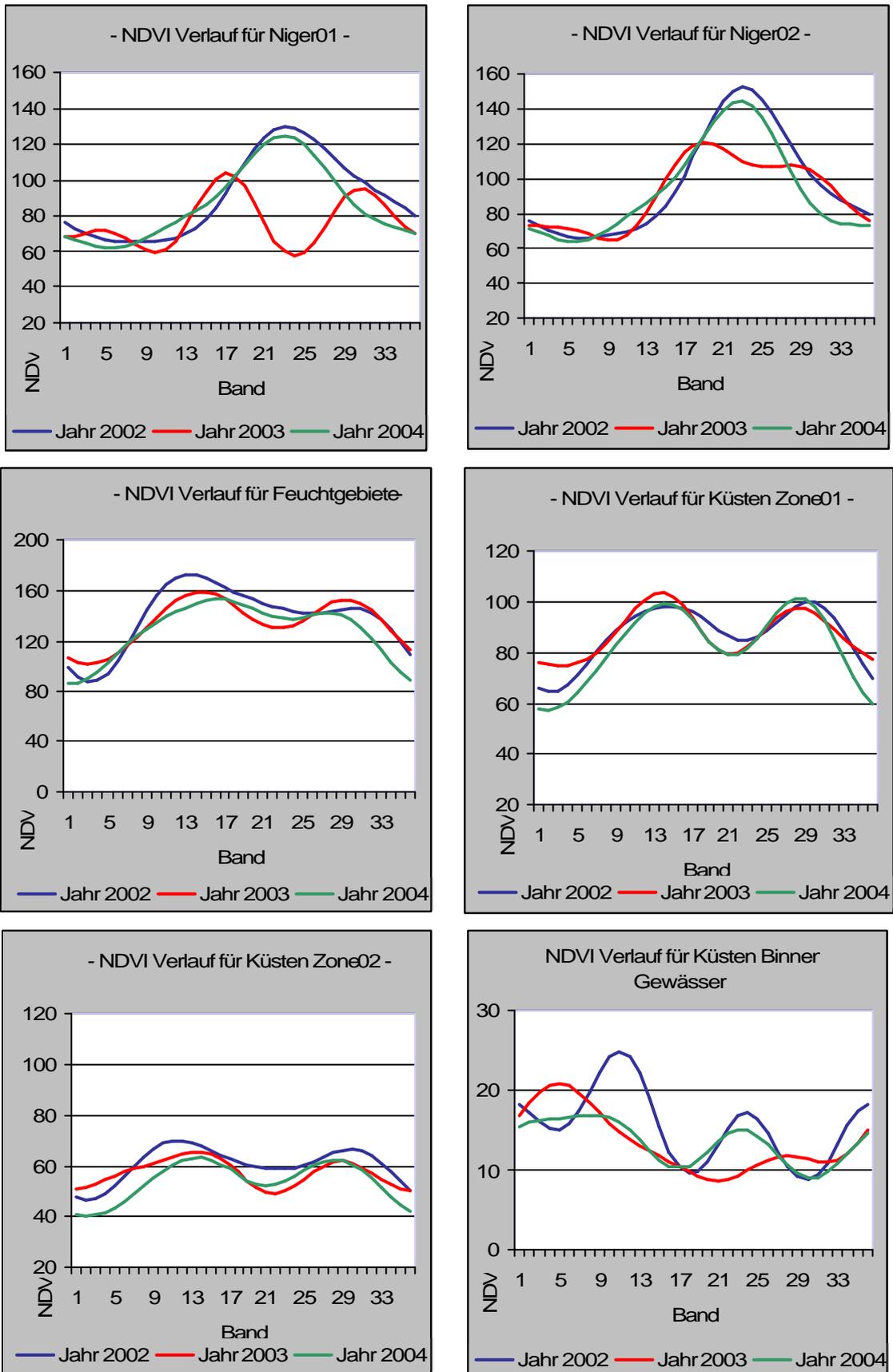


Abbildung 80 Gegenüberstellung der Klassen über die Jahre 2002 – 2004 02

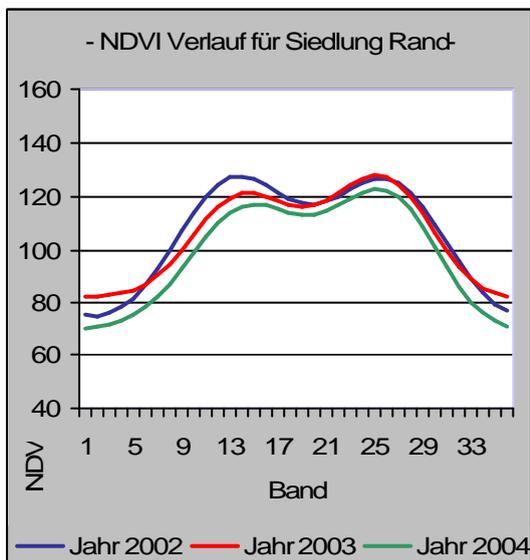
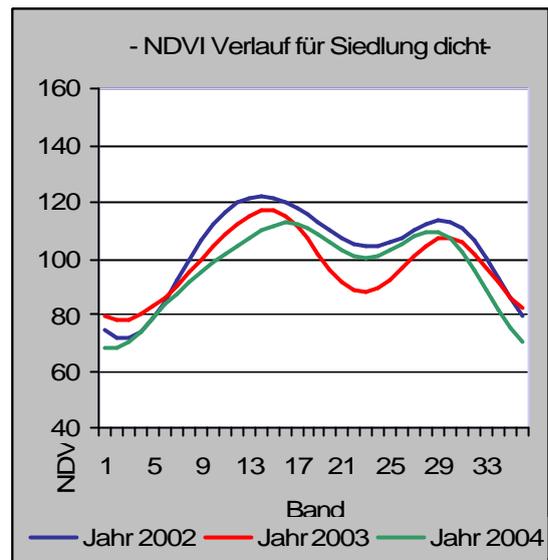
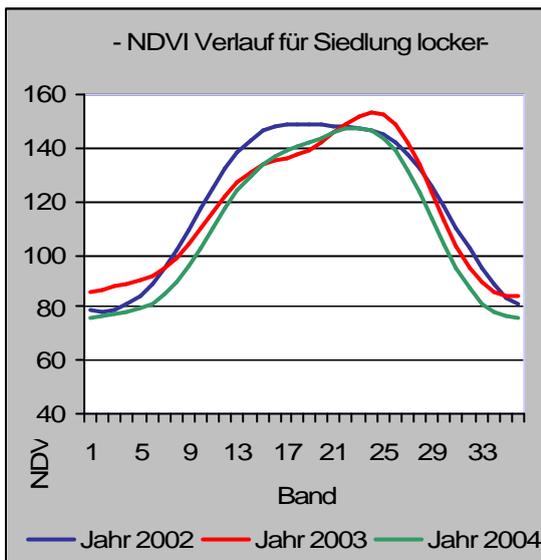


Abbildung 81 Gegenüberstellung der Klassen über die Jahre 2002 – 2004 03

18.2 NDVI Verlauf der Klassen über die Vegetationszonen für 2002-2004

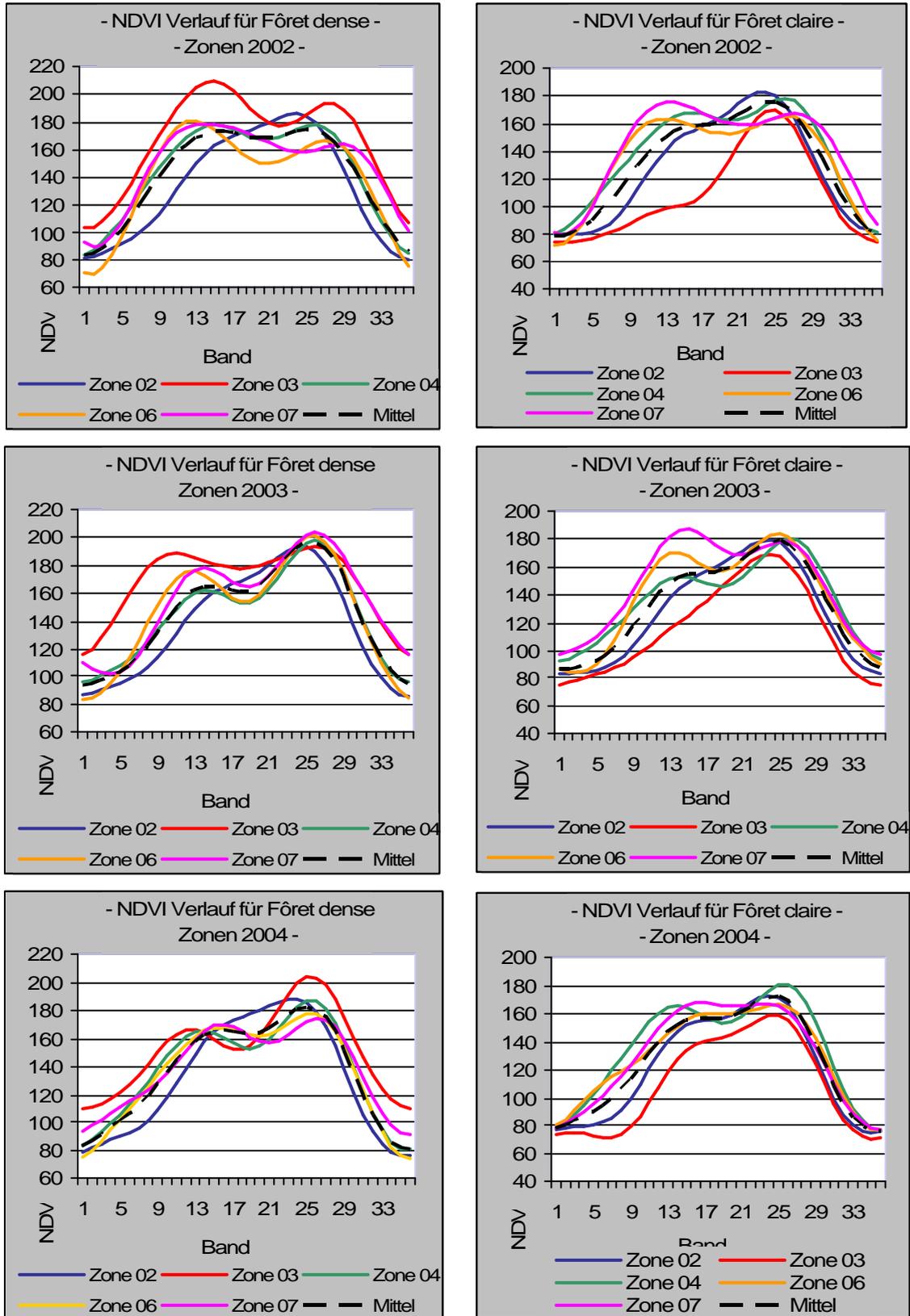


Abbildung 82 Klassen über Vegetationszonen Fôret dense/claire für die Jahre 2002 – 2004

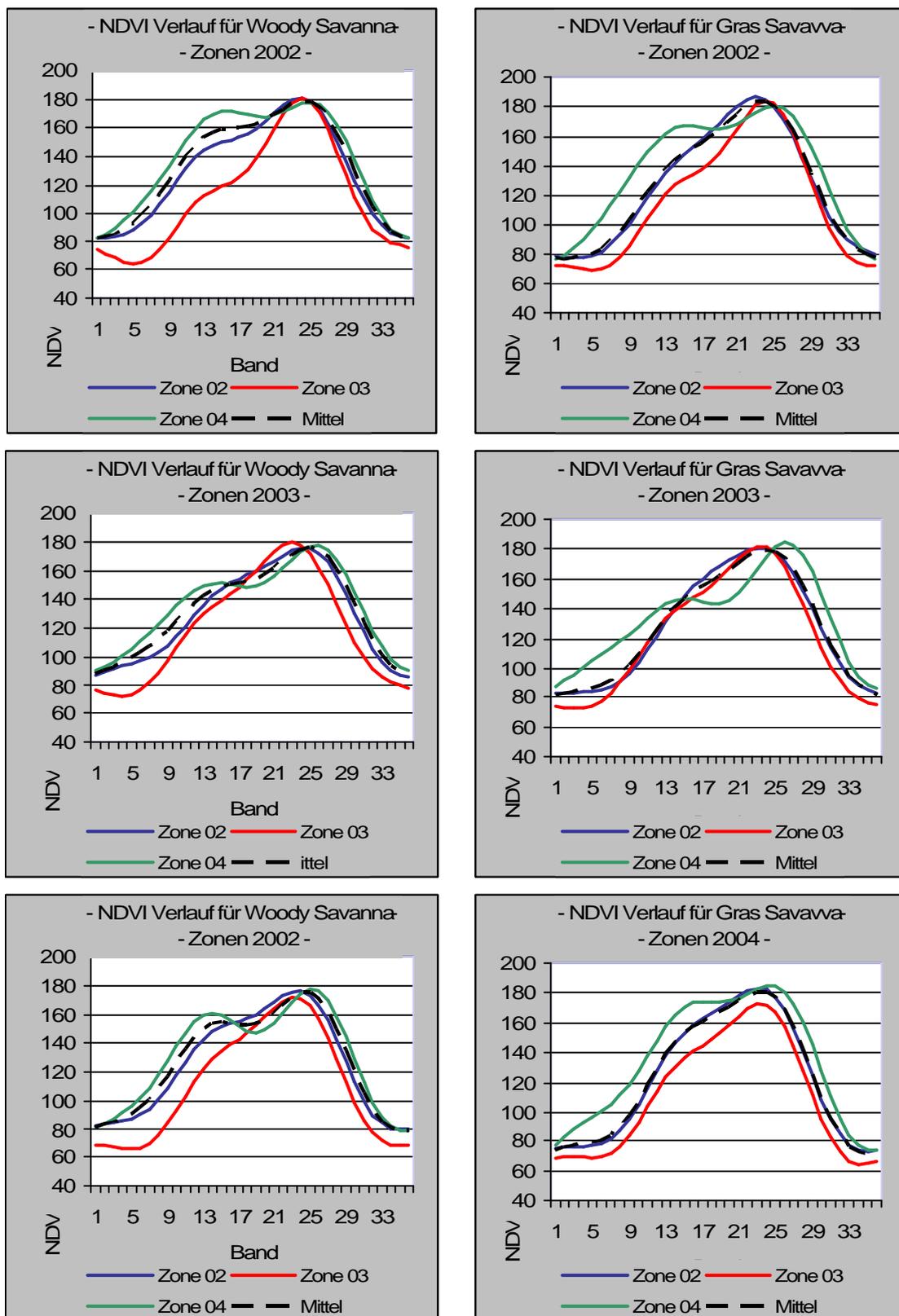


Abbildung 83 Klassen über Vegetationszonen Woody-/Gras Savanna für die Jahre 2002 - 2004

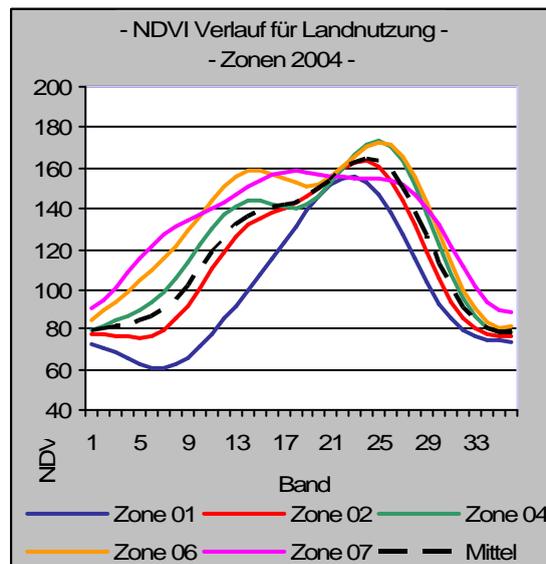
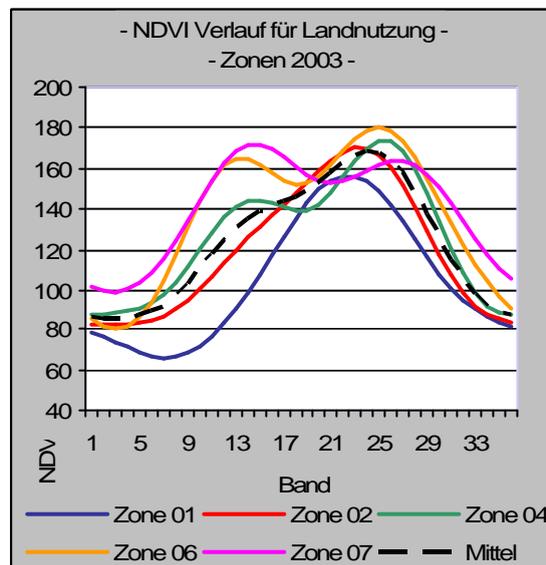
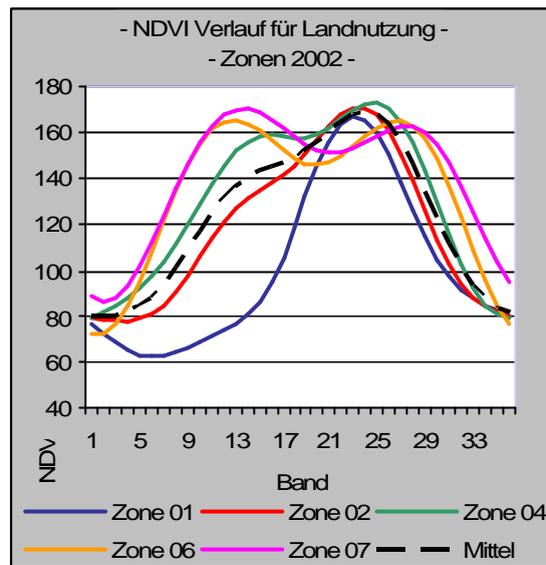


Abbildung 84 Klassen über Vegetationszonen Landnutzung für die Jahre 2002 - 2004

18.3 Klasseverlauf mit Min Max Mean NDVI, Standardabweichung und Süd-Nord Korrelation

18.3.1 Für das Jahr 2002

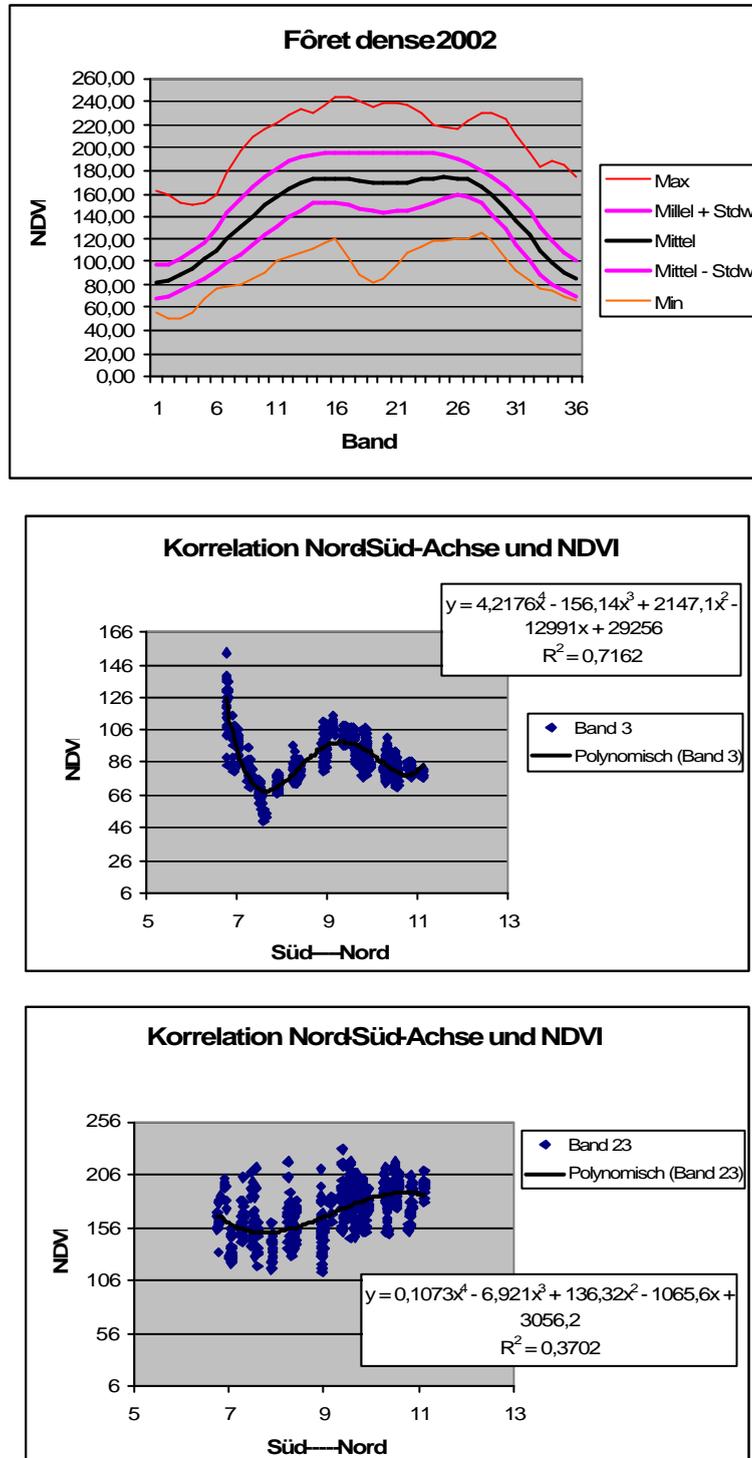


Abbildung 85 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret dense, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19

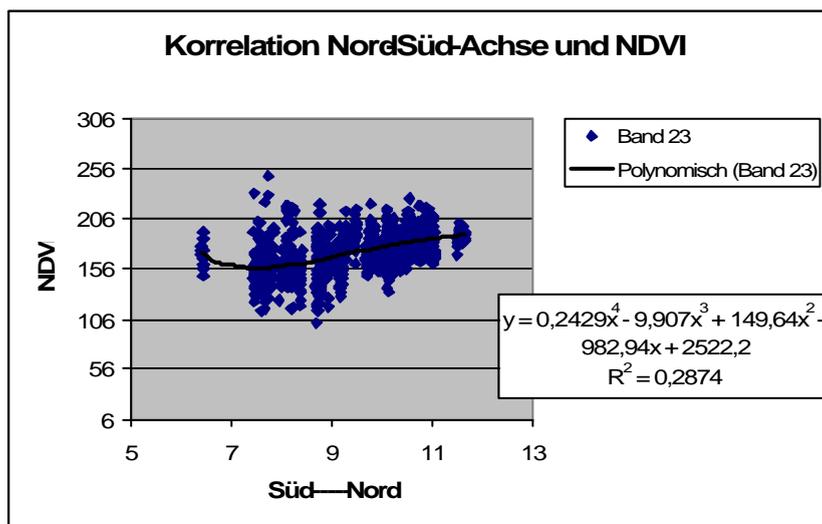
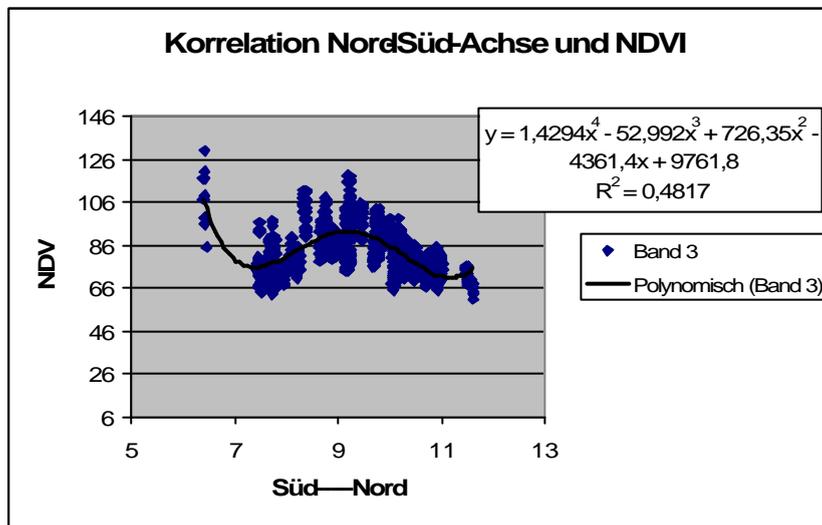
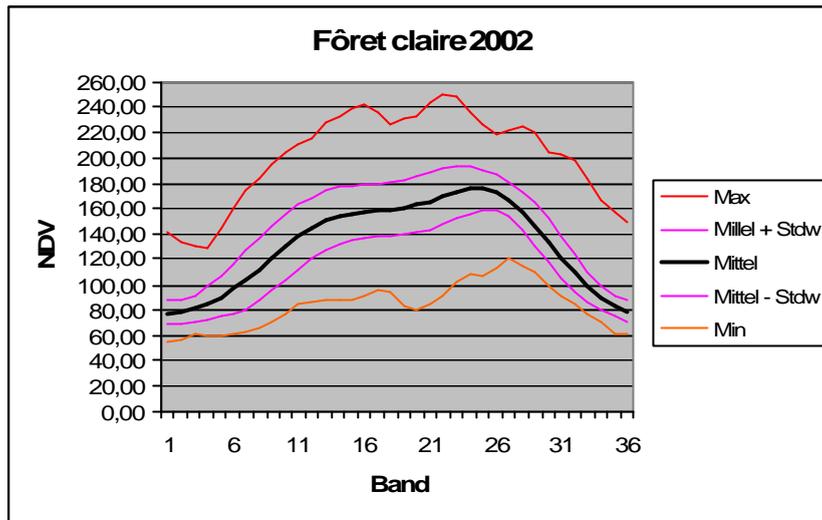


Abbildung 86 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret claire, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19

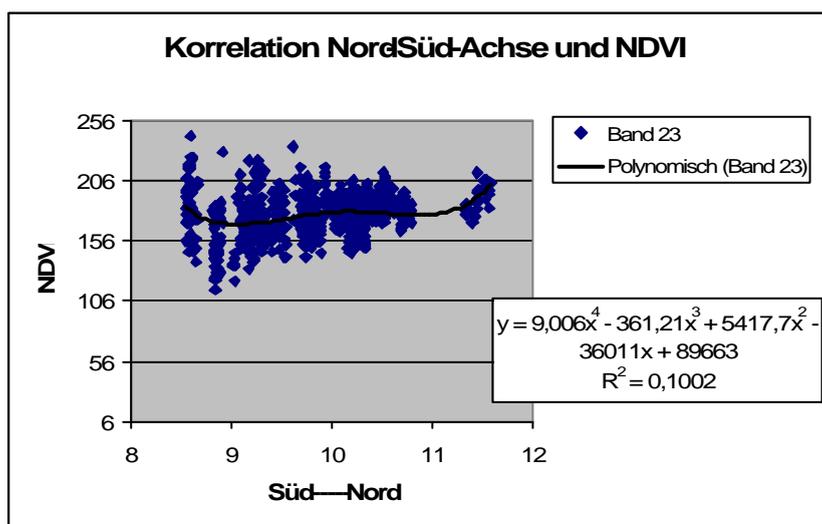
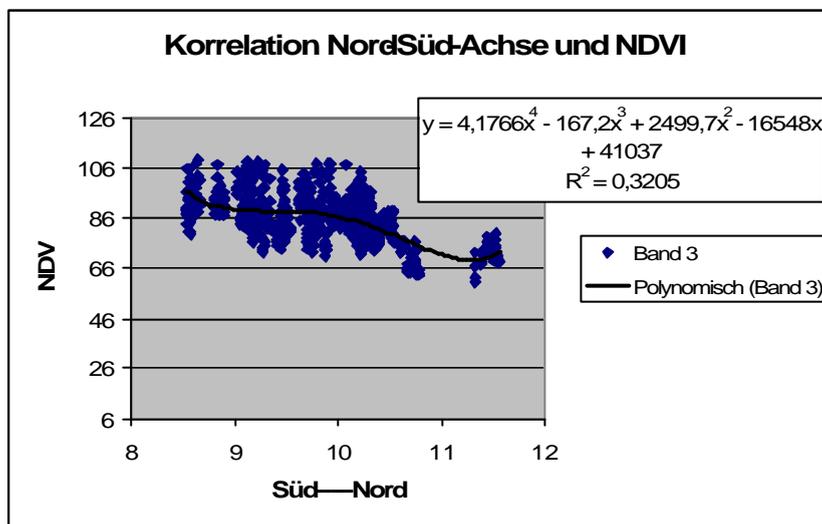
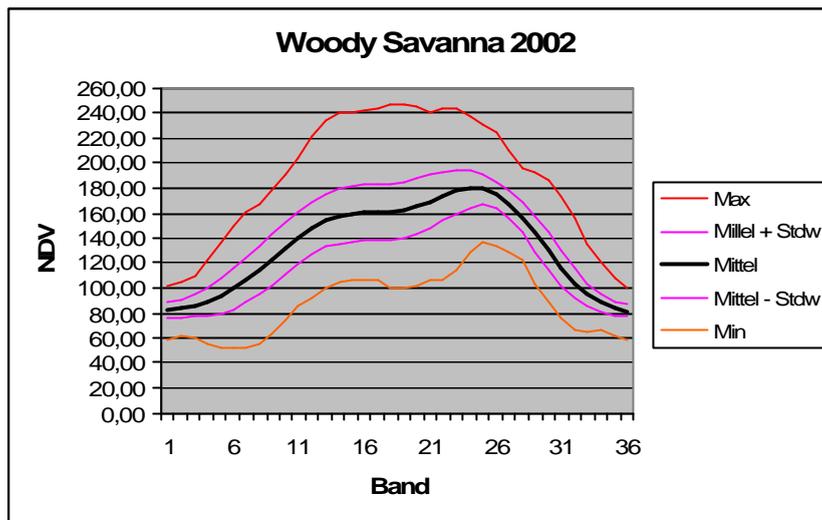


Abbildung 87 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Woody Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19

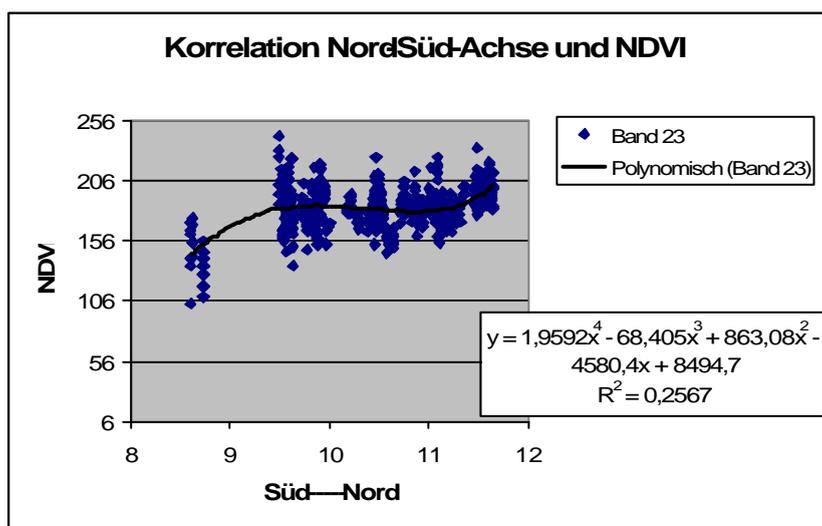
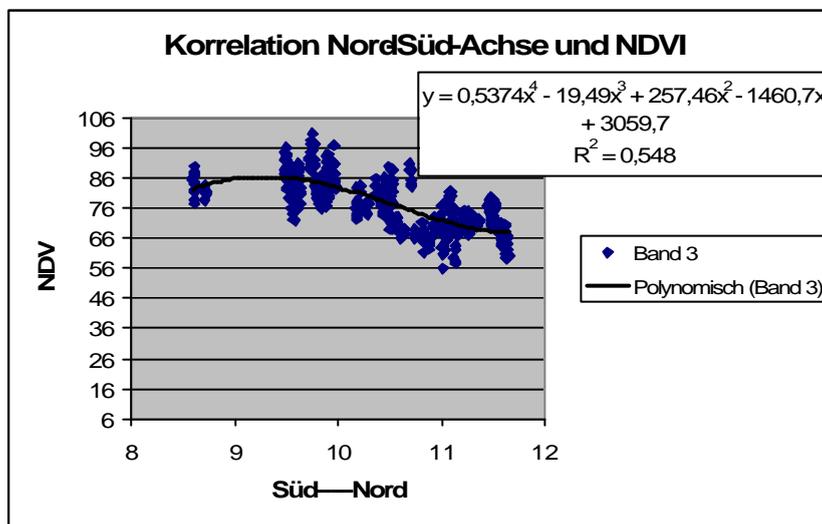
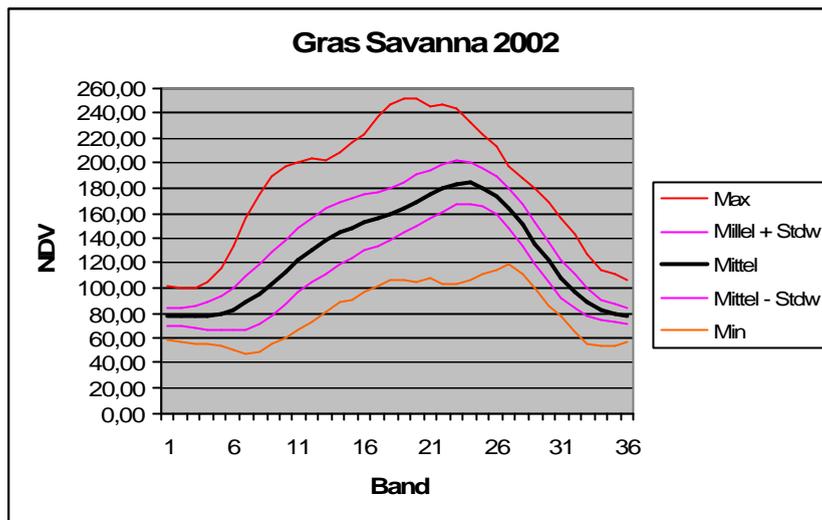


Abbildung 88 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Gras Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19

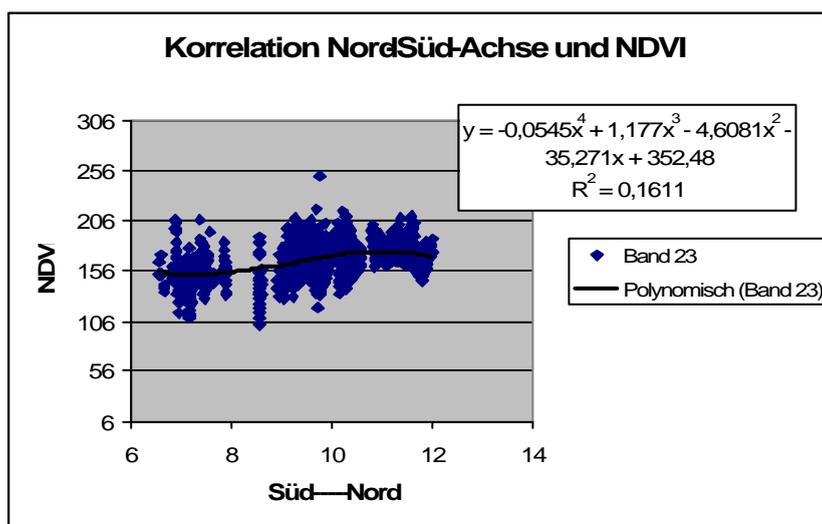
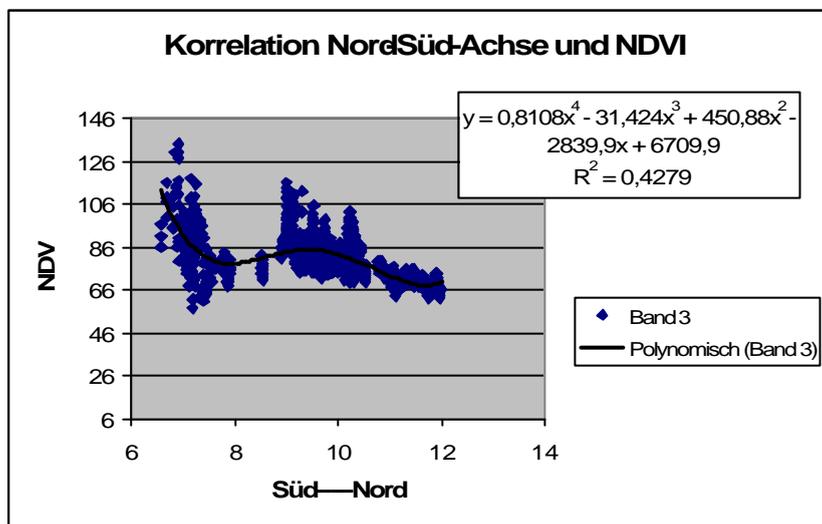
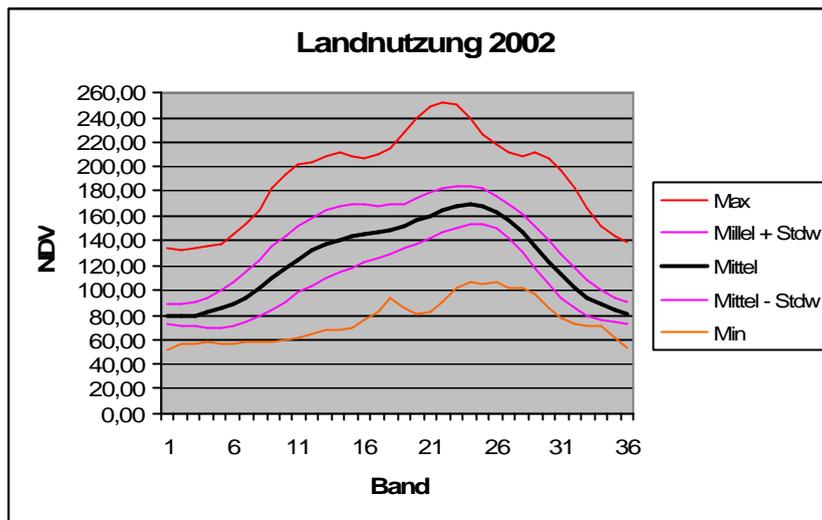


Abbildung 89 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Landnutzung, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2002 Band 3 Band 19

18.3.2 Für das Jahr 2003

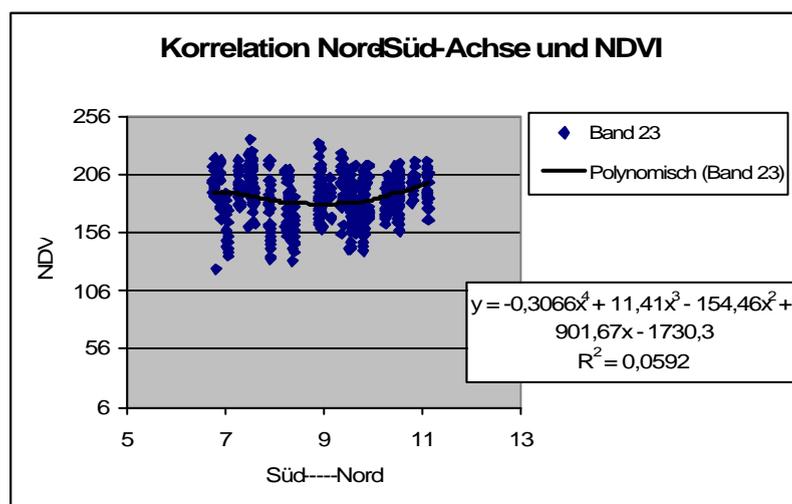
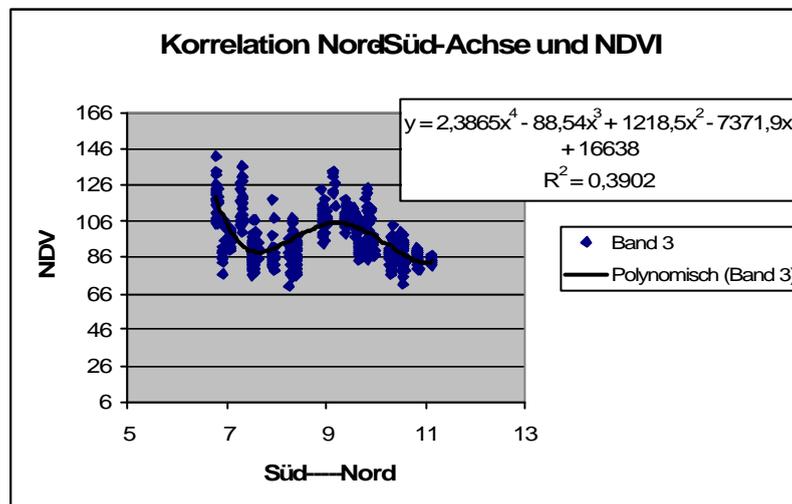
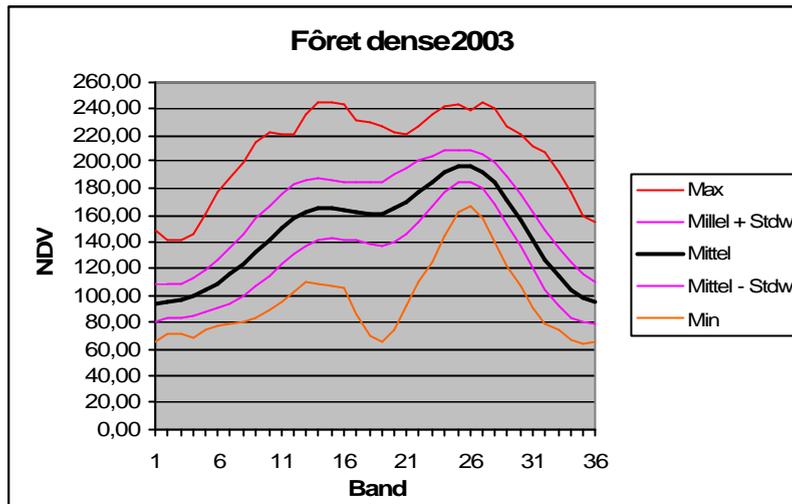


Abbildung 90 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret dense, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19

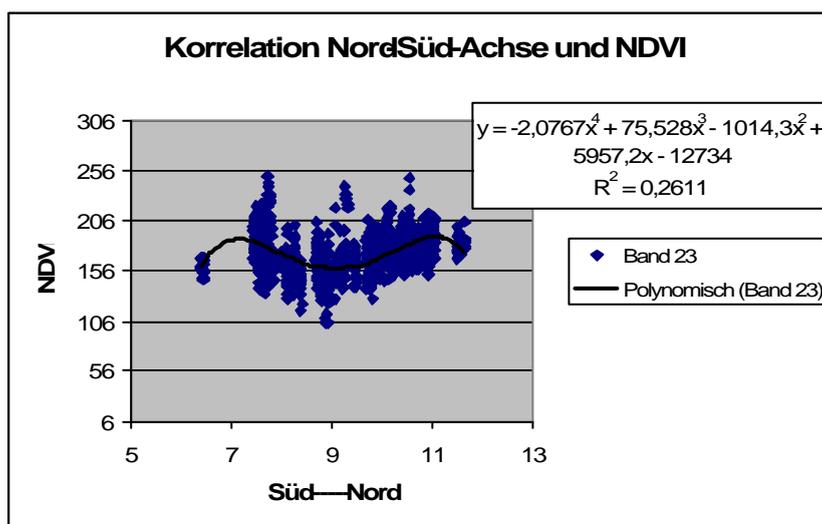
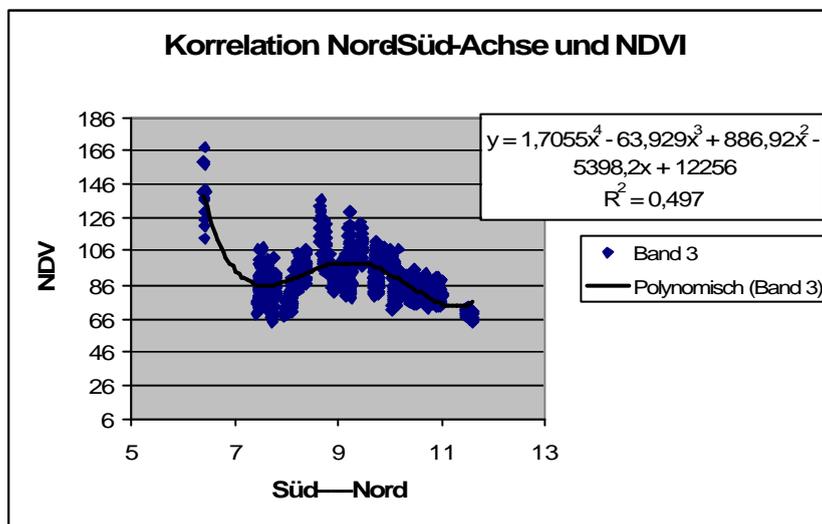
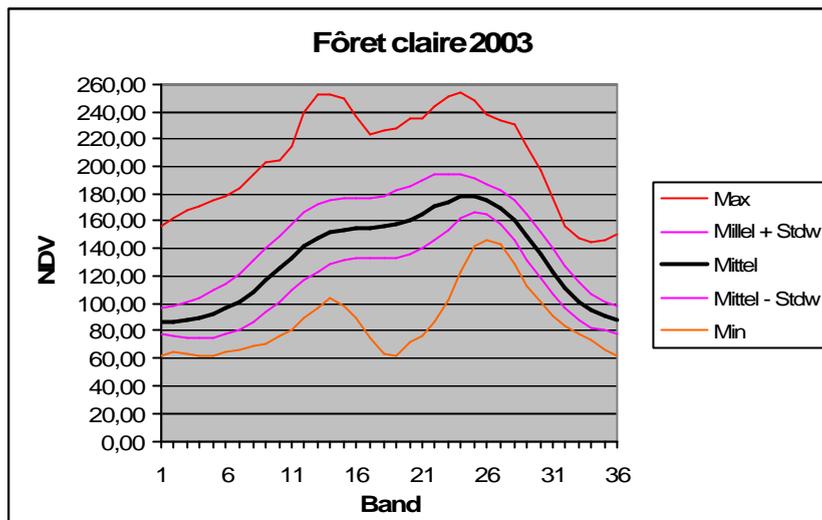


Abbildung 91 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret claire, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19

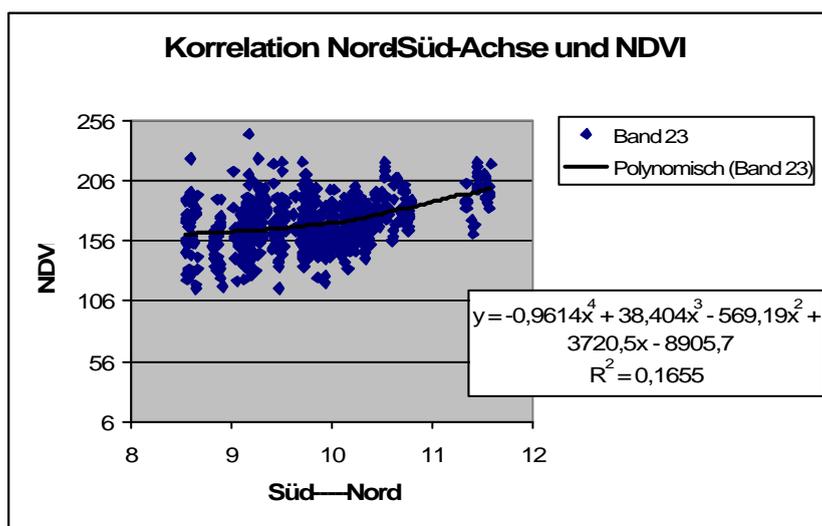
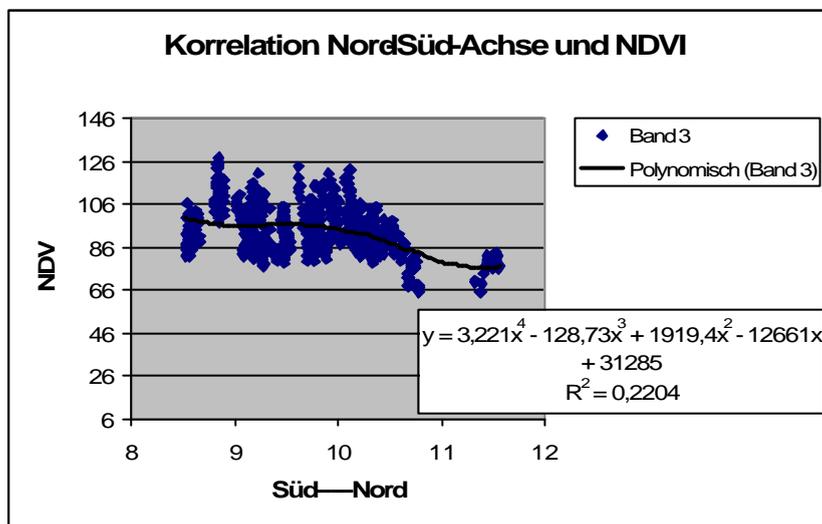
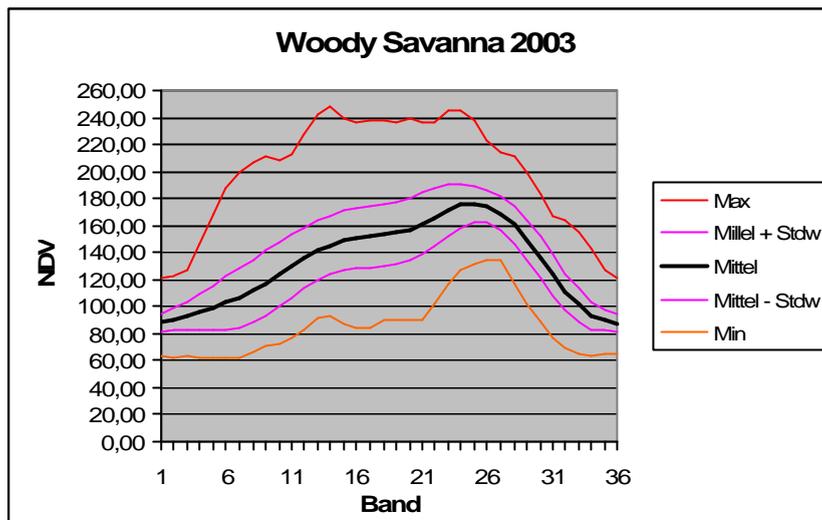


Abbildung 92 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Woody Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19

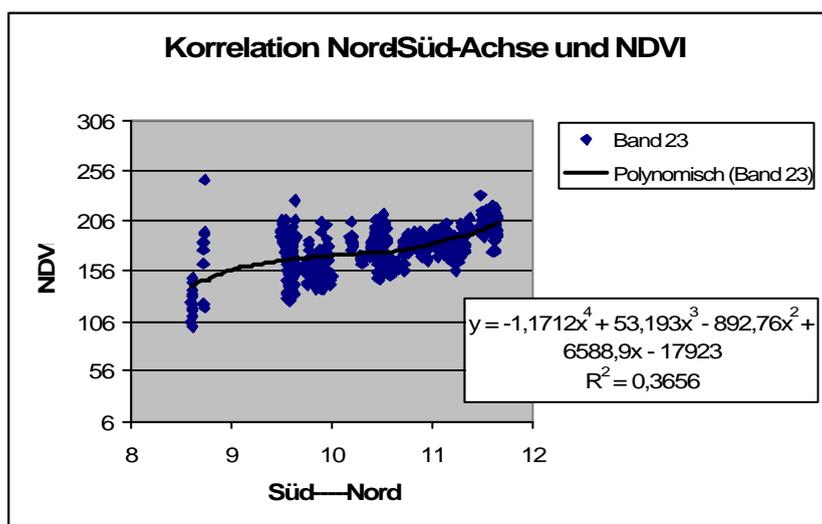
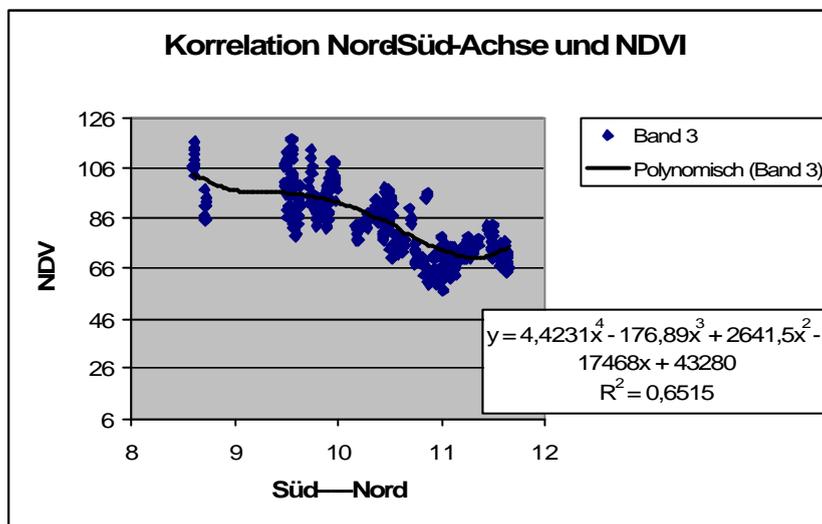
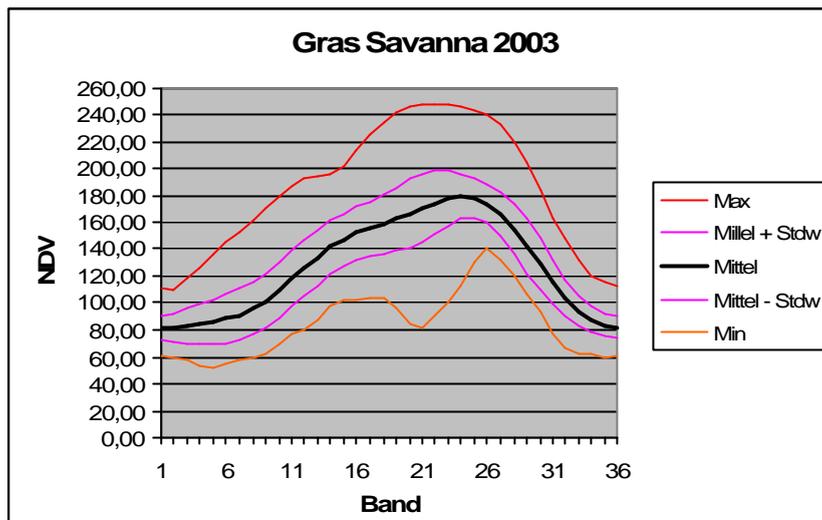


Abbildung 93 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Gras Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19

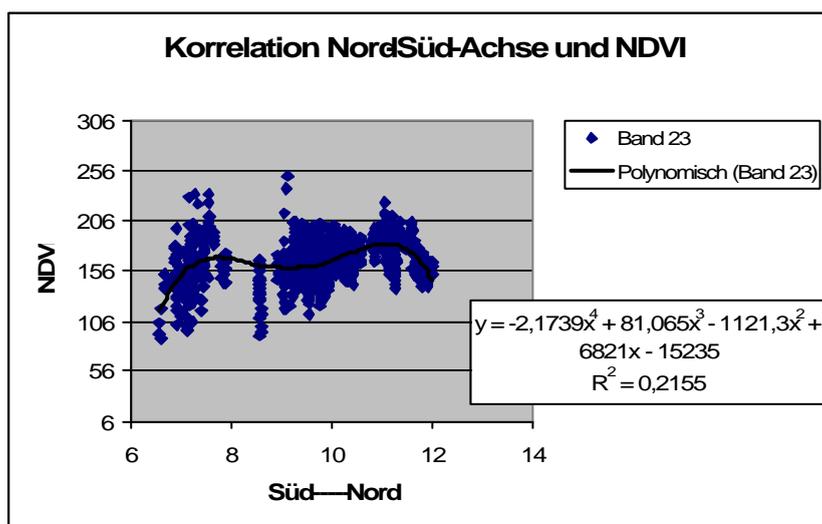
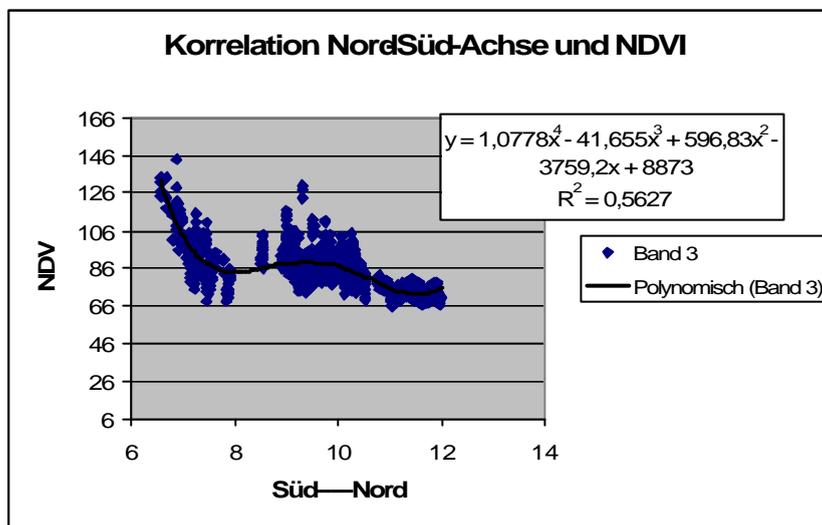
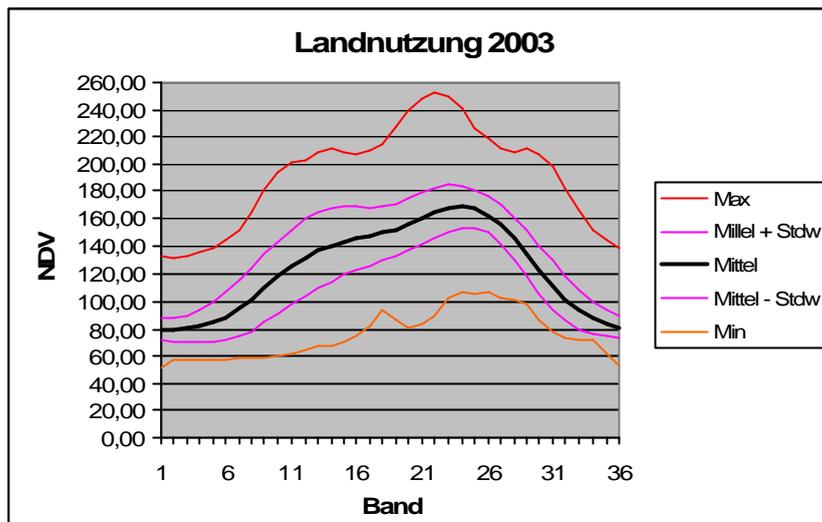


Abbildung 94 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Landnutzung, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2003 Band 3 Band 19

18.3.3 Für das Jahr 2004

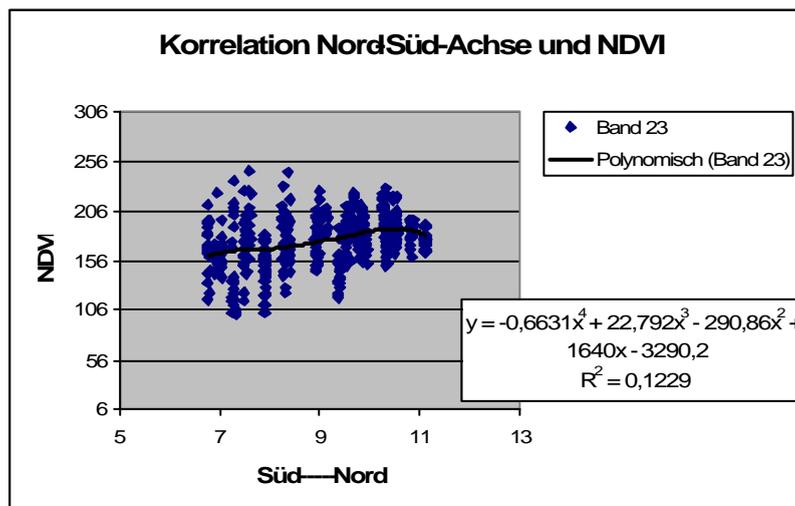
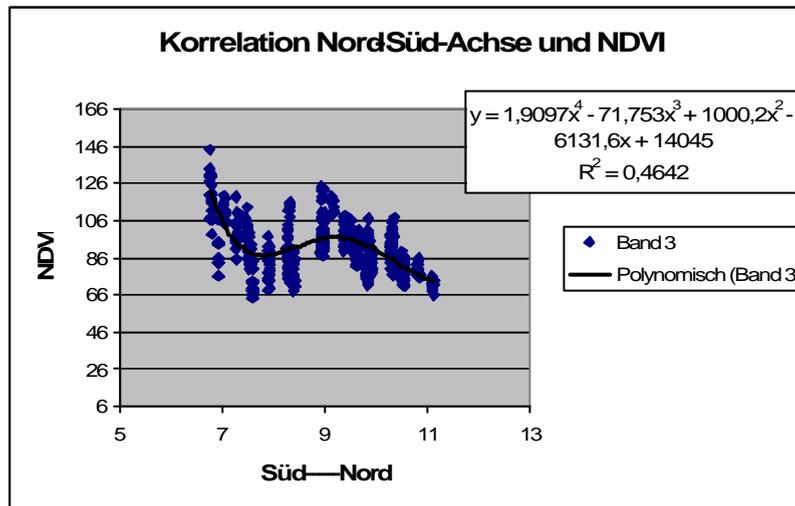
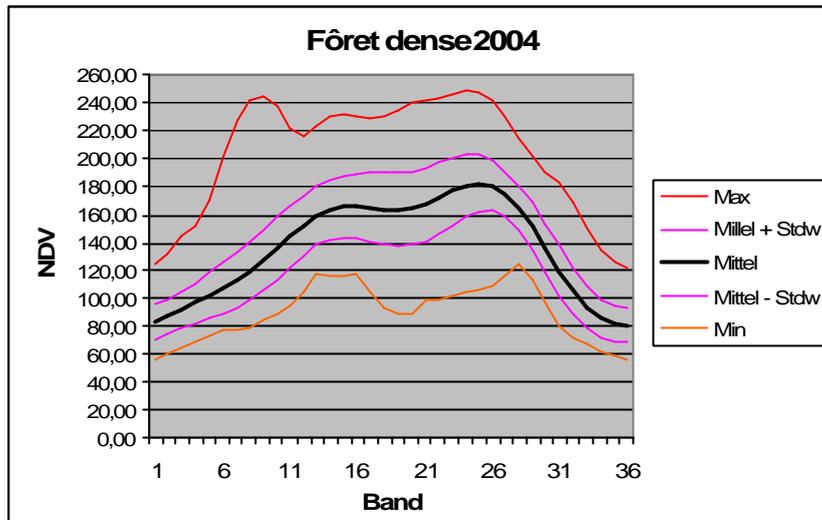


Abbildung 95 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret dense, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2004 Band 3 Band 19

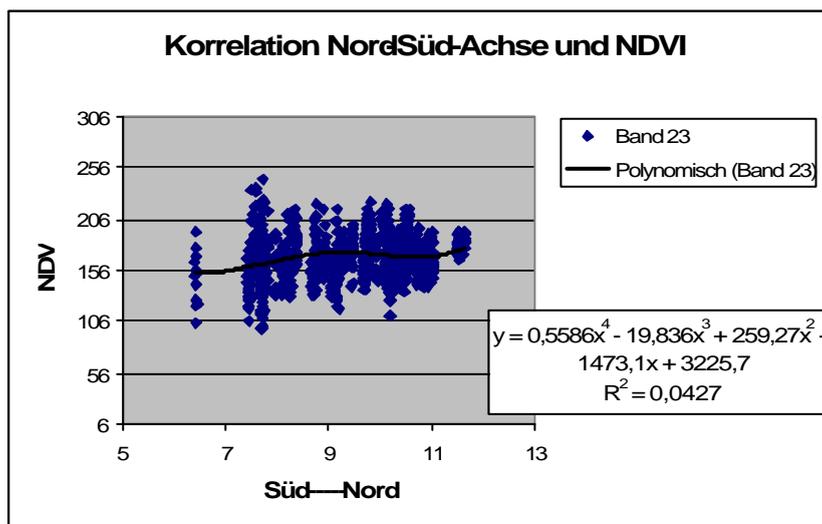
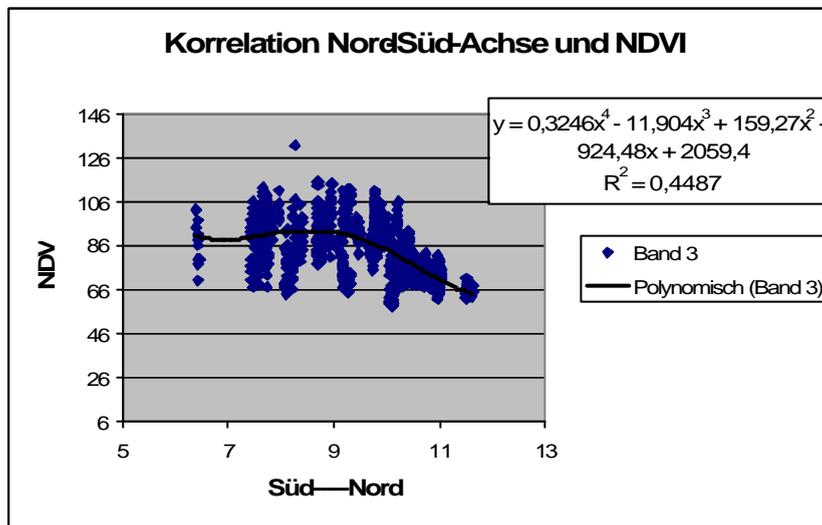
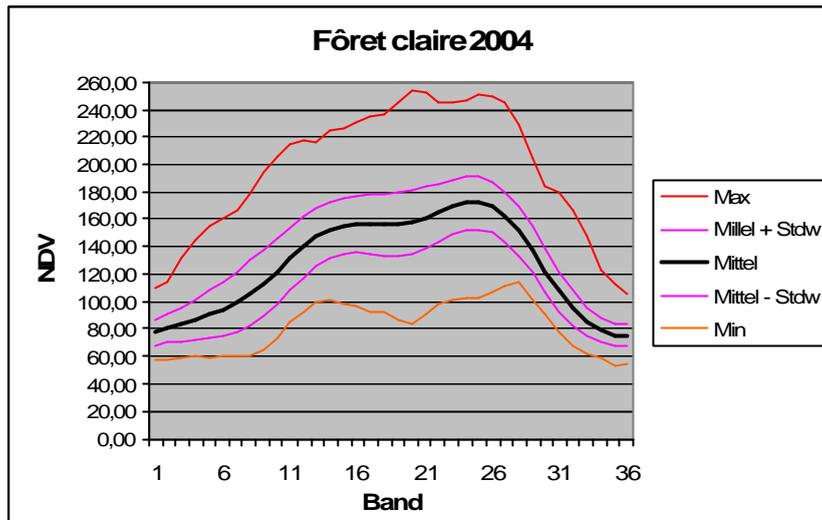


Abbildung 96 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Fôret claire, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2004 Band 3 Band 19

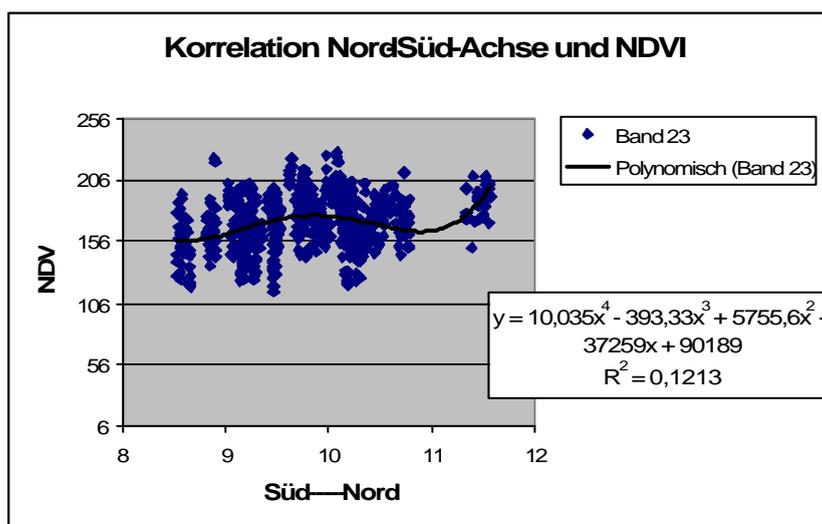
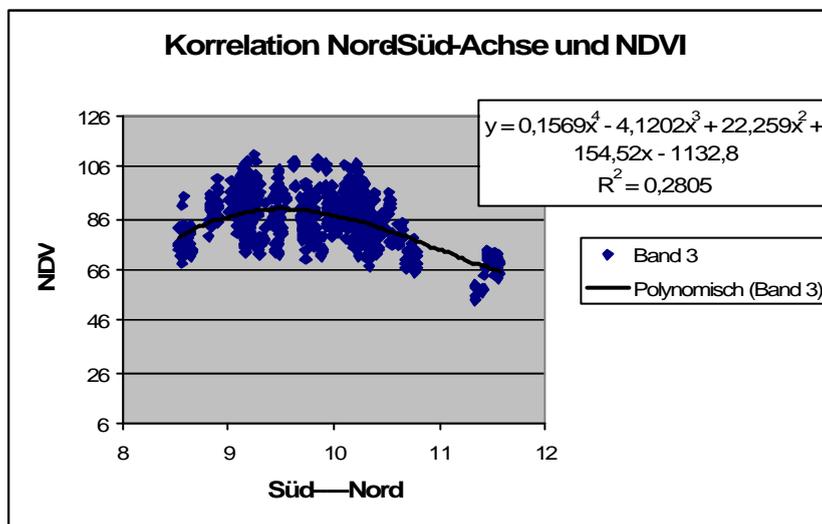
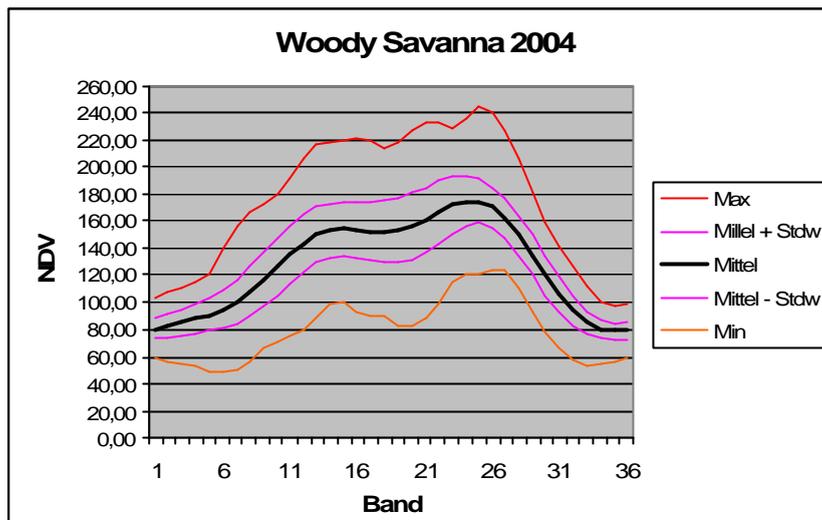


Abbildung 97 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Woody Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2004 Band 3 Band 19

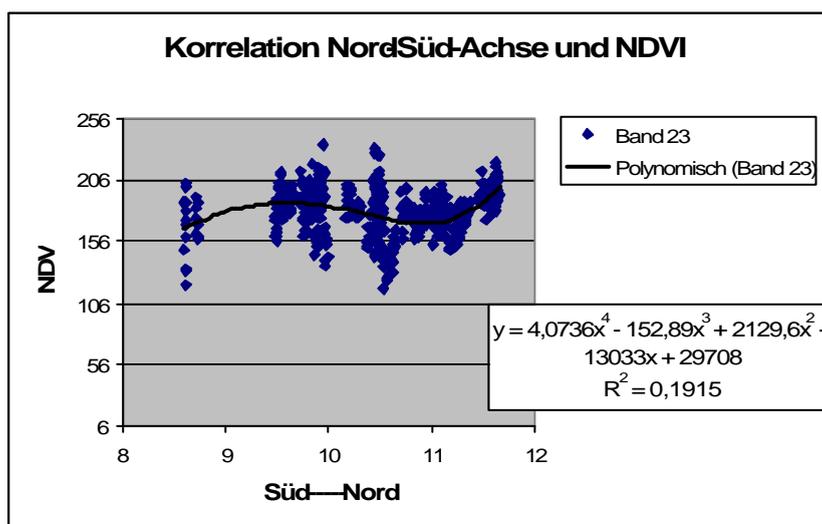
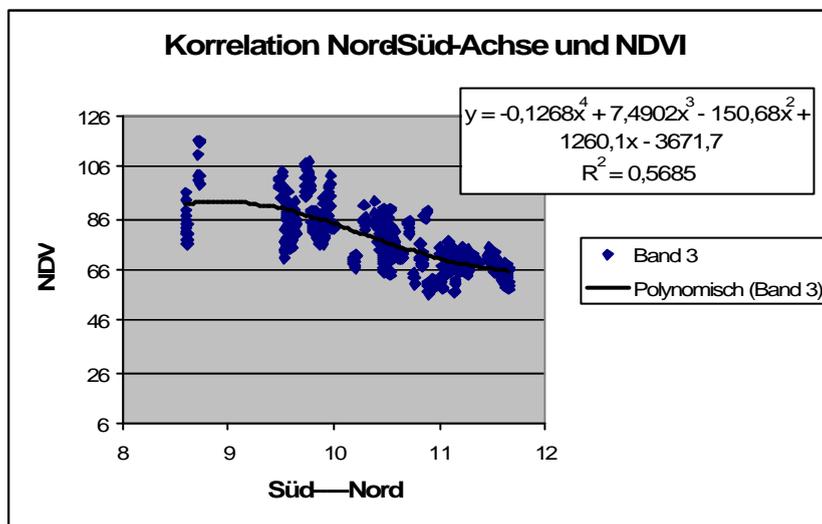
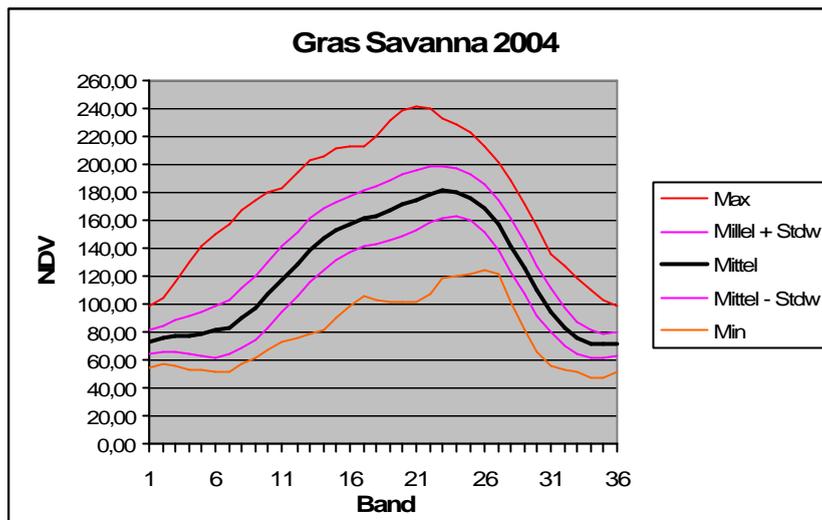


Abbildung 98 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Gras Savanna, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2004 Band 3 Band 19

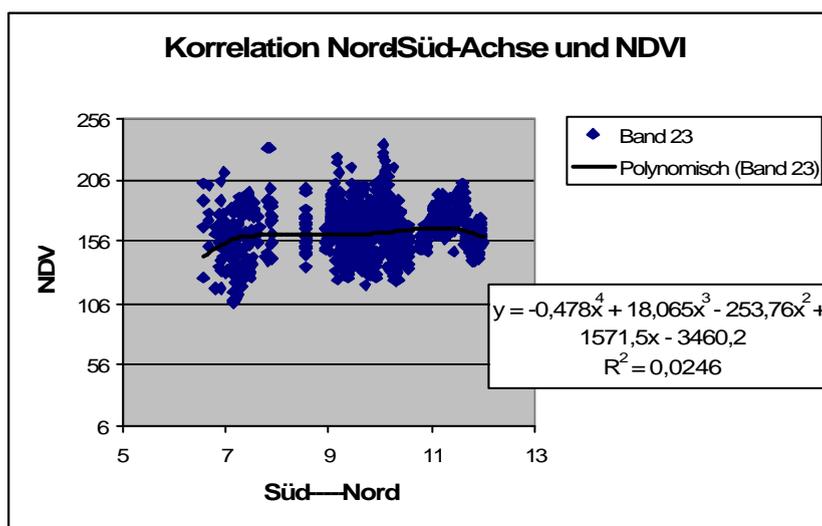
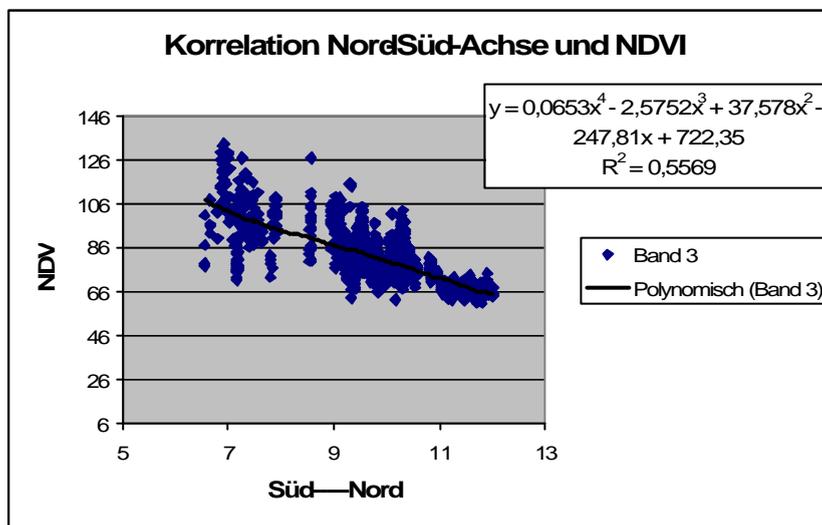
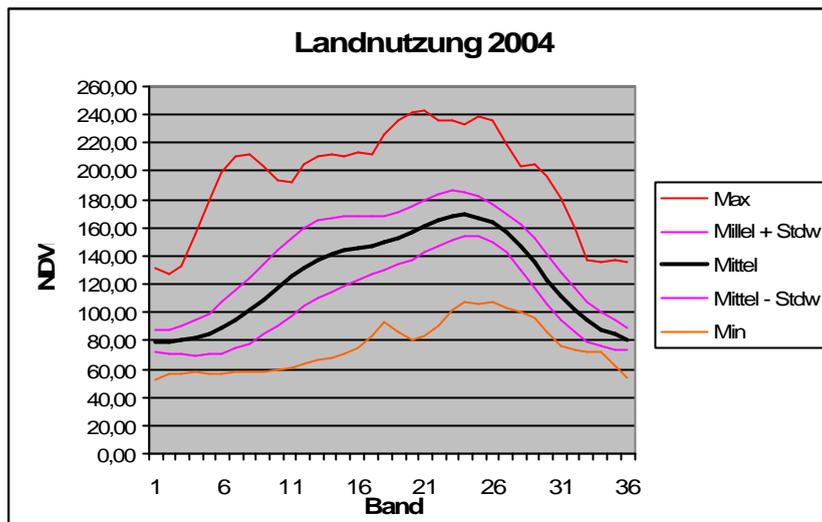


Abbildung 99 Oben Jahresverlauf mit statistischen Werten für Landnutzung, mitte / unten Korrelation NDVI-Werte Süd - Nord - Achse (in Grad) für 2004 Band 3 Band 19

18.4 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003

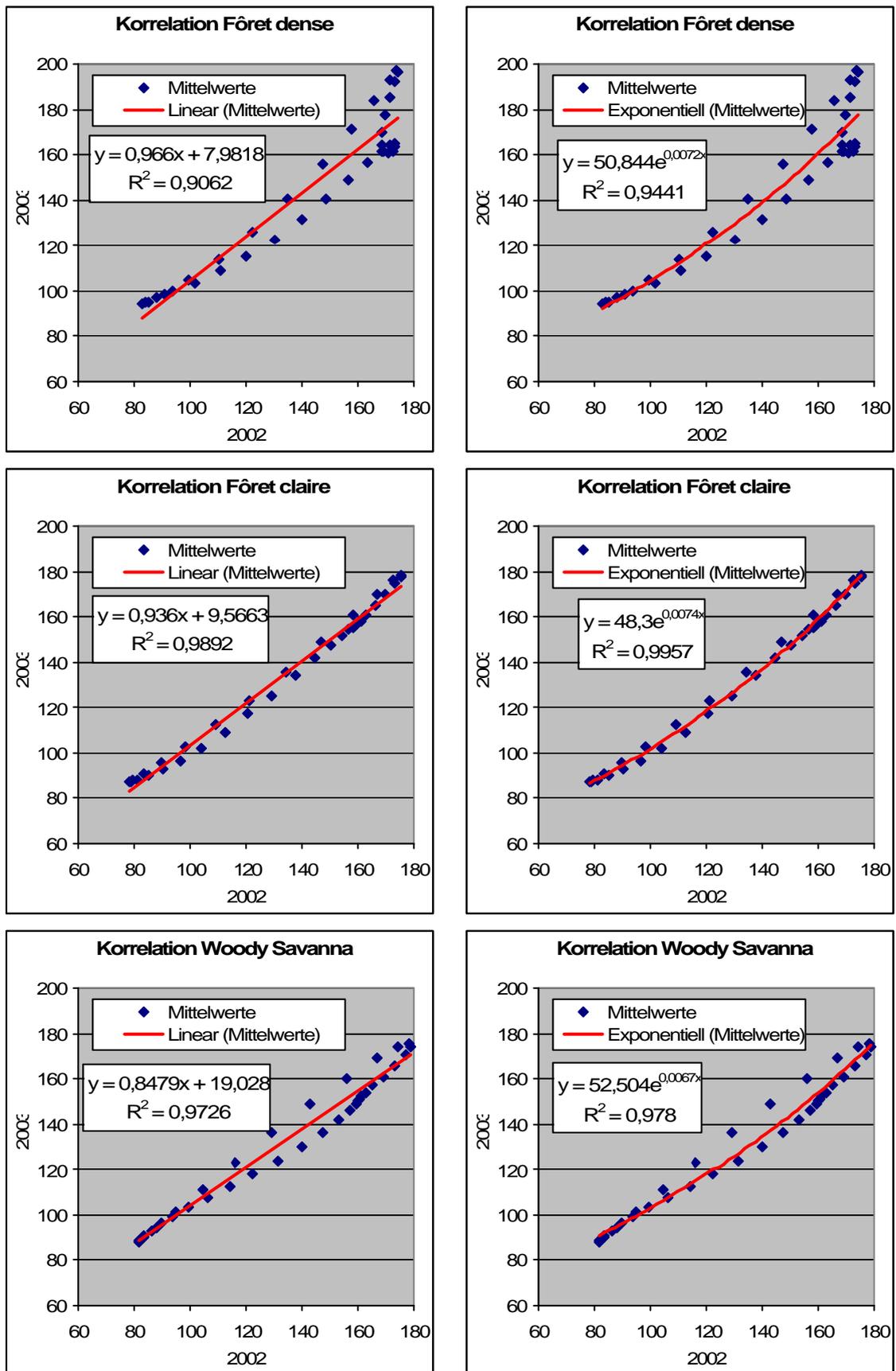


Abbildung 100 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 01

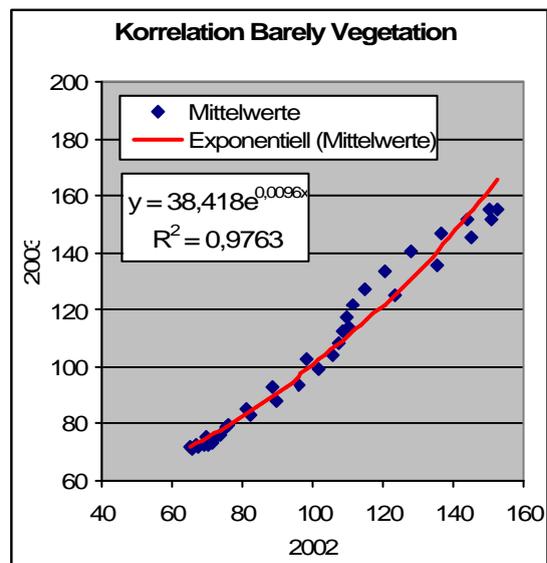
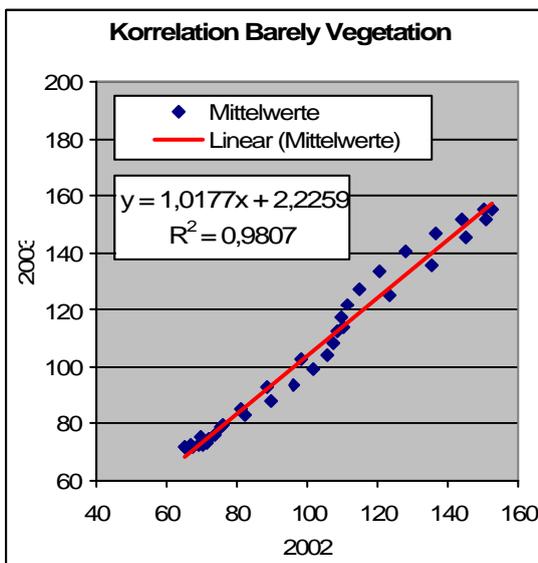
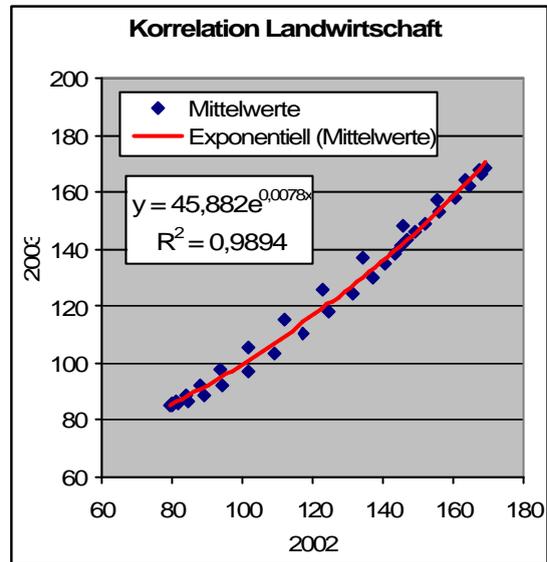
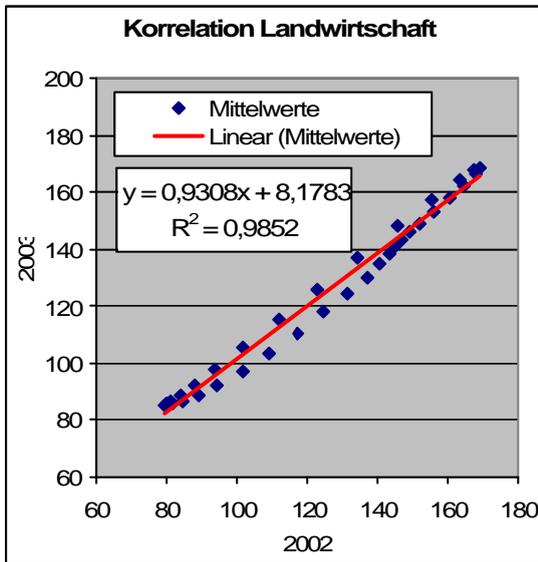
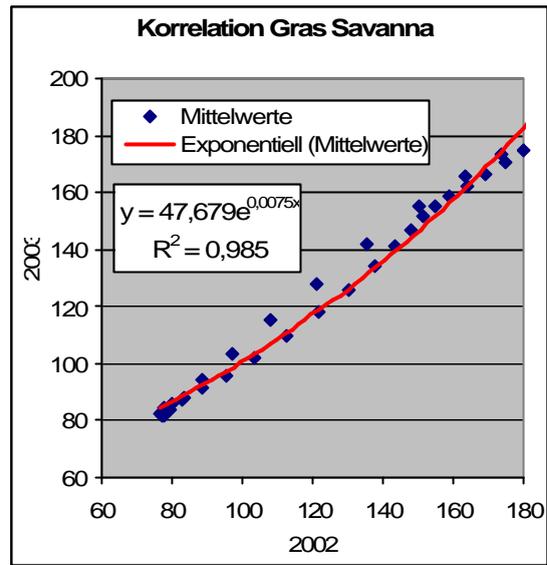
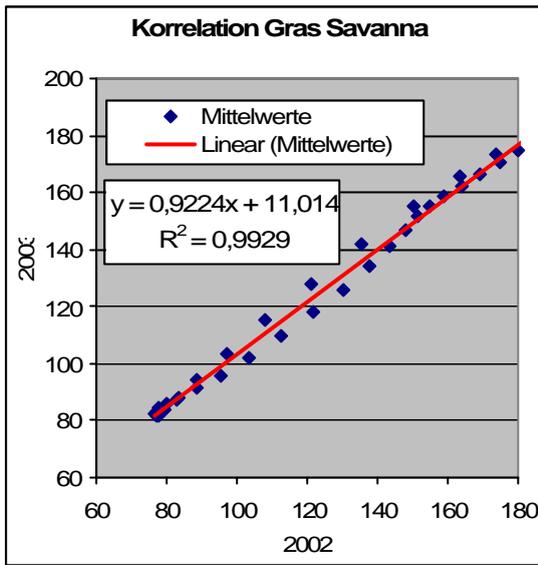


Abbildung 101 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 02

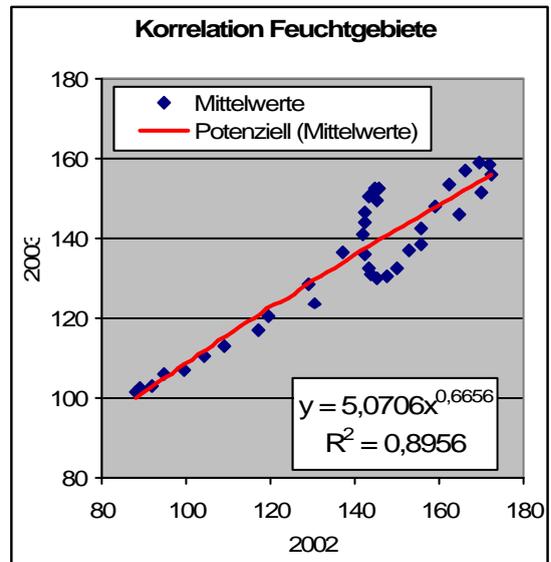
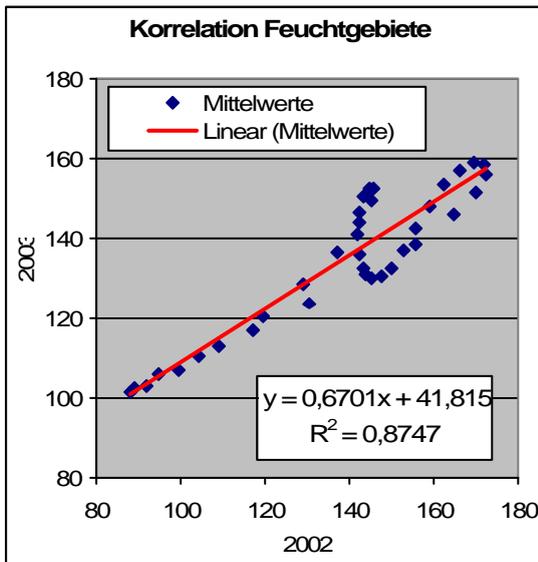
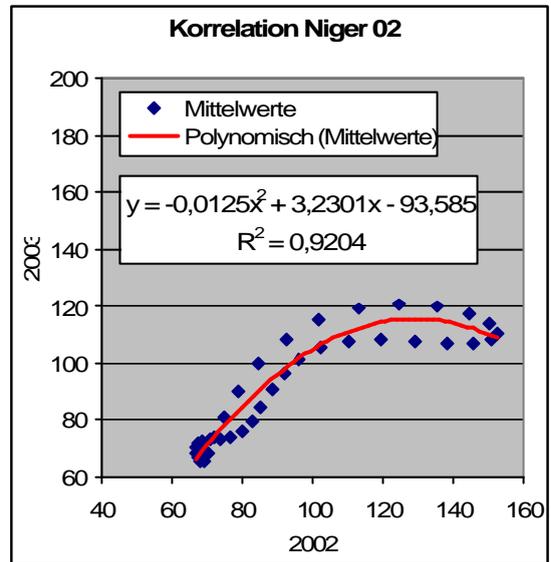
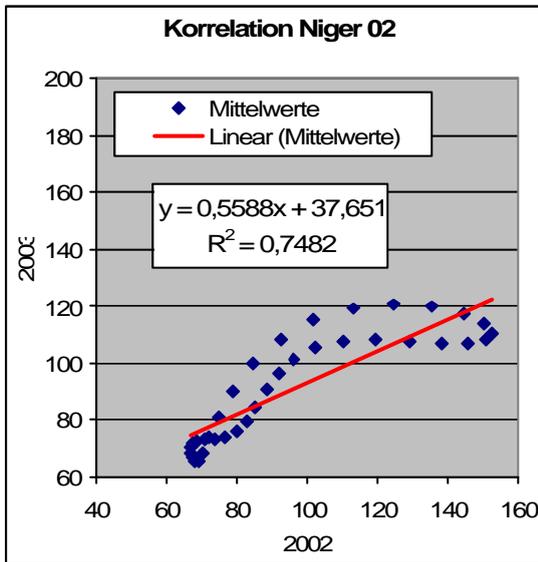
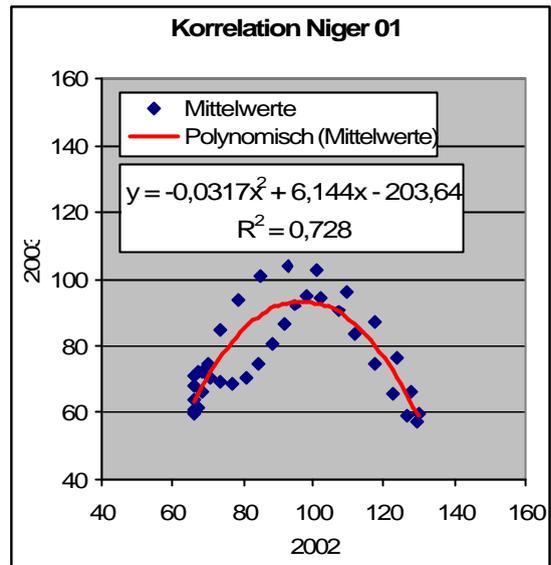
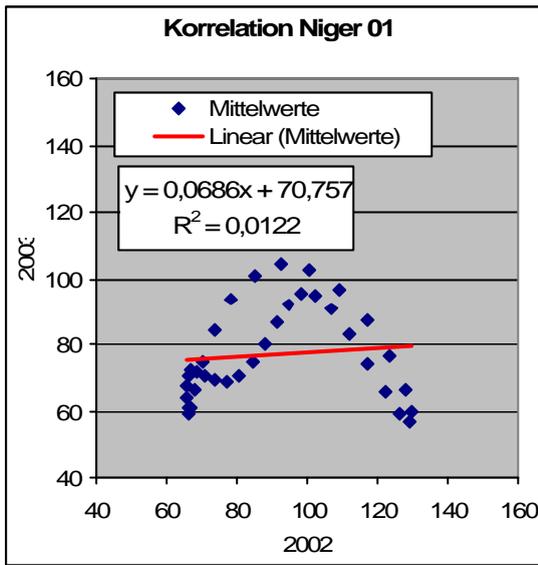


Abbildung 102 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 03

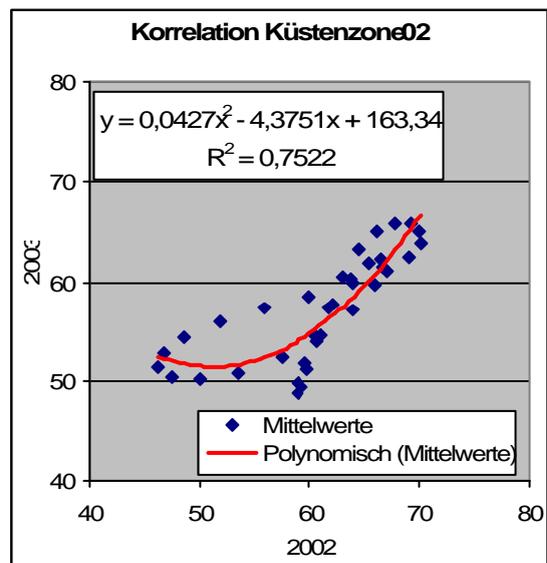
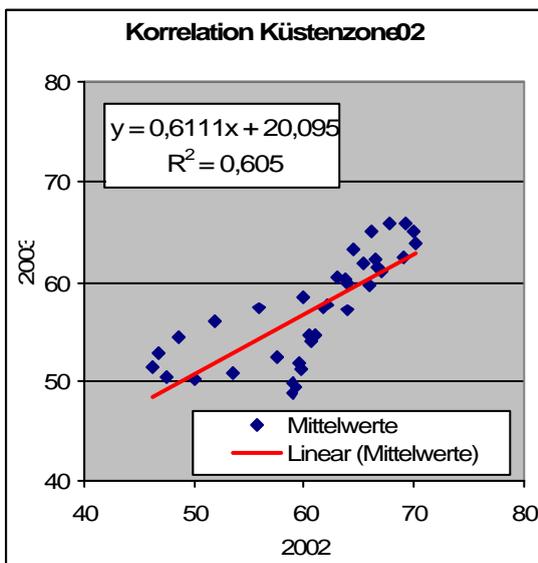
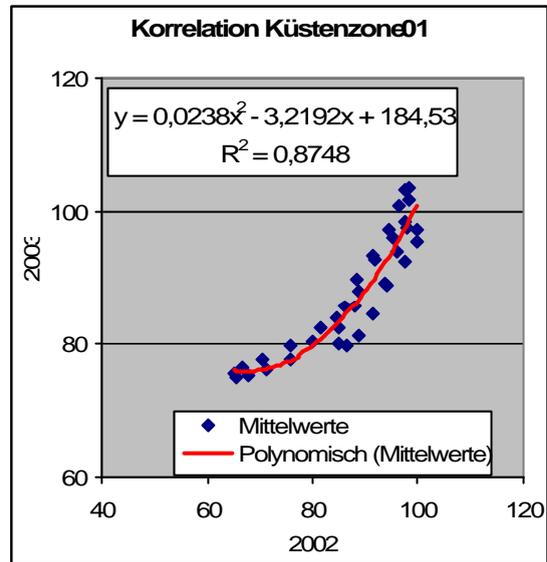
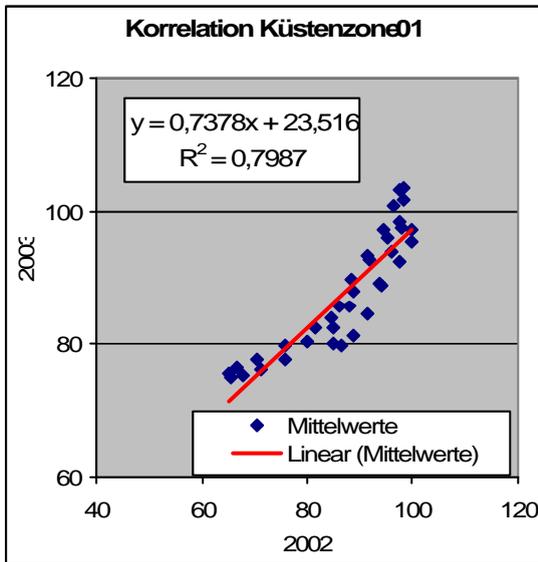
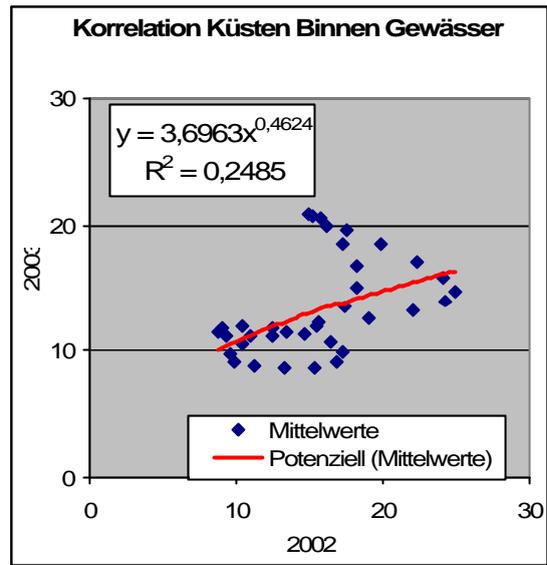
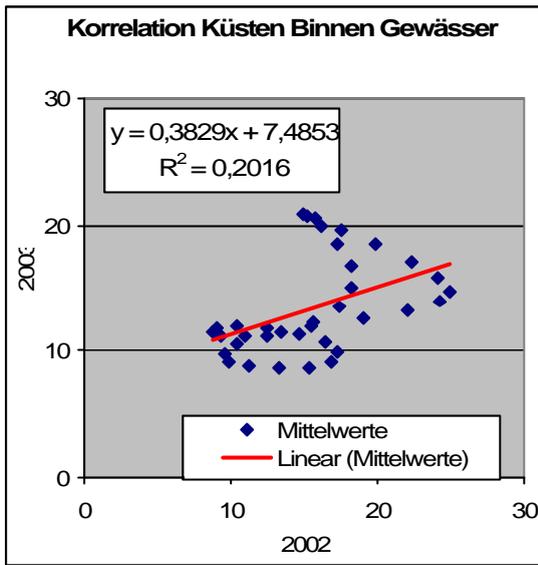


Abbildung 103 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 04

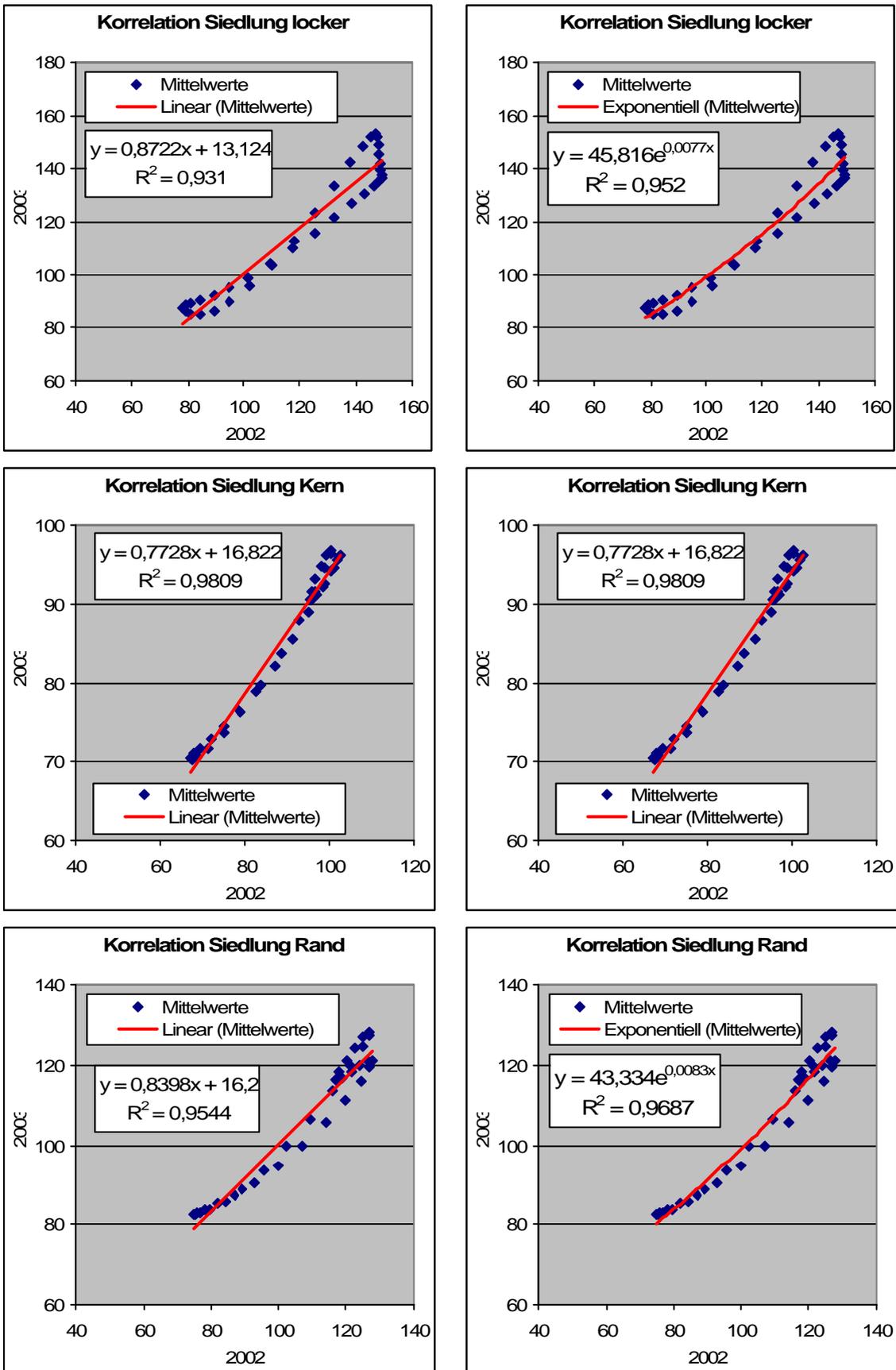


Abbildung 104 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 – 05

18.5 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2004

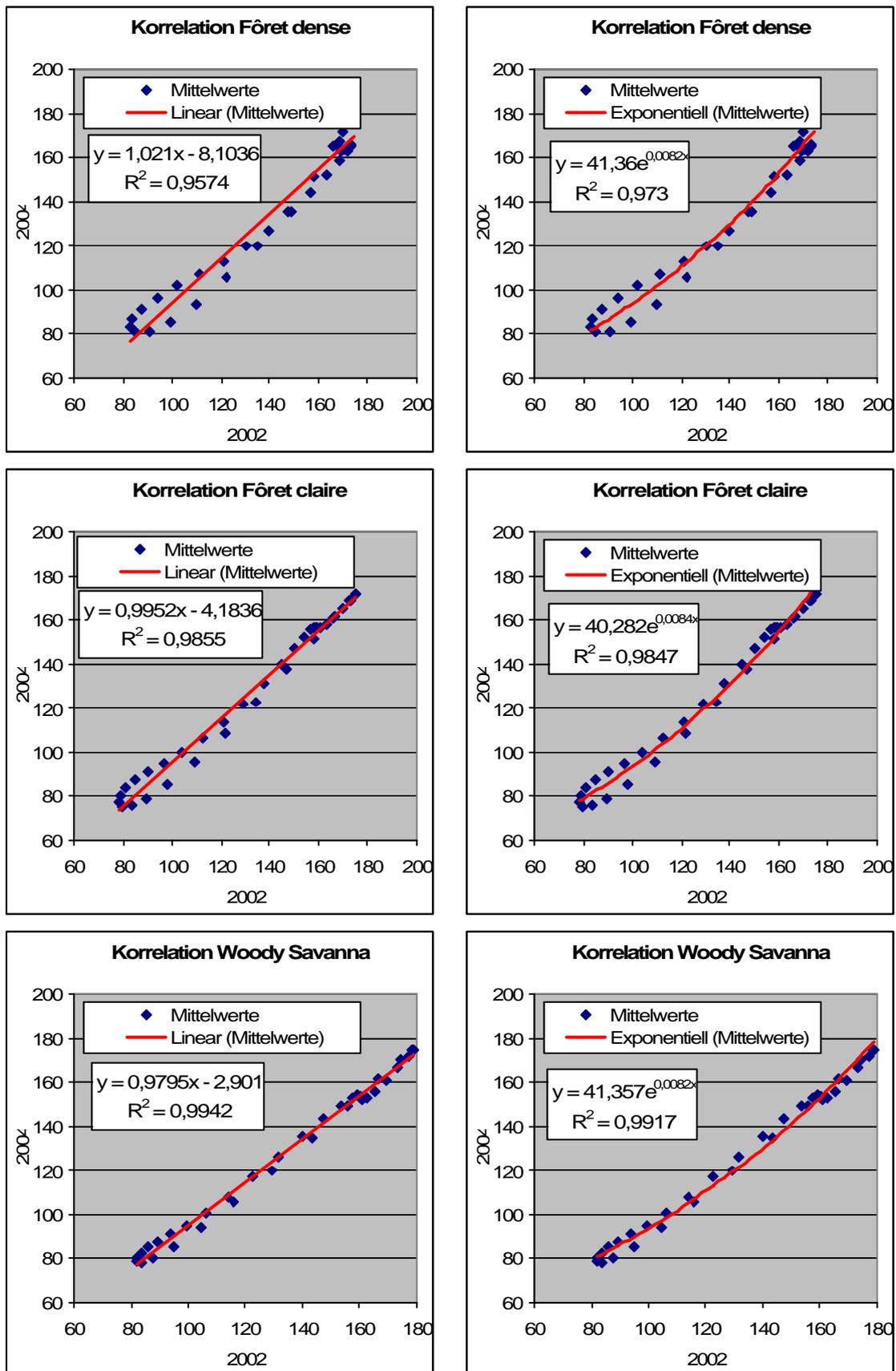


Abbildung 105 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 01

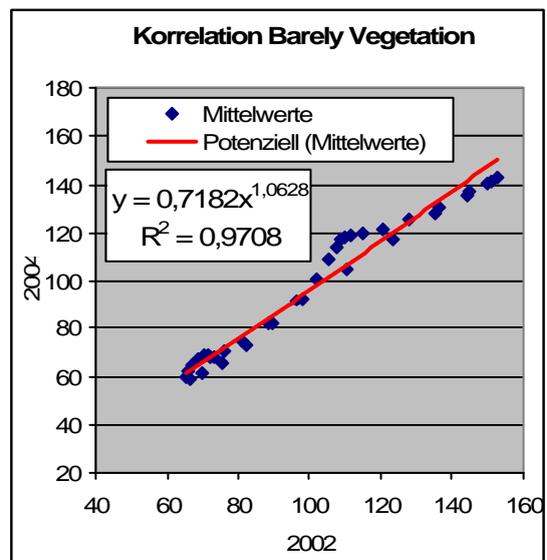
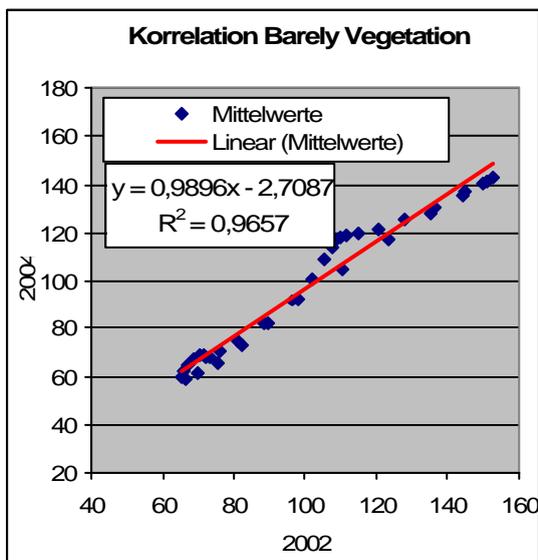
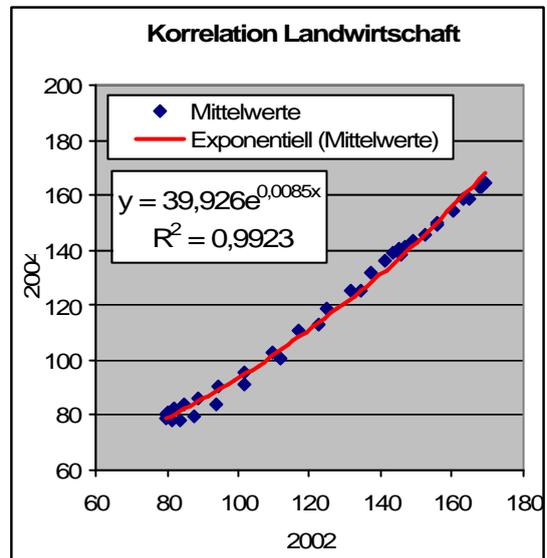
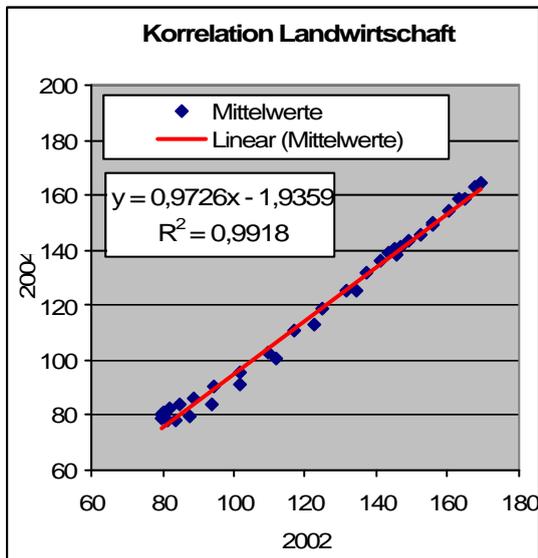
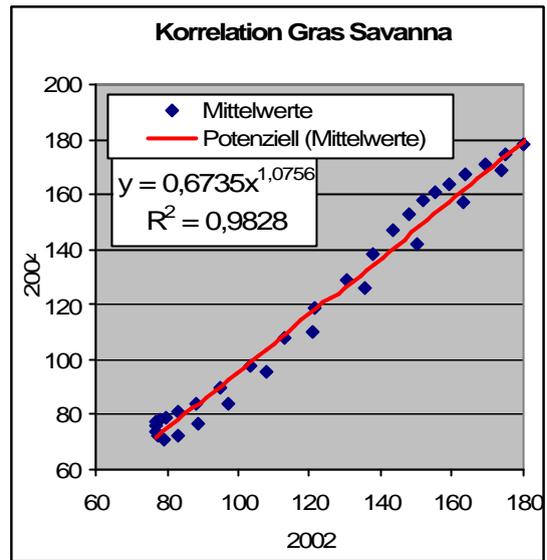
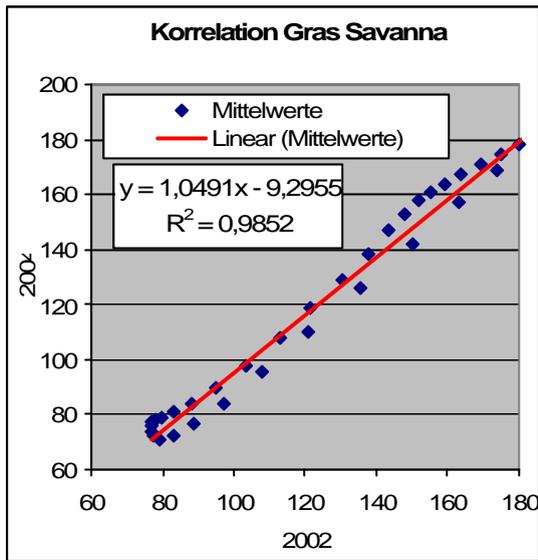


Abbildung 106 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 02

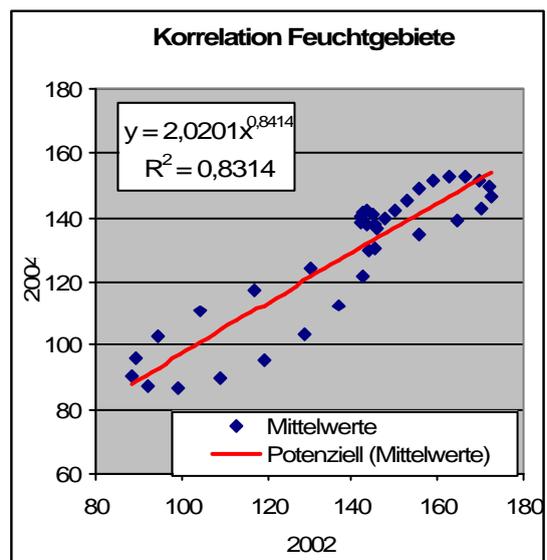
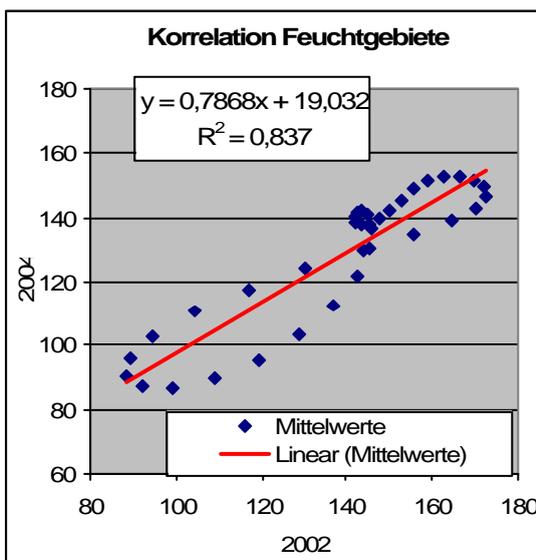
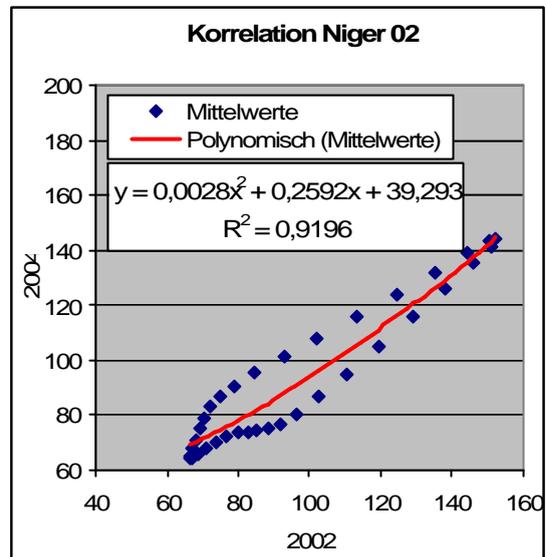
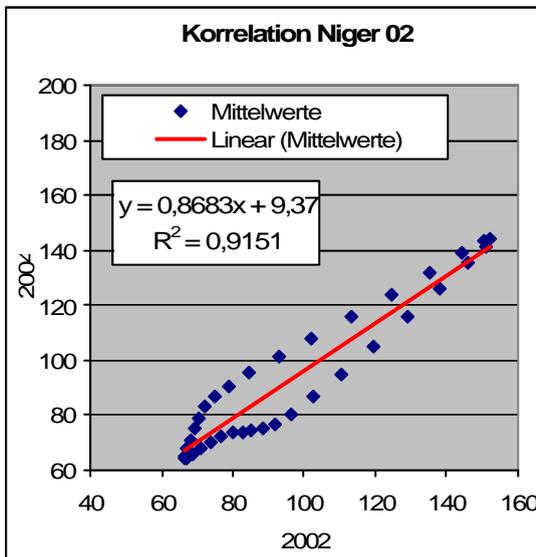
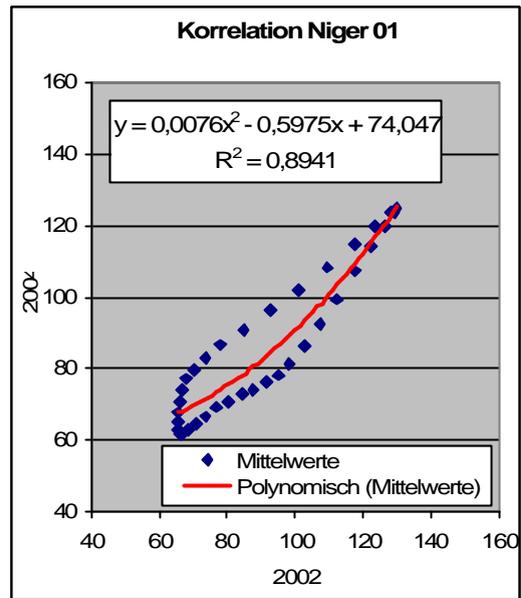
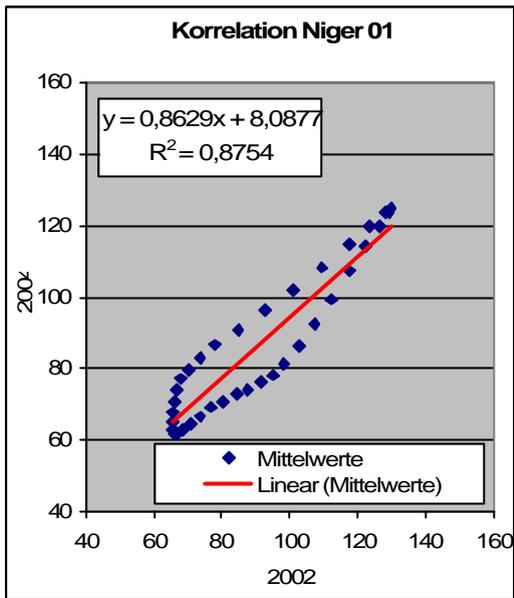


Abbildung 107 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 03

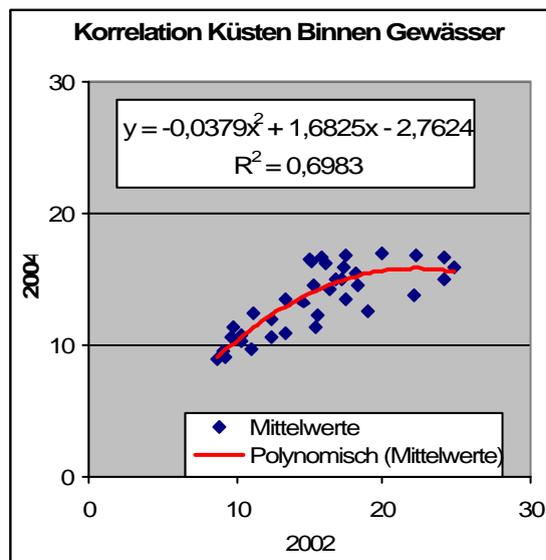
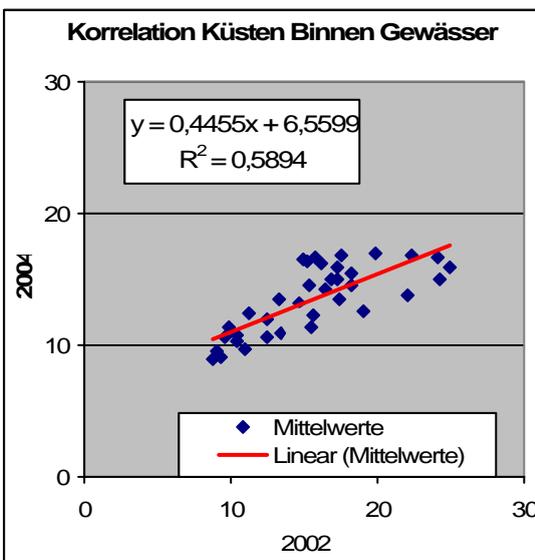
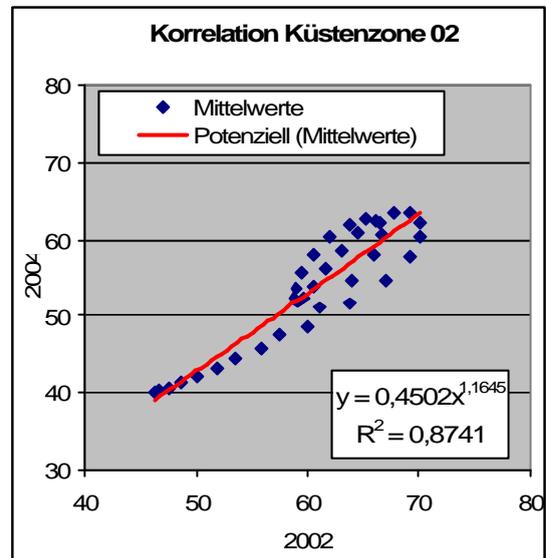
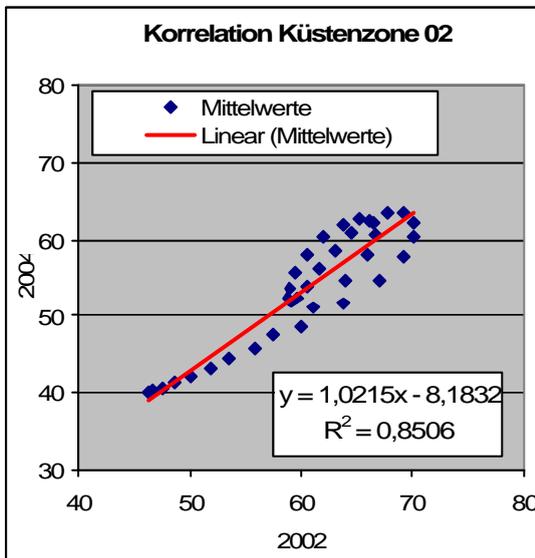
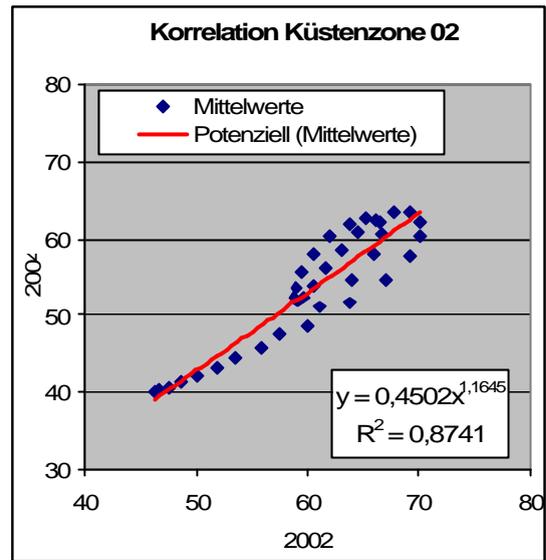
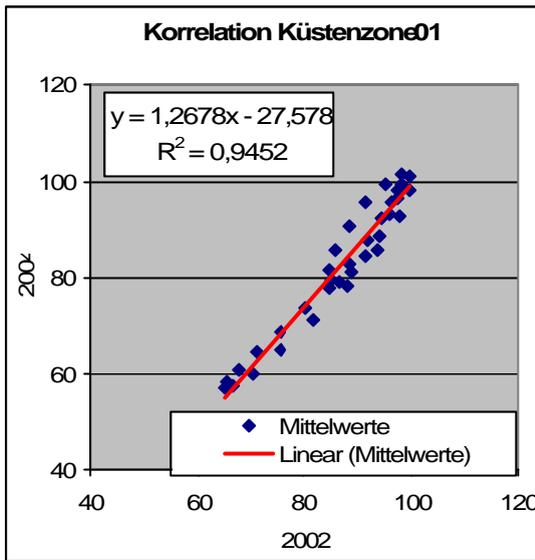


Abbildung 108 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 04

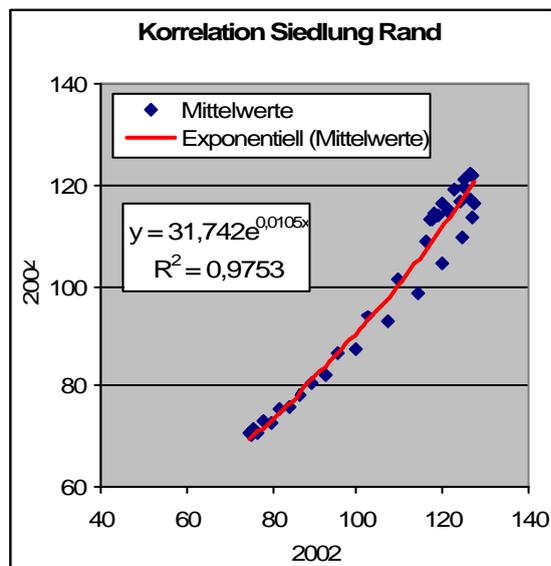
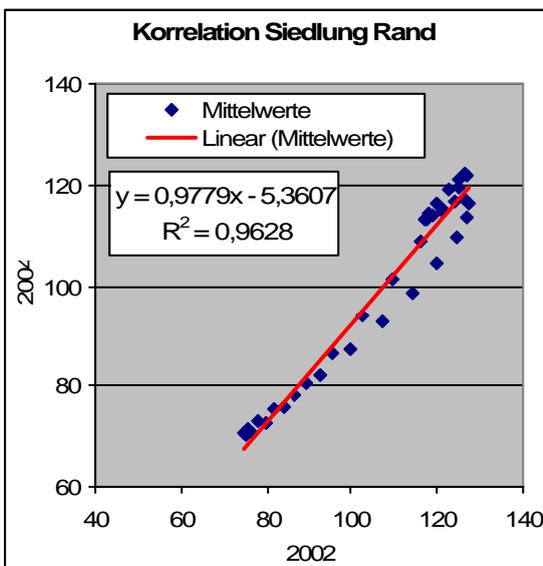
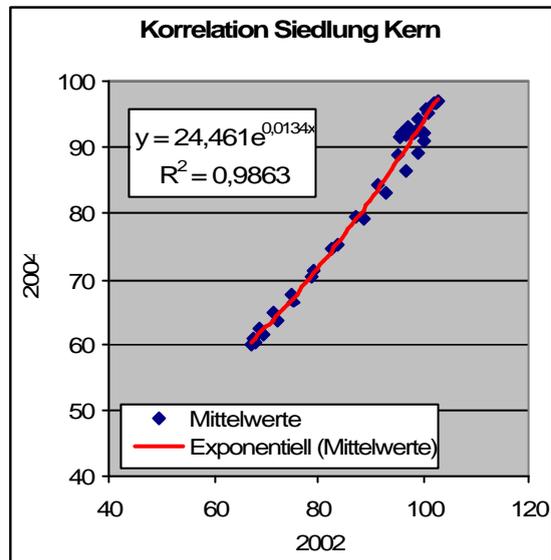
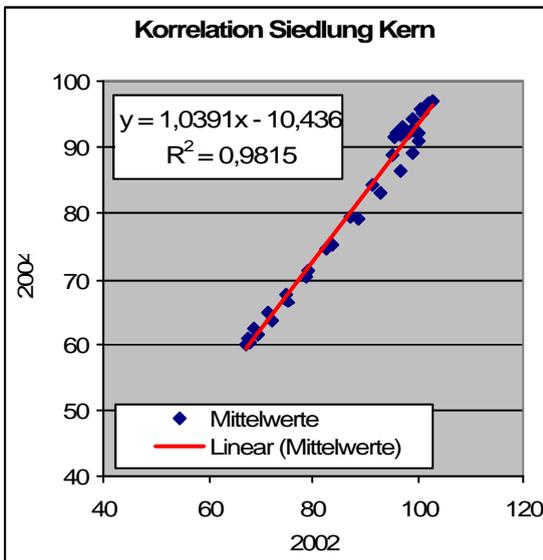
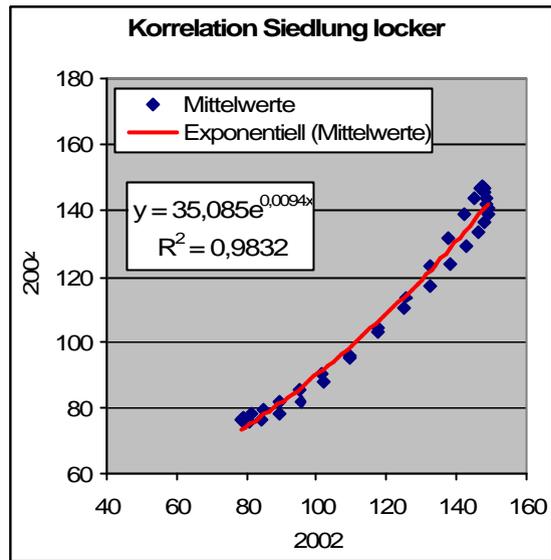
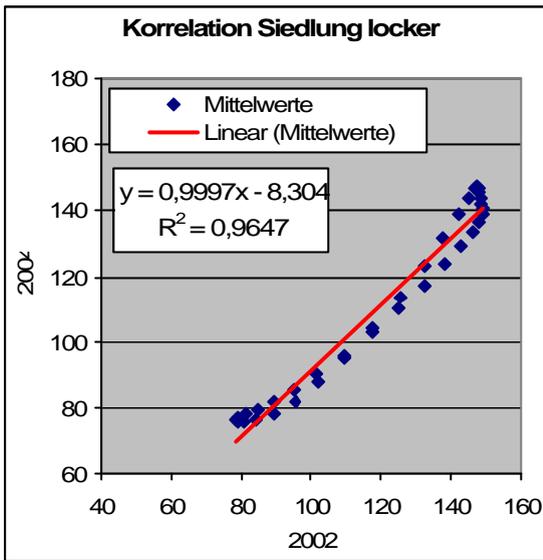


Abbildung 109 Korrelation der Klassen über die NDVI - Mittelwerte für 2002-2003 - 05

18.6 Standardabweichungsellipse SDE1 68%

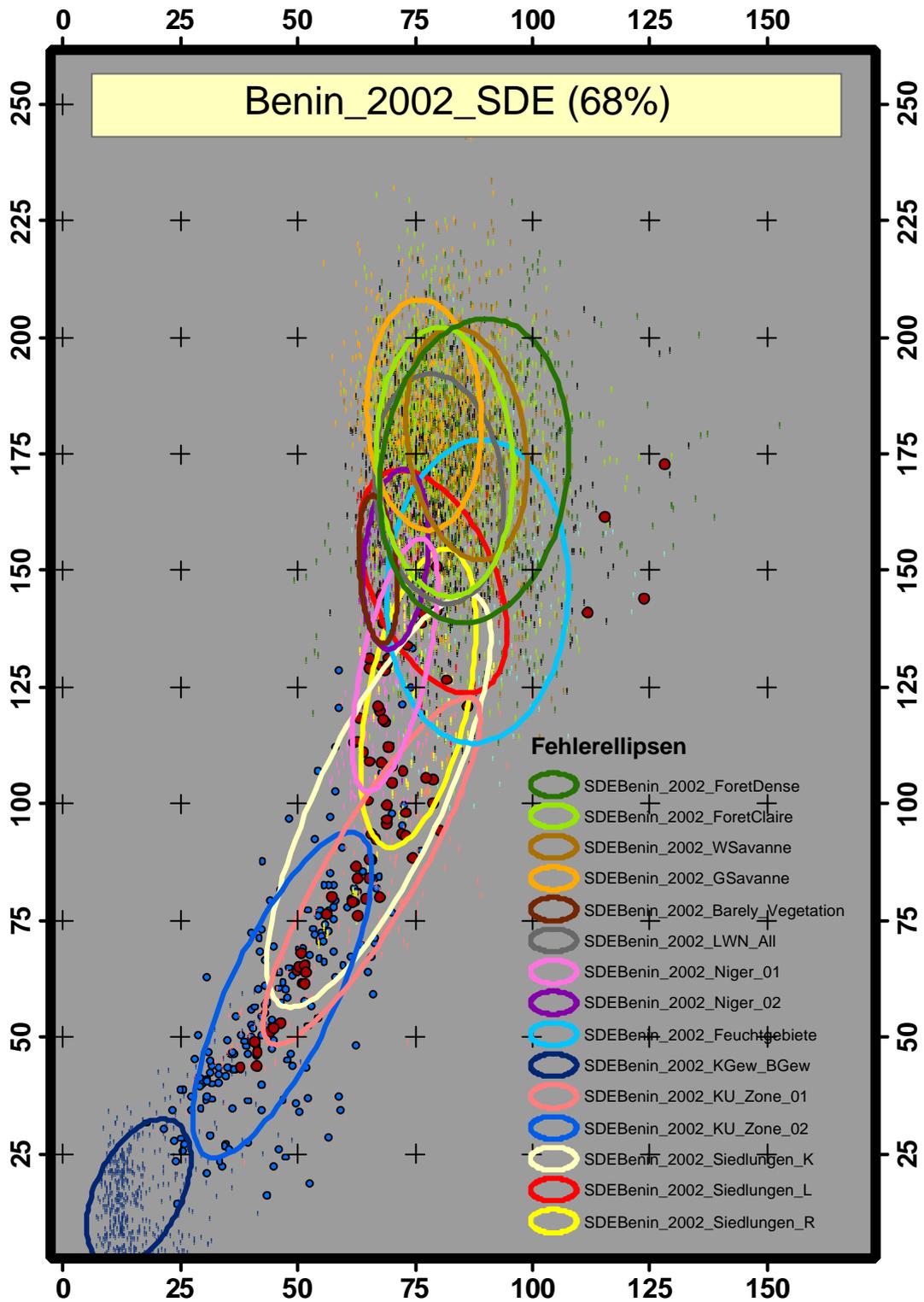


Abbildung 110 Standardabweichungsellipse 2002 SDE 68%

18.7 Standardabweichungsellipse SDE2 95%

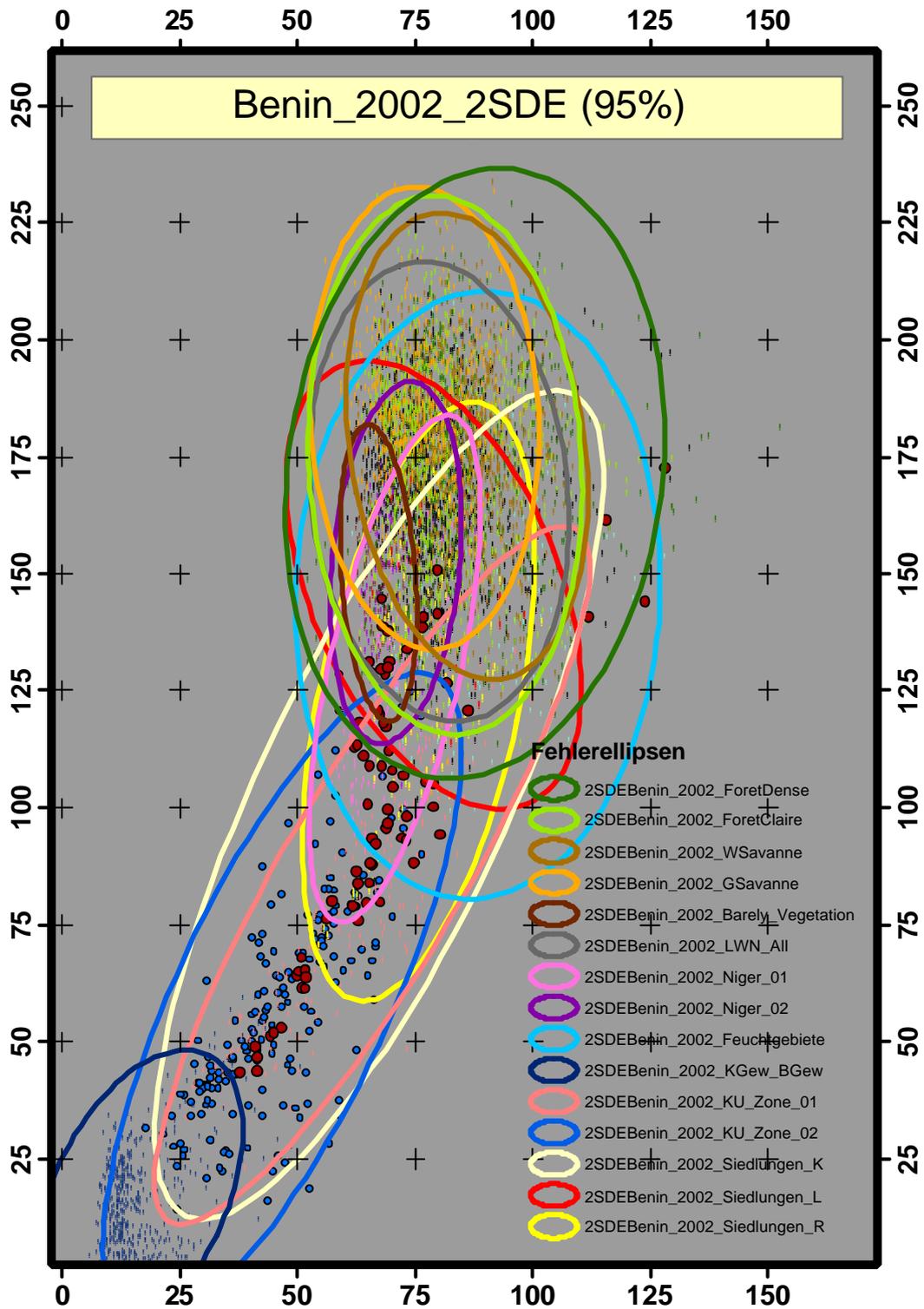


Abbildung 111 Standardabweichungsellipse 2002 SDE 95%

18.8 Statistische Auswertung von CrimeStatIII

CrimeStat gibt immer ein Bezugsmaß aus, daher gilt $m = \text{NDVI}$ und $\text{sq m} = \text{sq NDVI}$.
Der erste Block entspricht SDE1 68%, der zweite SDE2 95% (2X)

Standard Deviatonal Ellipse: Barelay Vegetation

Sample size.....: 133
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 01:59:20 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 85.828595 degrees
Ratio of long to short axis.....: 4.0401

SD along new Y axis: 3.94 m
SD along new X axis: 15.92 m

Y axis length: 7.88 m
X axis length: 31.85 m

Area of ellipse: 197.17 sq m

End time.....: 01:59:20 AM, 04/17/2006

Standard Deviatonal Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 7.88 m
SD along new X axis: 31.85 m

Y axis length: 15.77 m
X axis length: 63.69 m

Area of ellipse: 788.68 sq m

Standard Deviatonal Ellipse: Gras Savanna

Sample size.....: 526
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:02:30 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 87.299789 degrees
Ratio of long to short axis.....: 2.0377

SD along new Y axis: 12.14 m
SD along new X axis: 24.73 m

Y axis length: 24.27 m
X axis length: 49.46 m

Area of ellipse: 942.76 sq m

End time.....: 02:02:30 AM, 04/17/2006

Standard Deviatonal Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 24.27 m
SD along new X axis: 49.46 m

Y axis length: 48.54 m
X axis length: 98.91 m

Area of ellipse: 3771.05 sq m

Standard Deviatonal Ellipse: Niger 01

Sample size.....: 237
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:04:51 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 12.699507 degrees
Ratio of long to short axis.....: 3.9948

SD along new Y axis: 27.73 m
SD along new X axis: 6.94 m

Y axis length: 55.46 m
X axis length: 13.88 m

Area of ellipse: 604.70 sq m

End time.....: 02:04:51 AM, 04/17/2006

Standard Deviatonal Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 55.46 m
SD along new X axis: 13.88 m

Y axis length: 110.92 m
X axis length: 27.77 m

Area of ellipse: 2418.81 sq m

Standard Deviatonal Ellipse:Niger 02

Sample size.....: 136
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:05:39 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 5.376649 degrees
Ratio of long to short axis.....: 2.8636

SD along new Y axis: 19.39 m
SD along new X axis: 6.77 m

Y axis length: 38.78 m
X axis length: 13.54 m

Area of ellipse: 412.43 sq m

End time.....: 02:05:39 AM, 04/17/2006

Standard Deviatonal Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 38.78 m
SD along new X axis: 13.54 m

Y axis length: 77.56 m
X axis length: 27.08 m

Area of ellipse: 1649.72 sq m

Standard Deviatonal Ellipse: Küsten Zone 01

Sample size.....: 201
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:06:45 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 30.379106 degrees
Ratio of long to short axis.....: 4.4106

SD along new Y axis: 43.11 m
SD along new X axis: 9.77 m

Y axis length: 86.22 m
X axis length: 19.55 m

Area of ellipse: 1323.88 sq m

End time.....: 02:06:45 AM, 04/17/2006

Standard Deviatonal Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 86.22 m
SD along new X axis: 19.55 m

Y axis length: 172.45 m
X axis length: 39.10 m

Area of ellipse: 5295.52 sq m

Standard Deviatonal Ellipse: Küsten Zone 02

Sample size.....: 181
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:07:24 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 24.218526 degrees
Ratio of long to short axis.....: 3.3150

SD along new Y axis: 38.10 m
SD along new X axis: 11.49 m

Y axis length: 76.19 m
X axis length: 22.98 m

Area of ellipse: 1375.47 sq m

End time.....: 02:07:24 AM, 04/17/2006

Standard Deviatonal Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 76.19 m
SD along new X axis: 22.98 m

Y axis length: 152.39 m
X axis length: 45.97 m

Area of ellipse: 5501.87 sq m

Standard Deviational Ellipse: Küsten Binnen Gewässer

Sample size.....: 501
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:08:12 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 25.733151 degrees
Ratio of long to short axis.....: 1.8555

SD along new Y axis: 16.96 m
SD along new X axis: 9.14 m

Y axis length: 33.93 m
X axis length: 18.29 m

Area of ellipse: 487.26 sq m

End time.....: 02:08:12 AM, 04/17/2006

Standard Deviational Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 33.93 m
SD along new X axis: 18.29 m

Y axis length: 67.86 m
X axis length: 36.57 m

Area of ellipse: 1949.02 sq m

Standard Deviational Ellipse: Feuchtgebiete

Sample size.....: 136
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:08:59 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 2.383907 degrees
Ratio of long to short axis.....: 1.6784

SD along new Y axis: 32.48 m
SD along new X axis: 19.35 m

Y axis length: 64.97 m
X axis length: 38.71 m

Area of ellipse: 1975.12 sq m

End time.....: 02:08:59 AM, 04/17/2006

Standard Deviational Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 64.97 m
SD along new X axis: 38.71 m

Y axis length: 129.94 m
X axis length: 77.42 m

Area of ellipse: 7900.48 sq m

Standard Deviatonal Ellipse: Fôret claire

Sample size.....: 1247
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:09:55 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 86.547955 degrees
Ratio of long to short axis.....: 2.0077

SD along new Y axis: 14.48 m
SD along new X axis: 29.07 m

Y axis length: 28.96 m
X axis length: 58.15 m

Area of ellipse: 1322.77 sq m

End time.....: 02:09:55 AM, 04/17/2006

Standard Deviatonal Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 28.96 m
SD along new X axis: 58.15 m

Y axis length: 57.93 m
X axis length: 116.30 m

Area of ellipse: 5291.07 sq m

Standard Deviatonal Ellipse: Fôret dense

Sample size.....: 566
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:10:36 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 7.114960 degrees
Ratio of long to short axis.....: 1.6453

SD along new Y axis: 32.76 m
SD along new X axis: 19.91 m

Y axis length: 65.53 m
X axis length: 39.83 m

Area of ellipse: 2049.57 sq m

End time.....: 02:10:36 AM, 04/17/2006

Standard Deviatonal Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 65.53 m
SD along new X axis: 39.83 m

Y axis length: 131.05 m
X axis length: 79.65 m

Area of ellipse: 8198.28 sq m

Standard Deviatonal Ellipse: Siedlung Kern

Sample size.....: 74
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:11:16 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 25.082945 degrees
Ratio of long to short axis.....: 3.6475

SD along new Y axis: 48.47 m
SD along new X axis: 13.29 m

Y axis length: 96.94 m
X axis length: 26.58 m

Area of ellipse: 2023.29 sq m

End time.....: 02:11:16 AM, 04/17/2006

Standard Deviatonal Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 96.94 m
SD along new X axis: 26.58 m

Y axis length: 193.87 m
X axis length: 53.15 m

Area of ellipse: 8093.15 sq m

Standard Deviatonal Ellipse: Siedlung locker

Sample size.....: 22
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:12:00 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 66.920923 degrees
Ratio of long to short axis.....: 1.9241

SD along new Y axis: 13.21 m
SD along new X axis: 25.42 m

Y axis length: 26.42 m
X axis length: 50.84 m

Area of ellipse: 1054.86 sq m

End time.....: 02:12:00 AM, 04/17/2006

Standard Deviational Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 26.42 m
SD along new X axis: 50.84 m

Y axis length: 52.84 m
X axis length: 101.67 m

Area of ellipse: 4219.43 sq m

Standard Deviational Ellipse: Siedlung Rand

Sample size.....: 95
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:12:47 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 11.544328 degrees
Ratio of long to short axis.....: 3.0706

SD along new Y axis: 32.68 m
SD along new X axis: 10.64 m

Y axis length: 65.37 m
X axis length: 21.29 m

Area of ellipse: 1092.96 sq m

End time.....: 02:12:47 AM, 04/17/2006

Standard Deviational Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 65.37 m
SD along new X axis: 21.29 m

Y axis length: 130.74 m
X axis length: 42.58 m

Area of ellipse: 4371.83 sq m

Standard Deviational Ellipse: Landwirtschaft LWN

Sample size.....: 1330
Measurement type.....: Direct
Start time.....: 02:13:26 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 83.236977 degrees
Ratio of long to short axis.....: 1.7846

SD along new Y axis: 13.66 m
SD along new X axis: 24.38 m

Y axis length: 27.32 m
X axis length: 48.76 m

Area of ellipse: 1046.49 sq m

End time.....: 02:13:26 AM, 04/17/2006

Standard Deviatonal Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 27.32 m

SD along new X axis: 48.76 m

Y axis length: 54.65 m

X axis length: 97.53 m

Area of ellipse: 4185.97 sq m

Standard Deviatonal Ellipse: Woody Savanna

Sample size.....: 820

Measurement type.....: Direct

Start time.....: 02:14:22 AM, 04/17/2006

Clockwise angle of Y-axis rotation..: 81.786881 degrees

Ratio of long to short axis.....: 2.0157

SD along new Y axis: 12.47 m

SD along new X axis: 25.13 m

Y axis length: 24.94 m

X axis length: 50.27 m

Area of ellipse: 984.64 sq m

End time.....: 02:14:22 AM, 04/17/2006

Standard Deviatonal Ellipse (2X):

SD along new Y axis: 24.94 m

SD along new X axis: 50.27 m

Y axis length: 49.88 m

X axis length: 100.54 m

Area of ellipse: 3938.56 sq m