

Nutzung von Telemetrie- und Satellitendaten  
zur Identifizierung  
wichtiger Habitate wandernder Vogelarten  
(*Ciconia ciconia*, *Aquila pomarina*)

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
(Dr. rer. Nat.)

der  
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt von  
Birgit Gerkmann  
aus Bottrop

Bonn 2007

Angefertigt mit Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen  
Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn  
[http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online) elektronisch publiziert.

1. Referent: PD Dr. Klaus Riede  
2. Referent: Prof. Wolfgang Wägele

Tag der Promotion: 16.04.2007

Erscheinungsjahr: 2007



# Inhalt

<b>1. Einleitung</b>	1
1.1 Ziele der Arbeit	1
1.2 Tierwanderung und ihre Erforschung	2
1.2.1 Satellitentelemetrie	4
1.2.2 Fernerkundung	5
1.3 Gefahren während der Tierwanderung	7
1.4 Die hier untersuchten Vogelarten und ihre Gefährdungssituation	8
1.4.1 Weißstorch ( <i>Ciconia ciconia ciconia</i> (Linnaeus 1758))	8
1.4.2 Schreiadler ( <i>Aquila pomarina</i> (CL Brehm 1831))	11
1.5 Das Untersuchungsgebiet Afrika (mit Schwerpunkt Ost- und Südafrika)	13
1.5.1 Relief	13
1.5.2 Klima	14
1.5.3 Vegetation	15
<b>2 Material und Methoden</b>	18
2.1 Satellitentelemetrie	19
2.2 Telemetriedaten des Weißstorchs ( <i>Ciconia ciconia</i> )	20
2.2.1 Aufbereitung des Gesamtdatensatzes	21
2.3 Telemetriedaten des Schreiadlers ( <i>Aquila pomarina</i> )	24
2.4 Geografische Informationssysteme (GIS)	24
2.5 Lokalisierung der Rastgebiete	25
2.5.1 Direktionaler Index ( $I_{dir}$ ) zur Unterscheidung von Rast- und Zugdaten	25
2.5.2 Distanzenindex ( $I_{dist}$ ) zur Unterscheidung von Rast- und Zugdaten	27
2.5.3 Mittlere Tagesdistanz zur Lokalisierung der Rast- und Zuggebiete	29
2.5.4 Lokalisierung von Regionen mit vermehrten Positionen	29
2.6 Zeitliche Muster der Weißstorch-Telemetriedaten	31
2.7 Fernerkundungsdaten	31
2.7.1 Global Landcover 2000 zur Habitatanalyse in Afrika	32
2.7.2 CORINE Landcover zur Habitatanalyse in den Brutgebieten	32
2.7.3 Global Lakes and Wetlands Database (GLWD) – Relevanz von Feuchtgebieten	33
2.7.4 NDVI-Daten zur Darstellung der Vegetationsdichte als Einflussfaktor auf die Rast	33
2.7.5 Weitere Datenquellen zur Untersuchung beeinflussender Faktoren	35
2.8 Kombination von Telemetrie- und Satellitendaten	37
2.8.1 Voruntersuchung mit Zufallspunkten und verschiedenen Pufferflächen	37
2.8.2 Habitatanalyse der Telemetriedaten mit GLC und GLWD	40
2.8.3 Habitatanalyse mit CORINE (nur Weißstorchdaten)	40
2.8.4 Verschnitt der Telemetriedaten mit NDVI und weiteren Parametern	41
2.8.5 Zufallspunkte zum Vergleich mit Telemetriedaten	41
2.9 Feldaufenthalte	42
2.9.1 Feldmethoden	44
2.9.2 Auswertung der Felddaten	47
2.10 Zusätzliche Informationsquellen zum Abgleich mit den Ergebnissen	47
2.10.1 Bedeutende Rastgebiete aus der Literatur	47
2.10.2 Important Bird Areas (IBAs)	48
2.10.3 Schutzgebiete	48
2.10.4 RAMSAR-Gebiete und wichtige Rastgebiete von Wasservögeln	49
2.10.5 GROMS-Datenbank	49
2.11 Statistische Tests	50
2.12 Workflow zur Anwendung auf neue/ andere Telemetriedaten	52
<b>3 Ergebnisse</b>	53
3.1 Ergebnisse der Analyse der Weißstorch-Telemetriedaten	53
3.1.1 Telemetriedatensatz des Weißstorchs nach der Aufbereitung	53
3.1.2 Indizes zur Lokalisierung von Rastpunkten	55

3.1.3	Lage von Rast- und Zugdaten nach $I_{dist}$ auf Individuen-Ebene.....	57
3.1.4	Lage der Rast- und Zugregionen.....	59
3.1.5	Lage bedeutender Gebiete mit langen oder vermehrten Aufenthalten.....	62
3.1.6	Lage bedeutender Gebiete nach der Kernel-Homerange Analyse.....	67
3.1.7	Räumliche Muster des Weißstorchzuges.....	69
3.1.8	Zeitliche Muster des Weißstorchzuges.....	71
3.1.9	Auswertung des „Täglich“-Datensatzes von ausgewählten Störchen.....	72
3.2	Kombination mit Fernerkundungsdaten.....	74
3.2.1	Habitatnutzung nach Global Landcover 2000.....	74
3.2.2	Habitatnutzung bei „Täglich“-Datensätzen ausgewählter Störche.....	84
3.2.3	Habitatnutzung in Europa nach CORINE.....	87
3.2.4	Nutzung von Feuchtgebieten während der Rast und des Zuges.....	89
3.2.5	Zusammenhang zwischen dem NDVI und der Rastgebietswahl.....	91
3.2.6	Einfluss von ökologischen und anthropogenen Faktoren auf die Rastgebietswahl... ..	109
3.2.7	Generalized Linear Model als Test relevanter Faktoren auf das Rastverhalten.....	113
3.3	Weißstörche und Schutzgebiete in Afrika.....	114
3.3.1	Luangwa Tal.....	115
3.4	Weißstörche und Important Bird Areas (IBAs) in Afrika.....	116
3.4.1	RAMSAR Gebiete und wichtige Rastgebiete für Wasservögel.....	119
3.5	Analyse der Schreiadler-Telemetriedaten.....	121
3.5.1	Telemetriedaten des Schreiadlers nach der Aufbereitung und Berechnung des Distanzen-Index $I_{dist}$ .....	121
3.5.2	Lage der Rastgebiete nach $I_{dist}$ .....	121
3.5.3	Lage bedeutender Rastgebiete nach der Kernel-Homerange-Analyse.....	124
3.6	Kombination mit Fernerkundungsdaten.....	125
3.6.1	Genutzte Habitats nach GLC 2000.....	125
3.6.2	Nutzung von Feuchtgebieten während der Rast und des Zuges.....	130
3.6.3	Zusammenhang zwischen dem NDVI und der Rastgebietswahl.....	131
3.6.4	Einfluss von ökologischen und anthropogenen Faktoren auf die Rastgebietswahl ..	138
3.6.5	GLM als Test relevanter Faktoren auf das Rastverhalten.....	139
3.7	Schreiadler und Schutzgebiete in Afrika.....	140
3.8	Schreiadler und Important Bird Areas (IBAs).....	141
3.8.1	RAMSAR-Gebiete und wichtige Rastgebiete für Wasservögel.....	142
3.9	Ergebnisse der Feld-Untersuchungen.....	143
3.9.1	Überprüfung der GLC-Habitats mit Bodenkontrollpunkten .....	143
3.9.2	Feldbeobachtungen in Botswana und Südafrika.....	144
3.9.3	Genutzte Habitats der Störche und ihre gesamtökologische Relevanz.....	156
3.9.4	Nahrungsquellen der Weißstörche.....	159
3.10	Vergleich der Ergebnisse mit Daten aus der Literatur.....	163
3.10.1	Weißstorch.....	163
3.10.2	Schreiadler.....	166
<b>4</b>	<b>Diskussion und Konsequenzen für den Naturschutz.....</b>	<b>168</b>
4.1	Auswertung der Telemetriedaten.....	170
4.1.1	Aufbereitung des Telemetriedatensatzes.....	171
4.1.2	Index zur Bestimmung der Rastregionen.....	173
4.1.3	Methoden zur Lokalisierung wichtiger Rastregionen.....	174
4.1.4	Lage wichtiger Rastregionen im Vergleich zur Literatur.....	175
4.2	Verschnitt mit Fernerkundungsdaten.....	177
4.2.1	Beeinflussende Faktoren.....	181
4.3	Relevanz von Schutzgebieten.....	188
4.4	Ergebnisse des Feldaufenthaltes.....	189
4.4.1	Lage der wichtigen Rastregionen.....	189
4.4.2	Genutzte Habitats.....	191
4.4.3	Nahrungsquellen.....	192

4.5 Naturschutzempfehlungen für den Weißstorch.....	193
4.6 Naturschutzempfehlungen für den Schreiadler.....	197
<b>5 Ausblick.....</b>	<b>199</b>
5.1 Fortgeführte Anwendung der erarbeiteten Methoden auf Telemetriedaten.....	199
5.2 Nutzung weiterer Satellitenbildquellen.....	199
5.3 Natur- und Artenschutz vorantreiben.....	200
<b>6 Zusammenfassung / Summary.....</b>	<b>201</b>
<b>7 Literatur.....</b>	<b>207</b>
<b>8 Danksagung.....</b>	<b>225</b>

**Anhang I:** Zugrouten der telemetrierten Vögel

**Anhang II:** Übersicht der Weißstorch-Telemetriedaten je Individuum

**Anhang III:** Lage der Rast- und Zugdaten nach  $I_{dist}$

**Anhang IV:** NDVI in den Rastregionen der Störche

**Anhang V:** NDVI im Sahel und Präsenz der Störche

**Anhang VI:** Habitatklassen in Botswana und Südafrika

**Anhang VII:** Beschreibung der Landbedeckungsklassen in der Global Landcover Karte Afrikas (GLC 2000)

## Abbildungen

<b>Abbildung 1:</b> Verbreitung des Weißstorchs <i>Ciconia ciconia</i> .....	9
<b>Abbildung 2:</b> Verbreitung des Schreiadlers <i>Aquila pomarina</i> .....	12
<b>Abbildung 3:</b> Relief Afrikas .....	13
<b>Abbildung 4:</b> Jährliche mittlere Niederschlagsmenge.....	14
<b>Abbildung 5:</b> Die Lage der fünf Zonobiome in Afrika .....	16
<b>Abbildung 6:</b> Daten und Arbeitsschritte zur Bearbeitung der Weißstorch-Telemetriedaten.....	18
<b>Abbildung 7:</b> Beispiel für einen ARGOS Telemetriedatensatz.....	19
<b>Abbildung 8:</b> Komponenten zur Berechnung des Index $I_{dir}$ .....	27
<b>Abbildung 9:</b> Unterschiede der jeweiligen Flächenanteile bei 1000 Zufallspunkten.....	38
<b>Abbildung 10:</b> Unterschiede der jeweiligen Flächenanteile bei 10 Zufallspunkten.....	39
<b>Abbildung 11:</b> Boxplot mit größter Differenz (in %) zwischen den berechneten Flächenanteilen für die Habitatklassen.....	39
<b>Abbildung 12:</b> Untersuchungsfläche zur Generierung der Zufallspunkte für den Schreiadler.....	42
<b>Abbildung 13:</b> Untersuchungsfläche zur Generierung der Zufallspunkte für den Weißstorch.....	42
<b>Abbildung 14:</b> Lage der Gebiete, in denen Felduntersuchungen durchgeführt wurden.....	43
<b>Abbildung 15:</b> Aufgesuchte Gebiete während des Feldaufenthaltes 2004.....	43
<b>Abbildung 16:</b> Aufgesuchte Gebiete während des Feldaufenthaltes 2005.....	43
<b>Abbildung 17:</b> Diversitätsindex D und dessen gleitender Durchschnitt (Gebiet 7).....	46
<b>Abbildung 18:</b> Diversitätsindex D und dessen gleitender Durchschnitt (Gebiet 1).....	46
<b>Abbildung 19:</b> Weißstorch-Telemetriedaten („Tagesbeste“-Datensatz).....	55
<b>Abbildung 20:</b> Weißstorch-Telemetriedaten („Täglich“-Datensatz).....	55
<b>Abbildung 21:</b> Beispiel einer Einzelzugroute des Storchs mit der Ringnummer E 819.....	58
<b>Abbildung 22:</b> Rastdatensätze des Weißstorchs nach dem Distanzenindex $I_{dist}$ .....	60
<b>Abbildung 23:</b> Zugdaten des Weißstorchs nach $I_{dist}$ .....	61
<b>Abbildung 24:</b> Rastdatensätze des Weißstorchs nach $I_{dist}$ im Mittleren Osten.....	61
<b>Abbildung 25:</b> Durchschnittliche Tageszugleistung je Rastereinheit.....	62

<b>Abbildung 26:</b> Lage der Gebiete mit geringer und hoher Tageszugleistung.....	62
<b>Abbildung 27:</b> Lage der wichtigen Rastregionen im Sahel.....	66
<b>Abbildung 28:</b> Lage der wichtigen Rastregionen im östlichen Afrika.....	66
<b>Abbildung 29:</b> Lage der wichtigen Rastregionen im südlichen Afrika.....	67
<b>Abbildung 30:</b> Lage der wichtigen Rastregionen im Mittleren Osten.....	67
<b>Abbildung 31:</b> Streifgebiet nach der Kernel-Homorange Methode (Weißstorch-Rastdaten).....	68
<b>Abbildung 32:</b> Streifgebiet nach der Kernel-Homorange Methode (Rastdaten ohne Berücksichtigung der Brutgebiete).....	68
<b>Abbildung 33:</b> Streifgebiet nach der Kernel-Homorange Methode (Rastdaten ohne Berücksichtigung der Brutgebiete, $H=2,0$ ).....	69
<b>Abbildung 34:</b> Auftrag der jeweils westlichsten und südlichsten Koordinate.....	70
<b>Abbildung 35:</b> Median der geografischen Breite aller Weißstorch-Individuen.....	72
<b>Abbildung 36:</b> Lage der Breitengrade in Europa und Afrika.....	72
<b>Abbildung 37:</b> Rastdaten nach $I_{dist}$ für den „Täglich“-Datensatz.....	74
<b>Abbildung 38:</b> Zugdaten nach $I_{dist}$ für den „Täglich“-Datensatz.....	74
<b>Abbildung 39:</b> GLC-Klassen für die Untersuchungsfläche des Weißstorchs.....	77
<b>Abbildung 40:</b> Verschnitt der Weißstorch Rast- und Zugdaten mit GLC 2000.....	78
<b>Abbildung 41:</b> GLC-Klassen für die Untersuchungsfläche des Weißstorchs, Zufallspunkte und Rast- und Zugdaten des Weißstorchs .....	80
<b>Abbildung 42:</b> Habitatklassen für die einzelnen Rastregionen der Weißstörche.....	84
<b>Abbildung 43:</b> Landbedeckungsklassen bei Rast- und Zugdaten des Weißstorchs.....	85
<b>Abbildung 44:</b> Übersicht der mit CORINE ausgewerteten Weißstorch-Daten.....	88
<b>Abbildung 45:</b> Habitatnutzung nach CORINE.....	89
<b>Abbildung 46:</b> Feuchtgebiete nach GLWD und ihre Überschneidung mit Rastregionen des Weißstorchs im Tschad und Sudan. ....	90
<b>Abbildung 47:</b> Feuchtgebiete nach GLWD und ihre Überschneidung mit Rastregionen des Weißstorchs im südlichen Afrika. ....	90
<b>Abbildung 48:</b> GLWD-Flächenanteile bei Rast- und Zugdaten des Weißstorchs.....	91
<b>Abbildung 49:</b> Änderung des NDVI im Jahr 1998 je Rastregion des Weißstorchs.....	93
<b>Abbildung 50:</b> Lage der wichtigen Rastregionen des Weißstorchs.....	94
<b>Abbildung 51:</b> NDVI der 2. Dekade für den September der Jahre 1991 bis 2002.....	95
<b>Abbildung 52:</b> NDVI in der Rastregion Abèche und Präsenz von Weißstörchen.....	96
<b>Abbildung 53:</b> Prozentsatz von Störchen, die im Sahel verbleiben, bzw. weiterziehen.....	97
<b>Abbildung 54:</b> NDVI im Tschad und Aufenthalte des Storchs KA 0800 im Oktober 1994.....	98
<b>Abbildung 55:</b> NDVI im Tschad und Aufenthalte des Storchs KA 0800 im November 1994.....	98
<b>Abbildung 56:</b> NDVI im Tschad und Aufenthalte des Storchs KA 0800 im Dezember 1994.....	99
<b>Abbildung 57:</b> NDVI-Wert je Farbabstufung für die Abbildungen 54-56.....	99
<b>Abbildung 58:</b> Aufenthaltsdauer der Störche im Sahel.....	100
<b>Abbildung 59:</b> Aufenthaltsdauer der Störche im östlichen und südlichen Afrika.....	101
<b>Abbildung 60:</b> Aufenthaltsdauer und NDVI des Ankunftstages je Storch.....	102
<b>Abbildung 61:</b> Zugverlauf des Weißstorchs KA 0800 und zugehörige NDVI-Werte.....	103
<b>Abbildung 62:</b> Zugverlauf des Weißstorchs V 6495 und zugehörige NDVI-Werte.....	104
<b>Abbildung 63:</b> Zugverlauf des Weißstorchs V 6497 und zugehörige NDVI-Werte.....	104
<b>Abbildung 64:</b> Zugverlauf des Weißstorchs E 819 und zugehörige NDVI-Werte.....	105
<b>Abbildung 65:</b> NDVI-Werte während des Zugverlaufs des Storchs V 6497 (Rast- und Zugpositionen).....	107
<b>Abbildung 66:</b> NDVI-Werte bei Rast-, Zug-, nicht klassifizierten und zufallsverteilten Daten.....	109
<b>Abbildung 67:</b> Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Höhe.....	111
<b>Abbildung 68:</b> Lage der Schutzgebiete mit längeren Rastaufhalten von Störchen.....	115
<b>Abbildung 69:</b> Ausgewiesene Important Bird Areas (IBAs) in Afrika.....	117
<b>Abbildung 70:</b> Lage von RAMSAR-Gebieten.....	120
<b>Abbildung 71:</b> Lage des Rastgebietes „W-Tansania“ des Schreiadlers 28000.....	123

<b>Abbildung 72:</b> Lage des Rastgebietes „Gezira“ im Sudan des Schreiadlers 27999.....	123
<b>Abbildung 73:</b> Lage der Rastgebiete „Lukanga-Swamp“, „Luangwa“, „Kabwe“ und „Kafue-Flats“ der Schreiadler 28000 und 27999.....	124
<b>Abbildung 74:</b> Lage der Rastgebiete „W-Simbabwe“, „Krüger-NP“, „Gonarezhou“ und „Mosambique“ des Schreiadlers 27999. ....	124
<b>Abbildung 75:</b> Lage von wichtigen Rastregionen nach der Kernel-Homerange Methode.....	124
<b>Abbildung 76:</b> Habitatnutzung beim Schreiadler.....	125
<b>Abbildung 77:</b> Habitatzusammensetzung der von Schreiadlern aufgesuchten Rastgebiete.....	127
<b>Abbildung 78:</b> Flächenanteil bei Rast-, Zug- und Zufallspunkten des Schreiadlers für Offenen laubwerfenden Wald.....	129
<b>Abbildung 79:</b> Flächenanteil bei Rast-, Zug- und Zufallspunkten des Schreiadlers für Kulturflächen.....	129
<b>Abbildung 80:</b> Nutzung von Feuchtgebieten der Schreiadler nach GLWD.....	130
<b>Abbildung 81:</b> NDVI der Tagespositionen bei dem Schreiadler 28000.....	131
<b>Abbildung 82:</b> Änderung des NDVI zwischen Oktober und Dezember 1997 in den Rastgebieten Tansania, Lukanga, Kabwe und Kafue.....	132
<b>Abbildung 83:</b> NDVI der Tagespositionen bei dem Schreiadler 27999 (1997/98).....	133
<b>Abbildung 84:</b> Änderung des NDVI zwischen November 1997 und März 1998 in den Rastgebieten W-Simbabwe, Luangwa und Krüger-NP.....	134
<b>Abbildung 85:</b> NDVI der Tagespositionen bei dem Schreiadler 27999 (1998/99).....	135
<b>Abbildung 86:</b> Änderung des NDVI zwischen Dezember 1998 und Januar 1999 in den Rastgebieten Tansania, Simbabwe und Mosambique.....	135
<b>Abbildung 87:</b> Aufenthaltsdauer der Schreiadler in Abhängigkeit vom NDVI.....	136
<b>Abbildung 88:</b> Mittlerer NDVI bei Schreiadlerdaten.....	138
<b>Abbildung 89:</b> Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Höhe.....	139
<b>Abbildung 90:</b> Lage von Schutzgebieten mit Rastdaten des Schreiadlers.....	141
<b>Abbildung 91:</b> Landbedeckungstypen, die mit GLC 2000 (nicht) übereinstimmen.....	144
<b>Abbildung 92:</b> Weißstorch-Telemetriedaten und die während des Feldaufenthaltes 2005 aufgesuchten Regionen in Botswana.....	145
<b>Abbildung 93:</b> Weißstorchsichtungen in Botswana während des Feldaufenthaltes 2005.....	146
<b>Abbildung 94:</b> Landsat 7 Szene vom 10.10.1999 aus Nord-Botswana.....	151
<b>Abbildung 95:</b> Landsat 7 Szene vom 10.10.1999 (Ausschnitt).....	151
<b>Abbildung 96:</b> Lage der Telemetriedaten in Südafrika und aufgesuchte Gebiete.....	152
<b>Abbildung 97:</b> Feldbeobachtungen und Weißstorchsichtungen in Südafrika.....	153
<b>Abbildung 98:</b> Anzahl der im Feld aufgenommenen Vegetationstypen im Vergleich zur Gesamtanzahl der dort beobachteten Störche.....	156
<b>Abbildung 99:</b> Anzahlen der in Botswana und Südafrika beobachteten Weißstörche.....	158
<b>Abbildung 100:</b> Zusammensetzung der Gewölle aus Hoopstad und Woodlands.....	160
<b>Abbildung 101:</b> Cairn's Diversitätsindex der Kescherfänge in Botswana und Südafrika.....	161
<b>Abbildung 102:</b> Lage der Orte, an denen Kescherfänge durchgeführt wurden.....	161
<b>Abbildung 103:</b> Rastgebiete des Weißstorchs nach der Literatur im Vergleich zur Lage der Telemetrie-Rastdaten.....	164
<b>Abbildung 104:</b> Rastgebieten des Schreiadlers nach der Literatur im Vergleich zur Lage der Telemetrie-Rastdaten.....	167
<b>Abbildung 105:</b> Artenzahlen wandernder Tierarten im eurasisch-afrikanischem nach GROMS.....	169
<b>Abbildung 106:</b> Artenzahlen wandernder Tierarten weltweit nach GROMS.....	169
<b>Abbildung 107:</b> Gebiete im Sahel mit mittlerem monatlichen Niederschlag unter 20 mm.....	185
<b>Abbildung 108:</b> Temperaturverhältnisse im November im südlichen Afrika und Lage der Schreiadler-Rastdaten bzw. Zufallspunkte.....	187
<b>Abbildung 109:</b> Lage des Feuchtgebietes nach GLWD in der Rastregion Ngamiland.....	190



## Tabellen

<b>Tabelle 1:</b> Kriterien zur Unterscheidung zwischen gerichteter und ungerichteter Bewegung.....	28
<b>Tabelle 2:</b> GLWD-Klassen mit ihrer Übersetzung ins Deutsche.....	33
<b>Tabelle 3:</b> NDVI-Werte verschiedener Vegetationstypen.....	34
<b>Tabelle 4:</b> Kanäle (Wellenlängenbereiche) des Landsat Thematic Mappers.....	37
<b>Tabelle 5:</b> Größenklassen zur Erstellung von Pufferflächen der IBAs.....	48
<b>Tabelle 6:</b> Signifikanzniveaus nach Dytham (2003).....	50
<b>Tabelle 7:</b> Übersicht der dokumentierten Zugrouten der Weißstörche.....	54
<b>Tabelle 8:</b> Vergleich zwischen Idist und Idir.....	57
<b>Tabelle 9:</b> Abhängigkeit der südlichsten Rastposition von der westlichsten Position.....	71
<b>Tabelle 10:</b> Habitatklassen in GLC 2000 und ihre Übersetzung ins Deutsche.....	75
<b>Tabelle 11:</b> Bevorzugung (+) und Meidung (-) bestimmter Habitate während des Zuges und der Rast .....	81
<b>Tabelle 12:</b> Klassen mit signifikanten Unterschieden bei „Täglich“ und „Tagesbeste“-Daten.....	86
<b>Tabelle 13:</b> Tendenzen des NDVI während des Zugverlaufs einzelner Individuen.....	106
<b>Tabelle 14:</b> Zusammenfassende Ergebnisse der Abschnitte 3.2.5.e-f.....	109
<b>Tabelle 15:</b> Mittelwerte der untersuchten ökologischen und anthropogenen Faktoren.....	111
<b>Tabelle 16:</b> Mittelwerte der untersuchten ökologischen und anthropogenen Faktoren („Täglich“-Datensatz).....	112
<b>Tabelle 17:</b> Signifikanzniveaus der einzelnen Parameter im GLM (Weißstorch).....	113
<b>Tabelle 18:</b> Important Bird Areas mit längeren oder vermehrten Weißstorch-Aufenthalten.....	118
<b>Tabelle 19:</b> Präferenzen (+) und Meidung (-) von Habitaten nach GLC.....	129
<b>Tabelle 20:</b> Unterschiede zwischen Schreiadler-Rast- und Zugdaten.....	138
<b>Tabelle 21:</b> Signifikanzniveaus der einzelnen Parameter im GLM (Schreiadler).....	140
<b>Tabelle 22:</b> Vergleich zwischen Literaturoswertung und Telemetriedaten-Auswertung.....	166
<b>Tabelle 23:</b> Vor- und Nachteile bei der Verwendung des Index Idist.....	174
<b>Tabelle 24:</b> Übereinstimmungen mit der Literatur und Einschränkungen bei der Identifizierung wichtiger Rastregionen.....	175
<b>Tabelle 25:</b> Vor- und Nachteile bei der Verwendung der GLC 2000-Karte zur Habitatanalyse....	178
<b>Tabelle 26:</b> Übereinstimmungen mit der Literatur und Diskrepanzen bei der Habitatanalyse für den Weißstorch.....	180
<b>Tabelle 27:</b> Übereinstimmungen mit der Literatur und Diskrepanzen bei der Habitatanalyse für den Schreiadler.....	181
<b>Tabelle 28:</b> Bestätigung und Einschränkungen möglicher beeinflussender Faktoren auf den Zugverlauf.....	188
<b>Tabelle 29:</b> Überprüfung der Ergebnisse aus der Analyse der Telemetrie- und Fernerkundungsdaten mithilfe von Feldbeobachtungen.....	193

# 1 Einleitung

## 1.1 Ziele der Arbeit

Der Schutz wandernder Tierarten stellt eine besondere Herausforderung dar, da die Tiere unterschiedliche Gebiete – oft in verschiedenen Teilen der Welt - für Fortpflanzung, Rast und Nahrungsaufnahme nutzen. Schutzmaßnahmen erfordern die Kenntnis des Wanderverhaltens und der spezifischen Ansprüche an diese Gebiete. Zugleich besteht ein rascher Handlungsbedarf, da in zunehmenden Maße geeignete Habitate verloren gehen, sei es durch aktive Eingriffe des Menschen oder indirekte Folgen seines Handelns in Form von Habitatveränderung und -zerstörung, bis hin zu Klimaveränderungen.

Die Forschung im Bereich wandernde Tierarten ist jedoch sehr heterogen. So ist die genaue Zahl der wandernden Tierarten nicht bekannt. Sie wird in RIEDE (2001) zwischen 4000 und 6000 geschätzt. In vielen Tiergruppen sind nur ausgewählte Arten bearbeitet, zu anderen wie beispielsweise asiatischen Antilopenarten fehlen Informationen gänzlich. Vögel gehören zwar zu den bestuntersuchten Tiergruppen weltweit, dennoch gibt es auch hier noch zahlreiche offene Fragen, beispielsweise zu Navigation und Orientierung (BERTHOLD 2000). Da der Kenntnisstand über Vögel jedoch im Vergleich zu anderen Tiergruppen sehr gut ist, eignen sie sich gut als Indikatoren zum Aufzeigen von Umweltveränderungen (FURNESS, GREENWOOD et al. 1993). Vögel reagieren zudem sehr sensitiv auf Umweltveränderungen und können daher als Bioindikatoren für den Zustand eines Ökosystems fungieren (GOTTSCHALK, HUETTMANN et al. 2005).

Traditionell dienten Feldbeobachtungen oder Beringung von Vögeln zur Aufklärung der Wanderbewegungen. Diese erfordern allerdings einen hohen zeitlichen Aufwand und sind in einigen Teilen der Welt nicht durchführbar, sodass Lücken in der Kenntnis von Zugrouten und Rastaufenthalten bleiben. Die Satellitentelemetrie – die Ausrüstung einzelner Tiere mit Sendern – stellt Positionsdaten per Satellitentechnik bereit, die jederzeit und überall über Satellit abrufbar sind. Sie ermöglicht eine bisher unerreichte zeitliche und räumliche Auflösung des Zuggeschehens. Darüber hinaus sind wir in der Lage, über zahlreiche und unterschiedlichste Fernerkundungssysteme auch für unzugängliche Regionen Bilder der Landoberfläche zu erhalten, die oftmals als einzige Quelle für Habitatinformationen dienen (GOTTSCHALK, HUETTMANN et al. 2005).

In der vorliegenden Arbeit wurden diese beiden Techniken interdisziplinär genutzt, um an die Forderungen des „Übereinkommens zum Schutz wandernder Tierarten“ („Convention on Migratory Species“, CMS) anzuknüpfen. In dessen Rahmen verpflichten sich die Vertragsstaaten – und unter ihnen auch Deutschland – dem aktiven Vorantreiben der Forschung an wandernden Tierarten (CMS 1979; MÜLLER-HELMBRECHT & AL-JANABI 1999). Am Beispiel des Weißstorks (*Ciconia ciconia*) und des Schreiadlers (*Aquila pomarina*) wurden die kombinierten Nutzungsmöglichkeiten von Telemetriedaten und Fernerkundungsdaten untersucht, um eine schnellere Lokalisierung und Charakterisierung bedeutender Biotope wandernder Vogelarten zu ermöglichen.

Eine weitere Zielsetzung ist die Analyse der Faktoren, die das Zugverhalten und die Aufenthalte der Zugvögel beeinflussen. In der Literatur gibt es bereits Hinweise auf Einflussfaktoren wie Wetterbedingungen (SCHULZ 1995; MEYBURG, ELLIS et al. 2001; VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002; SHAMOUN-BARANES, BAHARAT et al. 2003; SCHAUB, KANIA et al. 2005) oder Nahrungsverfügbarkeit

etwa in Form von Heuschreckenschwärmen (DALLINGA & SCHOENMAKERS 1989; SCHULZ 1995). BERTHOLD, FIEDLER et al. (2000) erklären den Weiterzug von Weißstörchen nach ihrem Aufenthalt im Sudan und Tschad als Folge von Trockenheit und Nahrungsknappheit. Solche Hinweise sollen in der vorliegenden Arbeit systematisch am Beispiel zweier wandernder Vogelarten untersucht werden. Die Kenntnis von Einflussfaktoren auf den Zug spielt in Arten- und Habitatschutzfragen eine wichtige Rolle, da diese die Nutzung von Regionen und Habitats bestimmen.

Im Verlauf dieser Arbeit wurden daher folgende Punkte untersucht:

- Entwicklung einer neuen Methodik zur effektiven Analyse bestehender Telemetriedaten
- Erkenntnisse zum Zuggeschehen der untersuchten Vogelarten: In welchen Regionen kommt es zu vermehrten Aufenthalten? Welche Faktoren beeinflussen das Zuggeschehen?
- Charakterisierung der genutzten Habitats
- Vorschläge für geeignete Naturschutzmaßnahmen

Ziel der Arbeit ist es, Methodik und Vorgehensweise zur Anwendung auf weitere Telemetriedaten anderer Arten bereitzustellen und damit deren Erforschung zu beschleunigen.

Die hier verwendeten Vogelarten eignen sich in vielerlei Hinsicht für den oben geschilderten neuen Ansatz. Zu beiden Arten sind über viele Jahre hinweg Telemetriedaten erhoben worden. Einzelne Vögel konnten dabei über mehrere Jahre hintereinander verfolgt werden. Die besondere Fülle der Weißstorchdaten erlaubte dabei die Erarbeitung der Methodik und Vorgehensweise in dieser Arbeit. Durch den im Vergleich zum Schreiadler sehr guten Kenntnisstand beim Weißstorch konnten Vergleiche der hier gewonnenen Ergebnisse mit bestehendem Wissen gezogen werden. Die Telemetriedaten des Schreiadlers dienen schließlich der Anwendung der erarbeiteten Methodik, um neue Erkenntnisse hinsichtlich der Rast- und Überwinterungsgebiete dieser Art zu erlangen.

## 1.2 Tierwanderung und ihre Erforschung

Tierwanderung ist eine Antwort auf die saisonale Veränderung von Lebensräumen, die in einen stetigen Wechsel von günstigen zu weniger günstigen Bedingungen resultieren. Als Antwort auf diese ändernden Lebensbedingungen ermöglicht das Wanderverhalten, ungünstige Habitats zu verlassen und günstigere aufzusuchen (BERTHOLD 2000; ALERSTAM, HEDENSTRÖM et al. 2003). Wandernde Arten sind somit in der Lage, außerhalb der Fortpflanzungszeit andere Gebiete und Ressourcen zu nutzen. Ein Beispiel sind die Savannenregionen Afrikas, die mit ihrer Saisonalität ein begehrtes Überwinterungsgebiet vieler Vogelarten sind (ALERSTAM & HEDENSTRÖM 1998). Erst mit Beginn der Regenzeit steigt die Phytomasse und mit ihr auch die Anzahl von Insekten (SINCLAIR 1978; BROUWER 2002; SINCLAIR, MDUMA et al. 2002). In dieser Periode brütet auch ein Großteil der tropischen Vogelarten (DINGLE & KHAMALA 1972).

Tierwanderung tritt in nahezu allen Organismengruppen auf - Bakterien, Wirbellosen und Vertretern aller Wirbeltierklassen – und kann nicht nur horizontal, sondern auch vertikal vollzogen werden (BERTHOLD 2000; CHAVES-CAMPOS, ARÉVALO et al. 2003; CHAVES-CAMPOS 2004). Betrachtet man allein die periodische Wanderung von Strecken über 100 km – wie sie als Kriterium des *Global Register of Migratory Species* (GROMS) gilt, kann Wanderverhalten für allein 4358

Wirbeltierarten nachgewiesen werden (RIEDE 2004b). Kein Monat im Jahr vergeht, ohne dass sich nicht irgendwo auf der Welt eine Tierart auf Wanderung begibt. Schätzungen zufolge sind es allein auf dem eurasisch-afrikanischen Zugweg jährlich fünf Milliarden Individuen von Vögeln (MOREAU 1972). Für die Wanderung ist dabei ein ganzes „Paket“ von Anpassungen erforderlich, mithilfe denen der Zug erfolgreich verlaufen kann: Orientierung, Deposition von Fettressourcen und der Zeitpunkt der Reproduktion sind wichtige Komponenten, die das Wanderverhalten erst ermöglichen (DINGEL 1996). Schließlich muss jedoch jede Art ihre eigene Strategie entwickeln, um Vorteile aus dem Wanderverhalten ziehen zu können. Daher existieren auch zahlreiche verschiedene Wanderstrategien und Wanderrouten, Lang- versus Kurzstreckenzieher, aktiver Flug versus Gleitflug und teilziehende Populationen.

Die Erforschung der Tierwanderung reicht lange zurück. Erste überlieferte Gedanken gibt es schon bei den griechischen Philosophen. Doch noch Jahrhunderte später herrschte Unklarheit über das Phänomen Vogelzug, was Linnaeus' Äußerung zum Verschwinden der Schwalben im Winter zeigt (SALOMONSEN 1967). Er vermutete, dass diese im Winter auf dem Grund eines Sees versinken würden. Nicht zuletzt der berühmte „Pfeilstorch“ von Rostock ließ jedoch erkennen, dass die Vögel sich im Winter vielmehr auf eine Wanderung in südliche Länder begeben.

Die systematische Erforschung der Wanderrouten, Wanderzeiten und Überwinterungsgebiete begann mit der Beringung von Vögeln. Diese wurde 1899 mit H.C.C. Mortensen eingeleitet und brachte bislang über 1,2 Millionen Wiederfunde von über 400 Vogelarten (FREDERIKSEN 2002). Mit ihrer Hilfe konnten wichtige Erkenntnisse beispielsweise zur Populationsdynamik oder den Todesursachen gewonnen werden. Dennoch bleiben einige Fragen zum Vogelzug, dessen Veränderungen, zur Habitatwahl während des Zuges und der Überwinterung offen (BERTHOLD, FIEDLER et al. 2000; FREDERIKSEN 2002). Da die Beringung räumlich und zeitlich nicht kontinuierlich durchgeführt wurde und zudem die Fund- und Meldewahrscheinlichkeiten unterschiedlich gut sind, können fehlerhafte Schlüsse aus den Beringungsdaten gezogen werden (FIEDLER 2001a, 2001b). Unklar ist auch, welche Rolle die Bedingungen in den Überwinterungsgebieten im optimalen „Timing“ des Zuges spielen und welche Faktoren überhaupt zur Zugphänologie beitragen (COTTON 2003). Das Verständnis solcher Einflussfaktoren ist allerdings für spätere Natur- und Artenschutzkonzepte von entscheidender Bedeutung.

Die Entwicklung moderner Techniken in neuerer Zeit brachte die Erforschung des Vogelzugs voran. Bereits in den frühen 40er Jahren nutzte man die Radartechnik, um Vogelschwärme zu orten, viele Erkenntnisse zu zeitlichen und geografischen Zugmustern sind den umfassenden Radar-Untersuchungen in den 60er und 70er Jahren zu verdanken. Letzte Hürden zur „Verfolgung“ des Vogelzugs in großem Maßstab konnten dann schließlich in den 80er Jahren durch die Entwicklung von transportablen Radiotransmittern genommen werden. Auf dem Rücken zunächst größerer Vogelarten wie Störchen, Adlern oder großen Seevögeln angebracht, geben sie in zeitlich und räumlich hoher Auflösung den Verlauf des Zuges wieder, so dass Aussagen über Zugstrecken, Tagesdistanzen oder Rastgebiete gemacht werden können (GAUTHREAU 1996). Bald wurde die Radiotelemetrie durch die Satellitentelemetrie erweitert. Die Signale der Transmitter können nun nicht nur mit Antennen am Boden, sondern über Satelliten empfangen werden und sind zu jeder Zeit und von jedem Ort der Erde abrufbar. Die Verfügbarkeit von Satellitenbildern zu allen Teilen der Erde - nicht zuletzt auch durch populäre Anwendungen wie „Google-Earth“ - kann zudem Fragen

zur Habitatwahl aufklären. Weiterhin erlaubt die Verwendung von Satellitenbildern auch die Analyse von Veränderungen in der Landbedeckung oder -Nutzung über größere Zeiträume.

Beide Techniken – die Satellitentelemetrie sowie die Fernerkundung - dienen in der vorliegenden Arbeit dem Verstehen des Vogelzugs bei zwei ausgewählten Arten und stellen daher die Grundlage dieser Arbeit dar und werden im Folgenden etwas genauer vorgestellt.

### 1.2.1 Satellitentelemetrie

Zu Beginn der 60er Jahre kam mit der Radiotelemetrie eine neue Technologie auf, die erstmals die Verfolgung von Vögeln über größere Distanzen erlaubte. Kleine Sender konnten am Rücken der Tiere befestigt und deren Signale im Feld geortet werden, allerdings nur aus der Nähe und mit großem Aufwand. Diese Technologie wurde zwanzig Jahre später noch verbessert, indem Satelliten als Empfangsplattform der tragbaren Sender genutzt wurden. Das Prinzip beruht auf kleinen Minisendern, die auf dem Rücken der Vögel befestigt werden. Regelmäßige Signale des Senders werden von einem NOAA-Satelliten empfangen und können über das Internet vom Wissenschaftler abgerufen werden. Die Daten liefern Informationen zum genauen Zeitpunkt und dem Aufenthaltsort des Vogels (BERTHOLD, NOWACK et al. 1997). Da die Transmitter zu Anfang jedoch ein noch relativ hohes Gewicht hatten, wurden zunächst nur große Vogelarten wie Störche, Adler und große Seevögel besendert (GAUTHREAUX 1996). Erst mit der Zeit wurden die Transmitter kleiner und leichter und erlauben heute selbst die Besenderung von Kleinvögeln. So stellt die Firma Microwave bereits ARGOS-kompatible Transmitter mit einem Gewicht von 9.5 Gramm bereit<sup>1</sup>.

Durch Bemühungen der Max-Planck-Gesellschaft für Ornithologie wurde die Satellitentelemetrie seit 1991 auch in Deutschland als neues Instrument zur Erforschung der Wanderbewegungen bei Vögeln genutzt. Die hier zunächst nur an Weißstörchen erprobte Technik ermöglichte die zeitlich-räumliche Erfassung der Vogelzugrouten bis in die afrikanischen Überwinterungsgebiete. Die Auswertung der umfassenden Datensätze von bislang 120 besenderten Weißstörchen brachte Erkenntnisse zum Zugroutenverlauf, zur Datierung des Zuges und zu Aufenthalten in den Überwinterungsgebieten (z.B. BERTHOLD, BOSSCHE et al. 2002; VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002). Im Jahr 1992 wurden auch erste Adler mit Sendern ausgestattet. Die bis dahin nur spärlichen Kenntnisse zum Zugverlauf, zur Zuggeschwindigkeit und zu Rast- und Überwinterungsgebieten dieser Arten konnten damit erheblich erweitert werden (MEYBURG, SCHELLER et al. 1993). In den Jahren 1992-2001 gelang die Besenderung von insgesamt 87 Greifvögeln, unter ihnen 28 Schreiadler (*Aquila pomarina*) (MEYBURG & MEYBURG 2002). Es folgten weitere Besenderungen von Schmutzgeiern (MEYBURG, GALLARDO et al. 2004).

Die Einführung von GPS-Sendern bringt die Satellitentelemetrie wiederum um weite Schritte nach vorn. B.-U. Meyburg besenderte bereits zwei Schreiadler und erste Daten des Herbstzuges liegen vor. Ein großer Vorteil dieser Sender ist die exakte Positionsbestimmung auf wenige Meter. Zudem werden zusätzliche Daten zur Flughöhe, –geschwindigkeit und Richtung geliefert (MEYBURG, MEYBURG et al. 2006). Die Verwendung solcher Sender stellt ein enormes Potenzial dar, da die GPS-Sender genaue Positionen liefern und sich eine Abschätzung der Positionsabweichung erübrigt (siehe Kap. 2.2). Nicht zuletzt arbeitet auch die Europäische Union an der zukünftigen Nutzung

---

<sup>1</sup> <http://www.microwavetelemetry.com>

solcher Navigations-Systeme und leitet mit einem ersten Satelliten das neue Galileo-System ein, welches in Zukunft die verbesserte zivile Nutzung solcher Techniken ermöglichen soll und darüber hinaus eine Unabhängigkeit vom US-amerikanischen GPS-System bedeutet.

### 1.2.2 Fernerkundung

Die Fernerkundung über Satelliten liefert tagtäglich neue Informationen über die Erdoberfläche und Atmosphäre. Je nach Untergrund entstehen unterschiedliche Reflexionen des einfallenden Sonnenstrahls. Verschiedene Objekte wie Wasser, Acker- oder Waldflächen reflektieren zudem in unterschiedlichen Wellenbereichen, was eine Unterscheidung durch Fernerkundungssysteme möglich macht (KAPPAS 1994).

Spezielle Meßsysteme erfassen die abgestrahlte Energie der Erde und erlauben die Untersuchung verschiedenster Fragestellungen. Sensoren mit unterschiedlichen Empfindlichkeiten für einzelne Wellenlängenbereiche bestimmen dabei die spektrale Auflösung. Weiterhin bestehen Unterschiede in der zeitlichen und räumlichen Auflösung. Wettersatelliten arbeiten beispielsweise mit geringen Messzeiträumen, in denen dasselbe Gebiet aufgenommen wird (= hohe Wiederholrate, hohe zeitliche Auflösung). Dies geht allerdings zulasten der räumlichen Auflösung. Diese ist durch die Größe eines Pixels beschrieben, also der kleinsten, nicht mehr teilbaren Einheit eines Satellitenbildes. Die Darstellung von Erdressourcen erfordert eine sehr hohe räumliche Auflösung, während bei Wettersatelliten eine Pixelgröße von 1\*1 km ausreichend ist. Hohe spektrale Auflösungen ermöglichen schließlich die Darstellung spezieller Aspekte der Erdoberfläche, wie beispielsweise Stresssituationen bei Pflanzen.

Zwei Typen von Satellitensystemen müssen unterschieden werden: Polarumlaufende und geostationäre Satelliten. Letztere zeichnen sich durch eine große Flughöhe von ca. 36.000 km aus (KAPPAS 1994). Hier bewegen sie sich in derselben Winkelgeschwindigkeit wie die Erde. Daher zeigen geostationäre Satelliten immer nur denselben Ausschnitt, allerdings mit einer sehr hohen zeitlichen Auflösung. Polarumlaufende Satelliten – unter ihnen auch das NOAA-Satellitensystem – befinden sich in einer Höhe von ca. 850 km. Etwa 120 Minuten benötigt ein solcher Satellit für einen Erdumlauf entlang der Pole und schafft es somit, dasselbe Gebiet zwei mal innerhalb von 24 Stunden zu überfliegen (KAPPAS 1994). Die NOAA-Plattform dient Anwendungsgebieten wie der Meteorologie, Klimatologie oder dem Umwelt-Monitoring.

Neben NOAA existieren viele weitere Satellitensysteme. Das ebenfalls polarumlaufende Landsat-System ist eines der bekanntesten und erreicht eine Auflösung von 30 m bzw. 15 m (Landsat 3 - 7). Die hohe räumliche Auflösung bedingt jedoch eine geringere zeitliche Auflösung, so dass die Wiederholrate 16 Tage beträgt<sup>2</sup>. Wie Landsat stammen weitere Systeme aus den USA, wie z.B. GOES, ein geostationärer Satellit, der ebenfalls zu meteorologischen Fragestellungen genutzt wird. Satellitensysteme der "European Space Agency" (ESA) sind unter anderem der geostationäre METEOSAT, der für meteorologische und klimatische Fragestellungen genutzt wird und ENVISAT, ein polarumlaufender Satellit, der in der Ozeanografie Anwendung findet. Ein weiteres System wird von der französischen CNES (Centre National d'Etude Spatial) betrieben: SPOT, dessen Auflösung mit den ersten Landsat-Systemen vergleichbar ist (KAPPAS 1994; STONEY 1997)

---

2 <http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/lpsum.html>

und mittlerweile bis zu 2,5 m Pixelgröße erreicht. Dessen Bilder dienen auch als Grundlage zur Erarbeitung einer Landbedeckungskarte für Afrika (MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. 2004). SPOT 4 trägt das „Vegetation“ Instrument mit sich, mit dessen Hilfe Vegetationstypen und Produktivität der Vegetation auf globaler und regionaler Ebene gemessen werden können (SAINT 1994).

Im Bereich Natur- und Habitatschutz kommen – je nach Fragestellung und räumlicher Lage – viele verschiedene Satellitensysteme zum Einsatz. Vielfach werden Landsat-Szenen zur Kartierung und Klassifizierung von Vegetation oder Biotopen genutzt (z.B. HOBBS, WALLACE et al. 1989; SADER, POWELL et al. 1991; DRIESE, REINERS et al. 1997; RAVAN & ROY 1997; FELINKS, PILARSKI et al. 1998; BOCK 2003). Daneben diente der NOAA-Sensor AVHRR in zahlreichen Arbeiten als Grundlage zur Berechnung des Vegetationsindex NDVI, um die Vegetationsbedeckung der Landoberfläche zu kartieren (EIDENSHINK & FAUNDEEN 1994) bzw. Saisonalität und Primärproduktion darzustellen (LOVELAND, REED et al. 2000; SANNIER, TAYLOR et al. 2002). Letztlich weisen GOTTSCHALK, HUETTMANN et al. (2005) in ihrer Literaturübersicht auf weitere Arbeiten hin, in denen die Fernerkundung insbesondere zur Kartierung von Vogel-Habitaten dient.

Satellitenbilder werden in der Regel nicht mehr in Bildform überliefert, sondern in digitalen Formaten vom Satelliten zu den Empfangstationen auf der Erde gesendet. Auf diese Weise liegen die Daten in unterschiedlichen Formaten vor und erfordern zudem verschiedene Korrekturen. Zu dieser „Vorprozessierung“ gehören geometrische und radiometrische Korrekturen. Erst dann kann der Datensatz klassifiziert werden, um die Bildinformation schließlich interpretieren zu können. Bei der geometrischen Korrektur werden Verzerrungen ausgeglichen, die durch die Bewegung des Sensors bzw. die Erdrotation während der Bildaufnahme entstehen. Radiometrische Korrekturen sind erforderlich, da die Strahlung je nach den atmosphärischen Bedingungen unterschiedlich reflektiert wird und somit nicht mehr die tatsächliche Reflektanz der Erdoberfläche wiedergibt. Meist wird der Einfluss der Atmosphäre mit standardisierten Modellen herausgerechnet, genauer ist jedoch die Berücksichtigung der aktuellen atmosphärischen Bedingungen (HARRIS 1987).

Erst nach diesen Prozessierungsschritten kann mit der eigentlichen Interpretation des Satellitenbildes begonnen werden, der Klassifikation. Da verschiedene Oberflächen eine unterschiedliche Reflektanz haben, können sie voneinander abgegrenzt werden. Pixel mit ähnlichen Reflexionseigenschaften können hingegen zu Klassen zusammengefasst werden. Hierzu werden verschiedene Verfahren angewandt, generell lässt sich dabei zwischen überwachter und unüberwachter Klassifikation unterscheiden. Voraussetzung für eine überwachte Klassifikation ist zunächst die Definition von sogenannten „Trainingsgebieten“, die bekannt sind und einer Klasse zugeordnet werden können. Erst anhand dieser Referenzgebiete kann der Computer Gebiete mit ähnlichen Reflexionseigenschaften auswählen und der entsprechenden Klasse zuordnen. Im Falle einer unüberwachten Klassifizierung sind keine Trainingsgebiete erforderlich. Hier wird ermittelt, wie viele Klassen überhaupt gebildet werden können. Meist wird die unüberwachte Klassifikation im Vorfeld zu einer überwachter Klassifikation durchgeführt, um festzustellen, ob die gewünschten Klassen überhaupt voneinander trennbar sind (ALBERTZ 2001).

In der vorliegenden Arbeit wurden zur Auswertung ausschließlich Sekundärprodukte verwandt, so dass die oben beschriebenen Arbeitsschritte entfielen.

### 1.3 Gefahren während der Tierwanderung

Das Wanderverhalten ist eine Strategie, mit der Tiere den saisonal bedingten Schwankungen ihrer Lebensbedingungen ausweichen können, um ihr Überleben und ihre Fortpflanzung zu sichern (BERTHOLD 2000). Heute – unter dem Einfluss des Menschen – kann Tierwanderung jedoch auch der Schlüssel zur Gefährdung vieler Arten sein. Nicht nur im Brut- oder Überwinterungsgebiet ist das Tier auf ausreichende (Nahrungs-)Ressourcen angewiesen. Auch die Bedingungen während des Durchzugs- und der Rast sind entscheidend für das Überleben einer Population (ALERSTAM & HEDENSTRÖM 1998). Dabei gefährden die durch anthropogenen Einfluss verursachten Verluste von geeigneten Habitaten den Erfolg des Zuges und damit auch das Überleben der Art. Untersuchungen des "Mettnau-Reit-Illmitz-Programms", das 1974 ins Leben gerufen wurde und in dessen Rahmen über 15 Jahre die Populationen von europäischen Kleinvogelarten beobachtet wurden (BERTHOLD, FIEDLER et al. 1998; BERTHOLD, FIEDLER et al. 1999), zeigten eine besondere Gefährdung von Zugvögeln. Am stärksten vom Rückgang betroffene Arten sind Langstreckenzieher (BERTHOLD, FIEDLER et al. 1999). Ähnliche Ergebnisse ergaben auch andere Studien (BAUER & HEINE 1992; WINK 1995). Auch die in der Roten Liste Deutschlands als „bedroht“ eingestuft Arten sind zu 84 % Zugvögel (BERTHOLD 2000). BERTHOLD, FIEDLER et al. (1998) nennen als mögliche Ursachen für den Rückgang der Langstreckenzieher unter anderem Trockenperioden im Sahel, Biozide und den Verlust von Habitaten. Untersuchungen im Senegal zeigten, dass der Einsatz von Pestiziden gegen Heuschrecken auch einen negativen Einfluss auf die Avifauna hatte. So kam es bei drei Vogelarten zu Populationsrückgängen durch Mortalität und Abwanderung (MULLIÉ & KEITH 1993). Für Organochlorine – Bestandteil vieler Pestizide – konnte eine Akkumulation in Wasser und Sediment des Lake Manzala, Ägypten, sowie in dort lebenden pflanzlichen und tierischen Organismen nachgewiesen werden (ABASSY, IBRAHIM et al. 2003). Insbesondere Greifvögel sind der Akkumulation ausgesetzt, da sie am Ende der Nahrungskette stehen. In höheren Konzentrationen wirken sich Organochlorine negativ auf die Reproduktion aus (NASO, PERRONE et al. 2003). Habitatverlust bzw. die Verwendung von Pestiziden werden auch für verschiedene Greifvogelarten in Simbabwe als entscheidende Gefährdungsursachen genannt (HARTLEY, HUSTLER et al. 1996; AUMANN 1997).

Als weiterer Faktor wird zunehmend der Einfluss von Klimaveränderungen auf Tierwanderung untersucht. Diese können sich auf das Zuggeschehen, auf Verbreitungsareale, Brutphänologie und Populationsdynamik auswirken (CRICK 2004). Nach dem Bericht des International Climate Change Panel (IPCC) ist die mittlere Durchschnittstemperatur der Erdoberfläche seit dem späten 19. Jahrhundert um 0,4 bis 0,8 Grad angestiegen (FOLLAND, KARL et al. 2001). Die größte Erwärmung konnte dabei in der Nördlichen Hemisphäre im Winter und Frühjahr festgestellt werden. Dabei schlägt sich der Klimawandel nicht nur in der Temperatur nieder, sondern auch in veränderten Niederschlagsverhältnissen (WATKINSON, GILL et al. 2004). So zeigten GORDO, BROTONS et al. (2005), dass die Sahelzone, die afrikanische Westküste und das tropische Afrika seit den 90er Jahren unter einem dramatischen Rückgang des Niederschlags leiden. Die Untersuchungen konnten zudem zeigen, dass die Ankunftsstermine wandernder Vogelarten der nördlichen Hemisphäre stark mit den Klimabedingungen korrelierten. Zahlreiche andere Studien der letzten Jahre widmen sich zunehmend der Klimawandel-Problematik. FIEDLER (2004) beobachtete eine frühere Ankunft bei Langstreckenziehern, zudem konnte bei einigen Vogelarten ein verfrühtes Eiablagedatum



beobachtet werden (CRICK, DUDLEY et al. 1997; BROWN, LI et al. 1999; CRICK & SPARKS 1999).

Insbesondere für Arten mit geringerer ökologischer Flexibilität kann es jedoch mit der Veränderung des Klimas zu einer Verschiebung der Ressourcenverfügbarkeit und den Brut- und Wanderungszeiträumen kommen (BOTH & VISSER 2001). Szenarien für die Zukunft sind schwer abschätzbar, da sich die Veränderung einzelner Klimafaktoren auf zahlreiche weitere Klimafaktoren auswirken kann. Mit einem weiteren Anstieg der mittleren Oberflächen-Lufttemperatur würde z.B. der Meeresspiegel durch die resultierende Schneeschmelze ansteigen, was bereits jetzt beobachtet werden kann (CHURCH, GREGORY et al. 2001). Zudem vermutet man eine Häufung von Extremwetterereignissen. Steigende Temperaturen, insbesondere in den Sommermonaten, der Rückgang von kalten Wintern und die Änderung der Niederschlagsverhältnisse können letztendlich auch zur Veränderung von (Küsten-)Habitaten führen. Neben den Küsten sind auch Marschen und Strände durch den Anstieg des Meeresspiegels gefährdet und mit ihnen zahlreiche hier brütende Vogelarten (WATKINSON, GILL et al. 2004). FREDERIKSEN (2002) konnte zeigen, dass die Temperaturen im Winter einen Einfluss auf die Überlebensrate von Vogelarten haben, die in Europa überwintern. Steigende Winter-Temperaturen könnten demnach zu einer verbesserten Überlebensrate führen und sich somit durchaus positiv auf hier überwinternde Populationen auswirken. Entsprechend könnten jedoch ziehende Vogelarten wiederum benachteiligt sein, da die erhöhten Populationsdichten der Standvögel auch eine erhöhte Nahrungskonkurrenz bedeuten.

Vor dem Hintergrund dieser Problematik ist auch die Ausweisung neuer Schutzgebiete mit Vorsicht zu betrachten. Mit den sich ändernden klimatischen Bedingungen und der damit einhergehenden Verschiebung von Lebenszonen müssten sich auch die Schutzgebiete verschieben bzw. mit entsprechender Voraussicht geplant werden.

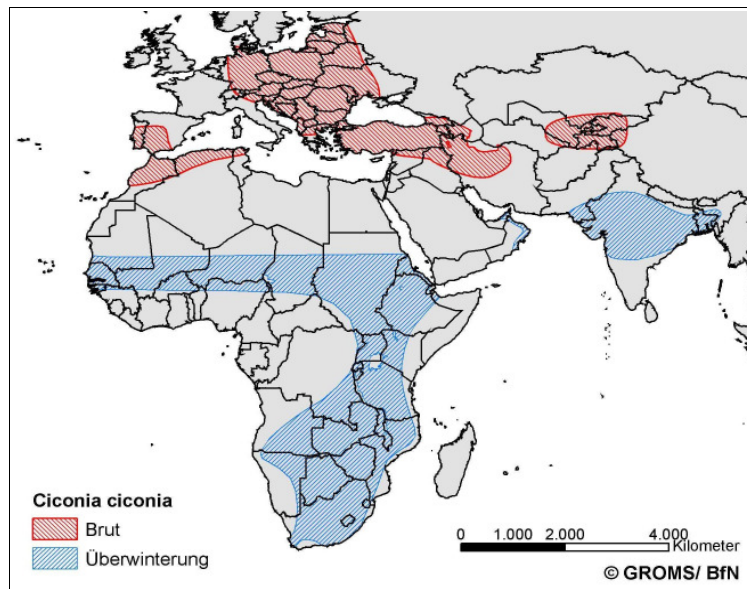
### 1.4 Die hier untersuchten Vogelarten und ihre Gefährdungssituation

#### 1.4.1 Weißstorch (*Ciconia ciconia ciconia* (LINNAEUS 1758))

Der Weißstorch gehört mit insgesamt 17 weiteren Arten zur Ordnung Ciconiiformes (Schreitvögel) und zur Familie der Ciconiidae (SIBLEY & MONROE 1990), welche alle Kontinente besiedeln. Das disjunkte Brutareal des Weißstorchs reicht von Mittel- und Südeuropa bis in den Kaukasus, südliche Grenzen liegen im Norden Marokkos bzw. in der Türkei und in Israel (CREUTZ 1988; VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002). Eine Ausnahme bildet ein weiteres Brutareal in der südafrikanischen Kapprovinz (CREUTZ 1988), in der ebenfalls wenige brütende Weißstorch-Paare beobachtet werden können (ALLAN 2003). Eine weitere Unterart, der Turkestanstorch *Ciconia ciconia asiatica* (SEVERTSOV 1873), brütet im Süden von Kasachstan, in Ost-Usbekistan und Kirgistan, südlich bis nach Tadschikistan (CREUTZ 1988; HANCOCK, KUSHLAN et al. 1992).

Im Spätsommer verlässt der Weißstorch seine Brutgebiete und zieht bis ins westliche bzw. östliche und südliche Afrika, um dort zu überwintern. Populationen des Turkestanstorchs ziehen zumeist über Afghanistan bis nach Indien (HANCOCK, KUSHLAN et al. 1992). Zur Einsparung von Energie werden thermische Aufwinde genutzt, die am Tag über Land entstehen (PENNYCUICK 1972). Entsprechend haben sich zwei verschiedene Zugrouten herausgebildet, über die der Weißstorch in die Überwinterungsgebiete zieht. Über eine gedachte Linie, die durch Deutschland verläuft (Zugscheide), trennen sich beide Populationen, die den unterschiedlichen Zugrouten folgen. Die

westliche Route verläuft über die Straße von Gibraltar entlang der westafrikanischen Küste in die Überwinterungsgebiete im westlichen Sahel von Mali bis Nordnigeria (CREUTZ 1988). Die östliche Zugroute verläuft über die Türkei, den Golf von Iskenderun, Israel und entlang des Niltals in die ostafrikanischen Überwinterungsgebiete im Tschad und Sudan (afrikanische Zwischenziele nach KAAATZ 2004) bis in das südliche Afrika (CREUTZ 1988; VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002).



**Abbildung 1:** Verbreitung des Weißstorchs *Ciconia ciconia* nach HANCOCK, KUSHLAN et al. (1992).

Bevorzugte Habitate im Brutgebiet des Weißstorchs sind offene Gebiete wie Grasland, Brach- oder extensiv genutzte Flächen. Feuchtwiesen und abgeerntete Felder haben besondere Bedeutung bei der Nahrungssuche (CREUTZ 1988; HANCOCK, KUSHLAN et al. 1992; VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002). Auch bei der Habitatwahl in den afrikanischen Überwinterungsgebieten werden sowohl natürliche Habitate wie Savannen, Grasland und Feuchtgebiete als auch landwirtschaftlich genutzte Regionen genannt (VERHEYEN 1951; SCHULZ 1995; ALLAN 2003). Auch dies zeichnet den Weißstorch als Kulturfolger aus, zumal der ursprüngliche Baumbrüter mittlerweile häufiger in Dörfern, auf Dächern und künstlichen Nisthilfen brütet (CREUTZ 1988). Das Nahrungsspektrum des Weißstorchs ist sehr vielfältig. Grundlage bilden - je nach Verfügbarkeit - Würmer, Mäuse und andere Kleinsäuger, zudem Insekten, vor allem Käfer und Heuschrecken. Hinzu kommen Amphibien, Reptilien, Küken, verendete Kleinvögel und Fische. In Afrika gewinnen Heuschrecken aufgrund ihres Auftretens in großen Schwärmen an Bedeutung (CREUTZ 1988; ROBERTS 2005).

Der Weltbestand des Weißstorchs wird nach dem Weißstorchzensus 1994-1995 auf ca. 166.000 Horstpaare geschätzt. Davon fallen etwa 138.000 Horstpaare auf die Population der Ostzieher. Trotz des positiven Trends seit dem Zensus im Jahr 1984 liegen die Zahlen in Deutschland dennoch weit unter der Bestandgröße des Jahres des ersten offiziellen Zensus 1934 (SCHULZ 1999). So wird der Bestand nach wie vor auf der Roten Liste für Deutschland als gefährdet eingestuft (JEDICKE 1997). Ein Vergleich der vergangenen Zensus-Ergebnisse in Deutschland deutet auf schwankende Bestandszahlen hin. Gegenüber 2004 ist eine leichte rückgängige Tendenz von 4482 auf 3651

Horstbrutpaare (ohne fütterungsabhängige Störche) im Jahr 2005 zu erkennen. Die höchsten Bestandszahlen weisen die Bundesländer Brandenburg (1181 Horstpaare) und Mecklenburg-Vorpommern (834 Horstpaare) auf, während im Saarland und in Berlin nur jeweils zwei Horstpaare gezählt wurden. Der weltweite Trend zeigt jedoch eine Zunahme der Weißstorchpopulation, mit besonders starkem Zuwachs in den Ländern der westziehenden Population (KAATZ 2006).

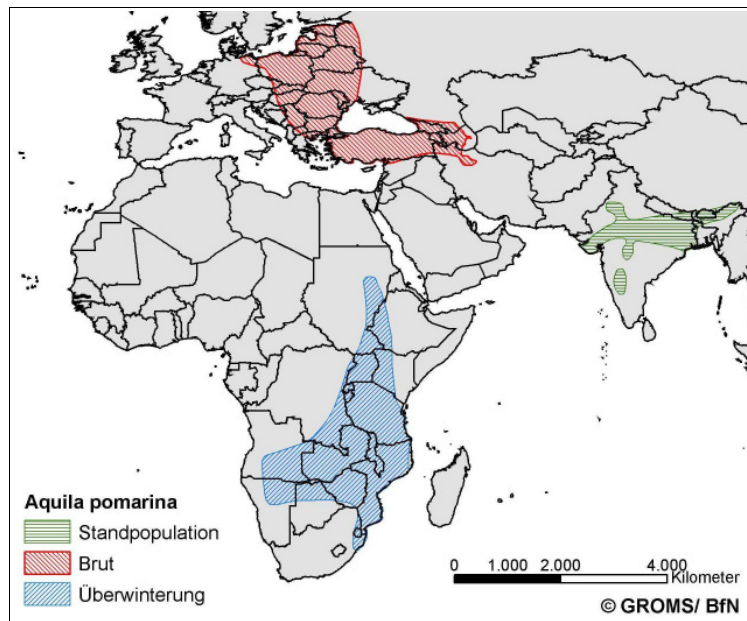
VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002) betonen, dass sowohl die Bedingungen in den Brutgebieten als auch in den Überwinterungsgebieten entscheidend für die Populationsentwicklung sind. So können natürliche Faktoren wie Niederschlag, aber auch anthropogene Einflüsse wie die Zerstörung von natürlichen Habitaten durch intensive Landwirtschaft als Ursachen für einen Populationsrückgang oder eine Erholung in Frage kommen: Als Hauptursache für die Mortalität, insbesondere unerfahrener Jungstörche wird an erster Stelle der Tod an elektrischen Freileitungen genannt (CREUTZ 1988; BIBER 1995; HAAS, NIPKOW et al. 2005). Die Bundesarbeitsgruppe für Stromtod an Energiefreileitungen des NABU hat auf diesem Feld besonders zur Aufklärung beigetragen und schließlich neue Richtlinien auf den Weg gebracht, die in Deutschland vogelfreundliche Bauweisen der Anlagen vorschreiben. Dennoch besteht in einigen Bundesländern und weiteren Staaten Europas noch erheblicher Nachholbedarf (CREUTZ 1988; BIBER 1995; FIEDLER 1999; HAAS, NIPKOW et al. 2005).

Welche Rolle der Einsatz von Pestiziden auf die Weißstorchpopulation hat, ist nicht eindeutig geklärt. CREUTZ (1988) nennt eine Gefährdung der Weißstörche durch die Anwendung von Bioziden insbesondere in Afrika, da hier die massenhaft auftretenden Heuschreckenschwärme massiv bekämpft werden. Da Störche gerne solchen Schwärmen folgen, kommt es hierbei also zu einer starken Belastung der Vögel durch die Aufnahme vergifteter Insekten (SCHULZ 1995). Andere Autoren betonen jedoch, dass Weißstörche robuster auf solche kontaminierte Insekten reagieren und die Gefahren daher nicht als bestandsgefährdend eingeschätzt werden (MILSTEIN 1964).

Schließlich spielt die Verfügbarkeit von Habitaten für die Bestandssituation eine wichtige Rolle. Bereits DALLINGA & SCHOENMAKERS (1989) wiesen auf den Zusammenhang zwischen der geringeren Anzahl von Weißstorch-Brutpaaren und der Verschlechterung von Nahrungshabitaten z.B. durch veränderte Wiesenwirtschaft und Trockenlegung von Wiesenflächen hin. So wird angenommen, dass der drastische Rückgang der dänischen Weißstorchpopulation von ehemals 10.000 Brutpaaren um 1850 auf nun noch drei Brutpaare (THOMSEN 2006) unter anderem mit der Zerstörung der natürlichen Feuchtgebiete zusammenhängt (SKOV 1995). Auch nachfolgende Studien machen auf die Gefährdungsursachen für Vogelpopulationen durch Habitatverlust aufmerksam (BIBBY 1992; MULLIÉ, BROUWER et al. 1995; SCHULZ 1995; JEDICKE 1997; BILDSTEIN, SCHELSKY et al. 1998; BERTHOLD, FIEDLER et al. 2000). Besonders während der Brutzeit sind Vögel auf eine erfolgreiche Nahrungssuche angewiesen. Qualität und Entfernung von Nahrungshabitaten spielen für die Jungenaufzucht eine Rolle. In einer vom Menschen beeinflussten Umwelt sind Ressourcen nur noch fleckhaft und variabel verfügbar (JOHST, BRANDL et al. 2001). Geeignete Habitatstrukturen sind jedoch in den Brutgebieten des Weißstorchs vor allem durch die Intensivierung der Landwirtschaft gefährdet (SCHULZ 1995; THOMSEN 1995). SCHULZ (1995) nennt weitere Gefährdungsursachen wie Wetterverhältnisse (z.B. Stürme), Nahrungsverfügbarkeit, und Bejagung.

#### 1.4.2 Schreiadler (*Aquila pomarina* (CL BREHM 1831))

Der Schreiadler wird traditionell zur Familie der Accipitridae der Ordnung Falconiformes gestellt, allerdings ist die Zugehörigkeit dieser Familie nicht zur Gänze geklärt (DEL HOYO, ELLIOTT et al. 1994). Nach neueren Erkenntnissen und DNA-Analysen wird sie nun eher als eine Zwischenordnung (Falconides) gesehen und zu den Ciconiiformes gestellt (SIBLEY & AHLQUIST 1990). Das heutige Brutareal des Schreiadlers ist in Deutschland auf die nordöstlichen Gebiete in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg begrenzt. Ehemalige Brutplätze im Westen von Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig Holstein, Niedersachsen und Bayern sind heute nicht mehr besetzt (MEYBURG, HARASZTHY et al. 1999; SCHELLER, FRANKE et al. 2001). Nach Osten erstreckt sich das Verbreitungsgebiet über Polen und Tschechien bis in das westliche Russland und die Ukraine (WENDLAND 1958), im Süden bis Griechenland, die Türkei, Jugoslawien und den Iran (MEYBURG, ELLIS et al. 2001). In Bangladesh, Pakistan und Burma existiert zudem eine noch wenig erforschte Standpopulation. Diese wurde bislang als eine Unterart *Aquila pomarina hastata* (RP LESSON 1834) behandelt, mittlerweile jedoch als eigene Art angesehen (*Aquila hastata*) (PARRY, CLARK et al. 2002). WENDLAND (1958) vergleicht den Zug des Schreiadlers mit dem des Weißstorchs und beschränkt sich auf die wesentlichen Zugstationen: „... über den Balkan, ... an der kleinasiatischen Küste entlang, bis er Afrika erreicht: von hier geht die Reise weiter bis zum südlichen Teil dieses Erdteils.“ DEL HOYO, ELLIOTT et al. (1994) und MEYBURG, SCHELLER et al. (1995) vermerken, dass der Zug des Schreiadlers in Afrika noch wenig untersucht ist. Erst die umfassenden Besenderungsprojekte durch B.-U. Meyburg konnten wesentliche Erkenntnisse zum Verständnis des Zugverlaufs beitragen. Im Jahr 1992 wurde erstmalig ein junger Schreiadler mit einem Telemetriesender ausgestattet (MEYBURG, SCHELLER et al. 1993), dessen Zug dann bis ins südliche Griechenland verfolgt werden konnte. Die fortgeführte Besenderung weiterer Schreiadler zeigte, dass ihr Zug im Wesentlichen der europäisch-afrikanischen Zugroute wandernder Vogelarten wie der des Weißstorchs entspricht. Über die Türkei, entlang des Roten Meeres und dann dem Nilverlauf folgend, erreichen die Schreiadler im Oktober bzw. November ihre Überwinterungsgebiete im südlichen Sambia, Simbabwe, Mosambique und Südafrika (MEYBURG, SCHELLER et al. 1995; MEYBURG, MEYBURG et al. 2004). MEYBURG, ELLIS et al. (2001) vermuten, dass die Vögel im Überwinterungsgebiet lokalen Niederschlagsereignissen folgen, da diese die Grundlage für ein ausreichendes Nahrungsangebot aus Heuschrecken und Amphibien bilden.



**Abbildung 2:** Verbreitung des Schreiadlers *Aquila pomarina* nach DEL HOYO, ELLIOTT et al. (1994).

Bevorzugte Habitate im Brutgebiet des Schreiadlers sind artenreiche Laub-(misch)wälder und Feuchtwaldgebiete mit hohem Altholzanteil und Nähe zu offenem Gelände, aber auch reich strukturierte Räume mit Feuchtwaldflächen und naturnahen Grünland- und Ackerlandflächen werden von Schreiadlern besiedelt (WENDLAND 1958; SCHELLER, FRANKE et al. 2001). Diese können sowohl im Berg- als auch im Flachland liegen (MEYBURG, HARASZTHY et al. 1999). Über die Habitatwahl während des Zuges und der Überwinterung ist wenig bekannt, BROOKE, GROBLER et al. (1972) nennen hier offene Vegetation, Buschland und Feuchtgebiete. Das Nahrungsspektrum des Schreiadlers im Brutgebiet umfasst Kleinsäuger wie Feldmäuse, Wühlmäuse und Wasserratten, Frösche und Reptilien wie Schlangen, Eidechsen und Blindschleichen. Dies wird noch zuweilen durch größere Säugetiere oder Aas ergänzt (WENDLAND 1958).

Der Bestand des Schreiadlers wird nach der Roten Liste Deutschlands als „stark gefährdet“ eingeschätzt (JEDICKE 1997), bereits in den 70er und 80er Jahren setzte ein Arealschwund in Mecklenburg-Vorpommern ein. Auch Brandenburg verzeichnet Bestandsrückgänge. Im Vergleich zu Polen und Lettland liegen in Deutschland auch die Bruterfolge der Schreiadler deutlich niedriger (SCHELLER, FRANKE et al. 2001). Ursachen hierfür sind sicherlich in dem Verlust von geeigneten Lebensräumen zu finden (MATTHES & NEUBAUER 1989; MEYBURG, HARASZTHY et al. 1999). Die bevorzugten Habitate des Schreiadlers in seinem Brutgebiet sind weitgehend durch die fortschreitende Flächennutzung durch den Menschen und z.B. durch damit verbundene Entwässerungsmaßnahmen gefährdet (schützenswerter Lebensraum „Feuchtwälder“ (POTT 1996)). Besonders durch die Entwässerung von Feuchtgebieten und Niedermooren und dem damit einhergehenden Verlust potenzieller Nahrungstiere wie Amphibien und Wühlmäusen mussten Schreiadler ihre Brutplätze aufgeben (SCHELLER, FRANKE et al. 2001). Zudem hat die intensivere Nutzung der Wälder in der Forstwirtschaft und der Freizeitgestaltung zur Folge, dass diese von Wegen durchkreuzt sind, weniger Altholz enthalten und zum Teil durch dichte Anpflanzungen als geeignetes Jagdrevier ausscheiden (MATTHES & NEUBAUER 1989). Weiterhin weisen MEYBURG,

ELLIS et al. (2001) auf eine Bestandsdezimierung des Schreiadlers durch Abschuss hin, insbesondere in osteuropäischen Ländern bzw. Mittelmeerländern wie z.B. Tschechien, Slowakei, Rumänien und Griechenland.

### 1.5 Das Untersuchungsgebiet Afrika (mit Schwerpunkt Ost- und Südafrika)

Die Auswertung der Telemetriedaten mithilfe von Fernerkundungsdaten konzentriert sich in dieser Arbeit auf den Untersuchungsraum Afrika, da dieser in vorangegangenen Studien vernachlässigt wurde. So konzentriert sich die Arbeit von KAATZ (2004) auf die Auswertung von Weißstorch-Telemetriedaten auf der östlichen Zugroute bis zu den nordafrikanischen Zwischenzielen. Besonders im Falle des Schreiadlers bestehen Wissenslücken für die afrikanischen Überwinterungsgebiete (s.o.).

Im folgenden soll das Untersuchungsgebiet Afrika kurz vorgestellt werden.

#### 1.5.1 Relief

Das Relief des afrikanischen Kontinents ist im Wesentlichen zweigeteilt: Im zentralen und saharischen Afrika dominiert Flachland zumeist unter 1000 m ü. NN, der Süden und Osten des Kontinents ist vom Hochland über 1000 m geprägt (siehe Abb. 3).

Neben den sehr flachen Regionen wie dem Senegalesisch-Mauretanischen Becken, dem westlichen Niger-Becken im Südwesten und dem Nil-Becken im Norden Afrikas liegen wesentliche Teile des saharischen Afrikas zwischen 200 und 1000 m über NN. Nur die Gipfel einiger Bergmassive können eine Höhe bis zu 3000 m Höhe erreichen. Dazu gehören der Hohe Atlas in Marokko, das Hoggar-Massiv in Südalgerien, das Tibesti-Gebirge im Nord-Tschad und das Darfur- und Kordofan-Plateau im Westen des Sudan. Im Osten des Niltals schließen kleinere Gebirgsketten an, die abrupt zum Roten Meer abfallen. Die flachen Gebiete des westlichen Afrika bis zum Tschad werden gegen das Kongobecken im zentralen Afrika durch das Adamaoua-Plateau abgetrennt. Diese bildet die Wasserscheide zwischen Nil und Kongo.

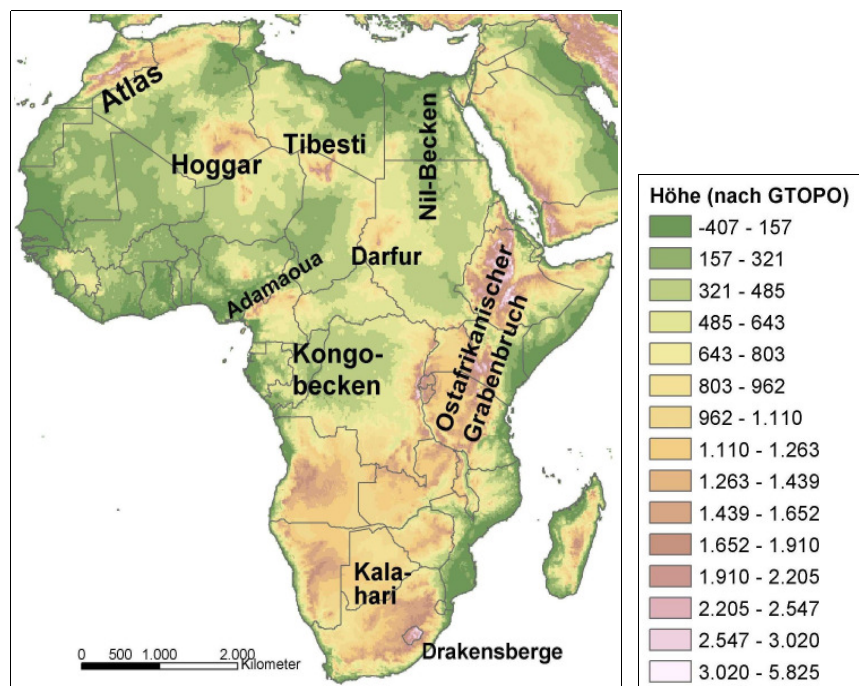


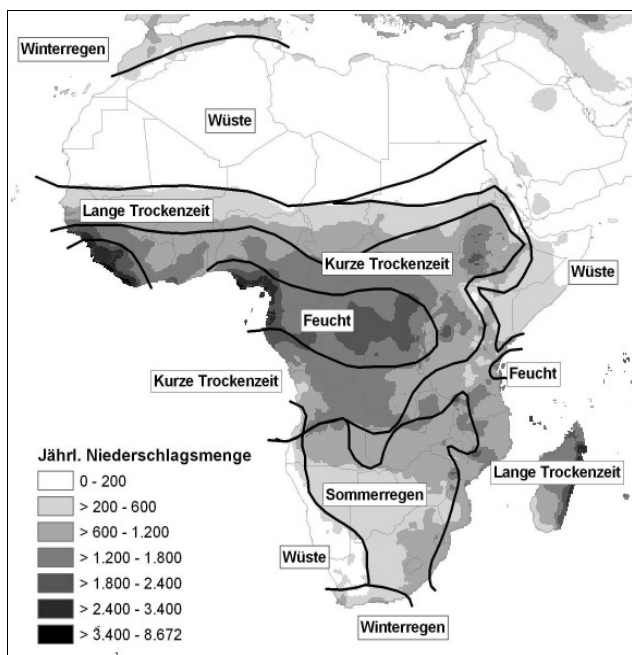
Abbildung 3: Relief Afrikas nach dem Höhenmodell des US Geological Service (Gtopo30, siehe Kap. 2.7.5).

Das afrikanische Hochland im Osten und Süden wird aus massigen Hochplateaus gebildet, die im Wesentlichen über 1000 m liegen und nur an den Küsten und im südlichen Mosambique auf

Meeresniveau abfallen. Man unterscheidet die Massive im Süden rund um das Kalahari-Becken von dem ostafrikanischen Massiv, welches sich von Äthiopien bis Mosambique zieht und höherer tektonischer Aktivität ausgesetzt war. Das Kalahari-Becken beherbergt im Norden das Okavango-Delta und die Makgadikgadi-Pfannen in Botswana und öffnet sich im Süden zum Orange-Tal. Rundherum liegen Massive über 2500 m wie die Drakensberge im östlichen Südafrika oder das Mashonaland im Norden Simbabwe.

Das eindrucksvollste Relief in Afrika ist sicherlich im Gebiet des Ostafrikanischen Grabenbruchs (*Rift Valley*) zu finden. Dieser nimmt im Afar-Becken im Nordosten Äthiopiens seinen Anfang und erstreckt sich bis in das Luangwa-Tal im Osten Sambias. Beidseitig der Täler erheben sich Massive bis über 4000 m und bilden mit 5895 m am Mount Kilimanjaro den höchsten Berg Afrikas. Durch starke tektonische Aktivität entstanden hier – neben dem Viktoriasee - die größten Seen Ostafrikas und mit die tiefsten Seen der Erde: Der Malawi- und der Tanganyikasee, begrenzt durch die Ränder des Grabenbruchs, erreichen Tiefen bis zu 700 m (Malawisee) bzw. 1400 m (Tanganyikasee) (ADAMS, GOUDIE et al. 1996).

### 1.5.2 Klima



**Abbildung 4:** Jährliche mittlere Niederschlagsmenge (Datensatz der Climate Research Unit, siehe Kap. 2.7.5), verändert nach GOUDIE 1996.

Der afrikanische Kontinent ist am stärksten von allen Kontinenten durch tropische Klimate geprägt, da er sich zu nahezu gleichen Teilen vom Äquator aus nach Nord und Süd ausbreitet. Zudem fehlt Afrika die klimatisch differenzierende Funktion einer durchgehenden Bergkette, wie es in Amerika oder Eurasien der Fall ist. Vielmehr wird ein großer Teil des Kontinents aus Hochplateaus gebildet, die wesentlichen Einfluss auf die Temperaturverhältnisse haben. Abbildung 4 zeigt eine Einteilung Afrikas in acht wesentliche Klimazonen. Die äquatorialen Regionen in West- und Zentralafrika sind durch feucht-heißes tropisches Klima geprägt. In allen Monaten des Jahres gibt es Niederschlag, die Temperaturen unterliegen im Jahresverlauf keinen oder nur wenig Schwankungen. Nach Norden, Süden und Osten wird dieser Klimatyp durch feucht-tropisches Klima mit kurzer

Trockenzeit abgelöst. Die hohen Niederschläge konzentrieren sich nun auf sieben bis neun Monate im Jahr, die Temperaturen weisen einen höheren Gradienten auf. Im Norden und Südosten daran anschließend geht diese Zone in ein feucht-tropisches Klima mit langer Trockenzeit über. Sechs oder mehr Monate herrscht hier Trockenzeit. Insgesamt fällt auch weniger Niederschlag und die Temperaturschwankungen sind höher. Ein kleiner Teil in Ostafrika weißt noch weniger Niederschlag auf und gehört damit zum tropischen Wüstenklimatyp („Arid-subtropisch“). Das

Hochland mit seinem tropischen Hochland-Klima, welches in größeren Höhen auch Schnee und Gletscher aufweist, muss gesondert betrachtet werden.

Ab etwa 15° nördlicher bzw. 10° südlicher Breite herrschen tropische Klimate vor. Die Sahara sowie die Namib-Wüste gehören dabei zum subtropischen Wüstenklimatyp, der in Afrika zudem die größte Ausdehnung besitzt. Jahresniederschläge können hier unter 25 mm liegen und das Temperaturregime ist im Jahres- und Tageswechsel von extremen Schwankungen geprägt. Die subtropischen Sommerregengebiete („Humido-arid“) finden sich besonders in den inneren Plateaus und Becken des südlichen und zentralen Afrikas. Der Niederschlag ist hier auf drei Sommermonate beschränkt. Die nördliche und südliche Spitze des afrikanischen Kontinents gehören schließlich zu den subtropischen Winterregengebieten („Arido-humid“), die dem mediterranen Klimatyp entsprechen (GOUDIE 1996; WALTER & BRECKLE 1999).

Die Temperaturverhältnisse in Afrika unterliegen im Gegensatz zum Niederschlag nur sehr geringer Variation im Jahresverlauf. Weite Gebiete sind mittleren Höchst-Temperaturen von 32° C bis zu 38° C ausgesetzt. In einigen Regionen der Sahara können diese bis zu 45° C erreichen. Auf der anderen Seite fallen die Temperaturen selten und nur in Gebieten der nördlichen Sahara und im südlichen Afrika unter 5° C (GOUDIE 1996).

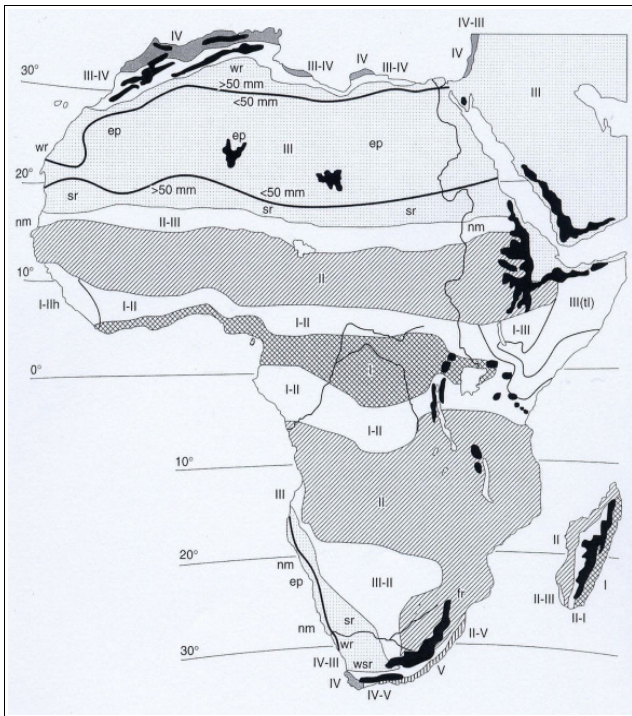
### 1.5.3 Vegetation

Zur vegetationsökologischen Zonierung der Erde existieren verschiedene Ansätze. Mit entscheidend für die Zonierung sind ökologische Zusammenhänge, klimatische Verhältnisse und historische Faktoren wie die Kontinentalverschiebung. Hier wird die Vegetation Afrikas auf Basis der Zonierung von WALTER & BRECKLE (1999) vorgestellt, eine ähnliche Zonierung schlug auch SCHULTZ (2002) vor. Es existieren jedoch andere Einteilungen wie beispielsweise die Ökoregionenkarte des *World Wildlife Fund* (WWF), in der weltweit 14 verschiedene Biome (OLSON, DINERSTEIN et al. 2001) anstatt der neun Biome nach WALTER & BRECKLE (1999) unterschieden werden.

Auf dem afrikanischen Kontinent weisen WALTER & BRECKLE (1999) stark vereinfacht fünf Biome aus: Tropischer Regenwald (I), Tropische Savannen (II), Semiaride und Aride Formationen (III), Mediterrane Hartlaubgehölze und Lorbeerwälder (IV-V) und Montane Regionen (siehe Abbildung 5).

Die tropischen Regenwälder sind in Afrika im Wesentlichen auf das zentrale und westliche Afrika beschränkt. Sie zeichnen sich durch hohe Niederschläge und durchgehend warme Temperaturen aus und zeigen eine hohe Diversität an Lebensformen und Arten. Das afrikanische Regenwaldgebiet ist allerdings auch eines der gefährdetsten. Durch die starken Eingriffe des Menschen in dieses Ökosystem ist seine ursprüngliche Größe nur schwer schätzbar. Die FAO schätzt die jährliche Verlustrate von Waldfläche im westlichen und zentralen Afrika zwischen 1990 und 2000 auf 1.731.000 ha Fläche und auf 1.702.000 ha zwischen 2000 und 2005. Dabei weisen der Sudan und Nigeria die höchsten jährlichen Nettoverlusten an Primärwald auf (FAO 2005).





**Abbildung 5:** Die Lage der fünf Zonobiome in Afrika aus WALTER & BRECKLE (1999).

Zwei Drittel der Fläche wird auf dem Kontinent von verschiedenen Savannentypen geprägt (ADAMS, GOUDIE et al. 1996). Durch die mehr oder weniger lange Trockenzeit ist ein deckender Baumbewuchs nicht mehr möglich, so dass die Vegetation aus einer durchgehenden Grasdecke oder Krautschicht besteht, die mehr oder weniger dicht mit Bäumen oder Sträuchern bestanden ist. Dabei werden je nach Dichte des Baumbestandes verschiedene Savannentypen unterschieden. Savannen dominieren im Afrika südlich der Sahara, westlich und südlich der Regenwaldzone des Kongobeckens. Die Sahelzone liegt ca. zwischen dem 10. und dem 17. nördlichen Breitengrad und kann als Transitionszone zwischen Savanne und Wüste gesehen werden. Die Vegetation besteht hier je nach Niederschlagsverhältnissen aus Grasland, Dornsavanne oder Baumsavanne. Aufgrund starker Besiedelung und Überweidung wurden

die Böden allerdings übernutzt. Aufeinanderfolgende Dürren insbesondere in den 80er Jahren führen zudem zu einer starken Degradierung der Vegetation.

Die semiariden und ariden Biome weisen mittlere Jahresniederschläge unter 400 mm bzw. unter 100 mm auf. Niederschläge treten unregelmäßig auf, zudem kommt es oft zu extremen Temperaturen bei sehr trockener Luft. Zu diesen Biomen gehören im Norden die Sahara und die daran anschließende Teile der Sahel-Zone, im Süden die Namib- und Kalahariwüste und die Karoo-Halbwüste. Auch das östliche Horn von Afrika gehört zu den semiariden Gebieten.

Die (Halb-)wüsten Namib und Karoo werden von Sukkulenteformationen bzw. Zwergstrauchvegetation (Karoo) dominiert. Trotz der ökologisch so ungünstigen Bedingungen weisen diese Regionen eine relativ hohe Diversität auf, da eine Fülle von Anpassungen und Überlebensstrategien entwickelt wurde. In der zentralen Sahara mit nur seltenen Regenereignissen beschränkt sich die Vegetation auf feuchte Rinnen oder Wadis. Nach Süden folgt mit Gräsern und niedrigen Sträuchern der Übergang zur Sahelzone.

Die Nord- und Südspitze Afrikas werden aufgrund heißer und trockener Sommermonate bzw. kühler und feuchter Wintermonate zu den mediterranen Biomen gezählt. Die Vegetation ist typischerweise immergrün, hartlaubig und kann sehr verschiedene Strukturen bilden, von offener Strauchvegetation (Fynbos) zu Hartlaubwald (immergrüne Lorbeerwälder). Der südlichen Kapregion kommt besondere Bedeutung durch die extrem hohe Phytodiversität und ihren hohen Endemismus bei. Sie wird daher auch als eigenes Florenreich betrachtet und als Capensis bezeichnet.

Die Bergregionen weisen besondere Bedingungen auf, da sie anderen Temperatur- und

Niederschlagsverhältnissen als das umliegende Tiefland unterliegen. Typischerweise wird die Vegetation hier von Heidepflanzen (*Ericaceae*) in Baum- oder Strauchform beherrscht. Auch die Bergregionen beherbergen zahlreiche Endemiten, deren Verbreitung zum Teil auf einzelne Bergmassive begrenzt ist (MEADOWS 1996; WALTER & BRECKLE 1999).

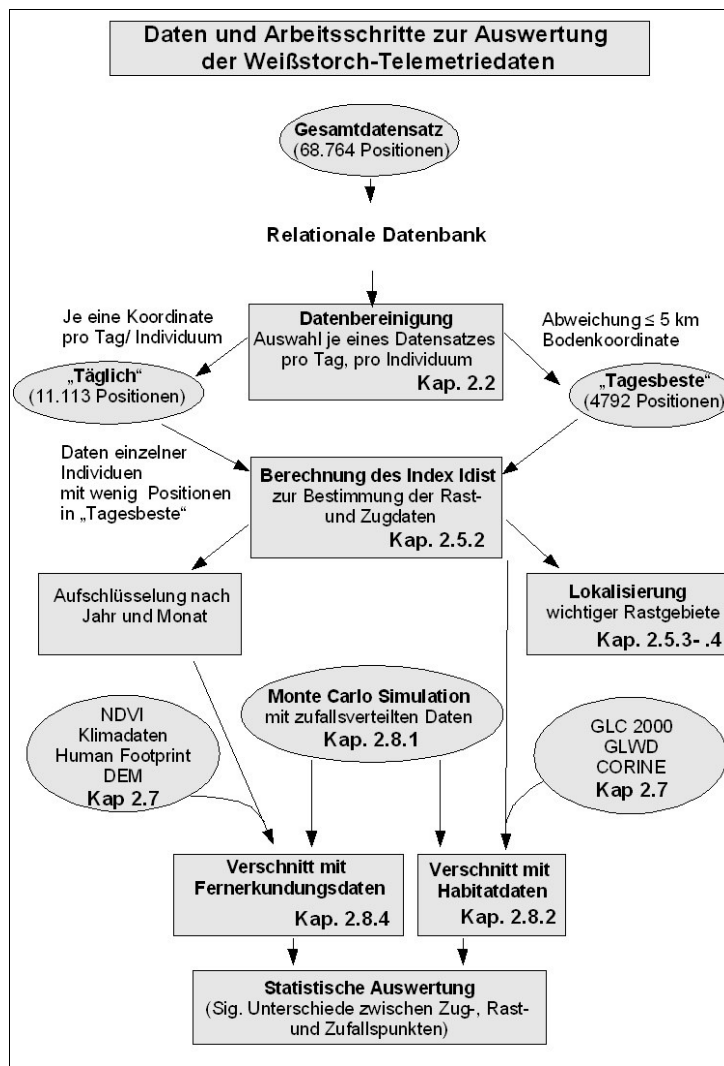
Die Zugrouten der in dieser Arbeit untersuchten Vogelarten Weißstorch und Schreiader führen mit Ausnahme der Regenwälder durch alle hier beschriebenen Vegetationstypen. Sie umfassen die afrikanischen Staaten Ägypten, Sudan, Tschad, Kenia, Uganda, (Ruanda), Tansania, Sambia, Zimbabwe, Botswana, Südafrika, Lesotho und Swasiland. Ein Hauptteil des Zuges erstreckt sich dabei über die Savannenlandschaften.

## 2 Material und Methoden

In der vorliegenden Arbeit wurden neue Methoden zu einer systematischen Analyse von Telemetriedaten erarbeitet. Wesentliche Schritte waren die

- Aufbereitung der Telemetriedaten, insbesondere für den Weißstorch (Kap. 2.2)
- Entwicklung eines Index zur objektivierten Unterscheidung von Zug- und Rastdatensätzen (Kap. 2.5.1 und 2.5.2)
- Auswertung der Telemetriedaten hinsichtlich wichtiger Rastgebiete (Kap. 2.5)
- Verschnitt der Telemetriedaten mit Fernerkundungsdaten und anderen Datenquellen zur Klärung genutzter Habitats und Einflussfaktoren auf das Zug- und Rastverhalten (Kap. 2.7 – 2.8)

Die folgende Grafik (Abb. 6) veranschaulicht die Vorgehensweise bei der Verarbeitung der Weißstorch-Telemetriedaten und weist auf die entsprechenden Kapitel im Methodenteil hin. Diese Methodik wurde auch bei der Auswertung der Schreiadler-Telemetriedaten eingesetzt.



**Abbildung 6:** Daten und Arbeitsschritte zur Bearbeitung der Weißstorch-Telemetriedaten, (Ausgangs-)Datensätze wurden in Ovalen, und Bearbeitungsschritte in Rechtecken dargestellt.

## 2.1 Satellitentelemetrie

Die vorliegende Arbeit basiert auf bereits erhobenen Telemetriedaten zweier wandernder Vogelarten (Weißstorch und Schreiadler). Die Auswahl der hier untersuchten Arten richtete sich dabei im Wesentlichen nach der Verfügbarkeit und dem Umfang der vorhandenen Telemetriedaten.

Die Besonderung der Vögel war kein Bestandteil der vorliegenden Arbeit, sie wird daher im folgenden zum besseren Verständnis nur kurz erläutert:

Bei der Satellitentelemetrie werden die zu besendernden Vögel gefangen und mit einem ARGOS-Sender ausgestattet. Dieser wird als eine Art Rucksack auf dem Rücken des Tieres befestigt. Das Gewicht der Sender variierte bei den hier untersuchten Arten zwischen 30 und 95 Gramm (MEYBURG & MEYBURG 1999; KAAZ 2004). Die Erfahrungen mit Senderattrappen und auch echten Sendern zeigen, dass die Tiere keinerlei Schaden durch die Sender davontragen (MEYBURG & MEYBURG 1997; KAAZ 2004). Der batterie- oder solarbetriebene Sender gibt jede Minute ein Signal auf einer bestimmten Frequenz und zu im Vorfeld definierten Sendezeiten (z.B. 12 Stunden Sendezeit – 36 Stunden Pause usw.). Die Signale werden von einem NOAA-Satelliten empfangen, der die Position des Senders mithilfe des Doppler-Effektes berechnet (s.u.), und an eine zentrale Basisstation sendet. Von hier aus können die Daten vom jeweiligen Wissenschaftler in digitaler Form abgerufen werden (BERTHOLD, NOWACK et al. 1992; MEYBURG & MEYBURG 2002; KAAZ 2004). Datensätze früherer Jahre waren zum Teil auch nur in Papierform verfügbar, so wie im Falle der hier verwendeten Schreiadler-Telemetriedaten.

Die Kosten der Satellitentelemetrie sind abhängig vom Umfang des Projektes und der Laufzeit der Sender. Je Sender müssen ungefähr 3000 Euro Anschaffungskosten gerechnet werden. Hinzu kommt eine Tagesgebühr von ca. 9 Euro, so dass sich die Gesamtkosten für ein Jahr und einen Vogel auf ca. 6200 Euro belaufen.

**Struktur der Telemetriedaten:** Die Abbildung 7 zeigt einen Beispieldatensatz, die enthaltenen Parameter werden im folgenden von links nach rechts erklärt.

```

27999 Date : 07.12.97 12:46:44 LC : 1 IQ : 50
Lat1 : 12.853S Lon1 : 31.822E Lat2 : 14.591S Lon2 : 24.203E
Nb mes : 005 Nb mes>-120dB : 000 Best level : -125 dB
Pass duration : 379s NOPC : 3
Calcul freq : 401 653292.3 Hz Altitude : 0 m
              191          189          25          100

```

*Abbildung 7: Beispiel für einen ARGOS Telemetriedatensatz (siehe Erläuterungen im Text).*

- Sendernummer,
- Datum, Uhrzeit (Weltzeit)
- Lokalisationsklasse (gibt Hinweis auf die mögliche fehlerhafte Abweichung der Lokalisation)  
Es werden sieben Klassen mit absteigender Qualität unterschieden: LC 3, 2, 1, 0, A, B und Z. ARGOS (1996) gibt für die Klassen 3, 2, 1 und 0 eine entsprechende Abweichung an (LC 3: < 0,15 km, LC 2: < 0,35 km, LC 1: < 1,0 km, LC 0: > 1,0 km), allerdings stellte KAAZ (2004) durch Vergleiche mit eigenen GPS-basierten Lokalisationen fest, dass diese Genauigkeiten variieren können, so dass teilweise größere Abweichungen gemessen wurden. Auch HAYS,

AKESSON et al. (2001) weisen auf teilweise größere Abweichungen im Gegensatz zu den ARGOS-Angaben hin und betonen, dass insbesondere bei der Berechnung von Zuggeschwindigkeiten die Lokalisationsgenauigkeit berücksichtigt werden sollte.

- IQ (Frequenzstabilität)
- zwei geografische Lokalisationen jeweils in Lat/Long-Angabe (Geografisches Koordinatensystem: WGS 84). Mit Kenntnis der Frequenz des Senders, der Satellitenflugbahn und der Lage der Erdoberfläche kann der Satellit aus der sich ergebenden Frequenzstauung bei Annäherung bzw. Entfernung des Senders einen Winkelbezug berechnen. Dieser entspricht einem Kreis mit einer Ebene senkrecht zur Satellitenflugbahn. Das Signal und somit auch die Position des Senders kann theoretisch überall auf diesem Kreis liegen, muss jedoch – da es sich um Vögel handelt - auf der Erdoberfläche liegen. Da der Kreis zwei mögliche Schnittpunkte mit der Erdoberfläche hat, ergeben sich somit zwei verschiedene Lokalisationen (ARGOS 1996). Über eine Plausibilitätsrechnung wird die wahrscheinlichere Position an die erste Stelle gesetzt. Bei einigen Sendersignalen (32 % aller Signale) kann keine Position ermittelt werden, folglich enthält dieser Datensatz keine Lat/Long-Angaben. Die Berechnung und Genauigkeit der Position kann beispielsweise durch schlechte Wetterbedingungen oder Batterieschwäche beeinträchtigt werden (VAN DEN BOSSCHE & BERTHOLD et al. 2002).
- Nb mes (Anzahl der empfangenen Impulse), Nb mes>120db (Anzahl der empfangenen Impulse über 120db), Best level (stärkstes Signal)
- Pass duration (Dauer des Signalkontakts), NOPC (Plausibilitätstest)
- Calcul freq (Berechnete Frequenz), Altitude (Höhe, diese muss manuell eingegeben werden)
- Temperatur, Batteriespannung, Count (Zähler) und Aktivitätssensor

Der in Abbildung 7 gezeigte Datensatz erreicht für die in dieser Lokalisationsklasse (LC 1) relevanten Parameter IQ, Nb mes NOPC und Pd recht hohe Werte, so dass nach KAATZ (1999) eine relativ geringe Abweichung von ca. 2,8 km berechnet wird.

## 2.2 Telemetriedaten des Weißstorchs (*Ciconia ciconia*)

Die in der Arbeit verwendeten Telemetriedaten des Weißstorchs stammen von insgesamt 66 besenderten Vögeln und umfassen einen Zeitraum von April 1991 bis Ende Mai 2003. Insgesamt handelt es sich dabei um rund 87.000 Datensätze. Diese wurden im Rahmen einer Dissertation von Dr. Michael Kaatz der Vogelschutzwarte Storchenhof Loburg (Sachsen-Anhalt) in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Forschungsstelle für Ornithologie, Vogelwarte Radolfzell erhoben.

Die Telemetriedaten wurden in Form von MS-Excel-Tabellen der einzelnen Besenderjahre zur Verfügung gestellt. Diese mussten zunächst zur Integration im Geografischen Informationssystem (GIS) ArcView 3.2 bzw. ArcView 8 (siehe Kap. 2.4) aufbereitet werden. Dazu gehörte eine Standardisierung der Excel-Tabellen und ihre Integration in eine relationale Access-Datenbank. Eine relationale Datenbank ermöglicht die Speicherung der Daten in verschiedenen Tabellen, die dann je nach Notwendigkeit miteinander kombiniert werden können. Über SQL-Abfragen (*Standard Query Language*) ist es möglich, Auszüge aus Tabellen zu erstellen und mit anderen Tabellen über eine Kennnummer zu verknüpfen. Dies war insbesondere für die nachfolgende

Bearbeitung des Datensatzes beispielsweise zur Auswahl genauer Lokalisationen von Wichtigkeit (siehe Kap. 2.2.1).

Die Daten wurden nach Sendern bzw. Individuen sortiert und zunächst in eine Gesamt-Tabelle geschrieben. Die Datensätze sind durch eine fortlaufende Kennnummer eindeutig identifiziert. Durch Angabe von Sender- und Ringnummer kann jeder Datensatz dem entsprechenden Vogel zugeordnet werden. Der Gesamtdatensatz enthält Senderdaten, die zum Teil noch über den Tod einzelner Störche hinausgehen. Per Hand wurden daher nochmals alle Daten überprüft und die Datensätze nach dem vermutlichen Todeszeitpunkt herausgenommen. Der Todeszeitpunkt konnte dabei mithilfe der Sensordaten bestimmt werden: insbesondere aus dem Aktivitätssensor und den Änderungen der Batteriespannung kann herausgelesen werden, ob der Vogel sich noch bewegt oder verendet am Boden liegt. Die Bestimmung des Todeszeitpunktes wurde mit bestehenden Angaben von Dr. M. Kaatz abgestimmt (M. KAATZ, pers. Mitteilung).

### 2.2.1 Aufbereitung des Gesamtdatensatzes

Es wird angenommen, dass vermehrte Aufenthalte (viele Lokalisationen) in relativ begrenzten Regionen auf Rast- und Überwinterungsgebiete hinweisen. Da meist pro Tag und pro Individuum mehrere Lokalisationen vorhanden sind, besteht allerdings die Gefahr einer Überbewertung solcher Regionen, zu denen mehrere Lokalisationen vorhanden sind. Dies ist beispielsweise in Afrika der Fall, da hier insbesondere die solarbetriebenen Sender besser arbeiten. Weil oftmals die regionalen Witterungsverhältnisse einen Einfluss auf die Anzahl der empfangenen Sendersignale haben, liegen pro Tag und pro Sender sehr unterschiedliche Anzahlen von Datensätzen vor.

Weiterhin wurde bereits erwähnt, dass einige der Datensätze durch fehlerhafte Lokalisation erhebliche Abweichungen von der tatsächlichen Position des Vogels haben können (KAATZ 1999). Dies konnte vor allem durch Vergleich der ARGOS-Lokalisationen mit bekannten Positionen des Senders (GPS-Positionen aus der Begleitung einiger besonderer Störche) festgestellt werden (KAATZ 2004). Mit der Auswertung solcher fehlerhafter Positionen können erhebliche Fehler bei der Eingrenzung der Rastgebiete auftreten. Daher sollten die Daten zur weiteren Auswertung ein bestimmtes Qualitätskriterium erfüllen.

Es wurde daher ein Standarddatensatz erzeugt, im folgenden als „Tagesbeste“ bezeichnet, der folgende Kriterien erfüllt:

- Eine Positionsabweichung mit einem Fehler von höchstens fünf Kilometern  
Die genaue Positionsabweichung konnte mithilfe eines von KAATZ (1999) entwickelten Verfahrens bestimmt werden (siehe Abschnitt 2.2.1.a)
- Auswahl von „Bodenkoordinaten“  
Hierbei befand sich der Storch aller Wahrscheinlichkeit nach am Boden, was insbesondere im Falle der Habitatbestimmung von großer Bedeutung ist.
- Je Individuum jeweils eine Lokalisation (= ein Datensatz) pro Tag.

**a) Auswahl der Lokalisationen mit geringem Abweichungsfehler**

KAATZ (1999) hat in seiner Studie die Bedeutung der einzelnen Sender-Parameter für die Abweichung der Lokalisationen untersucht. Die Untersuchung wurde erst mit Senderdaten ab 1994 durchgeführt, so dass die Auswahl der besten Lokalisationen hier folglich auch nur für die Senderdaten des Zeitraums 1994-2003 durchgeführt werden konnte. Weil das Verfahren nur auf Sender der Firma Microwave angewandt werden konnte, fielen die Positionen zweier Northstar-Sender aus dieser Analyse heraus (Störche mit den Ringnummern M 640 und M 641).

Als Kriterium für die Auswahl der Lokalisationen wurde eine mittlere Abweichung von  $\leq 5$  km gewählt, um ein vertretbares Maß an fehlerhafter Abweichung zu wählen, den Gesamtdatensatz jedoch nicht zu stark zu dezimieren. Falls vorhanden, wurden auch die GPS-Lokalisationen von Kaatz verwendet, da diese die höchstmögliche Genauigkeit besitzen und zudem auch für die Jahre 1991-93 vorhanden waren. Die Auswahl von Positionen mit möglichst hoher Lokalisationsgenauigkeit fand mittels SQL-Abfragen in MS-Access statt, in denen die Parameterwerte, Jahrgänge und Lokalisationsklassen als Auswahlkriterium angegeben wurden. In eine gesonderte Spalte konnte die jeweilige nach der Studie errechnete mittlere Abweichung der Lokalisation eingetragen werden. Die nach KAATZ (1999) berechneten Abweichungen wurden alle mithilfe des arithmetischen Mittels gebildet. In 60-70 % der Fälle liegt die tatsächliche Abweichung unter diesem Mittelwert (KAATZ 2004).

In der Studie wurde je nach Jahrgang (1994/1995 oder 1996-2003) und Lokalisationsklasse die mittlere Abweichung der Senderlokalisierung bezüglich der jeweiligen Parameterwerte berechnet. Die beeinflussenden Parameter sind Frequenzstabilität, eigens berechnete geometrische Parameter, Anzahl der empfangenen Impulse, Anzahl der Plausibilitätstests und Länge des Signalkontaktes. Mithilfe dieser Parameter konnten je nach Jahrgang und Lokalisationsklasse die mittleren Abweichungen der Lokalisation bestimmt werden. Diese wurde in der Gesamttabelle in einer eigenen Spalte jedem Datensatz zugeordnet.

**b) Auswahl der Koordinaten, an denen der Weißstorch bei Dunkelheit ruht (Bodenkoordinaten)**

Insbesondere für die nachfolgenden Auswertungen mit Fernerkundungsdaten sollte gewährleistet sein, dass es sich bei den Koordinaten um Bodenpositionen handelt, so dass von einer Habitatnutzung ausgegangen werden kann. Die Entscheidung, ob es sich um eine Bodenkoordinate oder eine Flugkoordinate handelt, wurde in Abhängigkeit von der Tageszeit bestimmt. Erfahrungswerte aus Feldbeobachtungen geben darüber Aufschluss, zu welchen Zeiten die Störche am Morgen abfliegen bzw. sich am Abend niederlassen. Dabei ist für die Vögel der Stand der Sonne entscheidend. Die lokale Uhrzeit gibt keinerlei Aufschluss über Sonnenaufgang- oder untergang, da dieser breiten- bzw. jahreszeitabhängig ist. Zur Bestimmung von Boden- und Flugkoordinaten wurde daher der berechnete Sonnenstand für jede einzelne Lokalisation hinzugezogen.

Für die Berechnung des Sonnenstands wurde ein Excel-Makro (=Programm) verwendet, welches bereits in der Dissertation von M. Kaatz der Sonnenhöhenbestimmung diente (G. HELMER). In das Programm werden die Lat-/Long-Angaben sowie das Datum und die Uhrzeit der jeweiligen Lokalisationen eingegeben. Das Programm berechnet die Sonnenhöhe in Grad, wobei diese negative Werte annimmt, sobald die Sonne unter dem mathematischen Horizont steht. Die Brechung der Sonnenstrahlen bewirkt, dass es jedoch nicht schlagartig dunkel wird. Dies ist erst bei einer Sonnen-

höhe von -18 Grad der Fall.

Beobachtungen zeigen, dass die Störche morgens erst ab einer Sonnenhöhe von 20 Grad abfliegen, abends jedoch noch bis in die Dämmerung hinein fliegen, bis zu einer Sonnenhöhe unter -10 Grad (M. KAATZ, pers. Mitteilung). Unterhalb dieser Werte kann also davon ausgegangen werden, dass der Storch mit großer Wahrscheinlichkeit am Boden ist.

**c) Ermittlung der Bodenkoordinaten mit geringer Abweichung**

Zur Ermittlung der Bodenkoordinaten und der Auswahl des davon jeweils besten Datensatzes (geringe Abweichung) waren mehrere Abfragen in MS-Access nötig. Im Folgenden werden wesentliche Schritte dargestellt.

a) Verfahren bei Lokalisationen, die pro Datum und pro Sender (= einem Individuum) nur einmal vertreten sind

- Extraktion der Datensätze, deren Sonnenhöhe unter 20 (morgens) bzw. unter -10 Grad (abends) liegt (=Bodenkoordinaten), durch Verknüpfung mit der Grundtabelle werden diese Datensätze in einer neuen Spalte markiert

b) Verfahren bei Lokalisationen, die pro Datum und pro Sender mehrmals vertreten sind

- Auswahl der Datensätze, die wiederum eine Sonnenhöhe unter 20 (morgens) bzw. unter -10 Grad (abends) haben
- Auswahl einer Koordinate mit dem jeweils kleinsten Sonnenhöhenwert (= höhere Wahrscheinlichkeit für eine Bodencoordinate) und Markierung des Datensatzes in der entsprechenden Spalte
- Daraus Auswahl der Datensätze, die entweder durch GPS lokalisiert wurden oder eine Abweichung unter 5 km haben und Abspeicherung der markierten Werte als eigene Tabelle

**d) Auswahl je eines Datensatzes pro Tag**

Ziel war es nun, zwei verschiedene Standarddatensätze zu erstellen. In einem sollten beide Kriterien der Lokalisationsgenauigkeit und der Bodencoordinate erfüllt sein. Ein zweiter Datensatz sollte - soweit möglich - jeweils eine Position pro Tag enthalten, selbst wenn die oben genannten Kriterien nicht erfüllt werden können. Dies sollte eine vergleichende Auswertung ermöglichen.

Zur Erstellung dieser Standardtabellen sollten also pro Tag und Individuum vorzugsweise Bodenkoordinaten und genaue Lokalisationen verwendet werden (siehe oben). Waren solche Datensätze nicht vorhanden, wurde ein anderer Datensatz ausgewählt, der dem Kriterium der Sonnenhöhe möglichst nahe kommt. Auch hierbei handelt es sich um eine Reihe von Access-Abfragen, wobei wie folgt vorgegangen wurde:

- Markierung der Datensätze, die beide Kriterien erfüllen (Genauigkeit der Lokalisation und Bodencoordinate) in einer neuen Spalte (s.o.)
- für die restlichen Daten Auswahl je einer Lokalisation pro Tag und pro Sender mit der kleinsten Sonnenhöhe

Jeder Datensatz wurde entsprechend markiert. Anhand der Informationen konnten Tabellen erstellt werden. Eine enthält ausschließlich Datensätze die alle drei Kriterien erfüllen (im folgenden als „Tagesbeste“ bezeichnet) und fortwährend als Standarddatensatz diente. Eine weitere Tabelle enthält – falls vorhanden - zu jedem Tag einen Datensatz. Dabei sollten nach Möglichkeit die oben ge-



nannten Kriterien erfüllt sein, andernfalls wurde jedoch ein annähernd guter Datensatz (möglichst eine Bodencoordinate, also kleine Sonnenhöhe, und möglichst geringe Abweichung) gewählt (im folgenden als „Täglich“ bezeichnet). Der „Täglich“-Datensatz wurde bei den folgenden Auswertungen mit Fernerkundungsdaten nur für ausgewählte Weißstorch-Individuen mit ansonsten schlechter Datenlage verwendet und stellt daher nur einen Auszug des Gesamt-Datensatzes dar: Weißstörche mit den Ringnummern B 6772, KA 0011, KA 0015, KA 0017, KA 0750 (nur Zug im Jahr 1994), KA 0775, KA 0798, KA 2577, KA 2578, L 4167, M 640 und M 641.

Soweit nicht besonders vermerkt, wurden alle Analysen auf Basis des Standarddatensatzes („Tagesbeste“) durchgeführt.

Die Tabellen sind alle in einer Datenbank gesammelt und können untereinander über die eindeutige Kennnummer (s.o.) miteinander verknüpft werden.

### **2.3 Telemetriedaten des Schreiadlers (*Aquila pomarina*)**

Für den Schreiadler und weitere Greifvogelarten wurde die Satellitentelemetrie wesentlich durch Prof. B.-U. Meyburg und C. Meyburg (World Working Group on Birds of Prey and Owls, WWGBP) vorangetrieben (MEYBURG, SCHELLER et al. 1993; MEYBURG, SCHELLER et al. 1995; MEYBURG & MEYBURG 1998). Von den insgesamt 87 besenderten Greifvögeln wurden zwischen 1992 und 2001 auch 28 Schreiadler besendert (MEYBURG & MEYBURG 2002). Aus Kostengründen liegt der Gesamtdatensatz der empfangenen Telemetriedaten lediglich in Papierform vor. Aus Zeitgründen wurde daher nur ein Teil der erhobenen Telemetriedaten eingegeben (zwei besenderte Schreiadler, Sendernummern 6970/28000 und Sendernummer 27999). Die Telemetriedaten des Schreiadlerpaares umfassen die Zeiträume Oktober - Dezember 1997, Dezember 1998 - März 1999 (28000/6970), November 1997 – April 1998 und November 1998 - Januar 1999. Damit beschränkt sich der Gesamtdatensatz im Wesentlichen auf die Zug- und Überwinterungsgebiete. Insgesamt wurden 1156 Datensätze eingegeben, die jedoch noch ungenaue Lokalisationen und mehrere Lokalisationen pro Tag enthielten.

Zur Auswahl der für die weitere Analyse nutzbaren Daten wurden folgende Schritte parallel zur Bearbeitung der Weißstorchdaten durchgeführt:

1. Bestimmung der Lokalisationsgenauigkeit nach KAATZ (1999)
2. Auswahl der Datensätze, die eine Ungenauigkeit von höchstens 10 km haben (90 % der Daten hatten dabei eine Abweichung bis zu 5 km)
3. Auswahl je eines Datensatzes pro Tag (per Hand) (beste Lokalisation)

Da es keine exakten Angaben zu den genaueren Start- und Landezeiten der Schreiadler gibt, wurden lediglich die frühesten Morgen- bzw. die spätesten Abendkoordinaten ausgewählt. Zu diesen Zeiten wird ein Aufenthalt am Boden am wahrscheinlichsten angenommen, da es sich bei dem Schreiadler ebenfalls um einen Tagzieher handelt.

### **2.4 Geografische Informationssysteme (GIS)**

Die räumliche Auswertung und Analyse der Telemetriedaten wurde mithilfe Geografischer Informationssysteme (GIS) durchgeführt. Grundsätzlich wird in der Anwendung dieser Software zwischen Raster- und Vektordaten unterschieden. Rasterdaten (z.B. Satellitenbilder) bestehen aus

einzelnen Pixeln gleicher Größe, denen ein Wert zugewiesen ist. Vektordaten werden hingegen durch Linien (z.B. Straßen), Punkte (z.B. Telemetriekoordinaten) oder Polygone (z.B. Länderumrisse) dargestellt und können somit verschiedenste Formen darstellen. Im GIS können diese beiden Datentypen zwar gemeinsam dargestellt werden, jedoch ist es nicht ohne weiteres möglich, Informationen beider Datentypen zu kombinieren oder gemeinsam abzufragen.

In den hier verwendeten GIS Programmen ArcView 3.2 (ESRI 1992-1999) und ArcMap (in ArcView 8) (ESRI 1999-2002) können Punktdaten mithilfe einer Verknüpfung zur entsprechenden Access-Datenbank dargestellt und in ein GIS-Datenformat (Shapefile in ArcView oder Layer in ArcMap) umgewandelt werden. Dieses Datenformat enthält neben der geografischen Information auch eine Attributtabelle mit den Inhalten der zugrunde liegenden Datenbank.

Durch die Integration im GIS konnten die Telemetriedaten mit anderen geografischen Daten räumlich ausgewertet werden. Das Programm ermöglicht es, verschiedene geografische Projektionen zur Darstellung und Auswertung zu verwenden. Da die Koordinaten jedoch in Lat-/Long-Angaben vorliegen (s.o.), wurde zumeist im Geografischen Koordinatensystem gearbeitet. Entsprechend sind alle hier präsentierten GIS-basierten Karten im geografischen Koordinatensystem (WGS 84) dargestellt. Der jeweilige Maßstab ist auf einem Balken dargestellt. Lediglich zur NDVI-Datenanalyse bzw. bei Flächenberechnungen wurden die Telemetriedaten mithilfe der ArcToolbox umprojiziert. Dies ist entsprechend in den einzelnen Kapiteln explizit erwähnt. Neben mitgelieferten Funktionen zur Analyse und Auswertung der geografischen Informationen besteht im GIS die Möglichkeit, weitere Zusatzfunktionen (= *Extensions*) zu laden. Diese werden vom Nutzer programmiert und auf der Internetseite des Herstellers ESRI frei im Internet zur Verfügung gestellt. Auf die hier verwendeten *Extensions* wird in den entsprechenden Kapiteln eingegangen.

## 2.5 Lokalisierung der Rastgebiete

Wie bereits erwähnt, wird angenommen, dass gehäufte oder langwährende Rastaufenthalte in begrenzten Regionen diese als wichtige Rast- oder Überwinterungsgebiete auszeichnen. Aufgabe war es nun, ein standardisiertes Verfahren zu entwickeln, mit dem auf objektivierte Weise solche konzentrierten Rastaufenthalte lokalisiert werden können. Dazu gehörte die Entwicklung eines Index, der eine Unterscheidung von Rast- und Zugdaten ermöglicht. Anhand der Weißstorch-Telemetriedaten wurden zu Vergleichszwecken zwei verschiedene Indizes entwickelt, die unterschiedliche Parameter nutzen und im folgenden vorgestellt werden. Für die Auswertung der Daten zur Lokalisierung wichtiger Rastgebiete und der Bestimmung genutzter Habitate wurden schließlich die Rastdaten des Distanzenindex ( $I_{\text{dist}}$ ) herangezogen, da dieser besser bewertet wurde (siehe Abschnitt 2.5.2). Auch die Telemetriedaten des Schreiadlers wurden auf Basis dieses Index berechnet.

### 2.5.1 Direktionaler Index ( $I_{\text{dir}}$ ) zur Unterscheidung von Rast- und Zugdaten

Der direktionale Index  $I_{\text{dir}}$  setzt die Richtungsänderung und die zurückgelegte Strecke zwischen zwei Koordinaten miteinander in Beziehung. Er beruht auf der Annahme, dass sich Rastverhalten durch kurze Tagesdistanzen mit starker Richtungsänderung auszeichnet. Ein Blick auf die Telemetriedaten zeigt, dass in bekannten Überwinterungs- oder Aufenthaltsgebieten wie beispielsweise im Tschad und Sudan (BERTHOLD, BOSSCHE et al. 2001) pro Tag nur sehr wenige

Kilometer geflogen werden. Zudem kommt es häufig zu Änderungen der Flugrichtung, da die Vögel oft über einen längeren Zeitraum in einem relativ begrenzten Gebiet von einigen Kilometern Ausdehnung zu verschiedenen Nahrungsplätzen fliegen. Dies gilt im übrigen auch für den Schreiadler, in (MEYBURG, SCHELLER et al. 2000) sind die Ausdehnung der Überwinterungsgebiete und die zwischenzeitlichen Bewegungen darin zu sehen.

Grundlage zur Berechnung des Index bildete der „Tagesbeste“-Datensatz. Für jeden besenderten Vogel wurde zunächst ein Einzeldatensatz (als eigenes Shapefile) erstellt, um den Index für jedes Individuum gesondert berechnen zu können. Dabei kann ein Shapefile auch mehrere Zugrouten (Weg- und Heimzug) umfassen.

Die Erweiterung für ArcView 3.2 (Pt2PtBearingAndDistance.ave)<sup>3</sup> kann Distanzen (*distance*) und Richtungsänderungen zwischen zwei Strecken (*bearing*) berechnen. Die Richtungsänderung entspricht dem Winkel, den die zwei Strecken S1 und S2 (Abb. 8) miteinander einschließen. Somit war es möglich, zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lokalisationen die Richtung und die geflogene Distanz in Kilometern zu berechnen. Da nicht immer zu jedem Tag eine Position vorhanden ist, wurden zusätzlich die vergangenen Tage zwischen zwei Positionen berechnet.

Der direktionale Index  $I_{dir}$  wird nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$I_{dir} = \frac{r * t}{s} \quad \text{Gleichung 1}$$

mit

r = Richtungsänderung zwischen vorangegangenem und betreffenden Datensatz [°]

t = vergangene Tage nach der Richtungsänderung

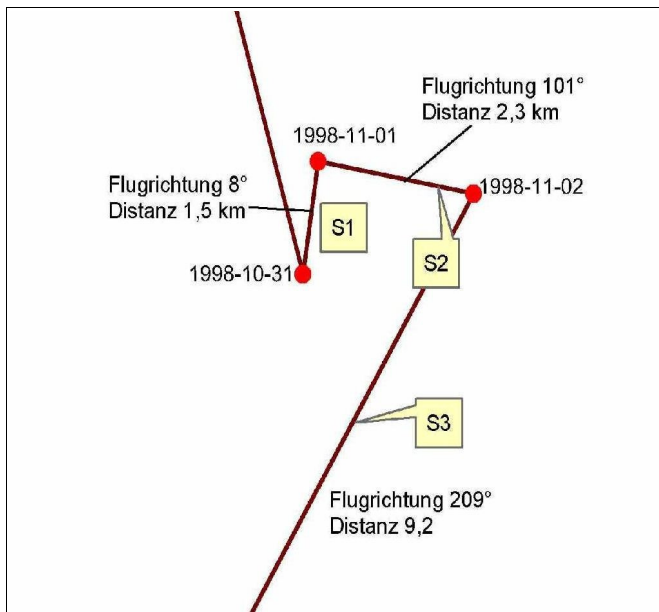
s = geflogene Kilometer nach der Richtungsänderung [km]

Um den Schwellenwert zu bestimmen, der die Zug- von den Rastdaten trennt, wurden zunächst die errechneten Indizes in der Kartendarstellung überprüft. Es konnte festgestellt werden, dass die Indizes in bekannten Rastgebieten >1 waren. Um diesen Schwellenwert zu überprüfen, wurden für alle Datensätze mit einem berechneten Index unter und über eins die Mittelwerte von Richtungsänderung, geflogenen Kilometern und den vergangenen Tagen nach der Richtungsänderung berechnet.

Problematisch bei der Berechnung und Verwendung dieses Index ist die Bestimmung des Schwellenwertes. Dieser musste nach weitgehend subjektiven Kriterien unter Hinzunahme bekannter Rastgebiete erfolgen. Die resultierenden Richtwerte (Mittelwerte) der entscheidenden Parameter (Strecke und Richtungsänderung) ergaben sich erst in Folge der Schwellenwertbestimmung und konnten nicht im Voraus definiert werden. Aus diesem Grund wurde ein zweiter Index entwickelt, bei dem diese Problematik umgangen wird.

---

3 Unter <http://arcscrips.esri.com/> bietet ESRI die Möglichkeit, Zusatzskripte herunterzuladen und diese als Erweiterung in ArcView zu laden



**Abbildung 8:** Komponenten zur Berechnung des Index  $I_{dir}$  zur Unterscheidung zwischen Rast- und Zugdaten im Beispiel eines Zugroutenausschnitts.

### Beispiel:

Berechnung der Flugrichtungsänderung zwischen Strecke S1 und Strecke S2 ( $=93^\circ$ )

Berechnung der vergangenen Tage nach der Flugrichtungsänderung (31.10. - 01.11.) ( $=1$ )

Berechnung der geflogenen Kilometer nach der Flugrichtungsänderung ( $=2,3$ )

Einsetzen in die Formel:

Index für Datensatz 01.11.01:  
 $93 * 1 / 2,3 = 40,1$

Zum Vergleich Strecke S2 und S3:

Flugrichtungsänderung:  $108^\circ$

Vergangene Tage: 1 Tag

Geflogene Kilometer nach Richtungsänderung: 9,2

Index für den Datensatz am 02.11.01:  $108 * 1 / 9,2 = 11,7$

An einem Tag wurden nur wenige Kilometer geflogen, nachdem der Storch zuvor relativ stark die Flugrichtung gewechselt hat. Diese Parameter lassen auf einen Rasttag schließen, der Index ist entsprechend hoch. Bei einer ähnlichen Richtungsänderung, jedoch einer längeren Flugstrecke nimmt der Index kleinere Werte ein.

### 2.5.2 Distanzenindex ( $I_{dist}$ ) zur Unterscheidung von Rast- und Zugdaten

Aufgrund der oben beschriebenen Problematik bei der Festlegung des Schwellenwertes wurde ein weiterer Index entwickelt, der ausschließlich die geflogenen Strecken und deren Verhältnis zueinander in Betracht zieht (GERKMANN & RIEDE 2005). Der im Folgenden als  $I_{dist}$  bezeichnete Index (Distanzenindex) wurde auf der Grundlage des Standarddatensatzes „Tagesbeste“ und des „Täglich“-Datensatzes berechnet.

Das Prinzip dieses Index beruht auf der Unterscheidung zwischen gerichteter (= Zug) und ungerichteter Bewegung (= Rast). Als Maß für die „Gerichtetheit“ einer Bewegung dient das Verhältnis zwischen der tatsächlich geflogenen Distanz über drei Tageslokalisationen und der kürzesten Distanz (geografische Distanz) zwischen der jeweils ersten und letzten Lokalisation. Die geografische Distanz entspricht dabei der Entfernung zweier Punkte auf der Kugel (Bogenmaß im Einheitskreis) und wird nach der weiter unten beschriebenen Formel berechnet. Ist die geflogene Distanz weitaus größer als die geografische Distanz, weist dies auf „Umwege“ hin, die entsprechend auf eine ungerichtete Bewegung hinweisen.

Der Distanzen-Index  $I_{dist}$  wird nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$I_{dist} = \frac{(\text{Geflogene Distanz})}{(\text{Geografische Distanz})} \quad \text{Gleichung 2}$$

Es ergibt sich ein definierter Schwellenwert von eins bei dem die geflogene Distanz der geogra-

fischen Distanz entspricht und es sich damit um eine vollkommen gerichtete Bewegung handelt. Um jedoch Unterschiede in den Nachkommastellen zu erlauben, wurde eine Abweichung von 0,1 zugelassen und der Schwellenwert damit mit 1,1 definiert.

Zusätzlich wurden mittlere geflogene Tageskilometer in die Berechnung einbezogen, um die Unterscheidung zwischen gerichteter und ungerichteter Bewegung noch zu verfeinern.

Dazu wurden folgende Bedingungen aufgestellt:

*Tabelle 1: Kriterien zur Unterscheidung zwischen gerichteter und ungerichteter Bewegung.*

<b>Mittlere geflogene Distanz (km/Tag)</b>	<b>Geografische Distanz zwischen jew. 1. und 3. Lokalisation</b>	<b>Idist</b>	<b>Klassifikation</b>
≤ 50	≤ 50	≥ 1,1	Ungerichtete Bewegung – Rast
≤ 50	≤ 50	< 1,1	Rast, da kurze Distanzen, jed. mit gerichteter Bewegung
> 50	> 50	< 1,1	Gerichtete Bewegung – Zug
> 50	> 50	≥ 1,1	Nicht klassifizierbar („Umkehrzug“)
> 50	≤ 50	≥ 1,1	Nicht klassifizierbar („Rückkehr“)

Als Richtwert zur Abgrenzung zwischen Rast und Zug wurde eine Tagesdistanz von 50 km (VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002) gewählt. In zwei Fällen können die Werte hiernach nicht eindeutig klassifiziert werden: Betragen mittlere geflogene Distanz und geografische Distanz mehr als 50 km, deutet dies auf Zug hin. Nimmt der Index hier allerdings Werte über 1,1 ein, deutet dies eher auf Rastverhalten. Es handelt sich hierbei um eine Art Umkehrzug, da zwar große Distanzen zurückgelegt werden, diese allerdings nicht gerichtet erfolgen.

Im zweiten Fall liegt die mittlere geflogene Distanz zwar über 50 km, die tatsächlich zurückgelegte Strecke jedoch unter 50 km. Ein eingenommener Index über 1,1 deutet auf Rast hin, allerdings ist dies nicht mit der Tagesdistanz über 50 km vereinbar. Es handelt sich um eine Art „Rückkehrzug“ und kann ebenfalls nicht klassifiziert werden. Diese Sonderfälle treten vereinzelt auf und müssten einzeln betrachtet werden. Sie wurden daher als „Nicht klassifizierbar“ definiert.

Im Falle der Weißstorch-Telemetriedaten musste ein weiterer Sonderfall berücksichtigt werden. Die Beobachtungsdaten (GPS-Lokalisationen) enthalten zum Teil exakt gleiche Koordinaten für aufeinanderfolgende Tage. Dies ist insbesondere im Brutgebiet der Fall, wo der Storch über lange Zeiträume die gleiche Position beibehält. In diesem Fall konnte keine Distanz errechnet werden. Da es sich eindeutig um einen Aufenthalt handelt, wurden solche Datensätze als Brut- oder Beobachtungspunkte definiert.

Die Berechnungen der einzelnen Teilstrecken und die Ermittlung der jeweiligen Verhältnisse waren im GIS nicht realisierbar, so dass die Berechnungen mit den entsprechenden Formeln in Excel ausgeführt wurden. Die Distanz zwischen zwei Punkten L1B1 und L2B2 auf der Erdkugel wird nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$\text{Distanz } L1B1 - L2B2 = \frac{(R * \delta * \pi)}{(180^\circ)} \quad \text{Gleichung 3}$$

mit R= Erdradius (6378 km) und  $\delta$  = Mittelpunktswinkel (siehe unten)

Für die Berechnung der Distanz in Excel zwischen zwei Punkten L1 B1 und L2 B2 sind folgende Schritte erforderlich (Formelbezeichnungen aus Excel in Kapitälchen):

1. Umrechnung der geografischen Breite und Länge in Bogenmaß: **BOGENMASS (Länge und Breite in Grad) = L und B**
2. Differenz der geografischen Länge in Bogenmaß = **DL**
3. Berechnung des Kosinus Delta:  **$\cos \delta = \sin(L1) * \sin(L2) + \cos(L1) * \cos(L2) * \cos(DL)$**
4. Inverser Kosinus = Delta = Winkel, direkte Umrechnung in Grad:  **$\arccos(\cos \delta) * 180 / \pi() = D$**
5. Zentriwinkel:  **$(6378 * \pi() / 180) = Z$**
6. Distanzberechnung aus Delta und Zentriwinkel:  **$(D * Z)$**

Die berechneten Strecken 1 und 2 werden schließlich addiert und mit der geografischen Distanz ins Verhältnis gesetzt (siehe Formel  $I_{\text{dist}}$ ). Falls nicht zu jedem Tag Lokalisationen vorhanden waren, wurden die mittleren Distanzen pro Tag berechnet.

Zur vereinfachten Anwendung für die Telemetriedaten des Schreiadlers wurden alle Formeln zur Indexberechnung in einer Exceltabelle zusammengefasst. Diese ermöglicht die direkte Eingabe der Daten (geografische Koordinate, Datum und ggf. ID) und berechnet die zugehörigen Indizes mitsamt der Klassifizierung in Rast- und Zugdaten.

### 2.5.3 Mittlere Tagesdistanz zur Lokalisierung der Rast- und Zuggebiete

Da mit der Berechnung von  $I_{\text{dist}}$  bereits für jede Position eine geflogene Tagesstrecke berechnet wurde, konnte diese Information auf ein Rasternetz übertragen werden, so dass eine Rasterkarte mit mittleren Tagesdistanzen entsteht. Hierfür wurden die Daten des Streckenindex im GIS mit einem flächentreuen Rasternetz (Grid) verschnitten. Dieses Grid besteht aus Rasterzellen, die überall eine Fläche von 12364 km<sup>2</sup> einnehmen, was in etwa einer Kantlänge von einem Grad am Äquator entspricht. Nach dem Verschnitt wurde in Access die mittlere Tagesdistanz für alle Punkte in einer Rasterzelle berechnet.

### 2.5.4 Lokalisierung von Regionen mit vermehrten Positionen

Es wird angenommen, dass besonders häufige, langfristige Aufenthalte und dementsprechend viele Senderlokalisationen in relativ begrenzten Regionen auf ökologisch relevante Aufenthaltsgebiete hinweisen. Um solche Gebiete näher zu bestimmen, wurden zwei verschiedene Ansätze angewendet (Kleinräumige Untersuchung mithilfe eines Grids und Kernel-Homerange Analyse).

### **a) Kleinräumige Untersuchung im Grid (nur Weißstorchdaten)**

Ein wichtiger Aspekt zum Erkennen relevanter Aufenthaltsgebiete ist neben vielen Lokalisationen auch die Anzahl der Individuen, die in diesem Gebiet rasten. Oftmals sucht ein Storch immer wieder dasselbe Gebiet auf, da ihm dessen Lage bereits bekannt ist (VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002). Von besonderem Interesse sind nun solche Gebiete, die auch von verschiedenen Individuen aufgesucht werden, da diese möglicherweise von besonders hoher ökologischer Relevanz sind.

Eine einfache Methode ist die Verwendung eines Rasternetzes (=Grid), in dessen Rasterzellen die Punkte ausgezählt werden. Damit konnten jeweils gleich große Gebiete miteinander verglichen werden. Vielfach wird diese Methode zur Abschätzung von Artenvielfalt genutzt (WILLIAMS, GIBBONS et al. 1996; KRESS, HEYER et al 1998). In der vorliegenden Arbeit sollen vermehrte oder längere Aufenthalte der Störche genauer lokalisiert werden. Die Größe der Grideinheiten wurde entsprechend den Kriterien zur Unterscheidung von Rast- und Zugdaten gewählt (Kap. 2.5.2). Jede Grideinheit hat dabei eine Kantenlänge von 35 km, so dass die maximale diagonale Ausdehnung von 50 km dem Schwellenwert für einen Rasttag entspricht (VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002). Die Analyse wurde mit dem Standarddatensatz („Tagesbeste“) und dessen ermittelten Rastdaten nach  $I_{\text{dist}}$  durchgeführt.

Als Kriterium zur Auswahl bedeutender Regionen sind solche Grideinheiten ausgewählt worden, die Daten von mehreren Störchen ( $\geq 2$ ) oder Daten längerer Aufenthalte eines Individuums ( $\geq 6$  Tage) beinhalten. Für die Auswahl wurde das Grid mit den Telemetriedaten im GIS übereinandergelegt und mit diesen verschnitten. Dabei wird jedem Datenpunkt (= Koordinate) die Identifikationsnummer der entsprechenden Grideinheit zugeordnet. In der Datenbank konnten dann mit entsprechenden Abfragen die Kriterien zur Auswahl bedeutender Regionen festgelegt und die Grideinheiten mit vermehrten und verlängerten Aufenthalten bestimmt werden. Für die fortgesetzte Arbeit im GIS wurden zusätzlich die Informationen der Telemetriedaten in der Grid-Attributtabelle hinzugefügt.

### **b) Kernel-Homerange Analyse**

Mathematisch angelegte Methoden erlauben eine Berechnung des Streifgebietes (Homerange) auf der Grundlage von vorhandenen Positionen des Tieres. Zur einfachsten Methode gehört die Berechnung eines „Minimum-Konvex-Polygon“, welches alle Punkte in einem konvexen Polygon umschließt (HAYNE 1949). Andere Methoden berücksichtigen die Verteilung der Positionen bzw. ihre Dichte. Zu diesen Methoden gehört die Kernel-Homerange-Analyse, welche einem vom WORTON (1989) entwickelten Algorithmus folgt. Bei der Kernel-Homerange-Analyse wird eine Schätzung der Dichteverteilung von Punkten (z.B. Aufenthalte von Tieren) mithilfe der bivariaten Normalverteilung ausgegeben. Dabei wird das Verteilungsmuster der Punktdaten in eine Dichtematrix (Raster) umgewandelt und die Standardabweichung (der Distanz zu den Beobachtungspunkten) als "Smoothing-Faktor" (H) eingesetzt. Dieser bestimmt die Gewichtung von weit von der Rasterzelle entfernten Punkten. Das heißt, je größer H, desto stärker werden weit entfernte Punkte gewichtet (HALLER 1996).

Der U.S. Geological Survey (USGS) stellt das Erweiterungsprogramm „Animal Movement“ für ArcView kostenfrei zur Verfügung, welches speziell zur Anwendung auf Daten wandernder

Tierarten entwickelt wurde und unter anderem die Berechnung von Streifgebieten nach der Kernel-Homerange-Methode ermöglicht (HOOGE & EICHENLAUB 1997; HOOGE 1998). Dabei kann das Programm einen „adhoc-Wert“ für H liefern. Ein geeignetes H kann aber auch auf Basis der zugrunde liegenden Daten mit der LSCV-Methode (*Least Squares Cross Validation*, nach SILVERMAN 1986) berechnet werden. Diese rechenintensive Methode beeinflusste jedoch das Ergebnis kaum. Schließlich kann H auch manuell eingegeben werden.

Die berechnete Dichtematrix kann in Form eines Rasters oder als Polygon ausgegeben werden. Das Polygon kann unterschiedliche Abstufungen beinhalten, je nachdem wie viel Prozent des Dichtevolumens aller Punkte darin eingefasst werden soll. Hier wurde die Standardeinstellung 50 % und 95 % verwendet.

Für die Bestimmung der Streifgebiete des Weißstorchs während der Rast wurden die nach  $I_{\text{dist}}$  klassifizierten Daten verwendet (Kap. 2.5.2). Dabei sind die vorgegebenen adhoc-Werte für den Smoothing-Parameter H verwendet worden (H=3,544 für  $I_{\text{dist}}$  ungerichtet und H=3,201 für  $I_{\text{dist}}$  gerichtet). Weiterhin ist das Streifgebiet für alle Daten („Tagesbeste“) berechnet worden, mit H=3,00. Zum Vergleich wurde eine weitere Kernel-Homerange Analyse mit Rastdaten ausgenommen der Koordinaten in den Brutgebieten durchgeführt. Dabei wurde zunächst der adhoc berechnete H-Wert von 2,650 übernommen und in einer zweiten Analyse auf 2 verkleinert. Auf diese Weise soll das Streifgebiet stärker eingegrenzt werden (s.o.).

Im Falle des Schreiadlers wurde das Streifgebiet für die nach  $I_{\text{dist}}$  klassifizierten Rastdaten mit dem adhoc-Wert für H=1,88 berechnet.

## 2.6 Zeitliche Muster der Weißstorch-Telemetriedaten

Für einen Vergleich der Telemetriedaten im Jahresverlauf und zwischen verschiedenen Jahren wurden die Koordinaten des „Tagesbeste“-Datensatzes (siehe Kapitel 2.2.1) über eine Abfrage in entsprechende Monate und Jahre aufgeteilt und ausgewertet. Je Individuum wurde dazu die jeweils südlichste Koordinate für die entsprechenden Monate und Jahre ermittelt und der Median aller Individuen eines Monats und Jahres gebildet. Die resultierende Grafik (Abb. 35 in Kap. 3.1.8) gibt Aufschluss über den Fortschritt des Zuges und ermöglichte vergleichende Analysen zu Unterschieden zwischen den Jahren.

## 2.7 Fernerkundungsdaten

Ein wichtiger Aspekt der Arbeit ist die Nutzung von Fernerkundungsdaten, um Informationen über die Landbedeckung und Landnutzung zu erhalten. Über Satellitenbilder ist es prinzipiell möglich, zu jedem Ort und Zeitpunkt ein Bild der Erde zu bekommen. Sie enthalten wichtige Informationen zur Erdoberfläche und können je nach Satellit und Sensor bestimmte Aspekte der Erdoberfläche oder Atmosphäre abbilden. Mittlerweile finden Satellitenbilder eine breite Anwendung z.B. in der Stadtplanung, Ökologie, Forstwirtschaft, Meteorologie, Landwirtschaft und im Umwelt-Monitoring. In der vorliegenden Arbeit sollten über Satellitenbilder Informationen zur Habitatnutzung bzw. Habitatzusammensetzung der Regionen akquiriert werden. Darüber hinaus sollten Vegetationsindizes und Klimadaten zur Ermittlung beeinflussender Faktoren dienen.

Die räumliche Auflösung der Analysen wird bereits durch die Genauigkeit der Telemetriedaten begrenzt. Selbst mit Verwendung des ausgewählten Datensatzes hoher Qualität (s.o.) können die



Lokalisationen bis zu 5 km abweichen. Daher ist es wenig sinnvoll, hoch aufgelöste Fernerkundungsdaten zu verwenden, da diese keinen Informationsgewinn bringen. Da zudem auf einem kontinentalen Maßstab (Afrika) gearbeitet wurde, hätten mit hoch aufgelösten Satellitenbildszenen lediglich ausgewählte Gebiete analysiert werden können.

Die hier eingesetzten Fernerkundungsdaten entstammen sehr unterschiedlichen Quellen. Dabei wurden Sekundärprodukte verwendet, die bereits weiterverarbeitet wurden. So liegen die zur Habitatanalyse verwendeten Daten bereits klassifiziert vor und basieren zum Teil auf verschiedenen Satellitenbildinformationen.

### **2.7.1 Global Landcover 2000 zur Habitatanalyse in Afrika**

Ein Programm der Europäischen Kommission entwickelte eine satellitenbildgestützte Karte zur Landbedeckung und -Nutzung in Afrika im Jahr 2000 (MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. 2003). Basis dieser Karte sind vor allem Satellitenbilder des SPOT Vegetation Programms (siehe Kap. 1.2.2), aber auch Radardaten und digitale Höhenmodelle (MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. 2004). Die räumliche Auflösung des Datensatzes beträgt 1 km und eignet sich daher gut für einen kontinental-regionalen Ansatz. Insgesamt unterscheidet GLC 2000 27 verschiedene Landbedeckungseinheiten (siehe Kap. 3.2.1). Sie sind in Anhang VII genauer beschrieben. Zur Erstellung der Landbedeckungskarte verwendeten MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. (2003) verschiedene Datenquellen und unterschiedliche Klassifizierungs-Techniken. Zudem wurden bestehende Wald- oder Landbedeckungskarten für die Beschreibung und Ausdehnung der resultierenden Landbedeckungsklassen hinzugenommen. Hierzu gehören unter anderem Klassifizierungssysteme der *Food and Agriculture Organisation* (FAO) .

### **2.7.2 CORINE Landcover zur Habitatanalyse in den Brutgebieten**

Das europaweite Projekt CORINE Land Cover (CLC – *Coordinated Information on the Environment*)<sup>4</sup> hat sich zum Ziel gesetzt, eine einheitliche Karte der Bodenbedeckung von Europa zu erstellen, um damit eine Vergleichbarkeit zwischen einzelnen Regionen oder Ländern zu ermöglichen. Die resultierende CORINE-Karte unterscheidet 44 verschiedene Landbedeckungsklassen, basierend auf Landsat-7-Szenen der Jahre 1999 bis 2001. Referenzjahr der Karte ist das Jahr 2000. Zusätzlich dienten topographische Karten und Stadtkarten einer genaueren Klassifikation. Generell werden in CORINE fünf große Kategorien von Klassen unterschieden: nicht natürliche Flächen, landwirtschaftliche Flächen, Waldgebiete und seminatürliche Flächen, Feuchtgebiete und Wasserflächen (KEIL, KIEFL et al. 2005). Eine ausführliche Beschreibung der Klassen ist in BOSSARD, FERANEC et al. (2000) enthalten.

Der CORINE-Datensatz ist in verschiedenen Auflösungen erhältlich, hier wurde das ESRI-Grid Format in einer Auflösung von 250\*250 m verwendet, welches in der Lambert Azimuthal Equal Area Projektion vorliegt. Insgesamt umfasst CORINE die Länder N-Marokko, W-Tunesien, Spanien, Portugal, Irland, Frankreich, Niederlande, Belgien, Italien, Deutschland, Österreich, Polen, Estland, Lettland, Litauen, Tschechien, Slowakei, Ungarn, Rumänien, Bulgarien und Griechenland.

---

4 [http://www.corine.dfd.dlr.de/projektinfo\\_de.html](http://www.corine.dfd.dlr.de/projektinfo_de.html)

### 2.7.3 Global Lakes and Wetlands Database (GLWD) – Relevanz von Feuchtgebieten

Um die Relevanz von Feuchtbiotopen für die beiden Arten gesondert zu untersuchen, wurde die „Globale Datenbank für Seen und Feuchtgebiete“ (*Global Lakes and Wetlands Database*, GLWD) hinzugezogen. Die Datenbank umfasst sowohl Flusshabitats und Seen als auch verschiedene Typen von Feuchtbiotopen, deren Informationen aus verschiedenen Kartenquellen akquiriert wurden. Diese zu Grunde liegenden Karten entstammen verschiedenen Jahren, wie beispielsweise die FAO-Datenbank zu afrikanischen Dämmen aus dem Jahr 2001 oder die „ELDRED-Datenbank“ zu europäischen Seen aus dem Jahr 1999. GLWD entstand im Auftrag des WWF und ist im ArcView-kompatiblen *geotif*-Format im UNEP-Geodatenportal (s.o.) mit einer Auflösung von 30 Sekunden (entspricht etwa 1 km<sup>2</sup> am Äquator) im geografischen Koordinatensystem herunterladbar und somit unmittelbar verwendbar (LEHNER & DÖLL 2004a,b).

In der Datenbank werden 12 verschiedene Feuchtbiotoptypen unterschieden:

*Tabelle 2: Klassen der Global Lakes and Wetlands Database (GLWD) mit ihrer Übersetzung ins Deutsche.*

<b>Grid-ID</b>	<b>Feuchtbiototyp (englisch)</b>	<b>Feuchtbiototyp (deutsch)</b>
1	Lake	See
2	Reservoir	Wasserreservoir
3	River	Fluss
4	Freshwater Marsh, Floodplain	Süßwasser Marsch, Aue
5	Swamp Forest, Flooded Forest	Auwald
6	Coastal Wetland	Küstennahe Feuchtgebiete
7	Pan, Brackish/Saline Wetland	Pfanne, Brack-/Salzwassergebiet
8	Bog, Fen, Mire (Peatland)	Sumpf, Moor
9	Intermittent Wetland/Lake	Periodisches Feuchtgebiet
10	50-100 % Wetland	Feuchtgebiete mit starker saisonaler Änderung, Fläche entspricht zu 50-100 % einem Feuchtgebiet
11	25-50 % Wetland	Feuchtgebiete mit starker saisonaler Änderung, Fläche entspricht zu 25-50 % einem Feuchtgebiet
12	Wetland Complex (0-25 % Wetland)	Feuchtgebietskomplex (verschiedene Feuchtgebietstypen)

### 2.7.4 NDVI-Daten zur Darstellung der Vegetationsdichte als Einflussfaktor auf die Rast

Saisonalität und Dynamik der Vegetation lässt sich mithilfe von Satellitenbild-gestützten Vegetationsindizes darstellen. Um einen möglichst großen Kontrast zum Untergrund zu haben, nutzt man zur Berechnung eines Vegetationsindex den roten und infraroten Kanal des reflektierten Lichts. Die Absorptionsraten des Chlorophylls sind im blauen und roten (Xred) Bereich am höchsten, während die Infrarot-Strahlung (Xnir) fast vollständig reflektiert wird. Je höher also der Anteil grüner Vegetation desto höher liegt der Wert für Xnir und umso niedriger die Reflexion von Xred

(BELWARD 1991a, 1991b). Im „Normalized Differentiated Vegetation Index“ (NDVI) (s.u.) – einem der gebräuchlichsten Vegetationsindizes – werden diese beiden Bänder kombiniert, so dass er die grüne Phytomasse oder Vegetationsdichte wiedergibt. Der NDVI wird nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$NDVI = \frac{(X_{nir} - X_{red})}{(X_{nir} + X_{red})} \quad \text{Gleichung 4}$$

Aufgrund der Berechnung ist der NDVI dimensionslos und kann Werte zwischen 1 und -1 einnehmen. Negative Werte finden sich bei Wolken, vegetationslosem Boden, sehr spärlicher oder alternder Vegetation. Höhere NDVI-Werte spiegeln die photosynthetische Aktivität wieder: je höher der Wert desto höher ist also der Anteil an grüner Vegetation. BELWARD (1991a) nennt typische NDVI-Werte verschiedener Bodenbedeckungstypen:

**Tabelle 3:** NDVI-Werte verschiedener Vegetationstypen nach HOLBEN (1986) in BELWARD (1991a)

<i>Vegetationstyp</i>	<i>NDVI</i>
Dichte grüne Vegetation	0,500
Mäßig dichte grüne Vegetation	0,140
Offene grüne Vegetation	0,090
Nackter Boden	0,025

In NICHOLSON, DAVENPORT et al. (1990) wurden die Zusammenhänge zwischen Vegetation und Niederschlag mithilfe des NDVI untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die räumlichen Muster des NDVI mit denen der mittleren Niederschlagsverhältnisse übereinstimmen. Dies gilt insbesondere für trockenere Gebiete wie der Sahel-Zone. Auch MENZ (1993) zeigte die Übereinstimmung zwischen Biomasse- und Niederschlagsverhältnissen in Afrika. NICHOLSON, DAVENPORT et al. (1990) konnten ebenfalls zeigen, dass der NDVI die jährlichen Fluktuationen im Niederschlag im Sahel und im östlichen Afrika zeigt, dies aber nur für ein Niederschlagsregime zwischen 200 mm und 1000-1100 mm/Jahr möglich ist.

Die bereits erwähnte Satellitenplattform NOAA (US National Oceanic and Atmospheric Administration) mit deren AVHRR-Sensor („Advanced Very High Resolution Radiometer“) ist eine wichtige Bezugsquelle für Vegetationsindizes. Begonnen in den 80er Jahren liefert die Satellitenplattform seit 1981 bis dato zeitlich hoch aufgelöste Daten. Durch die Erstellung von sogenannten Kompositen über mehrere Tage können zudem wolkenfreie Bilder mit dem jeweils höchsten NDVI-Wert pro Pixel erzeugt werden. Die räumliche Auflösung der NOAA-AVHRR Daten beträgt 8\*8 km ist damit für kontinentale Fragestellungen geeignet.

1980 begann auch das “Famine Early Warning System Network” (FEWS) mit der Nutzung von NOAA-AVHRR Daten zur Erstellung dekadischer NDVI-Bilder und stellt diese über den „African Data Dissemination Service“ (ADDS) im Internet frei zur Verfügung<sup>5</sup> (TUCKER, PINZON et al. 2005).

---

5 <http://igskmncnwb015.cr.usgs.gov/adds/>

Die Daten liegen in der Albers Equal Area Conic-Projektion im Clarke 1866 Spheroid vor.

### 2.7.5 Weitere Datenquellen zur Untersuchung beeinflussender Faktoren

Verschiedene freie Datenquellen wurden außerdem verwendet, um deren mögliche Relevanz für die Wahl von Rastgebieten untersuchen zu können. Dabei standen insbesondere klimatische Faktoren im Vordergrund. Während die NDVI-Daten einen direkten zeitlichen Bezug ermöglichen, da sie für jeden Monat und jedes Jahr erhältlich sind, stellen Klimadaten monatsabhängige Mittelwerte zum Beispiel für Niederschlag oder Temperatur dar (siehe Abschnitt a). Durch einen Vergleich mit diesen beiden Datenquellen kann untersucht werden, ob die Rastgebietswahl eher von temporären Ereignissen oder von durchschnittlichen Verhältnissen bestimmt wird.

Der Datensatz des globalen Höhenmodells (siehe Abschnitt 2.7.4.b) besitzt keinerlei Zeitbezug. Für die Karte zum menschlichen Einfluss (*Human Footprint*, Abschnitt 2.7.4.c) gilt dasselbe, wie auch für die klassifizierte Datensätze GLC 2000 oder CORINE: es wird der Zustand eines bestimmten Jahres dargestellt, so dass die Daten nicht zeitbezogen ausgewertet werden können und streng genommen nur für einen Teil der Telemetriedaten gültig sind.

#### a) Klimadaten

Als Basis für die Klimadaten wurde der „Worldclim“-Datensatz verwendet. Dies sind interpolierte Klimadaten auf globaler Ebene, die im Internet frei verfügbar sind<sup>6</sup>. Der Datensatz beruht auf weltweiten Klimastationsmessungen über einen Zeitraum von 1950-2000, die dann mithilfe von Daten zur Höhe (GTOPO 30, siehe unten) interpoliert wurden (HJIMANS, CAMERON et al. 2005).

In dieser Arbeit wurden Datensätze zur mittleren monatlichen Temperatur ( $T_{\text{mean}}$  in  $^{\circ}\text{C} * 10$ ), mittleren monatlichen niedrigsten Temperatur ( $T_{\text{min}}$  in  $^{\circ}\text{C} * 10$ ) und des mittleren monatlichen Niederschlags ( $P_{\text{prec}}$  in mm) in einer Auflösung von 10 Minuten verwendet. Dies entspricht am Äquator etwa einer Gridzellengröße von  $344 \text{ km}^2$ . Die Daten liegen bereits im ArcView-lesbaren Format im Geografischen Koordinatensystem vor („Geographic“, WGS 84).

#### b) Digitales Höhenmodell (Digital Elevation Model, DEM)

Der U.S. Geological Survey (USGS) bietet das 1996 fertiggestellte digitale Höhenmodell im Rasterformat an (GTOPO30, Geografisches Koordinatensystem „Geographic“, WGS84). Die Auflösung des Datensatzes beträgt 30 Sekunden, was in Äquatornähe etwa einem Quadratkilometer Zellengröße entspricht. Verschiedene Datenquellen wurden verwendet, um diesen weltweiten Datensatz zu erzeugen (z.B. Digital Terrain Elevation Data, Digital Chart of the World (DANKO, 1992) oder USGS Digital Elevation Models). Auf der Homepage des Vertreibers kann der Datensatz in verschiedenen Ausschnitten heruntergeladen werden<sup>7</sup>. Er ist eine anerkannte und vielfach verwandte Datenquelle für globale Höhenmodelle.

Für diese Arbeit wurden insgesamt sechs, in einem speziellen Bildformat (bil) vorliegenden Ausschnitte verwandt, die ganz Europa und Afrika umfassen. Für den Verschnitt mit Telemetriedaten wurden die Ausschnitte im Bildverarbeitungsprogramm RSI Envi 4.0 zu einem Bilddatensatz zusammengefügt. Da es sich bei den Zellinhalten um skalierte Daten handelt, musste in allen Zellen mit Werten  $\geq 32768$  der Wert 65536 subtrahiert werden, um den tatsächlichen

<sup>6</sup> <http://www.worldclim.org>

<sup>7</sup> <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>

Höhenwert zu erhalten. Der Ergebnis-Datensatz liegt im ArcView-Grid-Format vor.

### **c) Human Footprint**

Als Datenquelle für anthropogenen Einfluss wurde der globale Datensatz „Human Footprint“ verwandt. Hiermit wurde erstmalig der Einfluss menschlicher Aktivitäten in einer globalen Karte dargestellt und bietet eine einzigartige Möglichkeit, Aspekte menschlichen Einflusses auf die natürlichen Ökosysteme darzustellen. Dazu wurden verschiedene Datensätze zu Bevölkerungsdichte, Landnutzung, Landerschließung (*Accessibility*) und Versorgung mit Elektrizität als Maß für menschliche Infrastruktur verwandt. Die meisten dieser Karten wurden im Jahr 1990 veröffentlicht, einige sind jedoch auch noch älter, so dass eher von einer Unterschätzung des menschlichen Einflusses ausgegangen werden kann. Die Höhe des Einflusses wird in einer Skala von 0 (keinerlei menschliche Aktivitäten) bis 72 (theoretisches Maximum welches sich aus der Summe der verwandten Quellen ergibt) quantifiziert (SANDERSON, JAITEH et al. 2002). Die Karte liegt in einer Auflösung von einem Quadratkilometer vor und kann im Internet im bil-Format<sup>8</sup> frei heruntergeladen werden.

### **d) Zusätzliche Satellitenbildszenen**

Die „Global Land Cover Facility“ (GLCF)<sup>9</sup> der University of Maryland stellt ebenfalls kostenlos zahlreiche Satellitenprodukte im Internet zur Verfügung, um die wissenschaftliche und umweltpolitische Arbeit mit satellitengestützten Daten zu ermöglichen. Prinzipiell können zu jeder Region der Erde Satellitenbildszenen geladen werden, allerdings nicht zu allen Zeiträumen. Zudem handelt es sich bei den Szenen um Primärprodukte, das heißt, die Daten sind nicht atmosphärisch korrigiert oder klassifiziert worden.

Zur Klärung spezieller Fragen wurde für eine Untersuchungsregion in Botswana („Ngamiland“, vergleiche Kap. 3.9.2, Abbildungen 94 und 95) eine Landsat-Szene verwendet. Diese Szene wurde jedoch lediglich für beschreibende Zwecke genutzt.

Landsat-7: 10.10.1999 Botswana Lake Ngami (Zentralkoordinaten: ca. 20° 15' S, 23° 38' E)

Darstellung in der Kanalkombination 4-5-3 (RGB)

Je nach Kanalkombination können die verschiedenen Landbedeckungsarten unterschiedlich gut dargestellt werden. Die folgende Tabelle 4 listet die Wellenlängenbereiche der einzelnen Kanäle auf und zeigt, welcher Landbedeckungstyp in welchem Kanal am besten dargestellt werden kann. Da die aufgenommenen Flächen je Pixel meist aus unterschiedlichen Oberflächen zusammengesetzt sind, nimmt der Sensor im jeweiligen Kanal eine flächengewichtete mittlere Reflexion auf, die dann in einen Grauwert, z.B. zwischen 0 und 256 (8 bit Speichereinheit) umgesetzt wird.

---

<sup>8</sup> [http://www.ciesin.columbia.edu/wild\\_areas/](http://www.ciesin.columbia.edu/wild_areas/)

<sup>9</sup> <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>

Wellenlängenbereiche der Landsat-ETM+ -Kanäle (*Enhanced Thematic Mapper*):

**Tabelle 4:** Kanäle (Wellenlängenbereiche) des Landsat Thematic Mappers.

<b>Kanal (Auflösung)</b>	<b>Wellenlänge (in <math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Landbedeckungstyp/ Objekt</b>
1	0,45 – 0,52 (blau-grün)	Aquatische Ökosysteme
2	0,52 – 0,6 (grün)	Grüne Vegetation
3	0,63 – 0,69 (rot)	Unterscheidung zwischen Vegetation und Boden
4	0,76 – 0,9 (Nahes IR)	Wasser erscheint dunkel
5	1,55 – 1,75 (Mittleres IR)	Feuchtigkeit
6	10,4 – 12,5 (Therm. IR)	Oberflächentemperatur
7	2,08 – 2,35 (Mittleres IR)	Feuchte von Vegetation

Eine Landsatszene umfasst ein Gebiet von ca. 185 \* 185 km<sup>2</sup> und hat eine Auflösung von 30 m in den Kanälen 1-5 und 7 und 60 m im Kanal 6. Die Wiederholrate beträgt 16 Tage, das heißt, alle 16 Tage ist eine Szene aus der selben Region erhältlich.

## 2.8 Kombination von Telemetrie- und Satellitendaten

Da es sich bei Telemetrie- und Satellitendaten um zwei verschiedene Datentypen handelt (Vektor bzw. Rasterdaten, siehe Kap 2.4), erfordert die kombinierte Analyse im GIS Zusatzwerkzeuge (*Extensions*) oder die Umwandlung eines Datensatzes in den entsprechenden Datentyp des anderen. Für den Verschnitt der Telemetriedaten mit dem NDVI bzw. mit Landbedeckungsdaten mussten zwei verschiedene Methoden angewandt werden, da die verwendeten Datensätze unterschiedlichen Umfang und Auflösung besitzen (s.o.). Im Falle der feiner aufgelösten Habitatkarten wurde die Analyse mithilfe von Pufferflächen durchgeführt, um die flächenanteilige Habitatnutzung zu bestimmen. Bei den niedriger aufgelösten Klima- und NDVI-Daten wurde hingegen ein Direktverschnitt durchgeführt.

Um die Methode für die flächenanteilige Analyse zu testen, wurden Voruntersuchungen durchgeführt, mit denen der Einfluss der Punktzahl bzw. der Pufferfläche auf das Ergebnis untersucht wurde.

### 2.8.1 Voruntersuchung mit Zufallspunkten und verschiedenen Pufferflächen

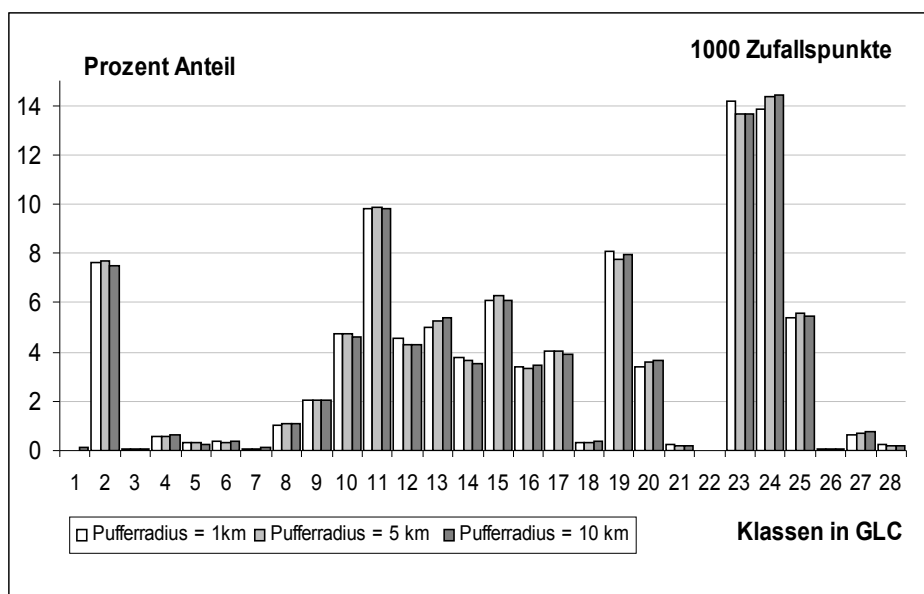
Aufgrund der limitierten Stichprobenanzahl (vorhandene Telemetriedaten) insbesondere im Falle des Schreiadlers sollte in einer Voruntersuchung geklärt werden, in wie weit die Wahl der Puffergröße zur Berechnung der anteiligen Flächen je Landbedeckungsklasse (siehe Kap. 2.8.2) Einfluss auf das Ergebnis hat. Hierzu wurden unterschiedlich viele Zufallspunkte generiert und mit verschiedenen Puffergrößen mit der Landbedeckungskarte GLC 2000 verschnitten.

Die Zufallspunkte wurden mit der ArcGIS 8 Erweiterung „Hawths Tool“<sup>10</sup> erzeugt. Die Verteilung der Punkte wurde auf den afrikanischen Kontinent begrenzt, um den Verschnitt mit GLC 2000 zu ermöglichen. Es wurden Shapefiles mit 10, 100, 500 und 1000 Punkten mit Pufferflächen von

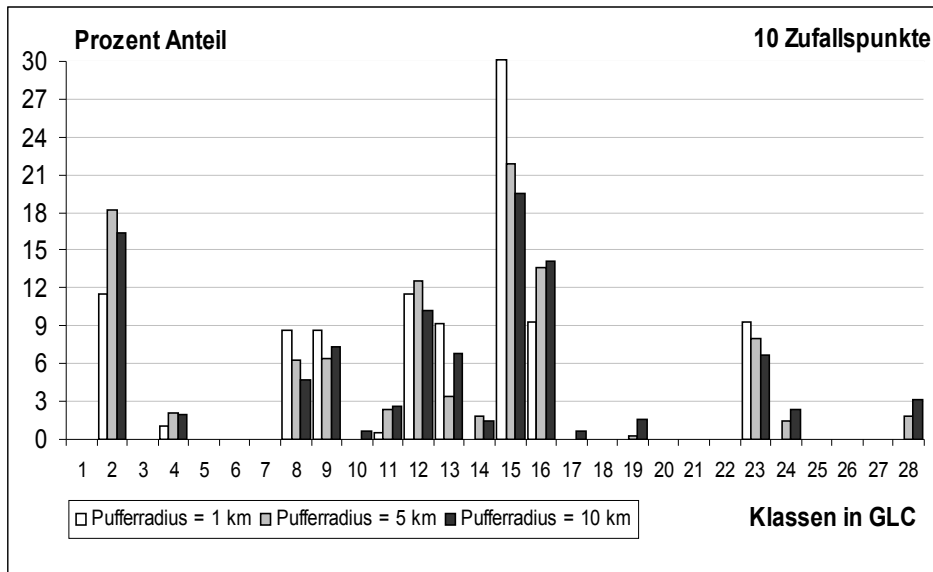
10 <http://www.spatial ecology.com/htools/tool desc.php>

jeweils 1, 5 und 10 Kilometer Radius erstellt. Für den Verschnitt mit GLC 2000 musste die Karte in das Shapefile-Format umgewandelt werden, da nur so die Auswertung der Pufferflächen möglich war. Nach dem Verschnitt wurden die Shapes in eine flächentreue Projektion umgewandelt („Lambert Azimuthal Equal Area“ mit Referenzbreitengrad *Latitude of Origin* = 0°) und schließlich die anteiligen Flächen der Landbedeckungsflächen berechnet.

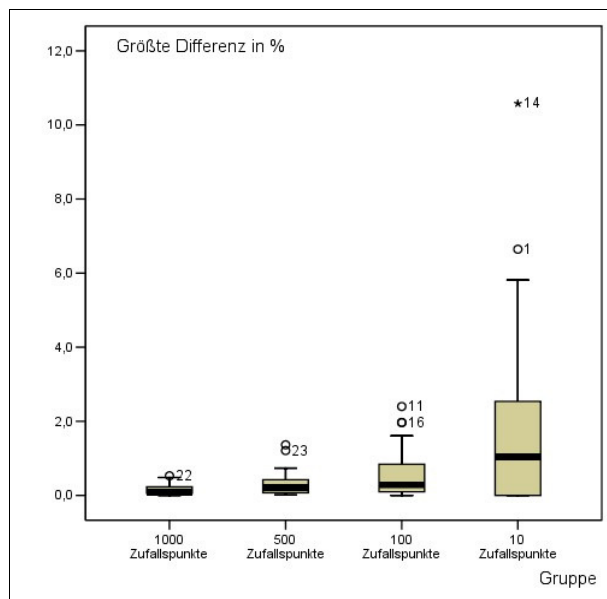
Die Grafiken (s.u.) zeigen, dass mit steigender Zahl von Punkten die Größe der Pufferfläche geringeren Einfluss auf das Ergebnis der Flächenberechnung hat. Berechnet man die jeweils größte Differenz der prozentualen Flächenanteile einzelner Klassen zwischen den drei verschiedenen Puffergrößen einer Punktzahl, zeigt sich, dass die Differenzen für die Shapes mit 500 oder 1000 Punkten nur sehr gering sind (unter einem Prozent) (siehe Abb. 9). Selbst für eine Punktzahl von 100 liegen die Differenzen in den meisten Fällen unter zwei Prozent und würden damit die Abweichungen in der potenziellen Habitatnutzung nicht wesentlich erhöhen. Erst bei einer sehr geringen Anzahl von Punkten (10) kommt es zu größeren Unterschieden je nach Wahl der Puffergröße, allerdings liegt auch hier der Median noch unter zwei Prozent (siehe Abb. 10).



**Abbildung 9:** Unterschiede der jeweiligen Flächenanteile je Landbedeckungsklasse durch unterschiedliche Puffergröße bei 1000 Zufallspunkten. Die Unterschiede im prozentualen Anteil je Klasse sind nur sehr gering (< 1 %).



**Abbildung 10:** Unterschiede der jeweiligen Flächenanteile je Landbedeckungsklasse durch unterschiedliche Puffergröße bei 10 Zufallspunkten. Hierbei sind die Unterschiede der prozentualen Anteile je Klasse wesentlich größer als bei einer höheren Punktzahl (bis 6 %).



**Abbildung 11:** Der Boxplot zeigt die jeweils größte Differenz (in %) zwischen den berechneten Flächenanteilen für die Habitatklassen bei der Wahl unterschiedlicher Puffergrößen. Je geringer die Anzahl der Zufallspunkte ist, umso stärker differieren die Ergebnisse.



### 2.8.2 Habitatanalyse der Telemetriedaten mit GLC und GLWD

In gleicher Vorgehensweise wurden nun auch die Telemetriedaten mit den Landbedeckungskarten verschnitten. Dazu mussten die Karten als Shapefile-Datentyp vorliegen. Im GIS wurden hierzu die Landbedeckungskarte GLC 2000 und die Feuchtgebietskarte GLWD, die beide im Grid-Format vorliegen, in ein Shapefile mit einer flächentreuen Projektion umgewandelt. Durch die Verwendung einer Pufferfläche konnten die potenziellen Aufenthaltsorte eines Vogels rund um die Lokalisation mit einbezogen werden, da durch die Positionsungenauigkeit der tatsächliche Aufenthaltsort des Vogels unklar war. Eine ähnliche Vorgehensweise wurde z.B. in GOTTSCHALK (2002) angewandt, um Vogel-Zählungen und Vegetationsaufnahmen mit Satellitenbildinformationen zu vergleichen.

Die Ergebnisse der oben beschriebenen Voruntersuchung (Kap. 2.8.1) zeigen, dass bei vielen Punkten (> 100) die Wahl der Pufferfläche nur wenig Einfluss auf das Ergebnis hat. Für die Weißstorchdaten („Tagesbeste“, n = 4792) wurde daher ein Pufferradius für Rast- und Zugdaten von fünf Kilometern gewählt, welcher der größtmöglichen Fehllokalisierung entspricht. Auch für den „Täglich“-Datensatz wurde dieser Pufferradius gewählt, da die Abweichungen der Datensätze zu heterogen waren. Zum Vergleich ist dieser Datensatz zusätzlich punktgenau ausgewertet worden (Habitatklasse des jeweiligen Pixels in dem der Punkt liegt).

Im Falle des Schreiadlers (n = 152) liegt bei dem Großteil der Daten eine fehlerhafte Abweichung bis maximal 5 Kilometer vor, die übrigen Daten haben eine Abweichung bis 8 Kilometer. Entsprechend den Ergebnissen aus der Voruntersuchung (Kap. 2.8.1) wurden daher zwei verschiedene Puffergrößen gewählt, da diese bei einer geringen Anzahl von Daten möglichst genau die Positionsungenauigkeit widerspiegeln sollte.

Um eine möglichst hohe Genauigkeit des Verschnitts mit GLC bzw. GLWD zu erzielen, und Fehler aufgrund verschiedener Projektionen zu vermeiden, wurde hier wie folgt vorgegangen:

1. Umprojektion der Landbedeckungskarten in „Albers Equal Area Conic“ mit Zentralmeridian = 20, 1. Standardparallele = -19 und 2. Standardparallele = 21, Referenzbreitengrad = 1, Clarke Ellipsoid (entspricht der Projektion der NDVI-Daten, siehe Kap. 2.7.4)
2. Laden des jeweiligen Punktdatensatzes und Erstellen der Pufferflächen in der obigen Projektion
3. Verschnitt mit GLC 2000 und Berechnung der jeweiligen Fläche je Klasse je Punkt

### 2.8.3 Habitatanalyse mit CORINE (nur Weißstorchdaten)

Die sehr hohe Auflösung des CORINE-Datensatzes verhinderte aus technischen Gründen eine Umwandlung in das Shapefile-Format. Daher wurde hier eine punktgenaue Abfrage durchgeführt (s.o.), so dass jeder Position einer CORINE-Klasse zugeordnet wurde. In diesem Fall konnte also die potenzielle Fehllokalisierung nicht in die Auswertung miteinbezogen werden und muss bei der Bewertung der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Da die Telemetriedaten zahlreiche Datensätze in den Brutgebieten beinhalten, wurde zunächst eine Auswahl der Telemetriedaten nach Beginn des Wegzuges bzw. vor Ende des Heimzuges getroffen. Auf diese Weise konnte eine künstliche Verschiebung durch die zahlenmäßig überwiegenden Positionen am Nest verhindert werden. Die Daten für den Beginn und das Ende der jeweiligen Züge wurden KAATZ (2004) entnommen.

Im Falle des Schreiadlers entfiel die Auswertung mithilfe des CORINE-Datensatzes, da mir keinerlei Daten aus dem Brutgebiet zur Verfügung standen.

#### **2.8.4 Verschnitt der Telemetriedaten mit NDVI und weiteren Parametern**

Die Auflösung der NDVI-Daten bzw. der übrigen verwendeten Datensätze (mit Ausnahme des *Human Footprint*-Datensatzes) liegt unter dem möglichen Lokalisationsfehler der Telemetriedaten (5 km). Somit erübrigt sich die Einbeziehung der potenziell genutzten Fläche, da diese innerhalb eines Pixels liegt. Aus diesem Grund wurde ein punktgenauer Verschnitt der Telemetriedaten (Rast- und Zugdaten) mit NDVI-, Klima- und sonstigen Rasterdaten des jeweiligen Jahres und Monats durchgeführt. Dies erfolgte mithilfe der Erweiterung „Hawths-Tool“ für ArcGIS 8 (siehe Kap. 2.8.1). Diese Programm-Erweiterung fügt der Attributtabelle des Punkshapes eine neue Spalte hinzu, in der pro Punkt der jeweilige Wert des darunter liegenden Pixels eingetragen wird. Da die Daten in unterschiedlichen Projektionen vorliegen (siehe oben), wurde wie folgt vorgegangen:

1. Aufspaltung der Punktdaten in je ein Shape pro Jahr und Monat
2. Verschnitt der Punkshapes im geografischen Koordinatensystem mit den Klimadatensätzen (mittlerer Niederschlag pro Monat, Mittlere Temperatur des Monats, Mittlere Minimums-Temperatur des Monats) und weiteren „Ökodaten“ (*Human Footprint*, GLC 2000, Digitales Höhenmodell (GTOPO), für Details zu den Daten siehe Kap 2.7.5.
3. Export der Punkshapes in die „Albers Equal Area Conic“-Projektion im Clarke 1866 Ellipsoid, dies entspricht der Projektion der NDVI-Daten
4. Verschnitt der Themen mit den zugehörigen dekadischen NDVI-Datensätzen (je 3 pro Monat)

Für den Weißstorch wurde diese Analyse sowohl für den „Tagesbeste“- als auch den „Täglich“-Datensatz durchgeführt.

#### **2.8.5 Zufallspunkte zum Vergleich mit Telemetriedaten**

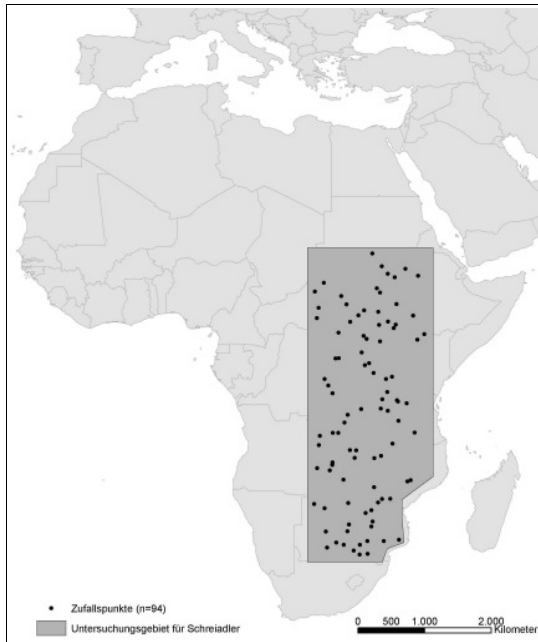
Für die nachfolgenden statistischen Auswertungen des Datenverschnitts wurde das Monte-Carlo-Verfahren angewandt. Dabei werden die Ergebnisse der realen Positionen mit Zufallspositionen verglichen. Signifikante Unterschiede weisen darauf hin, dass die Habitatwahl nicht zufällig erfolgte.

Zu diesem Zweck wurde ein Zufallspunkt-Datensatz erzeugt, der eine vergleichbare Anzahl an Punkten und vergleichbare Ausdehnung zu den jeweiligen Telemetriedaten besitzt (Weißstorch: 1000 Zufallspunkte; Schreiadler: 94 Zufallspunkte, entsprechend der Anzahl der jeweiligen Rastdaten nach  $I_{dist}$ ). Da die NDVI-Daten zeitlich gebunden sind, musste ein weiterer Zufallsdatensatz zum Verschnitt generiert werden, welcher die entsprechenden Monate und Jahre repräsentiert. Im Falle des Weißstorchs wurden dazu jeweils 30 Zufallspunkte und im Falle des Schreiadlers jeweils 15 Punkte für jeden Monat der entsprechenden Jahre mit vorhandenen Telemetriedaten generiert.

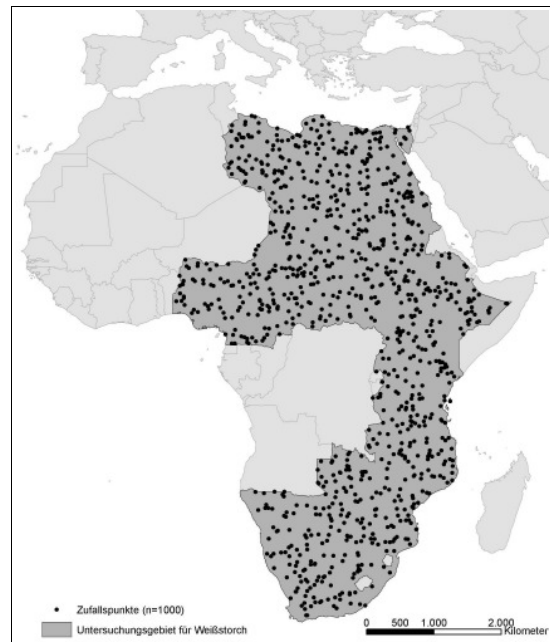
Die Punkte wurden auf eine zuvor definierte Untersuchungsfläche beschränkt, welche in etwa dem Aufenthaltsgebiet aller telemetrierten Vögel entspricht. Die Zufallspunkte wurden dann mit der bereits in den Kapiteln 2.8.2 und 2.8.4 beschriebenen Vorgehensweise mit den

Fernerkundungsdaten verschnitten.

Zusätzlich wurde für einen Vergleich der Repräsentativität der Zufallspunkte die Gesamtfläche jeder Landbedeckungsklasse berechnet. Durch die analoge Vorgehensweise bei Zufalls- und Telemetriedaten konnten die berechneten Flächenanteile je Landbedeckungsklasse mittels des „Man Whitney U-Test“ auf signifikante Unterschiede untersucht werden (Kap. 2.11).



**Abbildung 12:** Untersuchungsfläche zur Generierung der Zufallspunkte für den Schreiadler.



**Abbildung 13:** Untersuchungsfläche zur Generierung der Zufallspunkte für den Weißstorch.

## 2.9 Feldaufenthalte

Nach der Lokalisierung und Charakterisierung der Regionen mit längeren und vermehrten Aufenthalten der Störche mithilfe der Telemetrie- und Satellitendaten galt es, die Ergebnisse im Feld zu überprüfen. Im Vordergrund standen folgende Fragestellungen:

- Stimmen die lokalisierten wichtigen Rastgebiete mit den tatsächlich relevanten Rastgebieten überein ?
- Stimmen die Habitate der GLC 2000 Klassifikation mit den tatsächlich aufgesuchten Habitaten überein?
- Wie gut spiegelt die GLC 2000-Klassifikation die tatsächliche Landbedeckung wieder?
- Welche Nahrungsquellen nutzen die Störche im Überwinterungsgebiet?

Durchgeführte Feldstudien:

1. Feldaufenthalt in Südafrika (14.02.-01.03.04) (Region a in Abb. 14 und Abb. 16)
2. Feldaufenthalt in Botswana und Südafrika (07.01.-19.02.05)  
(Region b in Abb.14 und Abb. 15)

Beide Feldaufenthalte wurden im südlichen Afrika durchgeführt, da hier einer der immer noch vier besenderten Störche regelmäßig durchzieht bzw. überwintert. Dies ermöglichte zusätzlich die Ortung des Storchs im Feld mithilfe eines Scannergerätes („Bodentelemetrie“).

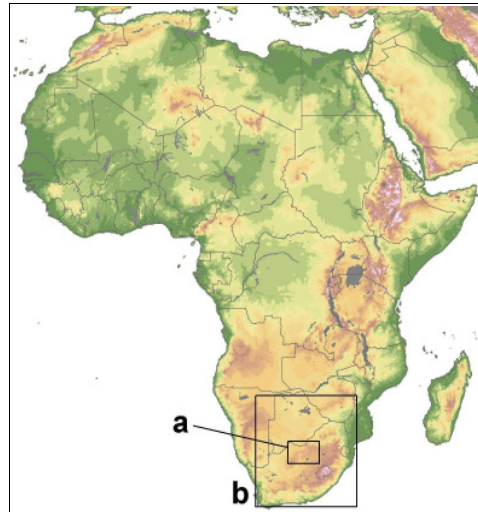


Abbildung 14: Lage der Gebiete, in denen Felduntersuchungen durchgeführt wurden.

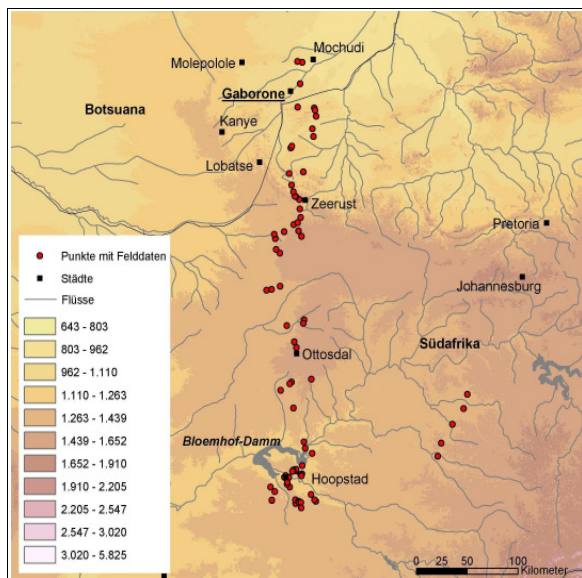


Abbildung 15: Aufgesuchte Gebiete während des Feldaufenthaltes 2004 in Südafrika (Ausschnitt a in Abb. 14).

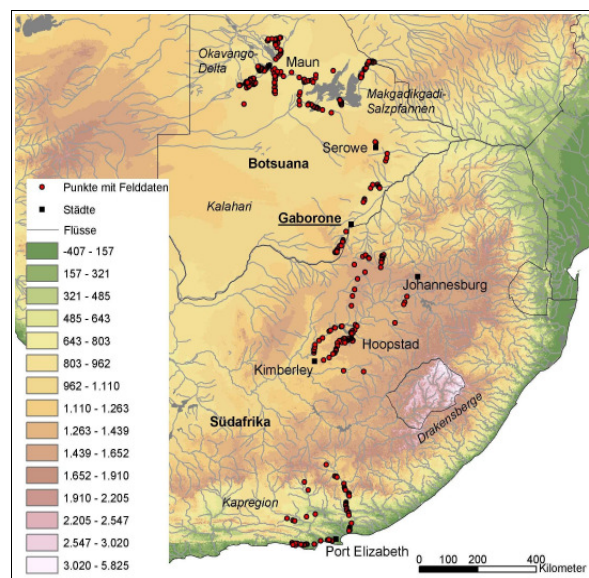


Abbildung 16: Aufgesuchte Gebiete während des Feldaufenthaltes 2005 in Botswana und Südafrika (Ausschnitt b in Abb. 14).

### 2.9.1 Feldmethoden

#### a) *Aufnahme der Vegetation/ Vegetationsstruktur*

Die Vegetationsstruktur ist bei der Auswahl des Habitats für die Weißstörche von Bedeutung (GORIUP & SCHULZ 1990). Zur Vegetationsstruktur zählen Vegetationstyp (z.B. Grasland oder Buschland), Dichte und Verbreitung des Vegetationstyps, Bodenbeschaffenheit, evtl. Landnutzung und Besonderheiten wie z.B. Wasserstellen. Nach Möglichkeit wurden auch die dominierenden Baum- und Buscharten bestimmt.

#### b) *Aufnahme der Avifauna/ Zählung der Weißstörche*

In Gebieten mit rastenden Weißstörchen wurden deren Anzahlen zu verschiedenen Tageszeiten erfasst. Die Beobachtungen erfolgten mit einem Optolyth Fernglas mit 10x40 Vergrößerung und einem Optolyth Spektiv (Vergrößerung 60x). Ein längerer Aufenthalt von einigen Tagen bei Hoopstad (Südafrika) erlaubte eine Erfassung der Tagesdynamik und einen Vergleich mit den Storchenzahlen des Vorjahres. Gespräche mit Farmern gaben zusätzliche Hinweise auf potenzielle Nahrungstiere der Störche (abundante Schadinsekten) bzw. das Vorkommen der Störche.

#### c) *Untersuchung des potenziellen Nahrungsangebotes*

Mit Keschern sollte geklärt werden, welche Insekten den Weißstörchen potenziell als Nahrung zur Verfügung stehen. In Gebieten, in denen Weißstörche beobachtet werden konnten, wurden diese mit jeweils 2 x 30 Kescherschlägen gefangen. Die Anzahl der Kescherschläge ist im Vorfeld mittels der Cairn's Run Methode (siehe unten) ermittelt, um ein möglichst repräsentatives Ergebnis der Arthropodenfauna zu bekommen. In einigen Fällen war das Keschern nicht möglich (z.B. im Erdnussfeld oder auf einem beackerten Feld). In diesem Fall wurden die auf zufällig gewählten Flächen von 1 m<sup>2</sup> Größe gefundenen Insekten gesammelt.

Die gefangenen Insekten wurden mit Alkohol betäubt und die Anzahl der Morphospecies und Individuen bestimmt.

#### d) *Cairn's Run Methode*

In mehreren Testläufen wurden jeweils die gefangenen Arthropoden bei 10, 20 und 30 Kescherschlägen ausgezählt. Da sich Heuschrecken in der Mittagszeit eher in den unteren Bereichen der Vegetation aufhalten (UVAROV 1977), wurden die Kescherversuche nach Möglichkeit morgens oder nachmittags durchgeführt.

Im Vergleich der Zählungen kann ein Sättigungswert bei einer bestimmten Anzahl von Kescherschlägen beobachtet werden. Diese Anzahl wurde dann bei den folgenden Kescherfängen in den Weißstorchhabitaten angewendet. Nach der Run-Methode wird die Diversität D (Definition s.u.) des untersuchten Habitats bestimmt. Dabei werden die gefangenen Tiere in einer zufälligen Reihe hintereinander gelegt und die Morphospezies bestimmt. Ein „run“ umfasst alle aufeinanderfolgenden Individuen einer Morphospecies, mit jeder neuen Art beginnt also ein neuer run. Die Relation zwischen der Anzahl der runs und den insgesamt gefangenen Individuen gibt dann Hinweis auf die Diversität (Artenzahl) des Habitats.

Der Diversitätsindex nach der Cairn's run-Methode berechnet sich nach der folgenden Gleichung:

$$D = \frac{r}{n} \quad \text{Gleichung 5}$$

mit D= Diversität, r=Anzahl runs und n= Anzahl gefangene Individuen

AA B C D A BB C D entspricht z. B. acht *runs* und 10 Individuen der Arten A-D

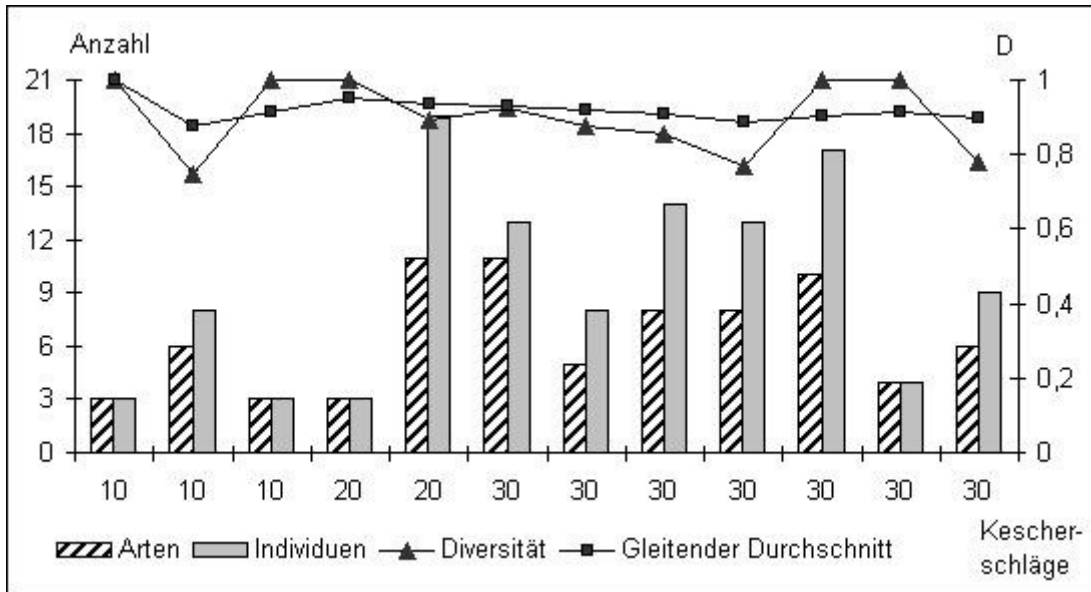
Je größer die Anzahl der gefangenen Arten bei gleichbleibende Individuen-Anzahl, desto mehr *runs* entstehen und desto größere Werte nimmt der Index D an. Kehrt bei einem Durchgang keine der gesammelten Arten wieder, erreicht der Index den höchsten Wert von eins, was gleichbedeutend mit hoher Diversität ist. Fängt man stets die gleiche Art, verhält es sich umgekehrt: bei einem *run* nimmt D je nach Stichprobengröße kleinste Werte an, die Diversität ist niedrig. Damit kann auf standardisierte Weise die relative Diversität bzw. die Verteilung von Arten der Weißstorchhabitate miteinander verglichen werden.

Kescherversuche mit unterschiedlicher Anzahl von Kescherschlägen wurden zunächst in zwei verschiedenen Gebieten am Lake Ngami, Botswana durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 17 und 18 dargestellt und zeigen jeweils die Anzahl der gefangenen Individuen und Arten und den berechneten Diversitätsindex D je Anzahl an Kescherschlägen.

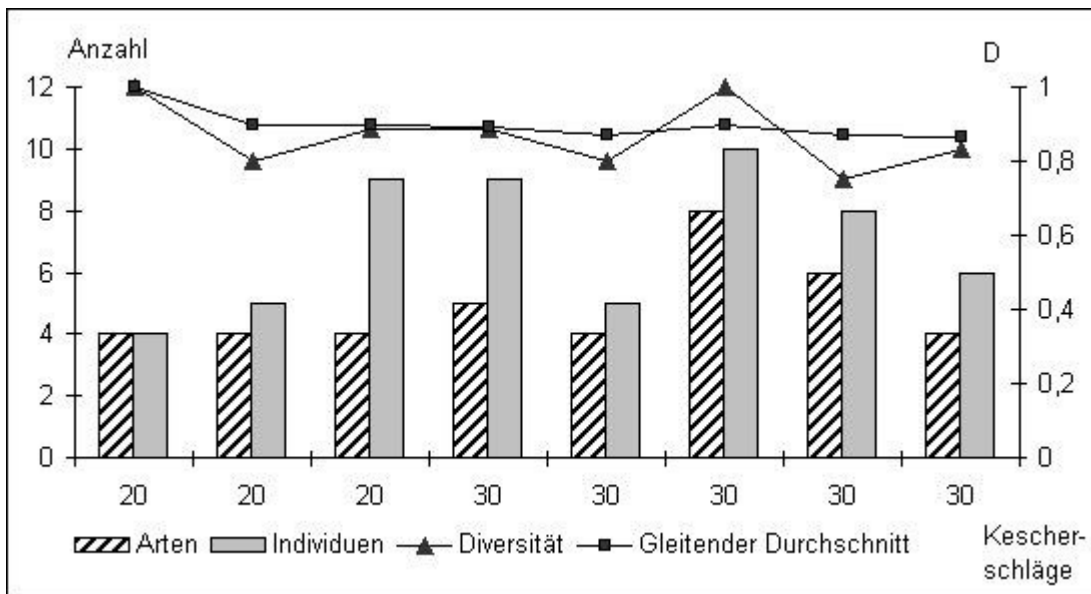
Um den langfristigen Trend des Diversitätsindex mit zunehmender Anzahl von Kescherschlägen zu bewerten, wurde der gleitende Durchschnitt berechnet. Dabei sind 10 Schläge als eine Einheit, 20 Schläge als zwei und 30 Schläge als drei Einheiten bewertet worden. Der Gleitende Durchschnitt berechnet sich aus der Summe der jeweiligen Indizes bis zu einem bestimmten Zeitpunkt (Anzahl Kescherschläge) geteilt durch die Anzahl der Einheiten:

Zum Beispiel beträgt der Gleitende Durchschnitt für die 4. Einheit im Falle der Kescherversuche auf der Storchenswiese (Abb. 17):  $GD_{k4} = (D_{k1} + D_{k2} + D_{k3} + 2 \cdot D_{k4}) / 5$ . Die vierte Einheit wurde also zweimal gerechnet, da es sich um 20 Kescherschläge handelte.

Im Gleitenden Durchschnitt, der meist für Zeitanalysen verwendet wird, können Trends besser sichtbar gemacht werden. Die beiden Beispiele zeigen, dass sich der Durchschnitt etwa ab einer Anzahl von 30 Kescherschlägen einpendelt. Es ist daher anzunehmen, dass 30 Kescherschläge ausreichen, um einen Diversitätsindex für das jeweilige Habitat berechnen zu können. In den übrigen Habitaten mit Weißstorchsichtungen wurden folglich zweimal 30 Kescherschläge durchgeführt und hieraus der mittlere Diversitätsindex berechnet.



**Abbildung 17:** Diversitätsindex D (Dreiecke) und dessen gleitender Durchschnitt (Quadrate) bei unterschiedlichen Anzahlen von Kescherschlägen auf einer Storchenwiese (Gebiet 7, siehe Kapitel 3.9.2.a).



**Abbildung 18:** Diversitätsindex D (Dreiecke) und dessen gleitender Durchschnitt (Quadrate) bei unterschiedlichen Anzahlen von Kescherschlägen am Lake Ngami (Gebiet 1, siehe Kapitel 3.9.2.a).

**e) Aufsammeln von Gewöllen**

In Hoopstadt und Woodlands konnten die Schlafbäume der Weißstörche ausgemacht werden. Unter diesen wurden am folgenden Tag Gewölle gesammelt, deren nicht-verdauliche Überreste von Beutetieren Aufschluss über die tatsächlich aufgenommene Nahrung geben.

### **f) Aufsuchen des Senderstorchs**

Mittels Bodentelemetrie konnte der besenderte Weißstorch „Prinzesschen“ (Ringnummer KA 0749) im Feld lokalisiert werden. Während des ersten Feldaufenthaltes wurden hierzu drei Richtungsantennen verwendet, die auf dem Dach des Autos montiert waren. Während des zweiten Aufenthaltes wurde lediglich ein Scannergerät verwendet, welches auf die Frequenz des Storchensenders eingestellt wurde. Durch Richten der Antenne in verschiedene Richtungen kann mithilfe der unterschiedlichen Signalstärken der Aufenthaltsort des Storchs ermittelt werden.

## **2.9.2 Auswertung der Felddaten**

### **a) Bodenkontrollpunkte versus GLC 2000**

Die Bodenkontrollpunkte wurden im Feld mit GPS-Koordinaten und einer entsprechenden Beschreibung der Vegetationstypen aufgenommen. Dabei wurden nach Möglichkeit Stellen mit einheitlicher Vegetationsstruktur gewählt, da die Auflösung der Landbedeckungskarte GLC 2000 1 km<sup>2</sup> beträgt und daher kleinere Vegetationsmuster nicht auftauchen. Ein zuvor angelegtes Klassifikationsschema ermöglichte eine eigenentwickelte standardisierte Einteilung der bereisten Regionen im südlichen Afrika in generelle Vegetationstypen (Felder/landwirtschaftliche Nutzung; Grasland und Feuchtgebiete; Busch- und Waldhabitats; Savannenlandschaften und Mosaikflächen). Die weitere Unterteilung und Beschreibung der Habitattypen ist im Anhang VI ausführlich beschrieben. Trotz der Verwendung dieser Habitatklassen war in vielen Fällen keine eindeutige Zuteilung zu einer Klasse möglich, oft wurden eine dominierende Vegetationsstruktur und eingestreute Vegetationsstrukturen notiert.

Im GIS wurden die Kontrollpunkte schließlich mit der Landbedeckungskarte GLC 2000 verschnitten, so dass zu jedem Punkt die eigene Klassifikation mit der GLC-Klassifikation verglichen werden konnte. Sobald die dominierende Struktur mit der GLC-Klassifizierung übereinstimmte, wurde insgesamt eine Übereinstimmung für diesen „Kontrollpunkt“ vergeben. Falls keine eindeutige Entscheidung möglich war, wurde der Vergleich als „unsicher“ bestimmt.

### **b) Auswertung der Gewölle zur Bestimmung des Nahrungsspektrums**

Die Gewölle wurden getrocknet, zerkleinert und alle darin befindlichen tierischen Bestandteile mit Pinzetten daraus extrahiert. Da nur Arthropoden gefunden wurden, dienten Flügeldecken, Köpfe und Halsschilde zur Bestimmung der Tiergruppen und zur Abschätzung ihrer Größe. Zur Quantifizierung der enthaltenen Individuenzahlen in einem Gewölle wurden die Mandibeln ausgezählt und durch zwei geteilt bzw. im Falle der Käfer die Köpfe gezählt.

## **2.10 Zusätzliche Informationsquellen zum Abgleich mit den Ergebnissen**

### **2.10.1 Bedeutende Rastgebiete aus der Literatur**

Vom Weißstorch sind bereits einige Aufenthaltsgebiete in der Literatur publiziert. Diese Kenntnisse sollten zur Validierung der identifizierten wichtigen Rastregionen genutzt werden. Auch bekannte Aufenthalte vom Schreiadler und anderen Greifvögeln wurden mit berücksichtigt, wobei sich diese Kenntnisse aber vor allem auf die bereits erfolgten Analysen der Telemetriedaten nach Meyburg stützen. Folgende Literaturquellen wurden ausgewertet: AUMANN (1997); DARKOH (2003); GICHUKI



& BUSIENEI (2003); GOTTSCHALK (2002); KAAZ (2004); LYNES (1925); MEYBURG, SCHELLER et al. (1995); MEYBURG, SCHELLER et al. (2000); MEYBURG, MEYBURG et al. (2004); MOREAU (1928); PESKE, POJER et al. (1996); RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS (2000); SCHULZ (1988); SCHÜZ (1960); THE BUREAU OF THE CONVENTION ON WETLANDS 2003; WINTERBOTTOM (1977); ZALLES & BILDSTEIN (2000) und persönliche Mitteilungen von MONING, SCHULTZ, ROHWEDDER, TYLER). Es wurden nur solche Regionen berücksichtigt, zu denen eine Lat-/Long-Angabe existiert bzw. eine genügend genaue Ortsbeschreibung enthalten war, so dass die Koordinaten mithilfe des Alexandria Digital Library Gazetteers<sup>11</sup> ermittelt werden konnten. Im GIS wurde dann die Lage der literaturbasierten Rastgebiete mit den Rastgebieten nach der Telemetriedatenauswertung verglichen (siehe Abbildungen 103 und 104 im Kapitel 3.10).

### 2.10.2 Important Bird Areas (IBAs)

Eine wichtige Quelle für bereits lokalisierte Aufenthaltsgebiete von Vögeln in Afrika ist die Liste der "Important Bird Areas" (IBAs) von BirdLife International (FISHPOOL & EVANS 2001). Neben der gedruckten Darstellung in der auch Vogelartenlisten enthalten sind, stellt BirdLife International IBAs auch digital zur Darstellung im GIS bereit (ESRI Punktshapefile). Hierbei sind allerdings keine Artenlisten enthalten.

Für die Überlagerung mit Telemetriedaten wurden das Punktshape gepuffert, dass heißt je nach angegebener Ausdehnung zu einer Kreisfläche vergrößert. Die angegebenen Größen der Important Bird Areas liegen zwischen 1 – 8.000.000 ha. Zur Vereinfachung wurden folgende fünf Größenklassen gebildet und mit einem entsprechenden Radius gepuffert, dabei richtete sich die Kreisfläche nach der Verteilung der Größen in der jeweiligen Klasse:

*Tabelle 5: Größenklassen zur Erstellung von Pufferflächen der IBAs.*

<b>Größenklasse</b>	<b>Radius</b>	<b>Resultierende Kreisfläche</b>
0 – 1000 ha	1,76 km	1000 ha
1001 – 10.000 ha	3,99 km	5000 ha
10.001 – 100.000 ha	12,62 km	50.000 ha
100.001 – 700.000 ha	33,4 km	350.000 ha
700.001 – 8.000.000 ha	56,42 km	1.000.000 ha

Zur Auswertung wurde das resultierende IBA-Flächen-Shapefile mit den jeweiligen – ebenfalls gepufferten – Telemetriedaten (Rast und Zug nach  $I_{dist}$ ) bzw. mit den identifizierten wichtigen Rastregionen überlagert und ausgewertet.

### 2.10.3 Schutzgebiete

Ein wichtiger Aspekt in Hinblick auf später zu formulierende Naturschutzstrategien der lokalisierten Regionen ist die Lage bereits existierender Schutzgebiete. Das United Nations Environmental Programme World Conservation Monitoring Centre (UNEP WCMC) stellt GIS-

---

<sup>11</sup> <http://www.alexandria.ucsb.edu/>

Shapefiles aller Schutzgebiete (inklusive vorgeschlagener Gebiete) weltweit mit ihrer geografischen Lage und Ausdehnung zur Verfügung.

#### **2.10.4 RAMSAR-Gebiete und wichtige Rastgebiete von Wasservögeln**

Neben Schutzgebieten und *Important Bird Areas* wurden die Telemetriedaten auch mit der Lage von wichtigen nach der RAMSAR-Konvention definierten Feuchtgebieten verglichen. Die „RAMSAR Convention on Wetlands“ wurde 1971 im iranischen Ramsar beschlossen und trat 1975 in Kraft. Sie stellt eine Liste von international bedeutenden Feuchtgebieten bereit. Die Bedeutung ist aus den ökologischen, botanischen, zoologischen und hydrologischen Aspekten abzuleiten. Eine besondere Bedeutung kommt auch solchen Feuchtgebieten zu, die regulär mehr als 20.000 Wasservögel oder 1% der Population einer Wasservogelart beherbergen (RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS 2000).

Aufgrund der wenigen RAMSAR-Gebiete, die innerhalb der Weißstorch- und Schreiadler-Zugrouten liegen, wurde auf eine Pufferung der RAMSAR-Gebiete verzichtet. Im GIS wurden dann lediglich die Gebiete ausgewählt, deren Punktkoordinaten in der Nähe von Telemetriedaten lagen (bis max. 100 km Entfernung im Falle des Okavango-Deltas mit 6.846.000 ha und des Natal-Drakensbergpark mit einer Ausdehnung von 242.000 ha, siehe auch Abb. 70).

In Anlehnung an diese RAMSAR-Kriterien zur Auswahl wichtiger Feuchtgebiete erstellten SCOTT & ROSE (1996) einen Atlas zu den Populationen afrikanischer und west-eurasischer Entenvögel (Anatidae) mit wichtigen Rastgebieten von internationaler Bedeutung (*Key Sites*), in denen im Mittel in den vergangenen fünf Jahren mehr als 1 % der Gesamtpopulation einer Vogelart gezählt werden konnten. Zudem wurden auch Gebiete berücksichtigt in denen regulär bis zu 20.000 Individuen einer Population oder 50 Individuen einer weltweit bedrohten Art vorkommen.

Der Atlas gibt eine Auflistung aller identifizierten Gebiete mit einer Artenliste (nur Anatidae) und den zugehörigen Koordinaten, so dass diese auch im GIS dargestellt werden können.

#### **2.10.5 GROMS-Datenbank**

Das Weltregister der Wandernden Tierarten (*Global Register of Migratory Species*, GROMS) stellt in Anlehnung der Bonner Konvention zum Schutz wandernder Tierarten (CMS) eine Zusammenfassung des derzeitigen Kenntnisstandes dar. Neben einer umfassenden Literaturdatenbank enthält GROMS auch GIS-basierte Geoinformation zu rund 1000 Arten der insgesamt 4358 in der Datenbank erfassten wandernden Tierarten (RIEDE 2004b).

Im Rahmen neuerer Fragestellungen wurde eine Karte zur weltweiten Artenzahl wandernder Tierarten erstellt (siehe Abbildungen 105 und 106). In diese Karte gingen alle Arten ein, zu denen eine Geoinformation in Form eines Shapefiles existiert. Im GIS konnten diese Shapefiles überlagert werden und schließlich mit einem flächentreuen Rasternetz (Grid) verschnitten werden (siehe Kap. 2.5.3), um eine Vergleichbarkeit der einzelnen Gridzellen zu gewährleisten. Bei dem Verschnitt aller Artenkarten mit diesem flächentreuen Grid entsteht somit eine Liste der enthaltenen Arten je Gridzelle, so dass die Anzahl der Arten berechnet und dargestellt werden kann.

## 2.11 Statistische Tests

Folgende statistische Tests wurden zur Prüfung der erzielten Ergebnisse angewandt:

- **Man-Whitney U-Test**

Dieser Test eignet sich zum Vergleich zweier unabhängiger Gruppen, die nicht normalverteilt sein müssen. Er wurde hier verwendet, um die Satellitendatenwerte der Rast- und Zugdaten auf signifikante Unterschiede zu den Zufallspunkten zu testen. In der Nullhypothese wird von einer zufälligen Verteilung der Rast- und Zugdaten ausgegangen, so dass die Habitatdaten und sonstigen Parameter zufällige Werte einnehmen .

- **Honestly significant difference test (Tukey-Test)**

Auch der Tukey-Test eignet sich zur statistischen Unterscheidung von Gruppen. Je weniger sich die Werte zweier Gruppen überschneiden, umso unterschiedlicher sind diese. Bei diesem können aber auch mehrere Gruppen gleichzeitig gegeneinander getestet werden. Dabei besteht die Möglichkeit, *multiple comparisons*, also alle Paarmöglichkeiten zu testen. Der Test gilt zudem als robust gegenüber nicht normalverteilten Daten (ZAR 1999). Dieser Test wurde angewendet, um die Mediane der geografischen Breite pro Monat und Jahr auf signifikante Unterschiede zu testen.

- **Regression**

Bei einer Regression wird das Verhältnis einer Variablen zu einer anderen getestet, wobei die eine als z.B. lineare Funktion der anderen ausgedrückt wird. Zunächst müssen eine abhängige und eine unabhängige Variable definiert werden. In SPSS wurden verschiedene Regressionsmodelle (linear, logarithmisch, exponentiell) getestet, um den Zusammenhang am besten zu beschreiben. Die Regression wurde für verschiedene Untersuchungen angewendet (Einfluss des NDVI auf die Aufenthaltsdauer, NDVI im Zugverlauf, Zusammenhang zwischen westlichster und südlichster Rastkoordinate)

Signifikanzniveaus:

**Tabelle 6:** Signifikanzniveaus nach DYTHAM (2003)

$p \leq 0,05$	Signifikant *
$p \leq 0,01$	Hoch signifikant **
$p \leq 0,001$	Höchst signifikant ***

- **Generalized Linear Model (GLM)**

Bei einem linearen Modell wird – entsprechend zur Regression – das Verhältnis zwischen einer abhängigen Variable und mehreren Einflussvariablen getestet.

Für das GLM stand eine speziell angefertigte ArcGIS-Erweiterung (GEPARD)<sup>12</sup> der Justus-Liebig Universität Giessen zur Verfügung, welche in Kombination mit der freien Statistik-Software R funktioniert und die Erklärungswahrscheinlichkeit verschiedener Parameter wie z.B. Niederschlag oder Temperatur auf die Verteilung von Punktdaten testet. Das GLM diente als

---

<sup>12</sup> <http://www.sfb299.de/gepard/>

zusätzliche statistische Absicherung zum Testen möglicher Einflussparameter auf das Rastverhalten. Hierzu wurde ein Binomial-Modell verwendet, welches die Unterscheidung zwischen *presence*- und *absence*-Daten erfordert, um daraufhin die Einflusswahrscheinlichkeit der einzelnen Parameter (= *predictor*) zu testen. In diesem Fall wurden die Rastdaten als *presence* (1) und die zuvor generierten Zufallsdaten als (pseudo-)*absence* (0) definiert. Diese Unterscheidung wird in einer separaten Spalte festgehalten und geht als abhängige (binomiale) Variable in das Modell ein. Dabei wurde auf eine gleiche Anzahl von Rast- und Zufallspunkten geachtet (jeweils 1643 beim Weißstorch, 92 beim Schreiadler). Das Modell wurde mit der logit-Link-Funktion berechnet, welche die *predictor*-Variablen nach der Formel  $\log(y/1-y)$  transformiert. Die logit-Funktion ist gut geeignet für nicht lineare Daten. Zusätzlich zum GLM wird ein AIC-Wert berechnet, der die Güte des Modells testet und schließlich das beste Modell auswählt. Um mögliche Fehler durch Interkorrelationen der Parameter zueinander auszuschließen, wurden nur die wichtigsten in das Modell übernommen. Dies waren: GLC 2000, GLWD (als Klassenvariablen), DEM, *Human Footprint*, NDVI und Prec. Die Temperatur-Werte wurden herausgelassen, da sie mit der Höhe korrelieren. Ebenso die NDVI-Werte der 2. und 3. Dekade welche natürlich vom Wert der 1. Dekade abhängig sind.

- **Boxplots**

Zur Darstellung von Datenreihen wurden in einigen Fällen Boxplots gewählt. Der Median (50 % der Daten liegen ober- bzw. unterhalb dieses Wertes) und der Interquartilsabstand bilden zusammen die „Box“ und enthalten 50% der Werte. Darüber und darunter werden die Maximal- und Minimalwerte abgebildet, welche jedoch nicht über das 1,5-fache des Interquartilsabstandes hinausgehen dürfen. Werte die zwischen dem 1,5- und dreifachen des Interquartilsabstandes liegen, werden als Ausreißer (Kreis) und Werte über dem dreifachen als Extremwerte (Kreuzchen) dargestellt.

## 2.12 Workflow zur Anwendung auf neue/ andere Telemetriedaten

Ziel der Arbeit ist die Bereitstellung einer neuen Methode, die auf beliebige Telemetriedaten angewendet werden kann. Hierzu soll das folgende Arbeitsschema dienen, um die wichtigen Schritte nachvollziehen zu können:

1. Vorauswahl der Telemetriedaten (diese Schritte sind bislang nicht automatisierbar!)  
ggf. Bestimmung genauer Koordinaten (bei ARGOS-Daten nach KAATZ 1999)  
Auswahl je einer (Boden-)Koordinate pro Tag
2. Berechnung des Rast-/Zugindex mithilfe vorgefertigter Excel-Datei
3. Import der Daten ins GIS  
Hier können zunächst Rast- und Zuggebiete lokalisiert werden, beispielsweise durch Verschnitt mit einem Equal-Area-Grid oder durch die Kernel-Homerange-Analyse
4. Verschnitt der Punktdaten mit Satellitenbildern oder anderen Rasterdatenquellen
5. Statistische Auswertung der Ergebnisse (Monte Carlo Verfahren, GLM)

Zu Beachten bei der Anwendung dieser Vorgehensweise sind folgende Punkte:

- Wie genau/ ungenau sind die Lokalisationen der Telemetriedaten? Entsprechend müssen Pufferflächen gewählt werden bzw. kann darauf verzichtet werden
- Wie hoch ist die Auflösung der Fernerkundungsdaten? Die Auflösung muss ebenfalls in die Wahl der Pufferflächen mit einbezogen werden
- Wie hoch ist die Anzahl der Telemetriedaten? Wie viele Individuen sind vertreten? Diese Aspekte beeinflussen die Aussagekraft der Ergebnisse

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Ergebnisse der Analyse der Weißstorch-Telemetriedaten

Eine erste Analyse der Telemetriedaten befasste sich mit deren Aufbereitung (Auswahl verwendbarer Datensätze) und mit der Lokalisierung wichtiger Rastgebiete mithilfe unterschiedlicher methodischer Ansätze:

- Berechnung eines Index zur Unterscheidung von Rast- und Zugdaten in Kapitel 2.5.2
- Berechnung der mittleren Tageszugleistung je Grideinheit in Kapitel 2.5.3
- Lokalisierung der Rastgebiete in Kapitel 2.5.4
- Gebiete mit langen und vermehrten Aufenthalten je Grideinheit in Abschnitt 2.5.4.a
- Lage wichtiger Rastregionen nach der Kernel-Homerange-Analyse in Abschnitt 2.5.4.b
- Zeitliche und räumliche Muster in Kapitel 2.6

#### 3.1.1 Telemetriedatensatz des Weißstorchs nach der Aufbereitung

Sowohl KAATZ (2004) als auch HAYS, AKESSON et al. (2001) konnten feststellen, dass die Angaben des Satellitensystembetreibers ARGOS zur Lokalisationsgenauigkeit der Positionen nicht ausreichen, zumal ARGOS (1996) zu den Lokalisationsklassen A und B keinerlei Angaben macht. Im Vergleich mit eigens erhobenen GPS-Positionen konnten zum Teil erheblich größere Abweichungen je Lokalisationsklasse gemessen werden (KAATZ 2004). Aufgrund dieser Ungenauigkeiten war eine sorgfältige Auswahl möglichst genauer Positionen erforderlich, um die nachfolgenden Analysen zur Lokalisierung bedeutender Rastgebiete durchführen zu können. Da zumeist pro Tag und Individuum mehrere Positionen vorhanden waren, konnte jeweils eine möglichst gute Position gewählt werden, die zudem einer Bodenposition des Vogels entspricht (Auswahlkriterien siehe Kap. 2.2).

Im Gesamtdatensatz von 87.037 Lokalisationen von 66 besenderten Weißstörchen lieferte ARGOS für 68.764 Datensätze eine Lokalisation bzw. war eine GPS-Position vorhanden (siehe Kap. 2.1 und 2.2.1). Für Daten von insgesamt 57 Störchen konnten Positionen mit einer Abweichung  $\leq 5$  km berechnet werden. Für die Störche mit den Ringnummern KA 0017, KA 2577, KA 2578, KA 0775, B 6773, KA 0190, KA 0697, KA 0736 und KA 4343 konnte keine Position ermittelt werden, die den in Kapitel 2.2 genannten Kriterien (hohe Genauigkeit, Bodenkoordinaten) entsprach. Somit sind in der resultierenden Tabelle – im folgenden als „Tagesbeste“-Datensatz bezeichnet – insgesamt 4792 Datensätze zu finden. Dabei ist zu bedenken, dass die erhebliche Reduktion vom Gesamtdatensatz nicht nur mit der Auswahl guter Positionen, sondern auch mit der Auswahl je einer Position pro Tag (je Individuum) zusammenhängt.

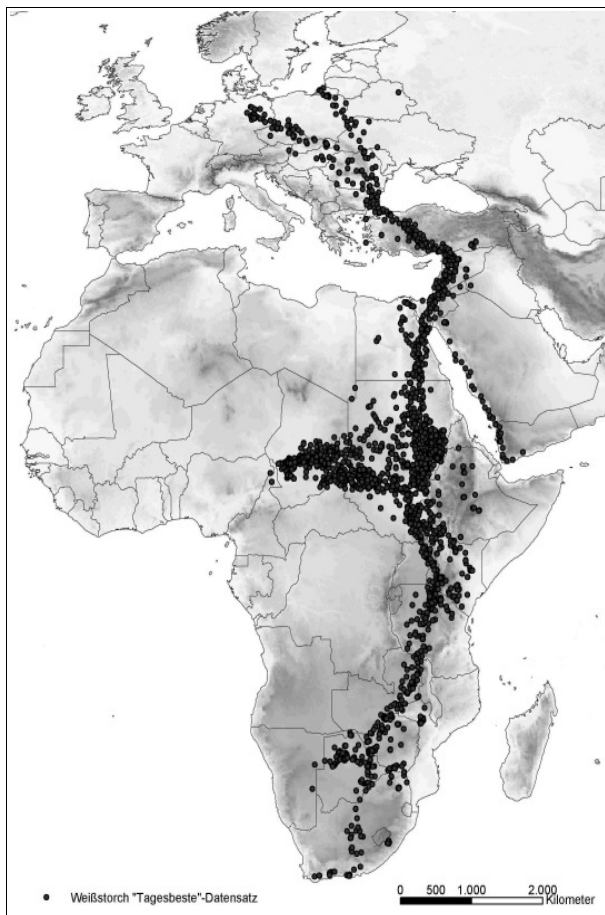
Um eine Auswertung auch für Störche mit einer weniger guten Datenlage zu ermöglichen, wurde zudem eine Tabelle mit Tagesdaten erstellt, die – soweit vorhanden – zu jedem Tag (je Individuum) eine Position enthält (siehe Kap. 2.2.1). Diese Tabelle, im folgenden als „Täglich“-Datensatz bezeichnet, enthält 11.113 Datensätze von allen 66 Störchen (Abb. 20).

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht der nach den Telemetriedaten dokumentierter Zugrouten,

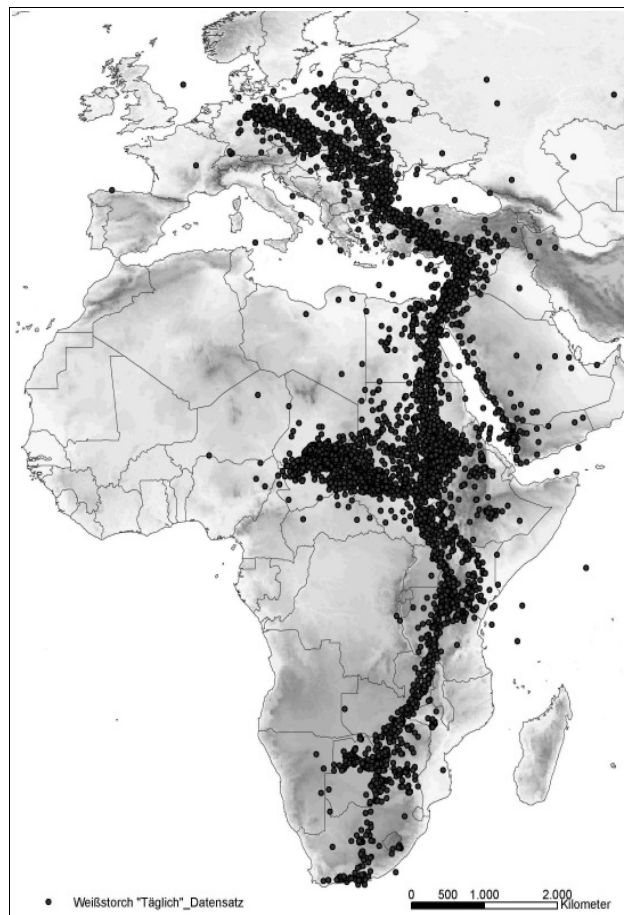
von den 66 Störchen wurden insgesamt 34 juvenile Störche (im ersten Jahr) und 32 adulte (nach dem ersten Jahr) besendert. In Anhang II ist zusätzlich eine Auflistung aller 66 Weißstorch-Individuen mit dem jeweiligen Zeitraum der Besenderung zu finden. Hier wird deutlich, wie unterschiedlich gut die einzelnen Sender arbeiten. Besonders lange Sendezeiträume wie im Falle des Storchs „Prinzesschen“ mit der Ringnummer KA 0749 waren jedoch nur durch Austausch des Senders gegen einen neuen möglich. Andere Sender, deren Vögel in Europa verendeten, konnten geborgen und wiederverwendet werden. Detailliertere Informationen zu den verwendeten Sendern sind in KAATZ (2004) zu finden.

*Table 7: Übersicht über die mithilfe der Satellitentelemetrie dokumentierten Zugrouten der Weißstörche, weitere Informationen zum Besenderungszeitraum der einzelnen Tieren sind im Anhang II zu finden.*

Anzahl der Störche mit einer Zugroute, deren Datenlage <b>mindestens bis in ein Zwischenüberwinterungsgebiet</b> im Tschad oder Sahel reicht (südlich des 15° nördl. Breite)	<b>24</b> davon wurden fünf Zugrouten auf Basis des „Täglich“-Datensatzes ausgewertet
Anzahl der Störche mit einem <b>kompletten Weg- und Heimzug</b> (Anfangs- und Endkoordinaten im Brutgebiet)	<b>3</b> davon wurde eine Zugroute auf Basis des „Täglich“-Datensatzes ausgewertet
Anzahl der Störche, zu denen <b>Zugrouten mehrerer Jahre</b> vorliegen	<b>7</b> davon wurde eine Zugroute auf Basis des „Täglich“-Datensatzes ausgewertet
Anzahl der Störche mit Zugrouten, zu denen Daten nur <b>innerhalb von Europa</b> vorliegen	<b>15</b> davon wurde eine Zugroute auf Basis des „Täglich“-Datensatzes ausgewertet
Anzahl der Störche, deren Daten bis nach <b>Ägypten</b> vorliegen	<b>4</b> Diese wurden auf Basis des „Täglich“-Datensatzes ausgewertet
Anzahl der Störche deren Zugroute in den <b>Yemen</b> führte (abseits der regulären Zugroute)	<b>2</b>
Anzahl der Störche mit sehr <b>schlechter Datenlage</b> (sehr wenig Positionen innerhalb Europas nach „Täglich“)	<b>11</b>
<b>Summe</b>	<b>66</b>



**Abbildung 19:** Weißstorch-Telemetriedaten mit je einer Position pro Tag und Individuum, Bodenpositionen und guter Qualität ("Tagesbeste"-Datensatz), insgesamt 4792 Datensätze.



**Abbildung 20:** Weißstorch-Telemetriedaten mit je einer Position pro Tag und Individuum ("Täglich"-Datensatz), insgesamt 11.113 Datensätze. Positionen beispielsweise im Meer verdeutlichen den Anteil an Lokalisationen mit geringerer Genauigkeit. Nachfolgende Analysen auf Basis dieses Datensatzes wurden jedoch nur für einige ausgewählte Individuen durchgeführt (siehe Kap. 2.2.1.d).

### 3.1.2 Indizes zur Lokalisierung von Rastpunkten

Bislang existiert kein Verfahren für eine standardisierte Auswahl von Rastdatensätzen zur Lokalisierung der Rast- und Überwinterungsgebiete. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher ein Verfahren entwickelt, um diese Analyse zu automatisieren bzw. zu standardisieren. Im Verlauf der methodischen Entwicklung entstanden zwei verschiedene Indizes, die eine Unterscheidung zwischen Rast- und Zugdatensätzen ermöglichen. Zur Vollständigkeit werden hier beide Indizes vorgestellt, der direktionale Index  $I_{dir}$  (zur Berechnung siehe Kap. 2.5.1) und der Distanzenindex  $I_{dist}$  (Kap. 2.5.2), welcher letztlich zur Auswertung der Telemetriedaten verwendet wurde.

#### a) Rast- und Zugdaten nach $I_{dir}$ – Der direktionale Index

Der direktionale Index berücksichtigt sowohl die Änderung der Flugrichtung als auch die geflogene Strecke des Vogels. Je größer die Tendenz zu Rastverhalten ist (kurze Strecken und starke Richtungsänderung = „nomadisierend“), desto größere Werte nimmt der Index ein.



Insgesamt konnten 3694 Datensätze aus dem „Tagesbeste“-Datensatz als Rast- oder Zugdatensatz klassifiziert werden, davon 1162 als Zug- und 2532 als Rastdatensatz. Nimmt man die GPS-Positionen hinzu, zu denen aufgrund gleicher Koordinaten an aufeinanderfolgenden Tagen z.B. am Neststandort weder Strecke noch Richtungsänderung und somit kein Index berechnet werden konnte, ergeben sich insgesamt 3410 Rastdatensätze. Die Berechnung führt jedoch zu einer sehr großen Spannbreite, so dass der Index Werte zwischen 0 und 1000 annehmen kann. Als problematisch erwies sich die Festlegung eines Schwellenwertes, der schließlich zwischen Rast- und Zugdatensatz unterscheidet. Dieser ergibt sich nicht als logische Folge aus der Berechnung und musste somit definiert werden. Auf der Basis von Vergleichen der Indizes in bereits bekannten Rastgebieten mit denen auf bekannten Zugrouten wurde der Schwellenwert auf 1 festgelegt. Indizes, die unter diesem Wert liegen, deuten mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine Zugkoordinate hin (geringe Richtungsänderung und eine große Distanz), Indizes über diesem Schwellenwert deuten auf eine Rastkoordinate hin (hohe Richtungsänderung und geringe geflogene Distanz). Die berechneten Mittelwerte für die Parameter bei einem Index  $\leq 1$  (Zugdaten) ergaben eine mittlere Richtungsänderung von  $39,8^\circ$ , eine mittlere geflogene Strecke von 354,6 km wobei im Mittel 2,1 Tage zwischen zwei Lokalisationen lagen. Die berechneten Mittelwerte für die Parameter bei einem Index  $> 1$  (Rastdaten) ergaben eine mittlere Richtungsänderung von  $136,6^\circ$  und eine mittlere geflogene Strecke von 63,12 km, wobei im Mittel 2,6 Tage zwischen zwei Lokalisationen lagen.

Die Berechnungen zeigen also, dass der Schwellenwert von 1 durchaus als Definition zur Trennung zwischen Zug- und Rastdaten geeignet ist, da mit ihm deutliche Unterschiede zwischen den geflogenen Strecken und der Richtungsänderung aufgedeckt werden können. Allerdings wird im Falle der Rastdaten das Distanzkriterium von 50 km nach VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002) bzw. KAAZT (2004) im Mittelwert nicht erfüllt.

### **b) Rast- und Zugdaten nach $I_{dist}$ - Der Distanzen Index**

Aufgrund der oben beschriebenen und als problematisch bewerteten Definition des Schwellenwertes wurde ein zweiter Index  $I_{dist}$  mit klarer definiertem Grenzwert entwickelt. Entscheidende Parameter zur Bestimmung des Index sind dabei:

- Die geflogene Distanz von der ersten bis zur dritten (täglichen) Position.  
Diese wird aus der Summe der zwischen drei Lokalisationen zurückgelegten Strecke gebildet.
- Die effektiv zurückgelegte Strecke, die der Luftlinie zwischen erster und dritter Position entspricht. Für Details zur Berechnung des Index siehe Kapitel 2.5.2.
- Zusätzliche Distanzkriterien bestimmen Mindestdistanzen für zurückgelegte Strecken (siehe Tabelle 1 in Kap. 2.5.2).

Aus dem „Tagesbeste“-Datensatz konnten insgesamt 4789 Lokalisationen von 54 Individuen ausgewertet werden. Zu den übrigen drei Störchen war nur eine einzige Lokalisation vorhanden, sodass die Distanzberechnung nicht durchführbar war (Störche B 6772, KA 4233 und E 876). In den Fällen mit nur wenigen Lokalisationen wurde eine gesonderte Auswertung auf Basis des „Täglich“-Datensatzes durchgeführt (siehe Abschnitt 2.2.1.d).

Die Berechnung des Distanzenindex  $I_{dist}$  führte zu einer Klassifizierung von insgesamt 3864 Lokalisationen, was rund 80 % des Gesamtdatensatzes entspricht. Davon wurde 1077 Positionen der

Status „Gerichtet“ = „Zug“ und 2787 Positionen der Status „Ungerichtet“ = „Rast oder Brut/Beobachtung“ zugeordnet.

**c) Vergleich der Ergebnisse aus der  $I_{dist}$  und  $I_{dir}$  -Berechnung**

Ein Vergleich beider Indizes zeigt, dass mit dem direktionalen Index  $I_{dir}$  wesentlich mehr Datensätze klassifiziert werden konnten, da nur jeweils zwei Datensätze zur Bildung dieses Index erforderlich sind. Allerdings müssen hierbei die GPS-Positionen gesondert hinzugefügt werden, da bei exakt gleichen Positionen kein Index berechnet wurde (s.o.). Wie bereits erwähnt, konnten jedoch zur Bestimmung des Schwellenwertes zur Unterscheidung zwischen Rast- und Zugdatensätzen im Vorfeld keine Richtwerte definiert werden. Dies ist nur bei dem Distanzenindex  $I_{dist}$  durch die Distanzkriterien möglich. Weiterhin ergibt sich der Schwellenwert aus der Art der Formel und ist klarer definiert. Die folgende Tabelle fasst die Unterschiede der Indizes zusammen:

**Tabelle 8:** Vergleich zwischen  $I_{dist}$  und  $I_{dir}$ .

$I_{dir}$	$I_{dist}$
Schwellenwert wurde visuell festgelegt	Schwellenwert ergibt sich aus der Definition „gerichtet“ bzw. „ungerichtet“ (gleiches Verhältnis zwischen zurückgelegter und geflogener Strecke entspricht gerichteter Bewegung)
Fast alle Datensätze sind klassifizierbar	Nur 80 % der Datensätze konnten klassifiziert werden
Zwei Kriterien (Richtungsflug und Distanz) dienen zur Berechnung des Index	Ein Kriterium (Distanz) dient zur Berechnung des Index
Rast oder Zug werden nicht über definierte Richtwerte für Distanz und Richtungsänderung unterschieden	Zusätzliche Distanzkriterien führen zu einer sauberen Unterscheidung zwischen Rast und Zug, diese können ggf. spezifisch angepasst werden
Berechnung bei gleichbleibender Koordinate nicht möglich, diese Positionen müssen gesondert hinzugefügt werden	Gesondertes Kriterium für gleichbleibende Koordinaten
Berechnung der Flugrichtung im GIS, Rechenaufwand insgesamt größer	Berechnung der Distanzen und des Index in einer Exceltabelle für den Gesamtdatensatz

Der Vergleich beider Indizes zeigt, dass der Distanzenindex  $I_{dist}$  klarer definiert ist, so dass die folgenden Auswertungen zur Lokalisation wichtiger Rastaufenthalte bzw. zur Bestimmung der genutzten Habitate und der Einflussfaktoren auf das Zugverhalten auf der Basis dieses Index durchgeführt wurden.

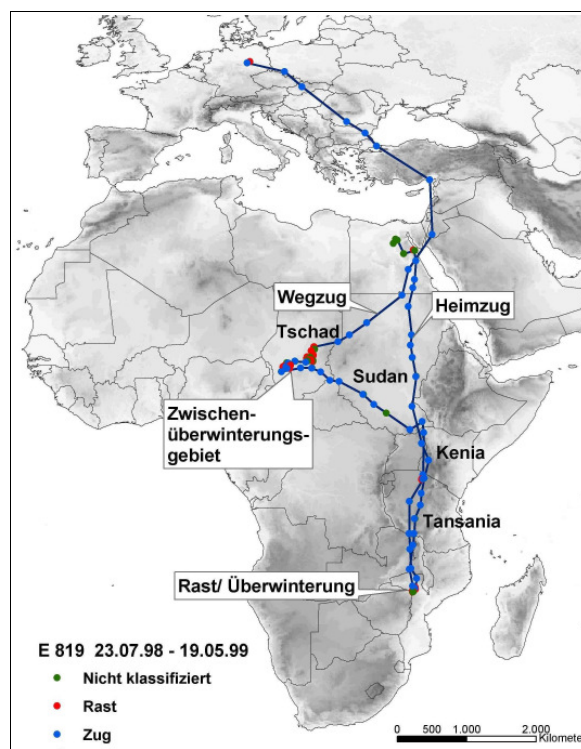
**3.1.3 Lage von Rast- und Zugdaten nach  $I_{dist}$  auf Individuen-Ebene**

Die Abbildung 21 und die Karten im Anhang I zeigen die Routen der einzelnen Störche mit der Lage der Rast- und Zugpunkte, bzw. nicht klassifizierbaren Datensätzen. Falls vorhanden, wurden

jeweils Weg- und Heimzug in einer Karte dargestellt.

Die Darstellung auf Individuen-Ebene zeigt deutlich, dass vor allem im europäischen Zugraum wenig gute Lokalisationen vorhanden sind. Durch den konsequenten Ausschluss von Lokalisationen mit einer fehlerhaften Abweichung über fünf Kilometer konnten daher viele Zugrouten nicht vollständig dargestellt werden. In Afrika hingegen liegen in den meisten Fällen genügend Datensätze vor, so dass die Rast- und Zugdaten klar lokalisiert werden konnten. Ursache für dieses Ungleichgewicht an guten Lokalisationen ist eine bessere Senderfunktionalität in Afrika, da es hier offenbar weniger Interferenzprobleme gibt (MEYBURG, MEYBURG et al. 2006). Zudem ist der Signalempfang bei höherer Sonnenscheindauer besser, wie sie in Afrika gegeben ist.

Die auswertbaren Daten, in denen mehr als drei Lokalisationen zur Indexberechnung vorhanden waren, umfassen 72 Einzelzugrouten nach bzw. aus Afrika von insgesamt 34 Weißstörchen. Weitere neun Zugrouten umfassen nur den europäischen Raum. Bei den Daten der übrigen Störche mit nur einer oder zwei verschiedenen Lokalisationen war eine Berechnung des Index nicht möglich. Hier wurde eine gesonderte Auswertung auf Basis des „Täglich“-Datensatzes durchgeführt.



**Abbildung 21:** Beispiel einer Einzelzugroute des Storchs mit der Ringnummer E 819. Eine vollständige Übersicht aller Zugrouten ist in Anhang I zu finden.

Die Betrachtung der Einzelzugrouten mit der Lage der Rast- und Zugdaten spiegelt im Wesentlichen die Ergebnisse aus BERTHOLD, BOSSCHE et al. (2001), BROUWER, MULLIÉ et al. (2003) und KAATZ (2004) wider:

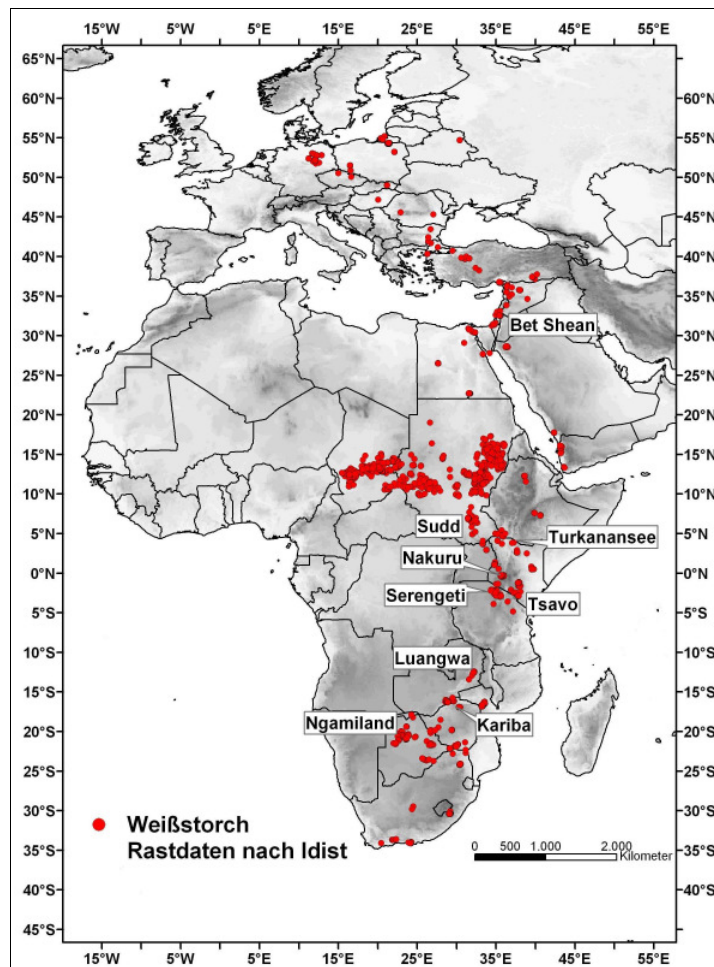
- Die Störche rasten während des Wegzugs in der Sahel-Zone (Tschad und/oder Sudan), während auf dem Heimzug der Sahel ohne (längere) Rast überflogen wird.

- Im Wesentlichen können drei verschiedene Zugziele lokalisiert werden: Die Sahelzone im Tschad und Sudan von 16° 30' N bis ca. 10° N (entspricht erstem afrikanischen Zwischenziel nach Kaatz 2004) (z.B. KA 0800, V6496), Gebiete des ostafrikanischen Grabenbruchs in Tansania und Kenia von 8° N bis 4° N (z.B. KA 0776, Unberingt 7) und Gebiete im südlichen Afrika südlich von 12° S (z.B. V 6497, E 848). Die Mehrzahl der vollständigen Zugrouten führen ins südliche Afrika (13 Routen von insgesamt neun Störchen). Eine geringere Zahl führt in das Gebiet des ostafrikanischen Grabens nördlich des 4. Breitengrades (sechs Routen von vier Störchen). Neun Routen von insgesamt acht Störchen enden im Sahel. Eine Ausnahme bilden zwei Störche, die vor der Überquerung des Rotes Meeres auf Seiten der Arabischen Halbinsel nach Süden ziehen und im Yemen überwinterten (Unberingt 2 und I 800). Über alle weiteren Zugrouten kann keine Aussage gemacht werden, da die Daten zu früh enden und damit der weitere Verlauf der Zugroute unklar ist.
- Die Analyse der vollständigen Zugrouten legt die Vermutung nahe, dass die Wahl des ersten afrikanischen Zwischenziels einen Einfluss auf die südlichste Position hat. Tendenziell rasten Störche mit einem weiter östlich gelegenen afrikanischen Zwischenziel weiter südlich, als Störche, die ein weiter westliches afrikanisches Zwischenziel aufgesucht haben. Dieser Zusammenhang wurde gesondert untersucht (siehe Kap. 3.1.7).
- Die meisten Datensätze, die nach der Index-Methode nicht klassifizierbar waren, finden sich im Tschad und Sudan, bzw. im Nahen Osten, meist vor oder nach Rastdaten. In vielen Fällen handelt es sich um kurze geflogene Strecken, die aber schon wieder bzw. noch gerichtet sind, sodass die Kriterien nicht eindeutig einem Zug- oder Rastverhalten entsprechen.
- Die als Zugpunkte klassifizierten Lokalisationen finden sich in denen von KAATZ (2004) bereits erwähnten Regionen mit höherer Zugleistung, die auch anhand geflogener Tagesetappen identifiziert wurden. Sie liegen nördlich der Türkei, südlich von Israel (in Israel und der Türkei vermehrt Rast- bzw. nicht klassifizierbare Daten), im Gebiet der Sahara bis zum Sahel, zum Teil zwischen Tschad und Sudan und dann wieder im südlichen Afrika, südlich von Kenia und Tansania. Bei Heimzügen aus den Überwinterungsgebieten wurden in Afrika fast durchgehend Zugpunkte klassifiziert.

#### 3.1.4 Lage der Rast- und Zugregionen

Die Abbildung 22 zeigt die Datensätze, die nach  $I_{\text{dist}}$  als Rastdatensatz klassifiziert worden sind, in Abbildung 23 sind alle Zugdatensätze dargestellt. Deutlich sind in Abbildung 22 noch einmal die oben genannten Regionen zu sehen, in denen vermehrt Rastdaten liegen. Hierbei ist jetzt auch eine Differenzierung des Gebietes im Sahel erkennbar: In den fünf folgenden Gebieten kommt es zu einer starken Konzentration von Rastdaten:

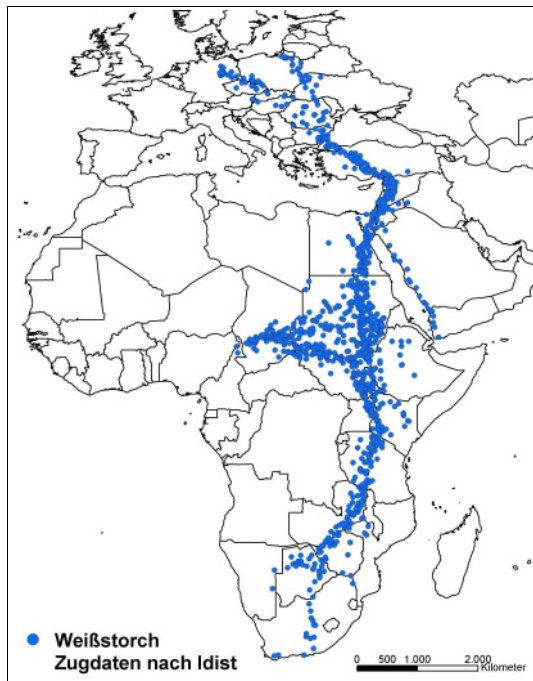
1. West-Tschad zwischen 13° 30' N – 11° 00' N und 15° 25' O – 12° 45' O
2. Ost-Tschad zwischen 14° 2' N – 12° 30' N und 17° 46' O – 21° 19' O
3. West-Sudan zwischen 12° 30' N – 10° 33' N und 24° 45' O – 27° 20' O
4. Nord-Sudan zwischen 16° 28' N – 13° 35' N und 33° 35' O – 35° 56' O
5. Süd-Sudan zwischen 13° 35' N – 11° 10' N und 32° 4' O – 34° 7' O



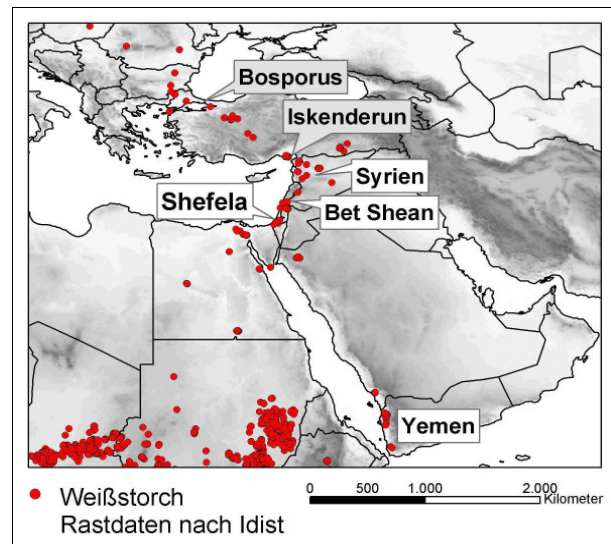
*Abbildung 22: Lage der Rastdatensätze des Weißstorchs nach dem Distanzenindex  $I_{dist}$ . Größte Konzentrationen von Rastdaten finden sich in den Sahelgebieten des Tschad und Sudan. Diese Abbildung ist in Anhang III vergrößert dargestellt.*

Damit können die Überwinterungsregionen schon etwas genauer eingegrenzt werden als in VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002) bzw. KAATZ (2004). Letzterer nennt für Afrika zwei wichtige Konzentrationsräume, die beide im Sahel liegen. Sie liegen nördlich versetzt zu den oben genannten Gebieten 1 bzw. 4. Die „Verschiebung“ nach Norden ist möglicherweise damit zu erklären, dass KAATZ (2004) sich nur auf die ersten mehrwöchigen Rastaufenthalte beschränkt, während hier alle Rastperioden ausgewertet wurden. Weitere wichtige afrikanische Rastgebiete liegen im Süden des Sudans (Region Sudd), in Kenia (Turkanansee, Lake Nakuru und Tsavo, Nord-Tansania (Serengeti-Plains), im Grenzgebiet Simbabwe/Sambias (Karibasee) bzw. im Luangwa-Tal Sambias, Botswana (Ngamiland) und in Südafrika (Drakensberge). Rastregionen in Europa und im Mittleren Osten konzentrieren sich auf Israel (Bet Shean, Shefela), angrenzendes Syrien, und die südliche und zentrale Türkei (Anatolien). Ein weiteres Rastgebiet liegt im West-Yemen (siehe Abb. 24). Diese Gebiete wurden bereits in VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002) näher beschrieben. Hier werden in Europa insbesondere der Bosphorus und Iskenderun als Gebiete mit hoher Storchendichte genannt. Aufgrund von Beobachtungen konnte ebenfalls das Bet Shean-Tal als wichtiges Rast- bzw.

Überflug-Gebiet identifiziert werden. Auch KAATZ (2004) nennt die oben genannten Gebiete als Regionen mit kürzerer Tagesstreckenleistung und erklärt dies mit vorhandenen attraktiven Nahrungsflächen.



**Abbildung 23:** Lage der Zugdatensätze des Weißstorchs nach I<sub>dist</sub>. Diese Abbildung ist in Anhang III vergrößert dargestellt.

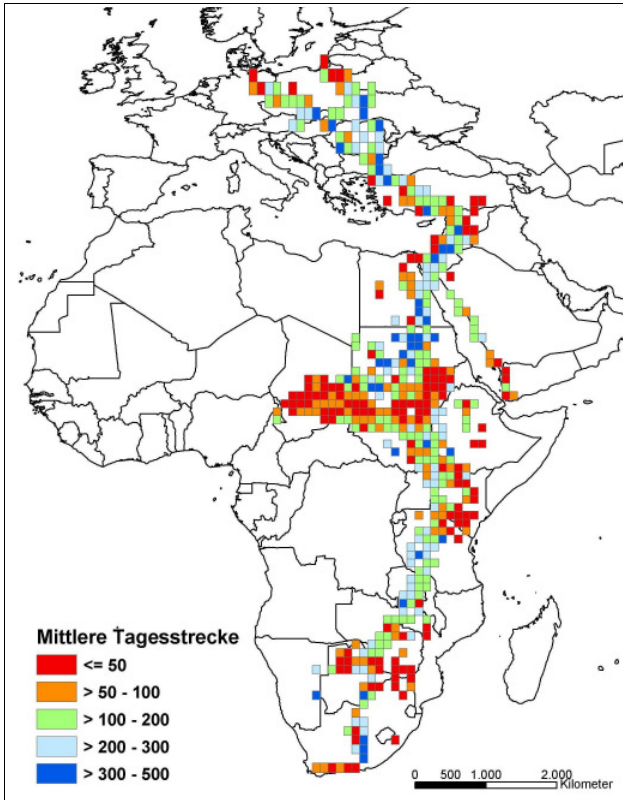


**Abbildung 24:** Lage der Rastdatensätze des Weißstorchs nach I<sub>dist</sub> im Mittleren Osten. Grau hinterlegt sind zusätzliche, in der Literatur genannte Gebiete.

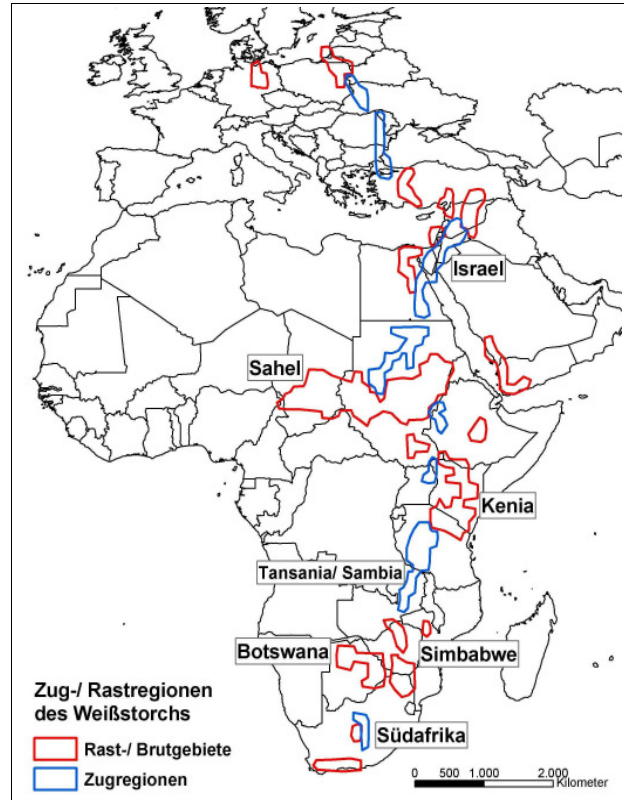
Abbildung 25 zeigt zum Vergleich die mittleren zurückgelegten Tageskilometer je Rastereinheit, auf Basis eines flächentreuen Rasternetzes mit einer Zellengröße von ca. einem Grad (siehe Kap. 2.5.3). Durch diese Berechnung der mittleren Tageszugleistung je Rasterzelle ist eine generelle Eingrenzung der Zug- und Rastregionen möglich, wie es in Abbildung 26 zu sehen ist. Die Lage der Rastdatenpunkte aus Abbildung 22 stimmt exakt mit der Lage der hier dargestellten Rasterzellen mit mittleren Tagesstrecken von 50 km überein, da die geflogene Tagesstrecke natürlich wesentlich zur Berechnung des Index beiträgt.

Im Vergleich dazu ist die Lage der Regionen, in denen hauptsächlich Zug stattfindet, nicht eindeutig. Die Zugpunkte verteilen sich über die gesamte Zugroute inklusive der Rast- und Überwinterungsgebiete (siehe Abbildung 23). Dies ist dadurch zu erklären, dass es auch in Rastgebieten wie der Sahelzone Zuggeschehen gibt, da die Störche nicht durchgehend in einer Region verbleiben. Das ist auch anhand der Einzelzugrouten erkennbar: Störche treffen zunächst in einem westlich gelegenen Gebiet im Sahel ein, suchen nach einigen Tagen Aufenthalt jedoch ein östlicheres oder südlicheres Rastgebiet auf (z.B. Abbildungen 15 und 16 der Störche V 6496 oder V 6497 in Anhang I). Daher ist die Lage der Gebiete, in denen hauptsächlich Zug stattfindet, klarer in einer Darstellung der durchschnittlichen Tagesstrecke je Rasterzelle zu sehen (Abb. 25 und 26). Sie liegen in Osteuropa (West-Ukraine, Rumänien, Bulgarien und Türkei bis zum Bosphorus) und südlich der türkischen Rastgebiete in Israel, Jordanien und den Sahara-Abschnitten Ägyptens und des Sudans. Während die Sahelzone vornehmlich Rasterzellen mit geringerer Tagesstrecke (< 50)

aufweist, sind echte Zugregionen erst wieder im Nordwesten Äthiopiens, Nordosten Ugandas und in Tansania und Sambia zu finden. Auch im zentralen Südafrika findet sich ein Gebiet mit höherer Zugleistung, während die dazwischen liegenden Gebiete Süd-Sambias, Simbawes und Botswanas zu den Rastregionen zählen.



**Abbildung 25:** Durchschnittliche Tageszugleistung je Rastereinheit. Rote Rasterzellen zeigen Gebiete mit geringer Tageszugleistung ( $\leq 50$  km) und geben die Lage der wichtigen Rastgebiete wieder.



**Abbildung 26:** Lage der Gebiete mit geringer ( $< 100$  km) und hoher ( $> 100$  km) durchschnittlicher Tageszugleistung.

### 3.1.5 Lage bedeutender Gebiete mit langen oder vermehrten Aufenthalten

Da nicht von jedem Individuum tägliche Koordinaten vorhanden sind, reicht die alleinige Auswertung von Regionen mit vermehrten Rastdatenpunkten nicht aus. Durch die Überlagerung der Telemetriedaten mit einem hoch aufgelösten Rasternetz (Grid mit einer Rasterzellengröße von  $35 \times 35$  km<sup>2</sup>, siehe Kapitel 2.5.4.a) konnten solche kleinräumige Gebiete (Rasterzellen) lokalisiert werden, in denen sich einzelne Störche länger bzw. mehrere Störche gleichzeitig aufhielten. Diese Gebiete sind von besonderem Interesse, da sie möglicherweise regelmäßig und von zahlreichen Individuen aufgesucht werden und somit als wichtige Rast- oder Überwinterungsgebiete betrachtet werden können.

Generell bestätigt auch diese Analyse die Ergebnisse der vorangegangenen Untersuchungen, ist jedoch wesentlich detaillierter. Die Lokalisation wichtiger Regionen im Tschad und Sudan zeigt insbesondere die Gebiete östlich von Wad Medani (Region 6 in Abb. 27), westlich von Abèche

(„Abèche“, Region 2, Abb. 27) und die Darfur-Region des Sudan („West Darfur“ Region 3, Abb. 27). Diese entsprechen bereits identifizierten Rastgebieten durch BERTHOLD, BOSSCHE et al. (2001). Zusätzlich konnte hier noch die Regionen südlich von El Fasher („Süd-Darfur“, Region 4, Abb. 27) bzw. südlich von Khartoum („Gezira“, Region 5, Abb. 27) als Rastgebiet mit Aufhalten mehrerer Störche lokalisiert werden. Weitere Gebiete südlich der Sahel-Zone liegen im Grenzgebiet Kenia – Tansania (Regionen „Mau Forest“, „Kitui“ und „Serengeti“, Regionen 7, 8 und 9 in Abb. 28) in Botswana („Ngamiland“, Region 11, Abb. 29), im Grenzgebiet Sambia - Simbabwe („Lake Kariba“, Region 10, Abb. 29) und in Südafrika („Drakensberge“, Region 12, Abb. 29).

Außerhalb Afrikas wurden verstreut Regionen im Nahen Osten lokalisiert. Von größerer Bedeutung sollte hier lediglich die Region „Bet Shean“ (Region 13) in Israel genannt werden (Abb. 30).

1. „Fitri“ (Ost-Tschad)

In der Region Fitri rasten insgesamt sechs Störche, teilweise über längere Zeiträume. Rastdaten sind aus allen Jahren zwischen 1994 und 1999 zu finden, wobei drei Störche hier im Jahr 1998 rasteten. Drei Störche rasten über längere Zeit (> 6 Tage), davon überwintert Storch KA 0800 komplett in diesem Raum (08.10.94 – 25.02.95). Dieser Storch verhält sich stark nomadisierend und verlässt ein Gebiet (eine Rasterzelle) stets nach ca. 10 Tagen, um in einem anderen wiederum zu rasten. Die Störche V 6498 und E 819 rasten ebenfalls über längere Zeit im Gebiet (10.12.98 – 03.02.99 bzw. 25.11.98 – 12.01.99), verlassen dieses jedoch wieder, um in der angrenzenden Region („Batha“) zu rasten.

2. „Abèche“ (zentraler Tschad)

Die Region Abèche erstreckt sich über eine Länge von mehr als 300 Kilometern und beinhaltet Rastdaten von insgesamt 15 Störchen. Es sind Daten der Jahre 1994, 1996-1998, 2000 und 2001 vorhanden, wobei die meisten Datensätze aus dem Zeitraum September bis November 1998 stammen. Zehn Störche rasteten hier über einen längeren Zeitraum (zwischen zwei Wochen und zwei Monaten, mehr oder weniger durchgängig). Während des knapp zweimonatigen Aufenthalts des Storches V 6496 sucht dieser verschiedene Teilgebiete auf und rastet nur im äußersten Südosten für 15 Tage im selben Gebiet (eine Rasterzelle). Vier Störche (E 819, E 817, E 847 und E 849) verlassen die Region im Verlauf des November 1998.

3. „West-Darfur“ (Grenzgebiet Tschad – Sudan)

Diese Region weist nur Zellen mit längeren Aufhalten von zwei Störchen auf, jedoch keine Präsenz verschiedener Individuen. Storch E 817 rastet im Norden der Region vom 14.09. bis zum 10.11.98 und hält sich dabei in einem kleinräumigen Gebiet auf. Am 20.10. verlässt er das Gebiet Richtung Abèche wo er wiederum rastet. Storch V 6498 hält sich rund zweieinhalb Monate vom 23.11.99 bis zum 18.02.00 in der Region auf, sucht in diesem Zeitraum jedoch drei verschiedene Gebiete (verschiedene Rasterzellen) auf.

4. „Süd-Darfur“ (West-Sudan)

Diese Region ist ein Sammlungspunkt vieler Individuen. Insgesamt rasten hier sechs verschiedene Störche, zwei von ihnen kehren ein zweites Mal in einem anderen Jahr zurück. Storch BA 007102 rastet in der Region zweimal in den Zeiträumen 26.11.01 - 09.12.01 und 10.11.02 – 23.12.02, jedoch mit stark nomadisierendem Verhalten. Auch zwei weitere Störche besuchen das Gebiet während des Jahreswechsels 2001/2002 für einen längeren Zeitraum



(jeweils 70 Tage ) nomadisieren jedoch ebenfalls umher.

5. „Gezira“ (Südost-Sudan)

Die Region Gezira befindet sich zwischen Blauem und Weißem Nil südlich von Khartoum. Bewässerte Kanäle sichern hier für die Versorgung der zahlreichen Baumwollplantagen. In der Region rasteten insgesamt zehn verschiedene Störche in den Jahren 1994 bis 1999, 2001 und 2003, von diesen suchen zwei Störche (KA 0749 und E 848) die Region in zwei verschiedenen Jahren auf. Die Aufenthaltsdauer beträgt zwischen zehn Tagen und über einem Monat. Während einige Störche nomadisierend einzelne Gebiete aufsuchen und wieder verlassen (z.B. Unberingt 4, E 848 im Jahr 1998 oder KA 0776), verbleiben andere über einen längeren Zeitraum ( $\geq 6$  Tage) in einem begrenzten Gebiet (Rasterzelle) (z.B. KA 7496 am Nordrand der Region).

6. „Wad Medani“ (Ost-Sudan)

Diese Region weist viele Rastdaten verschiedener Individuen auf. Insgesamt rasten hier zehn Störche in den Jahren 1994 – 2002. Drei Störche (KA 0749, E 848 und E 846) kehren ein- bis mehrmals in die Region zurück. Alle Gebiete (Rasterzellen) weisen Daten von mindestens zwei Individuen auf, davon sechs Gebiete mit längeren Aufenthalten ( $\geq 6$  Tage). Der Senderstorch „Prinzesschen“ (KA 0749), von dem insgesamt neun Zugrouten vorliegen (siehe Anhang I, Abb. 8-12), besucht diese Region insgesamt viermal und rastet im Schnitt zwei Wochen. Dabei bleibt der Storch jedoch nicht in einer begrenzten Region, sondern streift umher. Mittlere Tagesstrecken liegen meist unter 30 Kilometer. Nur in einem Jahr der dokumentierten Zugrouten sucht Prinzesschen ein anderes afrikanisches Zwischenziel auf: zwischen dem 4.10 und 21.10.1997 rastet der Vogel in der Region Süd-Darfur. In zwei nebeneinander liegenden Gebieten zwischen den Städten Suki und Gedaref konzentrieren sich Aufenthalte von fünf verschiedenen Störchen. Ein Storch (E 848) rastet bzw. überwintert hier vom 29.10. - 23.11.1998.

7. „Mau Forest“ und

8. „Kitui“ (südliches Kenia)

Beide Regionen liegen östlich des Viktoriasees. Die erste Region ist umgeben vom Mau Forest Komplex, einem zusammenhängenden Bergwaldgebiet, welches als „Important Bird Area“ ausgewiesen wurde (BENNUN & NJOROGE 1999, siehe auch Kap. 2.10.2). Beide Regionen zeichnen sich durch einen längeren Aufenthalt eines Storches (V 6498) aus. Dieser hält sich zunächst einen Monat in Kitui auf (09.01.-09.02.1997) und fliegt darauf direkt in die Region Mau Forest, um hier einen weiteren Monat zu rasten (19.02.-16.03.1997).

9. „Serengeti“ (Nord-Tansania)

In der Region Serengeti, die ebenfalls als „Important Bird Area“ ausgewiesen ist, rasten insgesamt fünf verschiedene Störche in den Jahren 1995, 1996, 1999, 2001 und 2003. Drei Störche halten sich hier über eine Woche und länger auf: E 819 (05.03.-15.03.1999), Unberingt 7 (05.-11.02.1999) und KA 0749 (02.02.-16.03.1995 nach dem „Täglich“-Datensatz).

10. „Lake Kariba“ (Grenzgebiet Sabia – Simbabwe)

Nördlich und östlich des Karibasees liegen vier Gebiete (Rasterzellen) mit längeren Aufenthalten von zwei verschiedenen Störchen, die hier in zwei verschiedenen Jahren rasten. Ein Storch (L 4298) hält sich zwei Wochen (21.11.-05.12.1996) in einem begrenzten Gebiet (Rasterzelle) auf.

Storch E 817 rastet über einen längeren Zeitraum (ca. 1 ½ Monate) und bis zu einem ungewöhnlich späten Zeitpunkt, an dem die meisten Störche bereits auf dem Rückweg in ihr Brutgebiet sind (16.02.-06.04.1999). Dieser Storch hält sich die ganze Zeit über in drei benachbarten Gebieten (Rasterzellen), pendelt jedoch zwischen diesen hin und her. Erst zwischen dem 06. und 08.04. tritt er seinen Rückzug an, der jedoch in Ägypten mit dem Tod des Storchs endet.

11. „Ngamiland“ (Nord-Botswana)

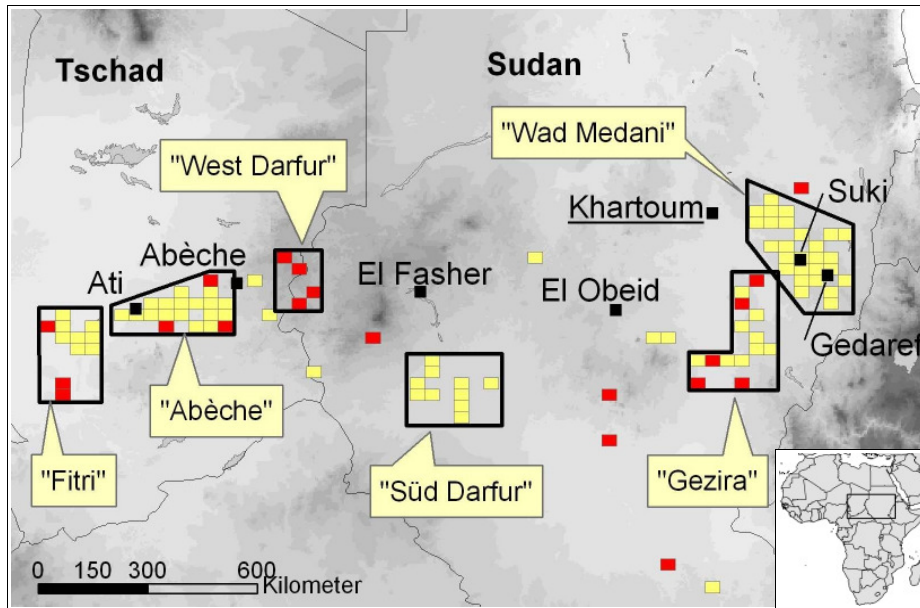
In Botswana liegt eine Region östlich des Ngami-Sees mit vermehrten und längeren Storch-Aufenthalten. In den Jahren 1997, 1999 und 2000 rastet hier jeweils ein Storch über einen längeren Zeitraum (V6497: 28.01.-24.02.97; E 848: 05.-27.02.99; E 849: 11.01-11.03.99). Storch E 849 hält sich dabei jeweils für einige Tage bis zu einer Woche in kleinräumigen Gebieten (Rasterzellen) auf und sucht dann ein neues Gebiet auf. Mitte Februar verlässt er die Region in Richtung Namibia, kehrt jedoch am darauf folgenden Tag wieder zurück, um weitere drei Wochen in der Region „Lake Ngami“ zu rasten. Erst am 12. März tritt er endgültig seinen Heimzug an. Storch V 6497 hält sich die ganze Zeit in einem begrenzten Gebiet auf (zwei benachbarte Zellen). Storch E 848 streift zunächst umher, rastet dann jedoch vom 09.-22.02.00 in einem begrenzten Gebiet mit einem Radius von ca. vier Kilometern. Am 01.03. verlässt er die Region zunächst in Richtung Osten zu den Makgadikgadi-Salzpflanzen. Am folgenden Tag tritt er jedoch bereits seinen Heimzug an.

12. „Drakensberge“ (östliches Südafrika)

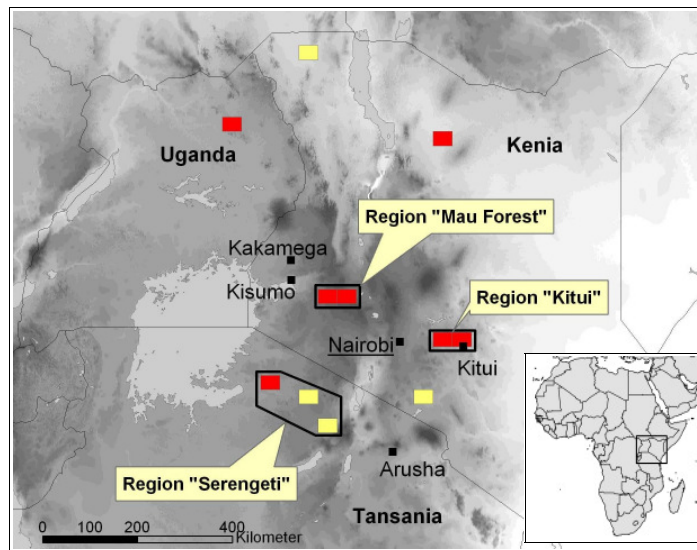
Hier rastet der Storch „Unberingt 4“ über knapp zwei Monate (26.12.1997-20.02.1998). Die meiste Zeit davon hält er sich in einem begrenzten Gebiet mit ca. fünf Kilometer Radius auf. Allerdings verstirbt dieser Storch kurz darauf (22.02.98), sodass unklar ist, ob der lange Aufenthalt mit der Qualität des Rastgebietes zusammenhängt oder möglicherweise durch eine Verletzung erzwungen war.

13. „Bet Shean“ (Israel)

Diese Region wird bereits in VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002) als wichtige Durchzugs- und Rastregion genannt, was hierbei aus dessen Beobachtungsdaten hervorgeht. Nach den hier ausgewerteten Telemetriedaten rasten in dieser Region drei Störche in den Jahren 1994-1996 (KA 0776: 30.08.-14.09.1996; L 4124: 02.10.-15.11.1994 und 12.12.1994 - 08.01.1995; L 4298: 14.09.-25.09.1994 jeweils nach dem „Täglich“-Datensatz). Für Israel, welches in der Literatur meist als wichtiges Durchzugsgebiet bezeichnet wird (FRUMKIN, PINSHOW et al. 1995; LESHEM & YOM-TOV 1998) („Schmalfrontzug“, CREUTZ 1988; LESHEM & YOM-TOV 1996) zeigen die Telemetriedaten also zudem, dass die Region auch wichtige Rastgebiete der Störche bietet. In verschiedenen Jahren rasten (bzw. überwintern im Fall L 4124) Störche hier über einen längeren Zeitraum. Auch KAAZ (2004) nennt Israel als Durchzugs- und Rastgebiet, in dem es zu einer geringeren Tageszugleistung der Störche aufgrund von geeigneten Wasser- und Nahrungsstellen kommt.

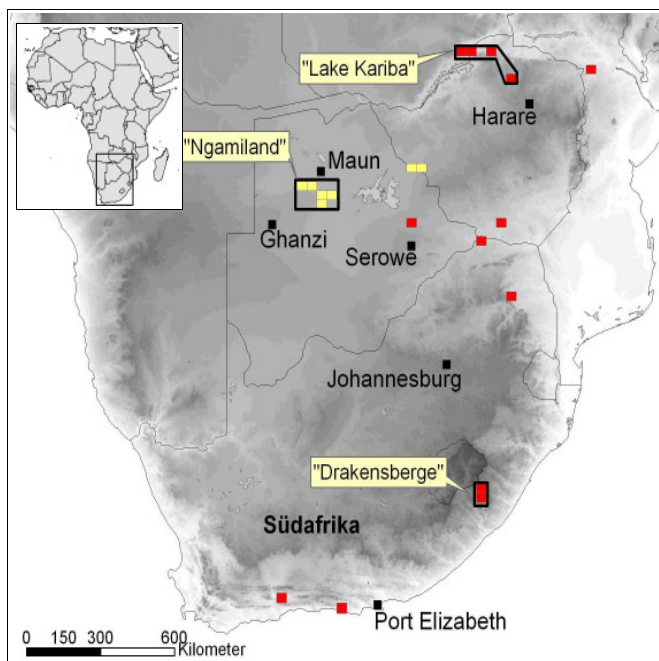


**Abbildung 27:** Lage der wichtigen Rastregionen im Sahel mit vermehrten (gelb) und längeren (rot) Aufhalten der Weißstörche.



**Abbildung 28:** Lage der wichtigen Rastregionen im östlichen Afrika mit vermehrten (gelb) und längeren (rot) Aufhalten der Weißstörche.

- Rasterzellen mit Rastdaten von  $\geq 2$  Individuen
- Rasterzellen mit  $>6$  Rastpunkten



**Abbildung 29:** Lage der wichtigen Rastregionen im südlichen Afrika mit vermehrten (gelb) und längeren (rot) Aufhalten der Weißstörche.



**Abbildung 30:** Lage der wichtigen Rastregionen im Mittleren Osten mit vermehrten (gelb) Aufhalten der Weißstörche.

### 3.1.6 Lage bedeutender Gebiete nach der Kernel-Homerange Analyse

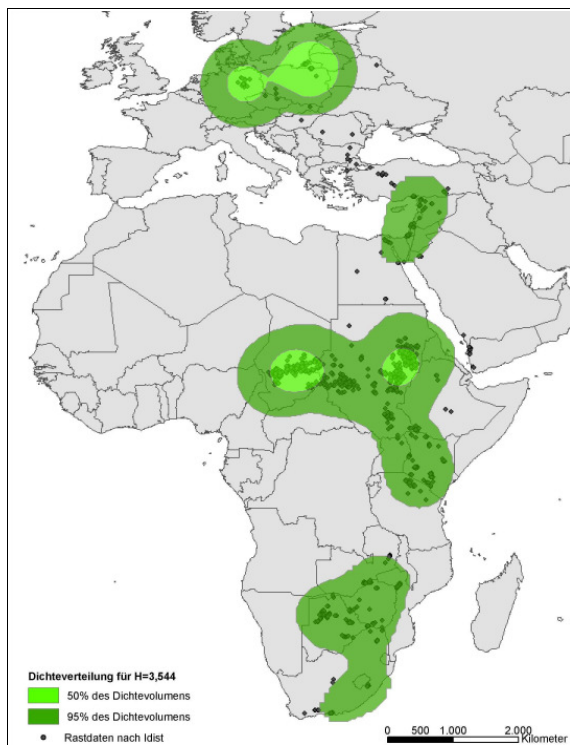
Auf Basis vorhandener Punktdaten (Koordinaten) kann mittels statistischer Verfahren auch die Gesamtverbreitung (Streifgebiete = *Homerange*) der jeweiligen Art bzw. das Streifgebiet eines Individuums aus der Dichteverteilung der entsprechenden Punkte abgeschätzt werden (siehe Kap. 2.5.4.b). Die Abbildung 31 zeigt die resultierenden Streifgebiete aller Rastdaten der Störche bzw. Aufenthalte am Nest mit 50 % und 95 % des Dichtevolumens. Demnach können vier wesentliche Regionen mit Aufhalten unterschieden werden: Die Brutgebiete der besenderten Störche im Nordosten Deutschlands und Polens, der Nahe Osten (Israel, Syrien, Jordanien und Türkei), Zentral- und Ostafrika (Tschad, Sudan, Kenia und Tansania) und das südliche Afrika (Sambia, Simbabwe, Botswana und Südafrika). Die Homerange-Analyse spiegelt im Wesentlichen die Ergebnisse der Grid-Analyse wider, da sie dieselben Gebiete abdeckt.

Mit einem kleineren Wert für  $H$  (*Smoothing-Parameter*) werden weit außerhalb liegende Punkte weniger stark gewichtet, was zu einer genaueren Eingrenzung der Gebiete führt. Die folgenden Abbildungen zeigen das Ergebnis einer Homerange-Berechnung für alle Rastdaten ausgenommen der Brutgebiete mit dem adhoc-Wert für  $H$  (Abb. 32) bzw. einem verkleinerten  $H$ -Wert (Abb. 33). Die Analyse mit dem adhoc berechneten *Smoothing-Parameter* zeigt nach wie vor die oben beschriebenen Gebiete in Zentral-, Ost- und Südafrika, sowie im Nahen Osten. Ein weiteres Gebiet liegt nun im Grenzgebiet Tschechien-Polen. Das Streifgebiet im südlichen Afrika wurde in zwei Gebiete mit Schwerpunkt Botswana-Simbabwe bzw. Südafrika aufgetrennt. Wird der Wert für  $H$  noch kleiner gewählt, schrumpfen die Streifgebiete noch stärker und werden damit klarer voneinander getrennt.

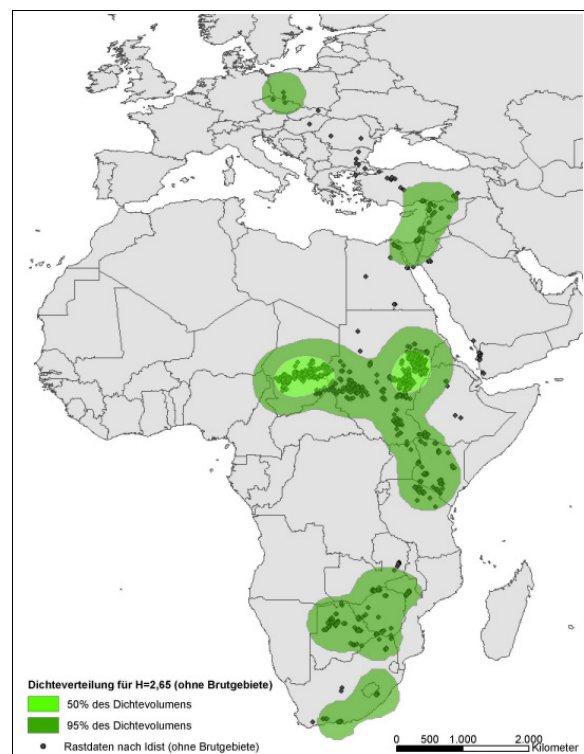
Ein Vergleich mit den aus Abb. 26 definierten Rastregionen (mit durchschnittlicher

Tageszugleistung < 100 Kilometer je Rasterzelle) zeigt ebenfalls eine recht gute Übereinstimmung der Gebiete. Besonders im Sahel und östlichen Afrika, sowie in Botswana und Sambia stimmen die lokalisierten Gebiete überein. Allerdings werden hier auch Gebiete eingeschlossen, die eher höhere Tageszugleistungen umfassen und daher in Abb. 26 als Zuggebiete identifiziert wurden (z.B. N-Sudan, N-Uganda). Abweichungen gibt es vor allem in Südafrika, wo der längere Aufenthalt eines Storchs südlich von Lesotho zu einer starken Ausweitung des Streifgebietes nach Osten führte.

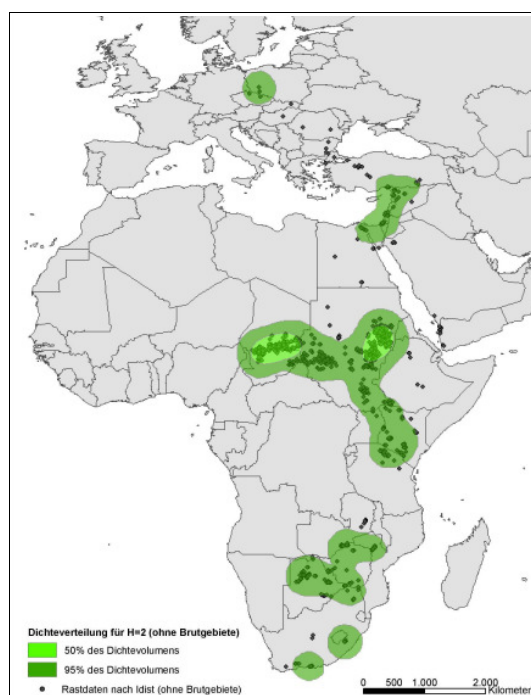
Der Vergleich mit anderen Methoden wie der Grid-Analyse (siehe Kapitel 3.1.5) zeigt, dass diese Methode weniger geeignet ist, wichtige Aufenthaltsgebiete genauer und detaillierter zu bestimmen. Zudem werden natürliche Grenzen der Verbreitung wie beispielsweise das Mittelmeer ignoriert. Weiterhin ist die Berechnung der Dichtematrix unabhängig von der zeitlichen Komponente der Daten bzw. der Häufung von Rastdaten eines Individuums. Die Daten müssten daher für eine sinnvolle Analyse noch weiter aufgetrennt werden oder bestenfalls die Dichteverteilung je Individuum separat berechnet werden.



**Abbildung 31:** Berechnetes Streifgebiet nach der Kernel-Homerange Methode auf Basis aller Weißstorch-Rastdaten inklusive der Rastgebiete. Der „Smoothing-Parameter“  $H=3,544$  wurde durch das Programm automatisch berechnet.



**Abbildung 32:** Berechnetes Streifgebiet nach der Kernel-Homerange Methode auf Basis der Rastdaten ohne Berücksichtigung der Brutgebiete. Der „Smoothing-Parameter“  $H=2,65$  wurde durch das Programm automatisch berechnet. Der geringere Datenumfang führt zu einer stärkeren Gebietsengrenzung.



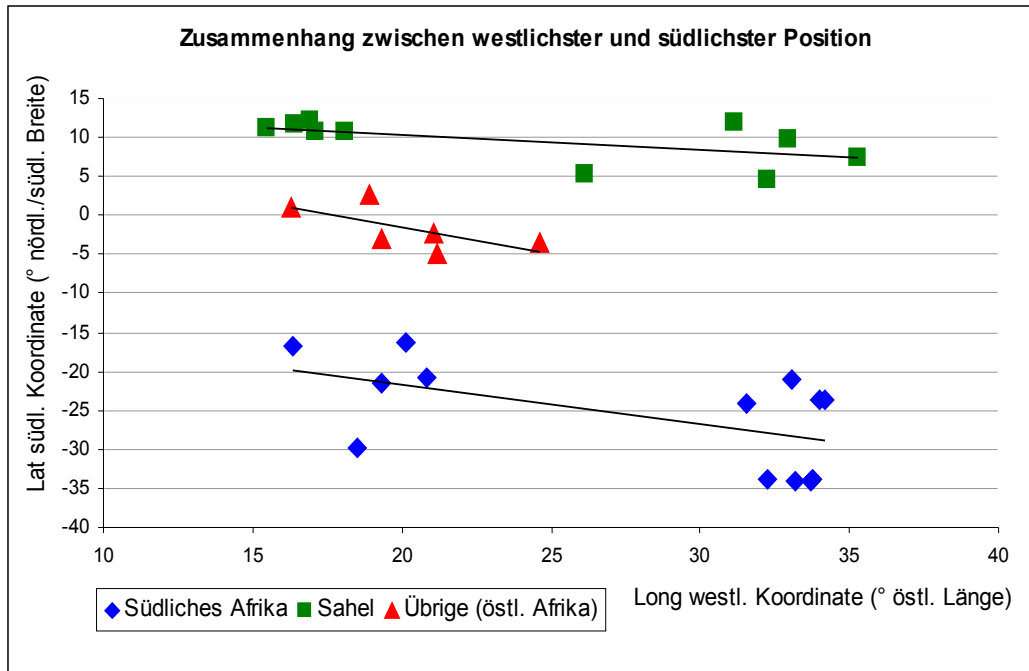
**Abbildung 33:** Berechnetes Streifgebiet nach der Kernel-Homorange Methode auf Basis der Rastdaten ohne Berücksichtigung der Brutgebiete. Der „Smoothing-Parameter“  $H=2,0$  wurde hier manuell gewählt. Bei einem kleineren Wert für  $H$  werden weit außerhalb liegende Punkte weniger stark gewichtet, was zu einer stärkeren Eingrenzung des Streifgebietes führt.

### 3.1.7 Räumliche Muster des Weißstorchzuges

Aufgrund der individuell unterschiedlichen Wahl von Zugrouten und Überwinterungsgebieten wurde hier die Frage untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen der westlichsten Position (meist im afrikanischen Zwischenziel) und der südlichsten Position im gesamten Zugverlauf gibt. Die Abbildung 34 zeigt diese Parameter aufgetrennt für Störche, die im Sahel überwintern und solche die nach Süden weiterziehen (Gruppe „Südliches Afrika“ mit Überwinterungsgebieten von Sambia bis Südafrika; Gruppe „Übrige“ mit Überwinterungsgebieten von Kenia bis Tansania). Insgesamt wurden 29 vollständige Zugrouten von 19 Individuen ausgewertet („Tagesbeste“-Datensatz), 10 Routen endeten im Sahel, 6 im östlichen Afrika (zwischen  $3^\circ$  nördl. Breite und  $3^\circ$  südl. Breite) und 13 im südlichen Afrika (südlich von  $19^\circ$  südl. Breite). Von sechs Individuen gingen mehrere Zugrouten ein (2 oder 3), die jedoch ebenfalls Variabilität in der Wahl der Überwinterungsgebiete zeigen (siehe zum Beispiel Karten 21-25 des Storchs V 6498 in Anhang I).

Die eingezeichneten Trendlinien zeigen, dass in allen drei Gruppen ein Zusammenhang zwischen zwei Parametern besteht: je westlicher die Rastposition im Zwischenziel ist, desto nördlicher liegt das zuletzt erreichte Rastgebiet. Umgekehrt kann daraus gefolgert werden, dass Störche, die beispielsweise im östlichen Sudan rasten (Rastgebiete Wad Medani oder Gezira), eher die Tendenz

zeigen, ins südliche Afrika zu ziehen. Dahingegen verbleiben Störche, die zunächst im Tschad (Fitri oder Abèche) rasten, eher im Sahel. Bei Bestrebung eines Storches, bis ins südliche Afrika zu ziehen, bedeutet die Wahl eines sehr weit westlich gelegenen Zwischenüberwinterungsgebietes eine längere Strecke und damit zusätzlichen Ressourcenverbrauch.



**Abbildung 34:** Auftrag der jeweils westlichsten und südlichsten Koordinate je Weißstorch-Individuum, unterschieden nach Sahel-, Südafrika und Ostafrika-Überwinterern.

Entsprechend zeigt sich die oben beschriebene Tendenz auch am deutlichsten bei Störchen, die bis ins südliche Afrika ziehen, während sie bei den Sahel-Überwinterern nur andeutungsweise zu erkennen ist und statistisch nicht signifikant ist. Obwohl die Wahl eines sehr westlich gelegenen Rastgebietes zusätzliche Strecke für Südafrika-Überwinterer bedeutet, gibt es dennoch einzelne Individuen, die diesen Umweg in Kauf nehmen (zum Beispiel E 819 oder E 817 jeweils im Jahr 98/99).

**Tabelle 9:** Abhängigkeit der südlichsten Rastposition von der westlichsten Position (Signifikanzniveaus der einzelnen Zuggruppen, n.s. = nicht signifikanter Zusammenhang). Die Tabelle zeigt die Ergebnisse der Regression für alle Störche zusammen und aufgetrennt in Gruppen nach der Lage des letzten Überwinterungsgebietes.

	<i>Alle Gruppen</i>	<i>Sahel</i>	<i>Südliches Afrika</i>	<i>Östliches Afrika (Kenia, Tansania)</i>
Signifikanzniveau für logarithmische Regression (südl. Koordinate als abh. Variable)	*	(n.s.) jedoch Tendenz erkennbar ( $p \leq 0,07$ )	*	n.s.

Die logarithmische Regression unterstreicht die Vermutung: Zwar ergibt sich für alle Gruppen zusammen ein signifikanter Zusammenhang zwischen der westlichsten und der südlichsten Position, betrachtet man jedoch die Gruppen getrennt voneinander, besteht lediglich für die Gruppe der Südafrikazieher ein signifikanter Zusammenhang.

### 3.1.8 Zeitliche Muster des Weißstorchzuges

Die hier verwendeten Telemetriedaten des Weißstorchs umfassen einen Zeitraum von insgesamt 13 Jahren. Da in den meisten Jahren Daten von mehreren Individuen vorliegen, ist es möglich, diese unter zeitlichen Aspekten auszuwerten. Auf diese Weise können mögliche Veränderungen des Zugverhaltens oder Jahre mit abweichendem Zugverhalten aufgedeckt werden.

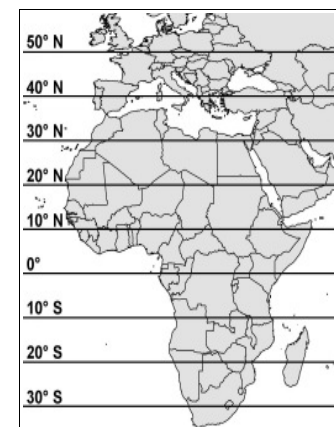
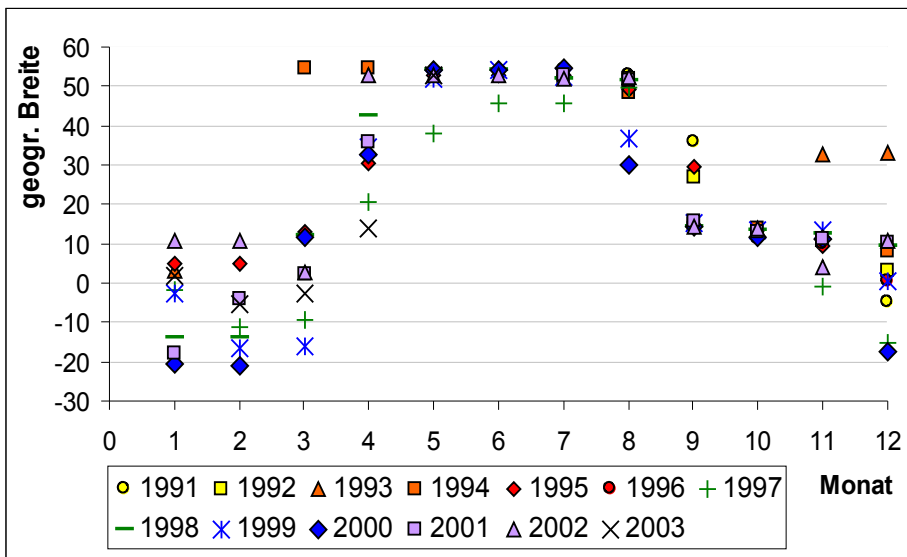
In Abbildung 35 ist der Zugverlauf daher nach Monaten und Jahren aufgeschlüsselt dargestellt. Je Monat und Jahr wurde der jeweilige Median der geografischen Breite der Telemetriedaten berechnet, so dass man den Zugverlauf der einzelnen Jahre miteinander vergleichen kann (siehe Kap. 2.6). Sichtbar ist der generelle Zugverlauf mit Daten aus dem südlichen Afrika von Januar bis März, dem starken Zugfortschritt im April, dem Aufenthalt in den Brutgebieten von Mai bis Juli, der Zugbeginn im August, Ankunft und Rast in den Zwischenüberwinterungsgebieten im Sahel im September und Oktober und schließlich der Weiterzug ins südliche Afrika im November. Weiterhin wird deutlich, wie groß die Schwankungsbreite zwischen den einzelnen Jahren ist.

Die Auswertung und Deutung der hier abgebildeten Muster muss mit Vorsicht geschehen: Mögliche Anomalien im Zugverlauf können auf das Verhalten einzelner Individuen zurückfallen, denn trotz des großen Grunddatensatzes an Weißstorch-Telemetriedaten basiert die Datengrundlage für die einzelnen Monate auf maximal neun, zuweilen auch nur einem oder zwei Individuen. Daher sind verallgemeinerte Aussagen praktisch nicht zu treffen. Die meisten sichtbaren Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren sind in einem statistischen Test (Tukey-Test, siehe Kap. 2.11) jedoch nicht signifikant. Lediglich in den Monaten Juli und August konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden. Im Juli liegt der Median des Jahres 1997 bei ca.  $46^\circ$  nördlicher Breite, in den übrigen Jahren nördlich des  $50^\circ$  Breitengrades. Dieser Unterschied ist mit  $p \leq 0,05$  signifikant. Auch in der Grafik ist zu sehen, dass der Median des Jahres 1997 wesentlich weiter südlich als die übrigen Mediane liegt, der Zug also „verzögert“ erscheint. Tatsächlich konnte auch KAATZ (2004) einen verspäteten Heimzug der Störche zeigen, der sich signifikant von den übrigen



Jahren unterschied und zu einer späteren Ankunft der Störche im Brutgebiet führte. Allerdings ist in diesem Fall das besondere Verhalten des Storchs V 6495 zur Bildung des Medians ausschlaggebend, da dieser Storch auf dem Heimzug lediglich bis in die Türkei flog und hier bis Juli verblieb. Im August erreichte er noch Ägypten, danach liegen keine weiteren Telemetriedaten vor. Das Zugverhalten des Storchs V 6495 hat im Juli starken Einfluss auf den Median, da sich dieser nur aus insgesamt zwei Individuen berechnet. Im August liegen Daten weiterer Individuen durch Neubesenderungen vor (n=10), so dass das Verhalten einzelner Individuen weniger stark ausschlaggebend ist. Der verspätete Antritt des Heimzugs der übrigen Störche dieses Jahres (L 4298, V 6497 und V 6498, vergl. KAATZ 2004) ist in dieser Grafik nicht ersichtlich und führt auch nicht zu einem signifikanten Unterschied im Vergleich mit den übrigen Jahren.

Auch für den Monat August konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden ( $p \leq 0,05$ ). In diesem Monat fallen die Jahre 1999 und 2000 auf. Deren Mediane liegen auf 30,2 bzw. 36,6° nördl. Breite und damit rund 16 Grad südlicher als die Mediane der Jahre 1992, 1996, 1998, 2001 und 2002. Dies lässt auf einen verfrühten Abzug der Störche in den Jahren 1999 und 2000 schließen.



**Abbildung 35:** Die Grafik zeigt den Median der geografischen Breite der jeweils südlichsten Koordinate aller Weißstorch-Individuen je Monat (x-Achse) und je Jahr (Symbol). Auf diese Weise wird der Zugfortschritt dargestellt und erlaubt einen Vergleich der Jahre für denselben Monat.

**Abbildung 36:** Lage der Breitengrade in Europa und Afrika.

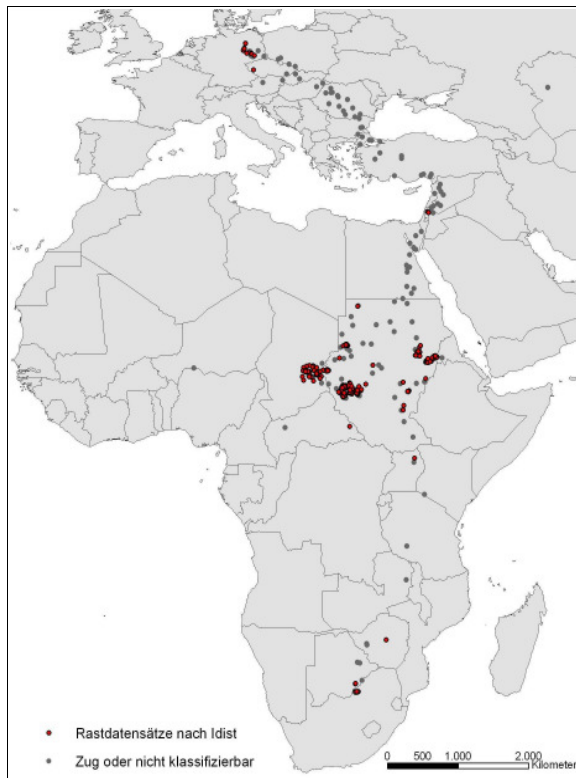
### 3.1.9 Auswertung des „Täglich“-Datensatzes von ausgewählten Störchen

Um die Auswirkungen weniger guter Lokalisationen zu testen, wurden zusätzliche Auswertungen auf Basis des „Täglich“-Datensatzes durchgeführt. Dieser Datensatz enthält auch Koordinaten, die nicht den in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Kriterien entsprechen. So können hier auch Koordinaten mit einer fehlerhaften Abweichung von mehr als fünf Kilometer enthalten sein. Andererseits beinhaltet dieser Datensatz mehr Positionen je Individuum, da immer eine Position je Tag ausgewählt wurde. Zudem war es hier möglich, weitere Individuen auszuwerten, die keine oder zu wenig Koordinaten im „Tagesbeste“-Datensatz haben. In der vorliegenden Arbeit wurden

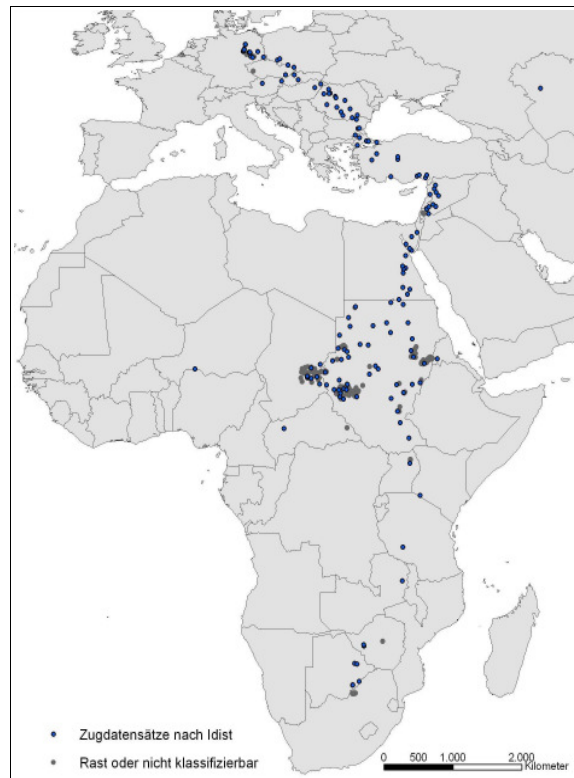
beispielhaft die Zugrouten der Störche B 6772, KA 0015, KA 0017, KA 0011, KA 2577, KA 2578, KA 0750 (1994), KA 0798, L 4167, M 640 und M641 auf Basis dieses Datensatzes ausgewertet (siehe auch Anhang II). In diesem Kapitel wird die Lage der Rast- und Zugdaten nach dem Distanzen-Index  $I_{\text{dist}}$  entsprechend dem Kapitel 3.1.4 analysiert und die Ergebnisse verglichen. Weitere Analysen auf Basis des „Täglich“-Datensatzes sind in den Kapiteln 3.2.2 (Habitatanalyse) und 3.2.6.c (Einfluss ökologischer Faktoren auf die Rastgebietswahl) zu finden.

Die Abbildungen 37 und 38 zeigen die Lage der Zug- und Rastdaten. Von den insgesamt 765 Datensätzen der 11 oben aufgeführten Weißstörche konnten 589 Datensätze mithilfe des Distanzen-Index  $I_{\text{dist}}$  klassifiziert werden. Dies entspricht rund 78 %, von denen 441 (57,7 %) Positionen als Rast- und 148 (19,4 %) als Zugdatensatz klassifiziert wurden. Die restlichen 176 (23 %) Positionen waren nicht klassifizierbar. Damit erreicht der „Täglich“-Datensatz eine ähnlich hohe Klassifikationsrate wie der „Tagesbeste“-Datensatz (80 %, siehe Kapitel 3.1.2.b) was zeigt, dass die Lokalisationen mit einer weniger guten Genauigkeit ebenfalls zur Berechnung von Rast- und Zugdaten nach dem Distanzen-Index  $I_{\text{dist}}$  geeignet sind.

Die Lage der Rastdaten stellt entsprechend einen Auszug der in den Kapiteln 3.1.4 und 3.1.5 ausgeführten Ergebnisse dar und wird hier nicht näher beschrieben. Zwar wird deutlich, dass einige Datensätze aufgrund der unzureichenden Lokalisationsgenauigkeit stark von der eigentlichen Zugroute abweichen, diese aber zumeist nicht als Rast- oder Zugdaten klassifiziert werden konnten und daher das Ergebnis der Lage von wichtigen Rastregionen nicht beeinträchtigen.



**Abbildung 37:** Klassifizierte Rastdaten nach  $I_{dist}$  für den "Tägliche"-Datensatz, in grau hinterlegt ist der zugrunde liegende „Tägliche“-Gesamtdatensatz ( $n=765$ ). Die Lage der Rastregionen spiegelt gut die Ergebnisse aus der Auswertung des „Tagesbeste“-Datensatzes wider (vergleiche mit Abb. 22).



**Abbildung 38:** Klassifizierte Zugdaten nach  $I_{dist}$  für den "Tägliche"-Datensatz, in grau hinterlegt ist der zugrunde liegende „Tägliche“-Gesamtdatensatz ( $n=765$ ). Zugdaten sind besonders häufig in der ersten Zughälfte und stellen nur einen kleinen Auszug der Auswertung des „Tagesbeste“-Datensatzes dar (vergleiche mit Abb. 24).

## 3.2 Kombination mit Fernerkundungsdaten

### 3.2.1 Habitatnutzung nach Global Landcover 2000

Zur Bestimmung der genutzten Habitate der Weißstörche wurde die Karte zur Landbedeckung und Landnutzung in Afrika für das Jahr 2000 verwendet (MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. 2003). Die insgesamt 27 Klassen unterscheiden je nach Bedeckungsgrad, Saisonalität oder Höhe verschiedene Typen von Wald, Buschland, Grasland, Landwirtschaft, vegetationslose Bereiche und weniger flächendeckende Bedeckungstypen wie Städte, Feuchtgebiete oder Salzpfannen (für eine genauere Beschreibung der einzelnen Klassen siehe Anhang VII). Die Genauigkeit der Karte (Pixelgröße von  $1 \text{ km}^2$ ) ist weniger für regionale Studien geeignet, da in einigen Fällen eine Über- oder Unterbewertung einzelner Klassen vorliegt. In semiariden Gebieten kam es z.B. zu einer Überbewertung von Kulturflächen, da diese meist mit anderen Vegetationstypen vermischt sind (MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. 2004). Dennoch liefert die Karte gute Ergebnisse im Hinblick auf die grundsätzlichen Verteilungsmuster von Vegetationstypen in Afrika (MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. 2003) und bietet daher für diese kontinent-übergreifende Analyse der Telemetriedaten eine geeignete Grundlage. Zunächst wurden für die nach  $I_{dist}$  identifizierten Rast- und Zugdaten des „Tagesbeste“-Datensatzes des Weißstörchs Pufferflächen gebildet (Radius = 5 km), so dass die

mögliche Abweichung der Lokalisationen in der Habitatanalyse berücksichtigt werden konnten. Die Pufferflächen wurden mit der Global Land Cover Karte verschnitten und die anteiligen Flächen je Habitat berechnet (für die detaillierte Vorgehensweise siehe Kapitel 2.8.2). Die Ergebnisse sind im Abschnitt 3.2.1.a dargestellt. Um die Habitatnutzung statistisch zu testen, wurden Zufallspunkte mit vergleichbarem Datenumfang auf die selbe Weise mit der GLC-Karte kombiniert, so dass ein Vergleich der Weißstorch-Habitatnutzung mit einer zufälligen Habitatnutzung möglich war (zu den Methoden siehe Kap. 2.8.5). Die Ergebnisse sind in Abschnitt 3.2.1.d dargestellt.

Folgende Klassen werden in der „Global Landcover 2000“-Karte unterschieden:

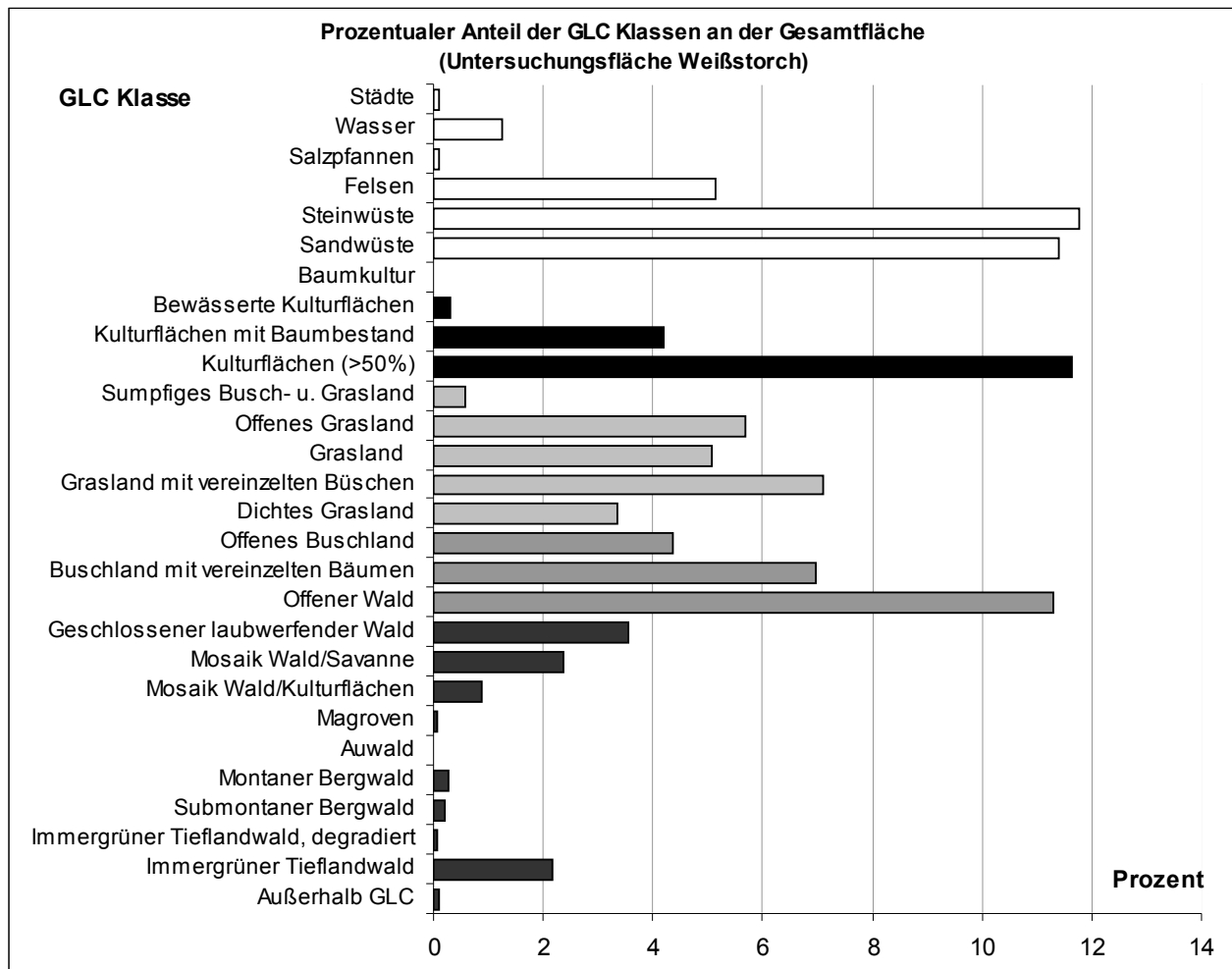
**Tabelle 10:** *Habitatklassen in GLC 2000 und ihre Übersetzung ins Deutsche. Eine genauere Beschreibung der Klassen ist in Anhang VII zu finden.*

<b>Nummer</b>	<b>Landbedeckungsklasse (Englisch, Original)</b>	<b>Landbedeckungsklasse (Deutsch)</b>
1	Closed evergreen lowland forest	Immergrüner Tieflandwald
2	Degraded evergreen lowland forest	Immergrüner Tieflandwald, degradiert
3	Submontane forest (900 -1500 m)	Submontaner Bergwald
4	Montane forest (>1500 m)	Montaner Bergwald
5	Swamp forest	Auwald
6	Mangrove	Mangroven
7	Mosaic Forest / Croplands	Mosaik Wald/Kulturflächen
8	Mosaic Forest / Savanna	Mosaik Wald/Savanne
9	Closed deciduous forest	Geschlossener (laubwerfender) Wald
10	Deciduous woodland	(Laubwerfender) offener Wald
11	Deciduous shrubland with sparse trees	(Laubwerfendes) Buschland mit vereinzelt Bäumen
12	Open deciduous shrubland	Offenes (laubwerfendes) Buschland
13	Closed grassland	Geschlossenes Grasland
14	Open grassland with sparse shrubs	Grasland mit vereinzelt Büschen
15	Open grassland	Grasland
16	Sparse grassland	Offenes Grasland
17	Swamp bushland and grassland	Sumpfiges Busch- u. Grasland
18	Croplands (>50%)	Kulturflächen (>50%)
19	Croplands with open woody vegetation	Kulturflächen mit Baumbestand
20	Irrigated croplands	Bewässerte Kulturflächen
21	Tree crops	Baumkultur
22	Sandy desert and dunes	Sandwüste
23	Stony desert	Steinwüste

<i>Nummer</i>	<i>Landbedeckungsklasse (Englisch, Original)</i>	<i>Landbedeckungsklasse (Deutsch)</i>
24	Bare rock	Felsen
25	Salt hardpans	Salzpfannen
26	Waterbodies	Wasser
27	Cities	Städte

**a) Habitat-Gesamtflächen in den Untersuchungsflächen**

Die Abbildung 39 zeigt die Anteile der einzelnen Landbedeckungsklassen in der Untersuchungsfläche des Weißstorchs (siehe Kap. 2.8.5, Abb. 13). Gleiche Landbedeckungstypen wie Wald oder Grasland sind in gleicher Schraffur dargestellt. Die Verteilung zeigt, dass auf der Untersuchungsfläche, welche im Wesentlichen Nord- und Ostafrika umfasst, Busch-, Grasland und Kulturflächen dominieren. Die flächenmäßig höchsten Anteile haben die Klassen Laubwerfender offener Wald (10), Kulturfläche, mind. 50 % (18), Sandwüste (22) und Steinwüste (23). Jegliche Flächen mit geschlossenem Wald nehmen nur geringe Anteile an, da die Hauptwaldregionen Afrikas im zentralen Westen und damit außerhalb der Untersuchungsfläche liegen.



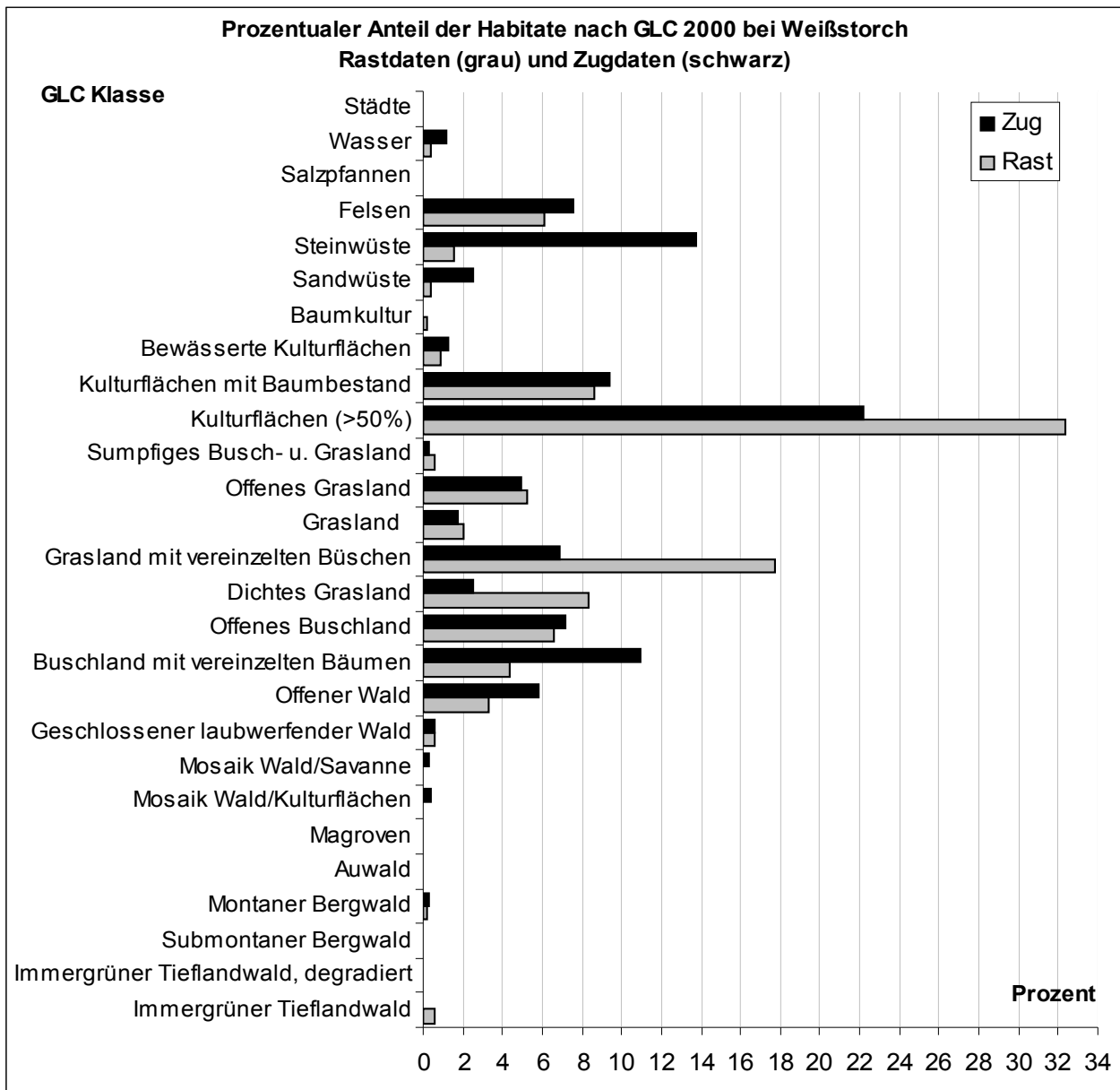
**Abbildung 39:** Prozentualer Anteil der einzelnen GLC-Klassen an der Gesamtfläche (~ 16 Mio km<sup>2</sup>) für die Untersuchungsfläche des Weißstorchs (siehe Abb. 13). Ähnliche Habitattypen wurden in gleicher Graustufe dargestellt: Waldhabitats dunkelgrau, Buschlandhabitats mittelgrau, Graslandhabitats hellgrau, Kulturlflächen schwarz und offene und sonstige Habitats weiß.

#### b) Habitatnutzung bei Rast- und Zugdaten

Wie werden diese Habitattypen von den Weißstörchen genutzt? Abbildung 40 zeigt das Ergebnis des Verschnitts der Pufferflächen der Rast- und Zugdaten nach  $I_{\text{dist}}$  („Tagesbeste“): Bei den Rastdaten (graue Balken) nehmen Kulturlflächen mit 32,4 % den mit Abstand größten Anteil an der Flächennutzung der Weißstörche ein, gefolgt von Grasland mit vereinzelt Büschen (17,7 %). Weitere wichtige Habitats während der Rast sind Kulturlflächen mit Baumbestand (8,6 %), Geschlossenes Grasland (8,4 %) und offenes Buschland (6,6 %). Bei den übrigen genutzten Habitats handelt es sich um weitere Busch- und Graslandtypen. Erstaunlich ist auch ein nicht geringer Anteil an vegetationsloser Fläche („Felsen“ mit 6,1 %). Die entsprechenden Rastdatensätze innerhalb dieser Landbedeckungskategorie liegen im nördlichen Teil der Zwischenüberwinterungsgebiete im Sahel, insbesondere in der Region Wad Medani im Sudan (siehe Abb. 27) bzw. nördlich davon.

Auch bei den Zugdaten (schwarze Balken) nehmen Kulturlflächen mit 22,2 % bzw. Kulturlflächen mit Baumbestand (8,6 %) den größten prozentualen Anteil an. Die verschiedenen Graslandtypen

(Geschlossenes/ Offenes Grasland und Grasland mit vereinzelt Büschen) repräsentieren während des Zuges zusammengenommen einen relativ geringen Prozentsatz von 14,4 % und liegen damit weit unter den verschiedenen Wustenhabitaten, die zusammen 24 % der Gesamtfläche der gepufferten Daten einnehmen. Dieser hohe Anteil kommt durch die zahlreichen Zwischenstopps während des Zuges über der Sahara zustande. Hier dominieren die Landbedeckungsklassen Sand-, Steinwüste und Felsgestein.



**Abbildung 40:** Verschnitt der Weißstorch Rast- und Zugdaten (gepufferte Flächen) nach  $I_{dist}$  mit der Landbedeckungskarte GLC 2000. Die Balken zeigen den jeweiligen prozentualen Anteil an der Gesamtfläche der gepufferten Daten. Deutlich sind Unterschiede in der Habitatnutzung während des Zuges (schwarz) und der Rast (grau) zu sehen.

**c) Vergleich der Ergebnisse mit Zufallspunkten und Gesamtflächen**

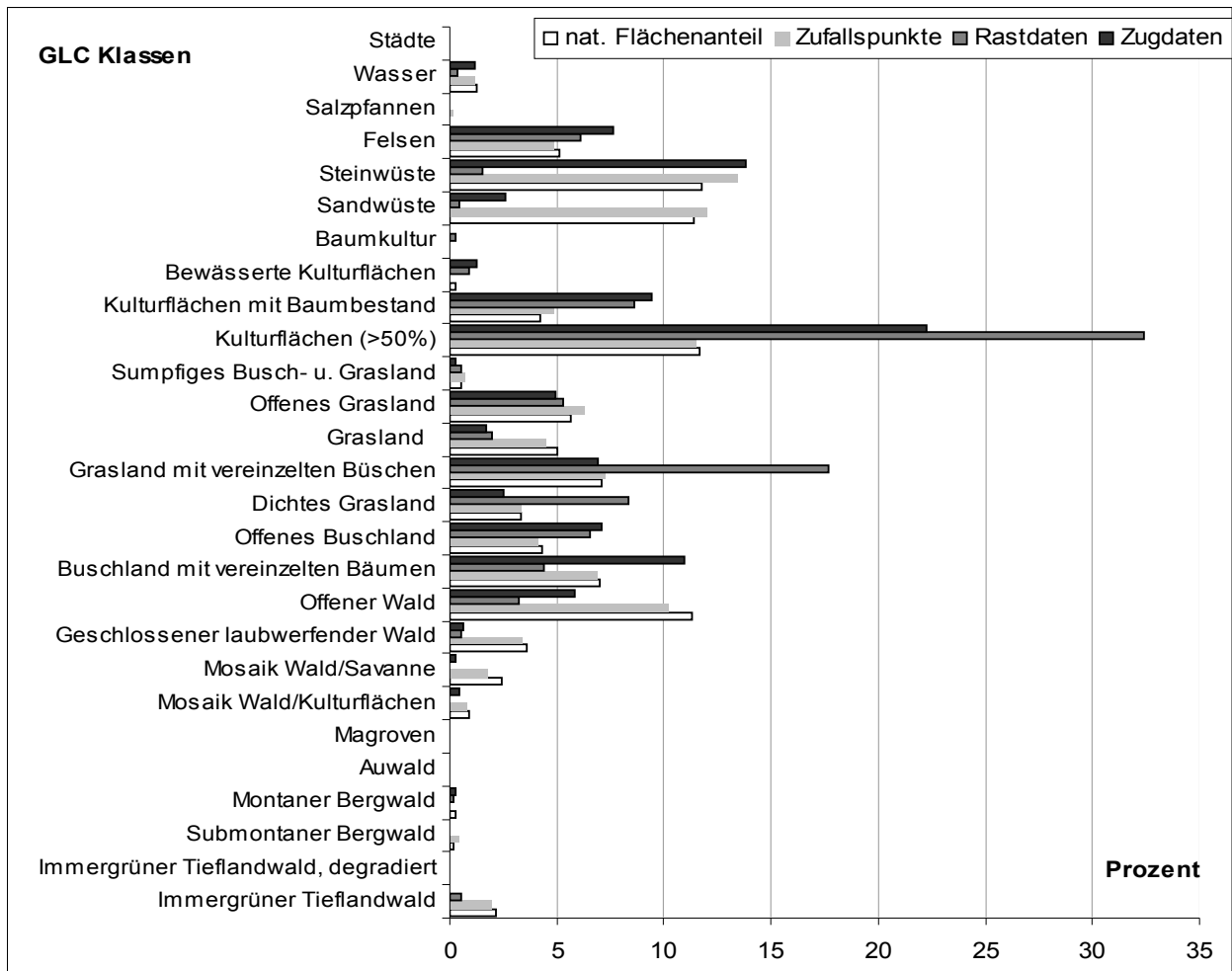
Ein Vergleich der Ergebnisse mit Zufallspunkten ermöglicht in diesem Zusammenhang einen Hinweis darauf, ob es sich bei den anteiligen Flächenanteilen um eine tatsächliche Präferenz der Weißstörche für das entsprechende Habitat handelt. Insgesamt wurden 1000 Zufallspunkte generiert, analog zu den Weißstorchdaten gepuffert (Radius 5 km) und mit der GLC-Karte verschnitten (siehe auch Methoden Kap. 2.8.5). Die Abbildung 41 zeigt die prozentualen Anteile der einzelnen Landbedeckungsklassen der Untersuchungsfläche, die der Zufallspunkte und nochmals die Flächenanteile bei Zug- und Rastdaten des Weißstorchs. Ein Vergleich mit den Klassenanteilen bei zufallsverteilten Punkten zeigt eine gute Übereinstimmung, die Zufallspunkte repräsentieren also sehr gut die „natürlichen“ Flächenverhältnisse der Bedeckungsklassen und eignen sich daher gut für einen Vergleich mit der Habitatnutzung der Weißstörche, um die mögliche zufällige Nutzung von Habitaten zu untersuchen bzw. auszuschließen.

Es wird deutlich, dass die Habitatnutzung der Weißstörche sowohl während des Zuges als auch während der Rast in einzelnen Klassen stark von den natürlichen Flächenanteilen (zufallsverteilte Daten) abweicht. Bei den Rastdaten zeigen sich besonders große Unterschiede in den Klassen Geschlossener laubwerfender Wald (9), Steinwüste (23), Grasland mit vereinzelt Büschen (14), und Kulturflächen (18). Die ersten beiden Klassen nehmen einen wesentlich geringeren Anteil ein, als bei der zufälligen Punktverteilung (0,5 % und 1,5 % Flächenanteil beim Weißstorch im Gegensatz zu 3,4 % und 13,5 % bei den zufallsverteilten Punkten). Diese Habitate werden also offensichtlich während der Rast gemieden. In den beiden anderen Klassen (Grasland und Kulturflächen) verhält es sich umgekehrt: die Rastdaten der Weißstörche befinden sich zu einem wesentlich höheren Anteil in diesen Habitaten als die Zufallspunkte (17,7 % und 32,4 % Flächenanteil beim Weißstorch im Gegensatz zu 7,2 % und 11,5 % bei den zufallsverteilten Punkten). Dies lässt eine bevorzugte Nutzung dieser Habitate während der Rast vermuten.

Auch bei den Zugdaten gibt es in einigen Habitatklassen erhebliche Unterschiede zu den Zufallspunkten. Dies gilt insbesondere für die Habitate Grasland (15), Sandwüste (22), Buschland mit vereinzelt Bäumen (11) und Kulturflächen (18). Die beiden erstgenannten Habitate weisen einen wesentlich geringeren Flächenanteil auf als die Zufallspunkte: 1,7 % und 2,6 % Flächenanteil beim Weißstorch im Gegensatz zu 4,5 % und 12 % bei den Zufallspunkten. Für die Habitate Buschland und Kulturflächen kommt es hingegen zu einer bevorzugten Nutzung, da die anteilige Flächennutzung wesentlich höher ist als bei zufallsverteilten Punkten: 11 % und 22,2 % beim Weißstorch im Gegensatz zu 6,9 % und 11,5 % bei den zufallsverteilten Punkten.

Bei der statistischen Auswertung (Man Whitney U-Test) dieser drei Punktdatensätze (Zufallspunkte, Rast- und Zugdaten) wurden die Flächennutzungen je Punkt und Klasse (siehe Kap. 2.11) gegeneinander getestet. Auf diese Weise konnten die Datensätze untereinander verglichen und signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) ermittelt werden.





**Abbildung 41:** Prozentuale Anteile der GLC-Klassen für die Untersuchungsfläche des Weißstorchs, die weißen Balken zeigen die natürlichen Flächenanteile, hellgraue Balken zeigen die zufallsverteilten Punkte, Weißstorch-Rastdaten wurden in dunkelgrau und Weißstorch Zugdaten in schwarz dargestellt. Während die Habitatanteile der Zufallspunkte der natürlichen Flächenanteile entspricht, zeigen sich in einigen Klassen deutliche Unterschiede zu den Rast- und Zugdaten des Weißstorchs (siehe Tabelle 11).

**Tabelle 11:** Bevorzugung (+) und Meidung (-) bestimmter Habitate während des Zuges und der Rast im Vergleich zu Zufallspunkten, das Signifikanzniveau \*\*\* entspricht einem  $p \leq 0,001$ .

Habitat	<b>Rastdaten</b>		<b>Zugdaten</b>	
	Präferenz/Meidung	Signifikanzniveau	Präferenz/Meidung	Signifikanzniveau
Immergrüner Tieflandwald	-	***	-	***
Immergrüner Tiefland (degradiert)	-	***	Kein signifikanter Unterschied	
Submontaner Bergwald	-	***	Kein signifikanter Unterschied	
Mosaik Wald/ Kulturflächen	-	***	Kein signifikanter Unterschied	
Mosaik Wald/ Savanne	-	***	-	***
Geschlossener laubwerfender Wald	-	***	-	***
Offener laubwerfender Wald	-	***	-	***
Buschland mit vereinzelt Bäumen	-	***	+	***
Offenes Buschland	+	**	+	**
Geschlossenes Grasland	+	***	Kein signifikanter Unterschied	
Grasland mit vereinzelt Büschen	+	***	Kein signifikanter Unterschied	
Grasland	-	**	-	***
Kulturflächen	+	***	+	***
Kulturflächen mit Baumbestand	+	***		***
Bewässerte Kulturflächen	+	***		***
Sandwüste	-	***	-	***
Steinwüste	-	***	Kein signifikanter Unterschied	
Felsen	Kein signifikanter Unterschied		+	***
Wasser	-	***	+	*

#### Vergleich Rastdaten gegen Zufallspunkte

Der Vergleich zwischen Rastdaten und Zufallspunkten zeigte im Mittel eine höchst signifikant geringere Fläche bei den Rastdaten für die folgenden Habitate: Immergrüner Tieflandwald, Submontaner Bergwald, Mosaik Wald/ Kulturflächen, Mosaik Wald/ Savanne, Geschlossener

laubwerfender Wald, Offener laubwerfender Wald, Buschland mit vereinzelt Bäumen, Grasland, Sandwüste, Steinwüste und Wasser (siehe auch Tabelle 11).

Für folgende Habitats wurden höchst signifikant größere Flächenanteile bei Weißstorch-Rastdaten nachgewiesen, als die Zufallsproben erwarten lassen, was auf einer Bevorzugung dieser Habitattypen schließen lässt: Offenes laubwerfendes Buschland, Geschlossenes Grasland, Grasland mit vereinzelt Büschen und jegliche Typen von Kulturflächen (Kultur >50 %, mit Baumbestand, Bewässerte Kultur, Baumkultur).

Keinerlei signifikante Unterschiede gab es bei acht Habitatklassen: Montaner Bergwald, Auwald, Mangroven, Offenes Grasland, Sumpfiges Buschland, Felsen, Salzpflanzen, Wasserflächen und Städte. Hier scheint also eine eher zufällige Nutzung vorzuliegen.

Der Vergleich der Zufallspunkte mit Rastdaten ergab eine eindeutige Bevorzugung von Kulturflächen, Grasland und offenen Buschlandflächen. Gemieden werden vor allem Wald- oder Wüstenhabitats. Überraschend ist allerdings der hoch signifikante Unterschied im Falle der Klasse „Grasland“, welche eine geringere mittlere Fläche bei den Rastdaten erreicht.

### **Vergleich Zugdaten gegen Zufallspunkte**

Die statistische Auswertung des Vergleichs zwischen Zufalls- und Zugdaten ergab eine höchst signifikant geringere Flächennutzung für folgende Habitats: Immergrüner Tieflandwald, Mosaik Wald/ Savanne, Geschlossener laubwerfender Wald, Offener laubwerfender Wald, Grasland und Sandwüste (siehe auch Tabelle 11). Die Ergebnisse entsprechen hier denen der Auswertung von Rastdaten (s.o.), bei der allerdings noch weitere Habitats signifikant kleinere Flächen aufwiesen.

Eine höchst signifikant größere Fläche und damit eine Bevorzugung ergab sich während des Zuges für die Habitatklassen Laubwerfendes Buschland mit vereinzelt Bäumen, Offenes laubwerfendes Buschland, Kulturflächen, Kulturflächen mit Baumbestand, Bewässerte Kulturflächen, Felsen und Wasserflächen. In Übereinstimmung mit der Auswertung der Rastdaten kann auch auf dem Zug eine Bevorzugung von Kulturflächen nachgewiesen werden. Nur wenige Zugdaten fallen hingegen in Graslandhabitats. Statt dessen tritt das Habitat „Felsen“ wie auch schon in der in Abb. 41 gezeigten Auswertung hervor. Die flächenmäßige höhere Präsenz dieses Habitattyps gegenüber der statistischen Wahrscheinlichkeit ist damit zu erklären, dass alle Störche zunächst bis in die Rastgebiete im Sahel ziehen und daher jede Zugroute zwangsläufig durch dieses Habitat führt. Dies ist für die Zufallspunkte natürlich nicht der Fall, so dass wesentlich weniger Punkte in dieser Habitatklasse liegen.

Keine signifikanten Unterschiede konnten für die Habitats Degradierter immergrüner Tieflandwald, Submontaner Bergwald, Montaner Bergwald, Auwald, Mangroven, Mosaik Wald/ Kulturflächen, Geschlossenes Grasland, Grasland mit vereinzelt Büschen, Offenes Grasland, Sumpfiges Busch- und Grasland, Baumkultur, Steinwüste, Salzpflanzen und Städte festgestellt werden.

Die Auswertung zeigt weiterhin, dass wesentlich mehr signifikante Unterschiede zwischen Rast- und Zufallspunkten nachgewiesen werden konnten, als zwischen Zug- und Zufallspunkten. Daraus ist zu schließen, dass die Habitatwahl während der Rast eine größere Rolle als während des Zuges spielt. Dies kann damit erklärt werden, dass während des Zuges das Habitat höchstens zur morgendlichen Nahrungssuche und nicht über eine längere Zeitspanne genutzt wird (vergleiche

KAATZ 2004).

#### **Unterschiede zwischen Zug- und Rastdaten**

Auch der Vergleich zwischen Rast- und Zugdaten zeigt in einigen Klassen erhebliche Unterschiede in der anteiligen Flächennutzung.

Sowohl während der Rast als auch während des Zuges werden Kulturflächen und verschiedene Graslandtypen zur Rast oder Übernachtung aufgesucht, wobei Kulturflächen stark bevorzugt werden. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Rast und Zugdaten liegt in der Nutzung ungünstigerer Flächen wie den Wüstenhabitaten. Diese nehmen in Form von Felsgestein bei den Rastdaten einen eher geringen Anteil ein, sind jedoch während des Zuges stark dominierend. Dies hängt wiederum mit den zahlreichen Zugdatensätzen über der Sahara zusammen. Statistisch signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zeigten sich bei folgenden Klassen:

Mosaik Wald/ Kulturflächen, Mosaik Wald/ Savanne, Laubwerfender offener Wald, Buschland mit vereinzelt Bäumen, Geschlossenes Grasland, Grasland mit vereinzelt Büschen, Kulturflächen, Baumkulturen, Sandwüste, Steinwüste, Felsen und Wasserflächen. Dabei liegt eine starke Bevorzugung während der Rast bei insgesamt vier Habitaten vor: Geschlossenes Grasland, Grasland mit vereinzelt Büschen, Kulturflächen und Baumkulturen. Diese Habitate werden auch im Vergleich zu Zufallspunkten bevorzugt (s.o.). Während des Zuges erreichen Habitate wie Mosaik Wald/ Savanne, Laubwerfender offener Wald, Buschland mit vereinzelt Bäumen, Sandwüste, Steinwüste und Wasserflächen signifikant höhere Flächen als während der Rast.

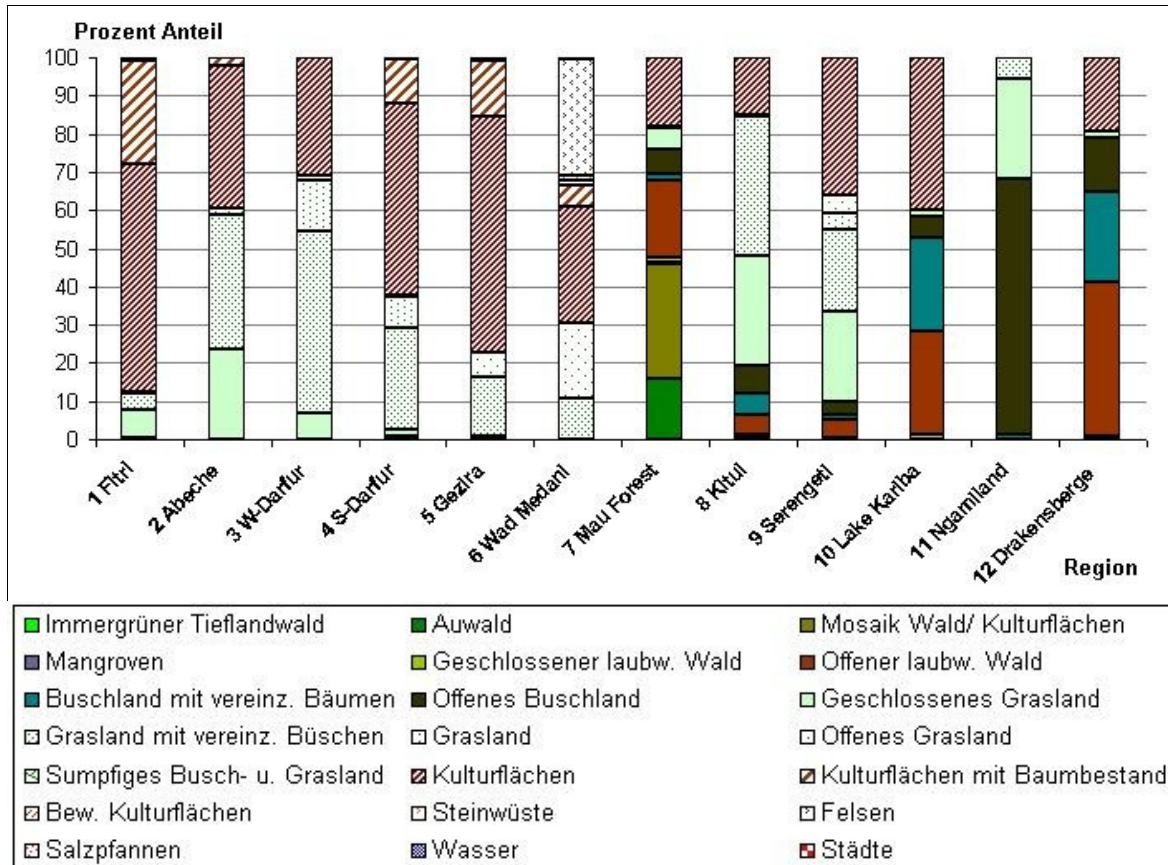
#### **d) Charakterisierung der wichtigen Rastregionen**

Ein Verschnitt der in Kap. 3.1.5 beschriebenen wichtigen Rastregionen (1-12) mit Global Landcover 2000 erlaubt einen Vergleich mit den oben beschriebenen Habitatpräferenzen der Weißstörche (Abb. 42).

Die Auswertung zeigt, dass die Regionen 1 bis 6 der Sahel-Zone, eine ähnliche Habitatzusammensetzung aufweisen. Wesentliche Habitattypen sind Kulturflächen (mit Baumbestand) und Grasland. Die erste Region („Fitri“) hat einen besonders hohen Anteil an Kulturflächen (insgesamt rund 87 %). Die Region „Wad Medani“ (6) im Osten des Sudans hat neben Kultur- und Graslandflächen auch einen relativ hohen Anteil an vegetationsloser Fläche (Felsen, 30 %). In den Regionen 7 bis 12 treten auch Anteile anderer Habitatklassen, wie Offenes Buschland oder Laubwerfender offener Wald hervor. Nach wie vor sind aber auch hier Kulturflächen und Graslandhabitate vertreten. Allein die Region „Ngamiland“ (11) hat einen nur sehr geringen Anteil Kulturfläche (0,06 %). Hier dominieren Offenes laubwerfendes Buschland, Geschlossenes und Offenes Grasland. Am struktureichsten ist die Region 7 („Mau Forest“), die neben Grasland und Kulturflächen auch verschiedene Wald- und Buschlandtypen beinhaltet. Entsprechend der vielfältigen Waldhabitate und der klaren Höhenzonierung wird diese Region auch als „Important Bird Area“ ausgewiesen (BENNUN & NJORGE 1999).

Die Ergebnisse spiegeln wie zu erwarten die im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Habitatpräferenzen der Weißstörche während der Rast wider. Auffällig ist die deutliche Unterscheidung der Sahel-Regionen mit ihrer starken Dominanz von Kulturflächen von den übrigen Regionen im östli-

chen und südlichen Afrika mit zum Teil reicherer Strukturierung und größerem Anteil an Wald- und Buschlandhabitaten. Da die Mehrheit der ostziehenden Weißstörche im Sahel rastet bzw. überwintert, scheint das Vorhandensein von Kultur- und Graslandhabitaten vollkommen ausreichend zu sein. Die Waldhabitats überwiegen zwar in den übrigen Regionen, nehmen jedoch in der Telemetriedatenauswertung keine nennenswerte Dominanz auf. Auch dies spricht für eine Präferenz für Kultur- und Graslandflächen der Störche.

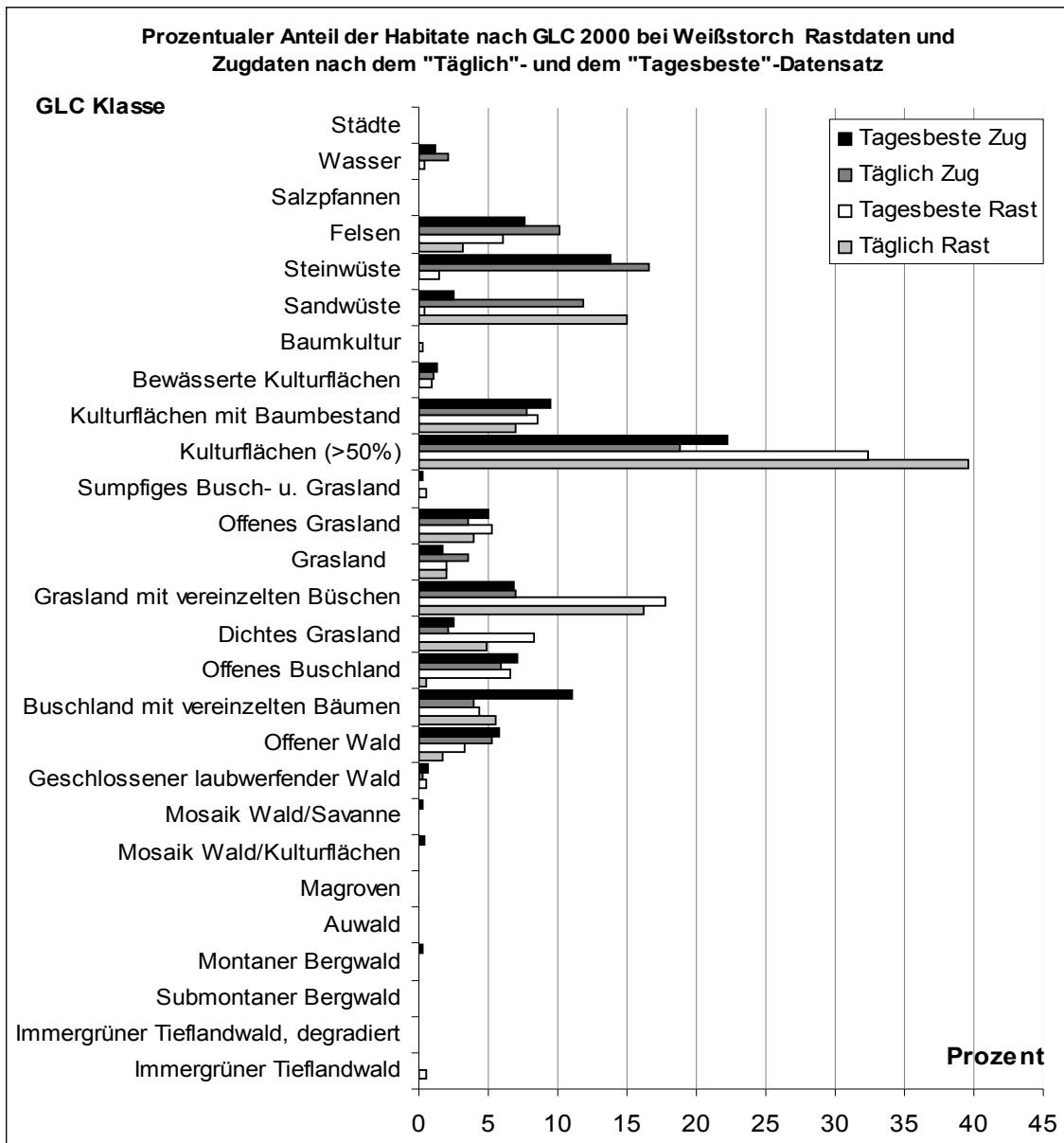


**Abbildung 42:** Prozentuale Anteile der Habitatklassen für die einzelnen Rastregionen der Weißstörche (vergleiche mit Kap. 3.1.5). Dominierendes Habitat ist Kulturfläche, die vor allem in den Regionen des Sahel (1-6) große Anteile bildet. Darüber hinaus beinhalten alle Rastregionen größere Anteile von Grasland-Typen.

### 3.2.2 Habitatnutzung bei „Täglich“-Datensätzen ausgewählter Störche

Auch die Habitatnutzung wurde zusätzlich auf Basis des „Täglich“-Datensatzes (siehe Kap. 2.2.1.d) untersucht, um wiederum den Einfluss von Lokalisationen mit größerer fehlerhafter Abweichung zu überprüfen. Dieser Vergleich für Zug- und Rastdaten des „Täglich“-Datensatzes bestätigt im Wesentlichen die Ergebnisse der vorangegangenen Untersuchungen auf Basis des „Tagesbeste“-Datensatzes, zeigt jedoch in einzelnen Klassen geringfügige bis statistisch signifikante Unterschiede.

Die Abbildung 43 zeigt die anteiligen Flächen der einzelnen Habitats für die Rast- und Zugdaten beider Datensätze („Täglich“ und „Tagesbeste“). Analog zu der „Tagesbeste“-Auswertung (siehe auch Kapitel 3.2.1.b) bilden Kulturflächen bei den „Täglich“-Rastdaten das Habitat mit dem



**Abbildung 43:** Prozentualer Anteil je Landbedeckungsklasse bei Rast- und Zugdaten des Weißstorchs. Verglichen werden die Ergebnisse der Auswertung auf Basis des „Tagesbeste“-Datensatzes (nur gute Positionen) und des „Täglich“-Datensatzes (mit Positionen mit höherer Abweichung). Der hier verwendete „Täglich“-Datensatz basiert lediglich auf den Daten von 12 Individuen (siehe Kapitel 2.2.1). In einigen Klassen unterscheiden sich die Ergebnisse signifikant, so dass die Verwendung von weniger guten Lokalisationen und einer geringeren Stichprobengröße Einfluss auf das Ergebnis haben (siehe auch Tabelle 12).

größten Anteil (39,3 %). Dieser liegt dabei noch höher als der Wert der „Tagesbeste“-Auswertung. Das Habitat mit dem zweitgrößten Flächenanteil ist hier „Grasland mit vereinzelt. Büschen“, welches 16,2 % der Gesamtfläche ausmacht. Auch dies entspricht den Ergebnissen der „Tagesbeste“-Auswertung. Ein großer Unterschied ergibt sich bei den Rastdaten für das Habitat „Sandwüste“. Nach dem hier ausgewerteten „Täglich“-Datensatz nimmt dieses Habitat rund 15 % der von den Weißstörchen genutzten Fläche ein. Diese Verschiebung kommt durch zusätzliche

Rastdaten im nordöstlichen Sudan zustande, welche nicht im „Tagesbeste“-Datensatz enthalten sind. Es handelt sich um den Rastaufenthalt des Storchs mit der Ringnummer M 640, dessen Daten zum größten Teil nicht in den „Tagesbeste“-Datensatz einfließen konnten. Der Vogel rastete vom 11.04.03 bis zum 29.05.03 und verendete höchstwahrscheinlich am 31.05.03 (siehe Anhang I, Abb. 68). Es bleibt daher ungeklärt, ob der lange Aufenthalt mit dem Tod des Storchs zusammenhängt.

Die Ergebnisse der Zugdatenauswertung sind zwar tendenziell übereinstimmend mit den Ergebnissen des „Tagesbeste“-Datensatzes, in einigen Klassen liegen jedoch auch deutliche Unterschiede vor. Der Anteil von Steinwüste liegt hier mit 16,6 Prozent um rund 3 % höher im Vergleich zum „Tagesbeste“-Datensatz. Auch in der Habitatklasse „Felsen“ liegt der prozentuale Anteil mit 10,1 um rund 3 Prozentpunkte höher. Niedrigere Anteile ergeben sich insbesondere für Buschland mit vereinzelt Bäumen (4,0 %) im Gegensatz zu rund 11 % aus der „Tagesbeste“-Auswertung. Auch die prozentualen Anteile für die Habitatklassen „Kulturflächen mit Baumbestand“ und „Offenes Buschland“ liegen hier niedriger. Der größte Unterschied liegt wiederum für das Habitat „Sandwüste“ vor, welches in der „Tagesbeste“-Auswertung lediglich 2,6 % Flächenanteil ausmacht.

**Tabelle 12:** Klassen in denen sich die prozentualen Flächenanteile bei "Täglich" (mit Positionen höherer fehlerhafter Abweichung) und "Tagesbeste"-Daten (nur Positionen mit fehlerhafter Abweichung von höchstens 5 km) signifikant unterscheiden.

<b>GLC Klasse</b>	<b>Rastdaten</b>			<b>Zugdaten</b>		
	Prozent Täglich	Prozent Tagesbeste	Signifikanzniveau	Prozent Täglich	Prozent Tagesbeste	Signifikanzniveau
Mosaik Wald/ Savanne	0,09 %	0,05 %	*	Kein signifikanter Unterschied		
Geschlossener Wald	0 %	0,57 %	*	Kein signifikanter Unterschied		
Offener Wald	1,7 %	3,26 %	**	Kein signifikanter Unterschied		
Offenes Buschland	0,58 %	6,56 %	***	Kein signifikanter Unterschied		
Buschland mit vereinz. Bäumen	Kein signifikanter Unterschied			3,96 %	10,99 %	**
Geschlossenes Grasland	4,89 %	8,35 %	**	Kein signifikanter Unterschied		
Grasland	2,0 %	1,99 %	*	Kein signifikanter Unterschied		
Sumpfiges Busch-/ Grasland	0 %	0,58 %	*	Kein signifikanter Unterschied		
Kulturflächen	39,56 %	32,37 %	*	Kein signifikanter Unterschied		
Bewässerte Kulturflächen	0,001 %	0,9 %	**	Kein signifikanter Unterschied		
Sandwüste	15,1 %	0,41 %	***	11,79 %	2,56 %	***

<i>GLC Klasse</i>	<i>Rastdaten</i>			<i>Zugdaten</i>		
	Prozent Täglich	Prozent Tagesbeste	Signifikanz- niveau	Prozent Täglich	Prozent Tagesbeste	Signifikanz- niveau
Steinwüste	0,13 %	1,51 %	**	Kein signifikanter Unterschied		
Felsen	3,19 %	6,06 %	**	Kein signifikanter Unterschied		

Diese vergleichende Analyse auf Basis des „Täglich“-Datensatzes zeigt zunächst, dass durch die geringe Individuenanzahl die Ergebnisse der Habitatanalyse relativ „instabil“ sind, das heißt, mögliche Anomalien einzelner Individuen können das Gesamtergebnis stark beeinflussen. Mögliche Fehler können auch durch die Wahl der Puffergröße entstanden sein, da in diesem Datensatz auch Positionen enthalten sind, deren Abweichung über 5 km liegt (siehe Kap. 2.2.1). In Kap. 2.8.1 konnte gezeigt werden, dass bei steigender Anzahl von Punkten die Wahl der Pufferzonengröße weniger Einfluss auf das Ergebnis hat. Da in diese Untersuchung im Vergleich zum „Tagesbeste“-Datensatz nur wenig Daten einfließen (Daten von 12 Störchen, insgesamt 765 Positionen), kann die Wahl der Puffergröße daher stärkeren Einfluss auf das Ergebnis nehmen. Zudem können Fehllokalisationen zu Fehlern in der Einschätzung der anteiligen Flächennutzung einzelner GLC-Klassen führen.

### 3.2.3 Habitatnutzung in Europa nach CORINE

Mithilfe des CORINE-Datensatzes (Abb. 44), der eine standardisierte Habitatkarte für Europa darstellt, konnte zusätzlich die Habitatnutzung in den Europäischen Rast- und Durchzugsgebieten untersucht und mit den Ergebnissen in KAATZ (2004) verglichen werden. Dabei wurden Rast- Zug- und nicht klassifizierte Datensätze auf Basis des „Tagesbeste“-Datensatzes getrennt betrachtet. Die Aufenthalte im Brutgebiet wurden bei dieser Analyse nicht einbezogen, da die unterschiedliche Datenmenge vor Abzug der Vögel zu einer künstlichen Verschiebung der anteiligen Habitatnutzung geführt hätte. Aus Gründen der Durchführbarkeit konnte der Verschnitt hierbei nicht auf Basis von Pufferflächen erfolgen, so dass die Ergebnisse je Habitatklasse den prozentualen Anteil an der Gesamtanzahl an Lokalisationen darstellen (für Details siehe auch Kap. 2.8.3).

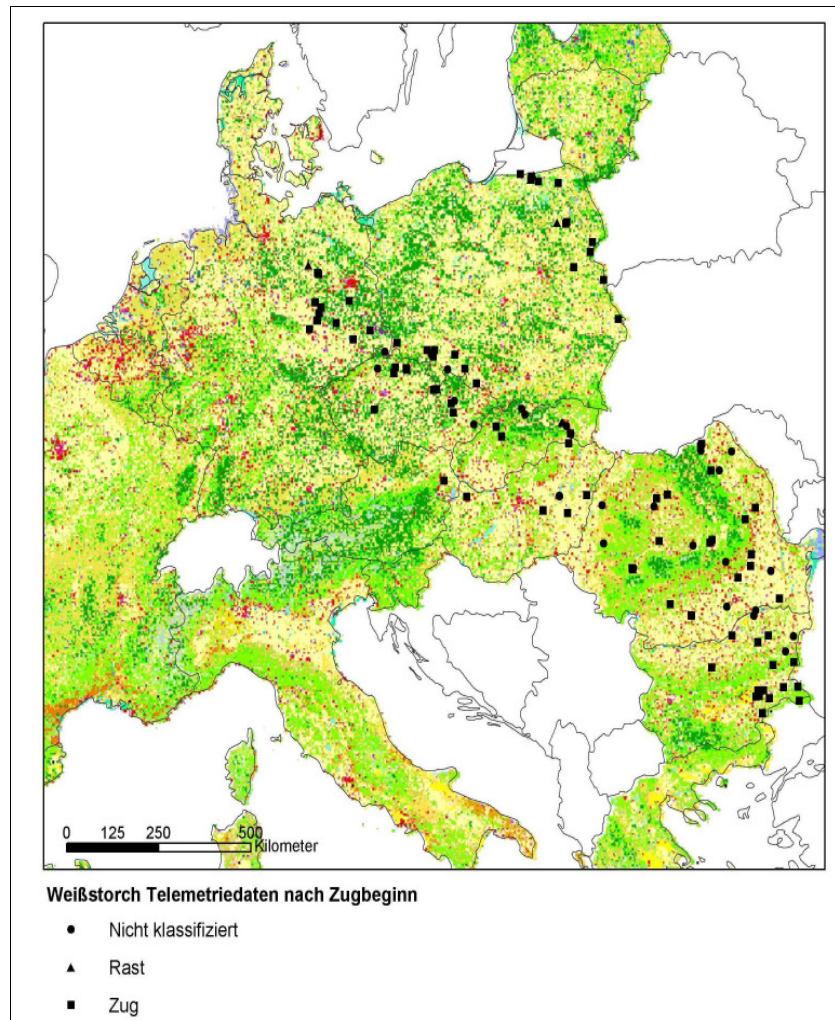
Alle drei Datensätze weisen einen besonders hohen Anteil an Kulturflächen ohne künstliche Bewässerung auf („Non-irrigated arable land“, siehe Abb. 45). Im Unterschied zu den Zugdaten dienten darüber hinaus während der Rast insbesondere Städte und Gewerbeflächen (insgesamt rund 16,7 % aller Rastpositionen), sowie bewässerte Flächen (rund 11 %) und Mischhabitats aus Kultur- und Naturflächen (ebenfalls 11 %) als Habitate.

Die Habitatnutzung nach CORINE bei Rastdaten ist in etwa übereinstimmend mit den Ergebnissen in KAATZ (2004) aus der Begleitung und Beobachtung besunderter Störche. Hierbei handelt es sich bei den genutzten Habitats bei insgesamt 83 % um intensive Landnutzung und Kulturlandschaft. Auch in der CORINE-Auswertung machen diese Flächen zusammen rund 71 % aus (Klassen Kulturfläche, Kultur-/Naturfläche, Bewässerte Flächen und Baum-/Strauchkultur).

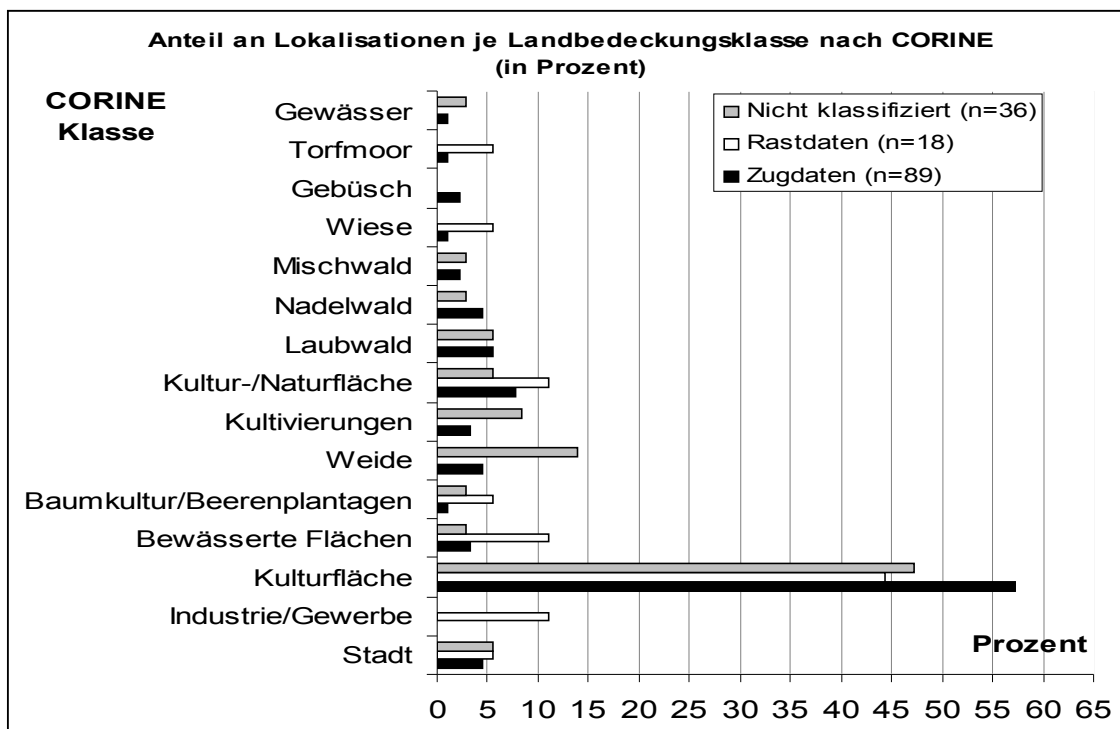
Zug- und nicht klassifizierte Daten weisen zuzüglich weitere Habitate auf, insbesondere auch Waldhabitats, die bei den Rastdaten gänzlich fehlen. Insbesondere bei den nicht klassifizierten



Daten fallen zudem Weiden als Nutzhabitat ins Gewicht (knapp 14 %). Diese fehlen ebenfalls bei den Rastdaten, werden aber in KAATZ (2004) als Habitat der Störche mit größerem Nutzanteil aufgeführt („Grünland“ zu 29 % der aufgesuchten Flächen nördlich der Türkei).



*Abbildung 44: Übersicht der mit CORINE ausgewerteten Weißstorch-Daten (n = 143).*



**Abbildung 45:** Habitatnutzung bei Rast-, Zug- und nicht klassifizierten Datensätzen des Weißstorchs nach der europäischen Landbedeckungskarte CORINE. Insgesamt gingen 143 Lokalisationen nach Abzug der Weißstörche aus dem Brutgebiet ein. Auch hier werden wiederum Kulturflächen am häufigsten aufgesucht.

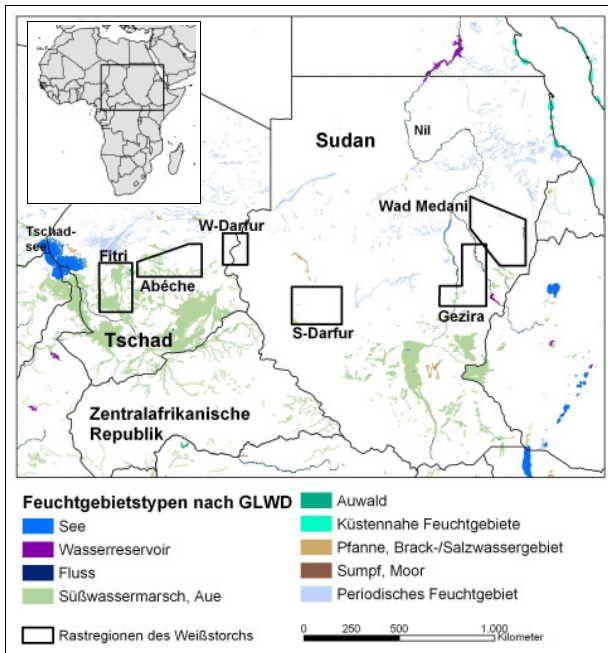
### 3.2.4 Nutzung von Feuchtgebieten während der Rast und des Zuges

Die Nutzung der „Global Lakes and Wetlands Database“ (GLWD) ermöglichte eine gesonderte Untersuchung der Nutzungsintensität von Seen und verschiedenen Feuchtgebietstypen durch die Störche. Vorteil dieses Datensatzes ist die Berücksichtigung von periodischen Feuchtgebieten, welche in der „Global Landcover“-Karte nicht dargestellt werden. Die Überlagerung der Telemetriedaten auf Basis des „Tagesbeste“-Datensatzes erfolgte analog zur GLC-Auswertung über Pufferflächen, deren Anteile je Feuchtgebietsklasse berechnet wurden (siehe Kap. 2.8.2).

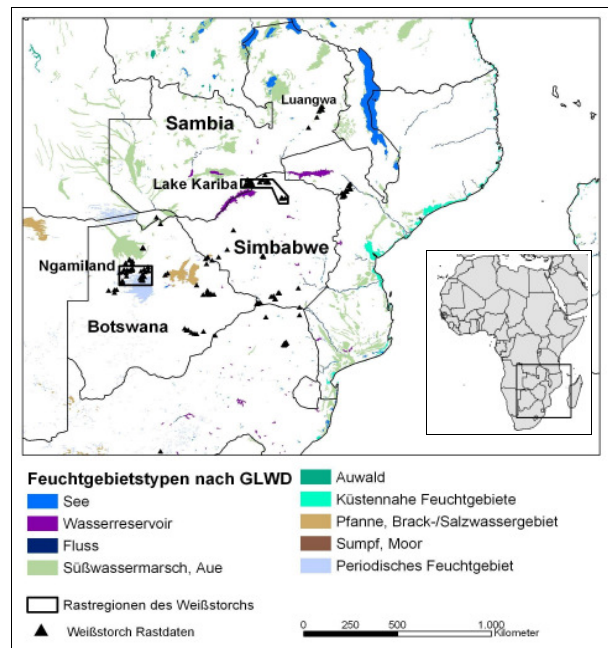
Bei der Überlagerung der Weißstorch-Rastdaten mit der Feuchtgebietskarte kann eine teilweise Affinität der Rastdaten zu Feuchtgebieten gezeigt werden. Dies ist beispielsweise im zentralen Tschad der Fall, wo die Karte ausgedehnte Süßwassermarschen und flussbegleitende Auen (in ihrer maximalen Ausdehnung) verzeichnet. Die Rastdaten insbesondere in den Rastregionen „Fitri“ und „Abèche“ liegen zu einem großen Teil in und an diesen Feuchtgebietskomplexen. Im Sudan hingegen ist keinerlei Übereinstimmung von Rastregionen mit größeren Feuchtgebietskomplexen zu finden (siehe Abb. 46), lediglich die südlichsten Rastdaten liegen in der Nähe von Feuchtgebieten. Im Sudan rasten jedoch auch viele Weißstörche in ausgesprochenen Kulturlandschaften, wie beispielsweise in der Rastregion Gezira (siehe Kap 3.1.5). Überhaupt ist Sudan das afrikanische Land mit den größten künstlich bewässerten Kulturflächen (FAO 1986), so dass die Störche hier

vermutlich weniger auf die Nutzung natürlicher Feuchtgebiete angewiesen sind.

Im südlichen Afrika zeigt sich die Affinität der Störche zu Feuchtgebieten insbesondere in Botswana, wo zahlreiche Rastdaten im Okavango-Delta und im südlich davon gelegenen periodischen Feuchtgebiet (Rastregion „Ngamiland“, Kap. 3.1.5) liegen (siehe Abb. 47). Länder wie Sambia, die reicher an Feuchtgebieten sind, weisen wiederum recht wenig Rastaufenthalte der Weißstörche auf. Hier scheint lediglich das Luangwa-Tal als Wasserressource von Bedeutung zu sein (siehe auch Kap. 3.3.1).



**Abbildung 46:** Lage der Feuchtgebiete nach der Global Lakes and Wetlands Database (GLWD) und ihre Überschneidung mit den wichtigen Rastregionen des Weißstorchs im Tschad und Sudan.



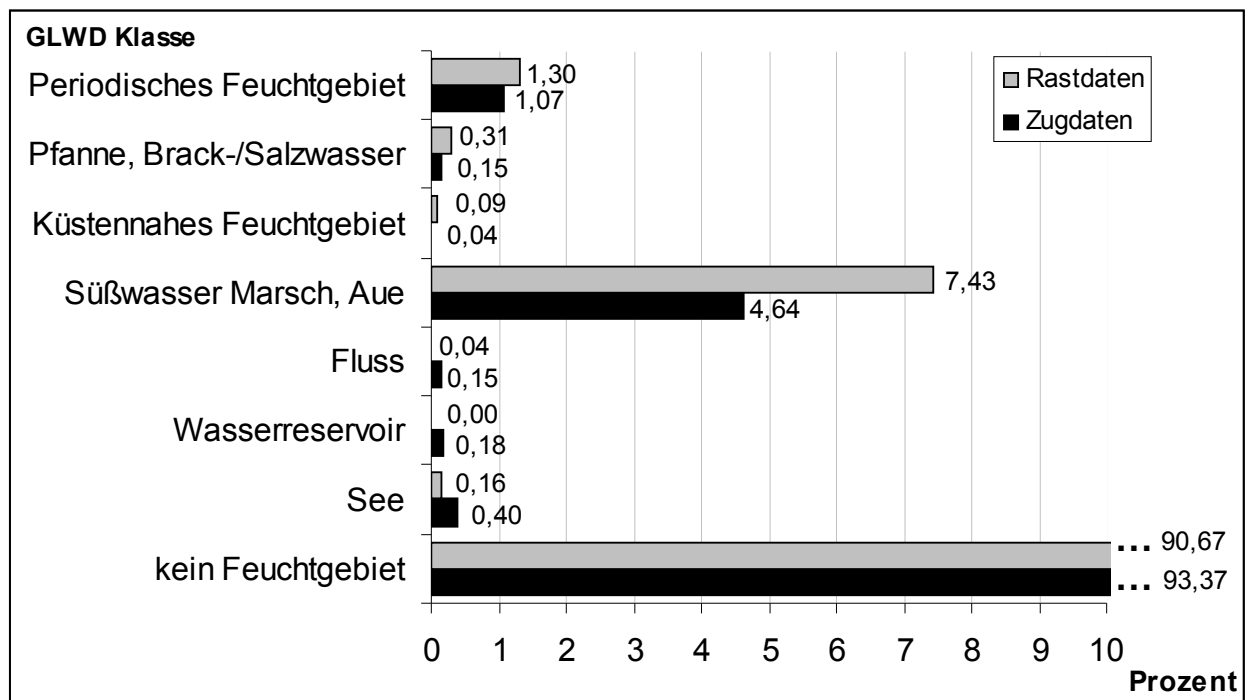
**Abbildung 47:** Lage der Feuchtgebiete nach der Global Lakes and Wetlands Database (GLWD) und ihre Überschneidung mit den wichtigen Rastregionen und Rastdaten des Weißstorchs im südlichen Afrika.

Die flächenmäßigen Anteile je Feuchtgebietstyp für die Pufferflächen sind in Abbildung 48 für die Rast- und Zugdaten nach  $I_{dist}$  dargestellt. Während der Rast beinhalten insgesamt 9,3 % der von den Störchen genutzten Fläche Feuchtgebiete oder Seen. Davon entfallen allein 7,4 % auf Süßwassermarschen und Flussauen. Zu 1,3 % wurden periodische Feuchtgebiete genutzt. Die Anteile der übrigen Feuchtgebietsklassen sind sehr gering und bilden einen Anteil zwischen 0,31 % (für Pflannen, Salz-/Brackwassergebiete) und 0,001 % (für Wasserreservoirs).

Bei den Zugdaten des Weißstorchs ist die prozentuale Verteilung der einzelnen Feuchtgebietsklassen ähnlich wie bei den Rastdaten, allerdings wird insgesamt weniger Feuchtgebietsfläche genutzt (rund 6,6 % der insgesamt genutzten Fläche gegenüber 9,3 % bei den Rastdaten). Auch während des Zuges werden Süßwassermarschen und Auen (4,64 %) sowie periodische Feuchtgebiete (1,07 %) anteilmäßig am häufigsten genutzt. Die übrigen Feuchthabitattypen liegen in der anteilmäßigen Flächennutzung zwischen 0,4 % (für Seen) und 0,04 % (für küstennahe Feuchtgebiete). Auffallend ist der große Unterschied in der Nutzung von Wasserreservoirs – also künstlichen Wasserressourcen – die bei den Rastdaten mit 0,0008 %

extrem gering ist, bei den Zugdaten aber immerhin einen Anteil von 0,18 % ausmacht.

Berücksichtigt man den insgesamt geringen Anteil von Feuchtgebieten auf der Erdoberfläche (6,2-7,6 % nach LEHNER & DÖLL 2004a) bzw. den noch geringeren Anteil in Afrika (Feuchtgebiete haben etwa 1 % Anteil an der Gesamtfläche nach GLC 2000, MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. 2004), zeigt diese Analyse eine Präferenz der Weißstörche für Feuchtgebiete und hier insbesondere für Süßwassermarschen und Flussauen. Die Auswertung auf Basis der GLWD-Karte ermöglichte somit eine genauere Analyse der Feuchtgebietenutzung der Weißstörche, da hierbei zahlreiche periodische Feuchtgebietstypen berücksichtigt sind. Diese werden auf Basis der Global Landcover Karte (GLC 2000) nicht dargestellt. Überschneidungen mit der GLC-Klasse „Wasser“ gibt es vor allem bei den großen Gewässern wie Viktoriasee, Karibasee und einigen Abschnitten des Nils. Die GLC-Klasse „Sumpfiges Busch- und Grasland“ ist nur in einigen Teilen übereinstimmend mit den Süßwassermarschen/ Auen aus GLWD (z.B. Süd-Sudan), in GLC 2000 fehlen allerdings die im Tschad verzeichneten periodischen Feuchtgebiete und Süßwassermarschen/ Auen (vergleiche mit den Abbildungen 46 und 47).



**Abbildung 48:** Flächenanteile der jeweiligen Feuchtgebietstypen in Prozent nach der Global Lakes and Wetlands Database (GLWD) bei den gepufferten Rast- und Zugdaten des Weißstörchs (siehe Kap. 2.8.2). Insgesamt liegen 9,33 % der Pufferflächen der Rastdaten und 6,63 % der Zugdaten innerhalb von Feuchtgebieten. Die häufigste aufgesuchte Feuchtgebietenklasse ist dabei „Süßwassermarsch/ Aue“.

### 3.2.5 Zusammenhang zwischen dem Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) und der Rastgebietswahl

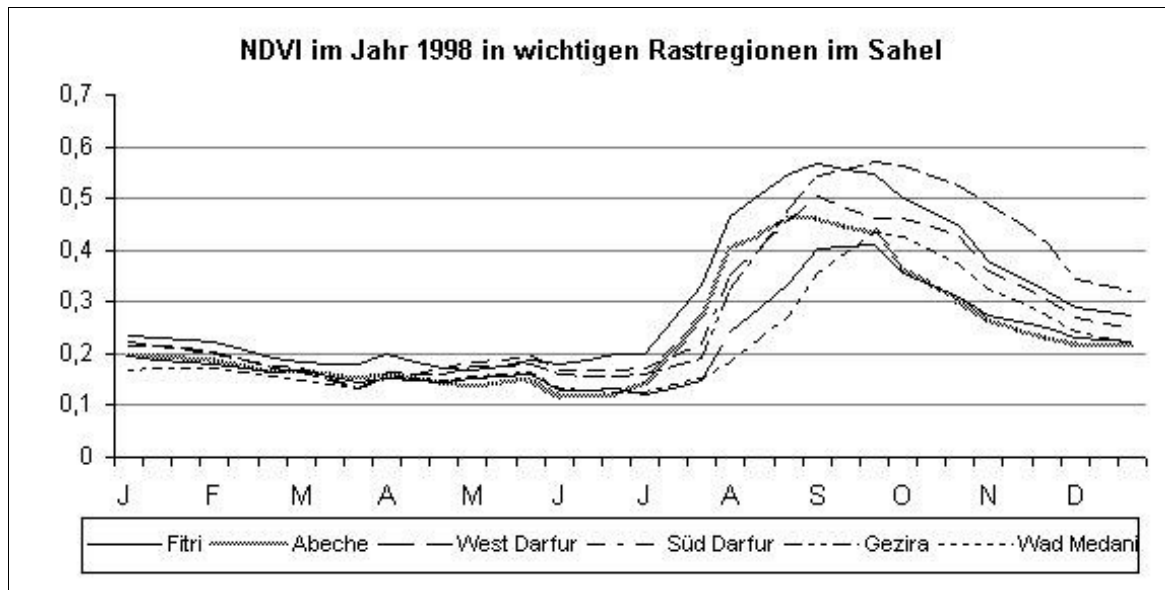
Während die klassifizierte Landbedeckungskarte „Global Landcover 2000“ oder auch die Karten GLWD und CORINE (siehe Kap. 2.7.2 und 2.7.3) den Zustand eines Jahres (Landbedeckung im Jahr 2000 bei GLC) darstellen, spiegeln die NDVI-Daten den Jahresverlauf wider. Pro Monat stehen drei dekadische NDVI-Bilder zur Verfügung, so dass pro Jahr 36 Bilder vorliegen. Dies ermöglicht

die Untersuchung zeitlich bzw. saisonal unterschiedlicher Habitatnutzung. Der NDVI diene hierbei als Indikator für Dichte und Zustand der Vegetation. Nach Regenfällen nimmt der NDVI höhere Werte ein, da die Vegetation wächst und grün wird (siehe Kapitel 2.7.4). Als Grundlage der tierischen Nahrungskette, insbesondere für phytophage Insekten, bietet die Messung der grünen Vegetation einen Indikator zur Verfügbarkeit von Nahrungsressourcen für Weißstörche. Bereits DALLINGA & SCHOENMAKERS (1989) untersuchten Zusammenhänge zwischen der Nahrungsverfügbarkeit in Afrika (gemessen am Niederschlag) und den Bestandsfluktuationen von Weißstörchen in den Brutgebieten. Weitere nachfolgende Arbeiten führten diese Untersuchungen am Weißstorch fort und verwendeten NDVI-Daten als Indikator für günstige Nahrungsbedingungen (BARBRAUD, BARBRAUD et al. 1999; SCHAUB, KANIA et al. 2005).

Anknüpfend an diese Arbeiten, die tatsächlich einen Zusammenhang zwischen der Primärproduktion (gezeigt in Form des NDVI) in Gebieten des Sahel und der Überlebenswahrscheinlichkeit der Weißstörche feststellen konnten, wurde in der vorliegenden Arbeit der direkte Zusammenhang zwischen dem NDVI und der Rastgebietswahl untersucht. In diesem Kapitel wird zunächst anhand einiger Beispiele die Dynamik des NDVI gezeigt (Abschnitte a-b) und diese dann in Zusammenhang mit den Weißstorch-Telemetriedaten ausgewertet (Abschnitte c-f).

**a) *Änderung des NDVI im Jahresverlauf in den wichtigen Rastregionen***  
**(*Beispiel: die Jahre 1998 und 1999*)**

Die Abbildung 49 zeigt beispielhaft die Änderung des NDVI für das Jahr 1998 in den jeweiligen identifizierten Rastregionen des Weißstorchs (zur Lage der Regionen siehe Abb. 50), weitere Grafiken zu den übrigen Regionen sind in den Abbildungen 1-4 in Anhang IV zu finden. Da in den Jahren 1998 und 1999 viele Weißstorch-Telemetriedaten vorhanden sind, wurden diese repräsentativ ausgewählt und für jede Region die mittleren Werte von Januar bis Dezember aufgetragen.



**Abbildung 49:** Änderung des mittleren NDVI im Jahr 1998 je Rastregion des Weißstorchs (zur Lage der Regionen siehe Abb. 50). Die NDVI-Änderung spiegelt den Wechsel von Trockenzeiten in der ersten Jahreshälfte und Regenzeiten in der 2. Jahreshälfte im Sahel wider. Weitere Abbildungen zum NDVI-Verlauf im östlichen und südlichen Afrika für die Jahre 1998 und 1999 sind in Anhang IV zu finden.

Die Regionen des Sahel unterscheiden sich deutlich von den Regionen im östlichen und südlichen Afrika: im Sahel ist in allen Regionen eine deutliche Teilung in Trocken- und Regenzeit sichtbar. Sämtliche NDVI-Werte liegen in den Beispieljahren 1998 und 1999 von Januar bis Ende Juni unter 0,3, meist sogar unter 0,2. Erst Ende Juni kommt es zu einem Anstieg und damit einer Zunahme grüner Vegetation. Im August bzw. September wird der Höchstwert erreicht, der zwischen 0,6 (Fitri) und 0,35 (Wad Medani) liegen kann. Insgesamt werden jedoch im Jahr 1998 höhere NDVI-Werte erreicht, insbesondere die Region Wad Medani weist in diesem Jahr deutlich höhere Werte über 0,4 auf. In Gezira ist die NDVI-Kurve leicht verschoben, hier wird der höchste Wert von 0,57 erst Ende September (1998) bzw. Anfang Oktober erreicht (1999). Gegen Ende des Jahres fallen die NDVI-Werte wieder ab und liegen bereits im Dezember unter 0,3.

Die NDVI-Änderungen der Regionen des östlichen und südlichen Afrikas sind in den Abbildungen 2 und 4 in Anhang IV dargestellt. Aufgrund der unterschiedlichen Lage der einzelnen Gebiete sind die NDVI-Kurven stark unterschiedlich. Im Vergleich zu den Sahelregionen fällt zunächst die Verschiebung der Regenzeit auf. Höchste NDVI-Werte werden meist in der ersten Jahreshälfte, also zwischen Januar und April erreicht. Kitui und Serengeti – zwei relativ nah beieinander liegende Regionen – haben einen vergleichbaren Verlauf der NDVI-Kurve, im Jahr 1998 allerdings ohne klaren NDVI-Höchstwert, 1999 mit einem Gipfel in der ersten April-Dekade. Die tiefsten NDVI-Werte werden im August erreicht. Die nicht weit entfernte Region Mau Forest zeigt hingegen kaum Saisonalität. Mit Ausnahme von leicht niedrigeren Werten im April (1998) bzw. im Februar und März (1999) liegen die übrigen NDVI-Werte zwischen 0,6 und 0,7. In den Regionen Lake Kariba und Drakensberge werden die höchsten NDVI-Werte bereits im Februar bzw. März erreicht und fallen danach stetig ab bis zu einem Tiefstpunkt von 0,28 im September beider Jahre. Die Region Ngamiland weist mit Werten zwischen 0,1 und 0,4 (bzw. 0,5 im Jahr 1999) einen insgesamt



**Abbildung 50:** Lage der wichtigen Rastregionen des Weißstorchs nach der Telemetriedatenauswertung, für Details siehe auch Kap. 3.1.5.

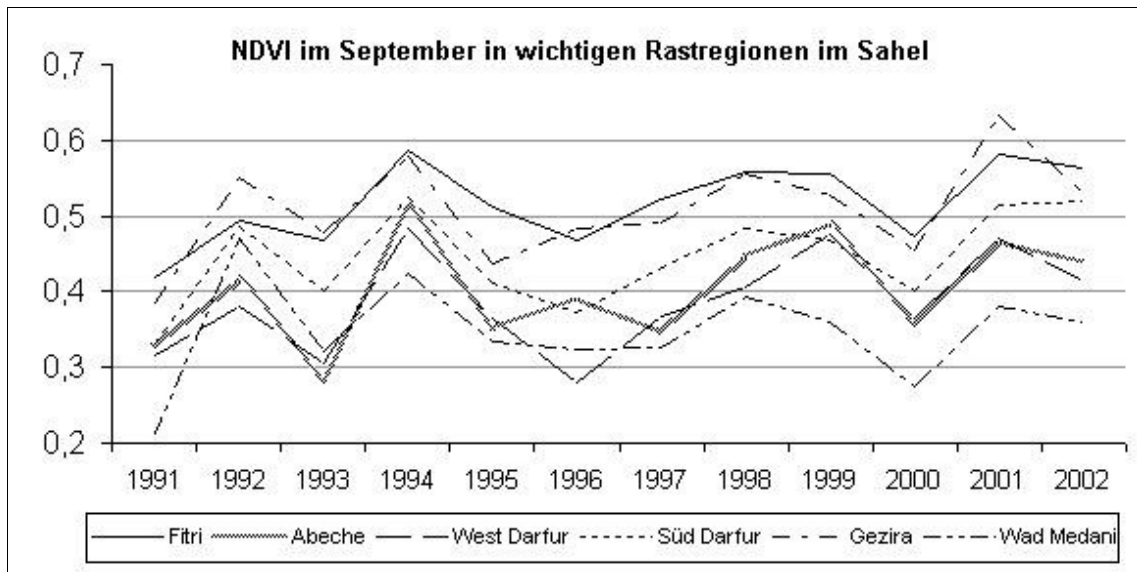
geringeren NDVI auf, etwa vergleichbar mit denen der Sahel-Zone. Der höchste Wert wird mit 0,55 (1999) bzw. 0,4 (1998) Ende Januar erreicht. Die niedrigsten Werte im Oktober und November liegen zwischen 0,14 (1998) und 0,16 (1999). Die unterschiedlichen NDVI-Werte der einzelnen Regionen sind möglicherweise auf verschiedene Vegetationszusammensetzungen zurückzuführen.

**b) Änderung des NDVI in den wichtigen Rastregionen im Jahresvergleich (Beispiel: die Monate September und Dezember)**

Eine weiterer wichtiger Aspekt im Hinblick auf den NDVI als Einflussgröße sind auch die jährlichen Unterschiede, das heißt die Variation des mittleren NDVI eines Monats zwischen den Jahren und für die einzelnen Rastregionen des Weißstorchs. So kann geklärt werden, ob es bestimmte Jahre mit extremen Verhältnissen gibt, z.B. einer Trockenperiode, die sich in allen Regionen durch niedrige NDVI-Werte auszeichnet. Wiederum beispielhaft zeigt Abbildung 51 die NDVI-Unterschiede der einzelnen Jahre im September für die Rastregionen des Sahel. Weitere Abbildungen sind im Anhang IV (5-8) für die Variationen der Monate September und Dezember, jeweils von 1991 bis 2002 dargestellt (= Zeitraum mit Telemetriedaten). Berechnet wurde der mittlere NDVI der 2. Dekade für jede Rastregion des Weißstorchs in Afrika jeweils für den September und Dezember jeden Jahres (zur Lage der Regionen siehe Abb. 50 und Kap. 3.1.5).

Die Regionen im Sahel zeigen allesamt sowohl im September als auch im Dezember alternierende NDVI-Werte, auf ein Jahr mit relativ hohen Werten folgt ein Jahr mit niedrigeren Werten. Zudem ist ein scheinbarer Aufwärtstrend sichtbar, wobei unklar ist, ob dieser auch ein Artefakt der NOAA-Sensorik sein könnte. Alle Regionen zeigen in etwa dieselbe Schwankungsbreite und meist sind die Trends in allen Regionen gleichzeitig zu sehen. Besonders große Unterschiede zwischen aufeinanderfolgenden Jahren gibt es im September in den Perioden 1991-1994 und 2000-2001. Dabei liegen die NDVI-Werte in den Jahren 1992, 1994 und 2001 jeweils wesentlich höher als in den übrigen Jahren.

Der NDVI-Verlauf der Regionen in Ost- und Südafrika ist aufgrund ihrer unterschiedlichen Vegetationszusammensetzung (siehe Abschnitt 3.2.1.e, Abb. 42) bzw. unterschiedlichen Niederschlagsverhältnissen (vergleiche mit Kap. 1.5.2, Abb. 4) wesentlich heterogener. Einige Regionen wie beispielsweise Serengeti oder Ngamiland weisen größere Schwankungen auf als



**Abbildung 51:** Mittlerer NDVI der 2. Dekade für den September der Jahre 1991 bis 2002 für die wichtigen Rastregionen des Weißstorchs im Sahel (siehe Abb. 50). Diese Darstellung stellt jährliche Schwankungen dar und zeigt extreme Verhältnisse wie zum Beispiel besonders hohe NDVI-Werte im Jahr 2001. Weitere Abbildungen zu den NDVI-Schwankungen im östlichen und südlichen Afrika im September und Dezember sind in Anhang IV zu finden.

andere (z.B. Mau Forest). Dies hängt ganz klar mit ihrer Lage und der entsprechenden Vegetationszone zusammen. Die erstgenannten Regionen liegen in einer Zone mit stärker ausgeprägter Trockenzeit (Zonobiom der Savannen mit tropischem Sommerregen, siehe Kap. 1.5.3, Abb. 5). Da die Niederschlags-Variation mit abnehmendem Niederschlagsmittelwert zunimmt, sind diese Gebiete natürlicherweise stärkeren Schwankungen unterlegen (GOUDIE 1996). Demgegenüber liegen die Regionen Kitui und Mau Forest eher in der Übergangszone zu humiderem Tageszeitenklima. Entsprechend weist die Region Mau Forest im Jahresverlauf nur geringe Schwankungen auf (BENNUN & NJOROGE 2001), was auch in den Grafiken mit dem NDVI der Jahre 1998 und 1999 zu sehen ist (siehe Abschnitt 3.2.5.a).

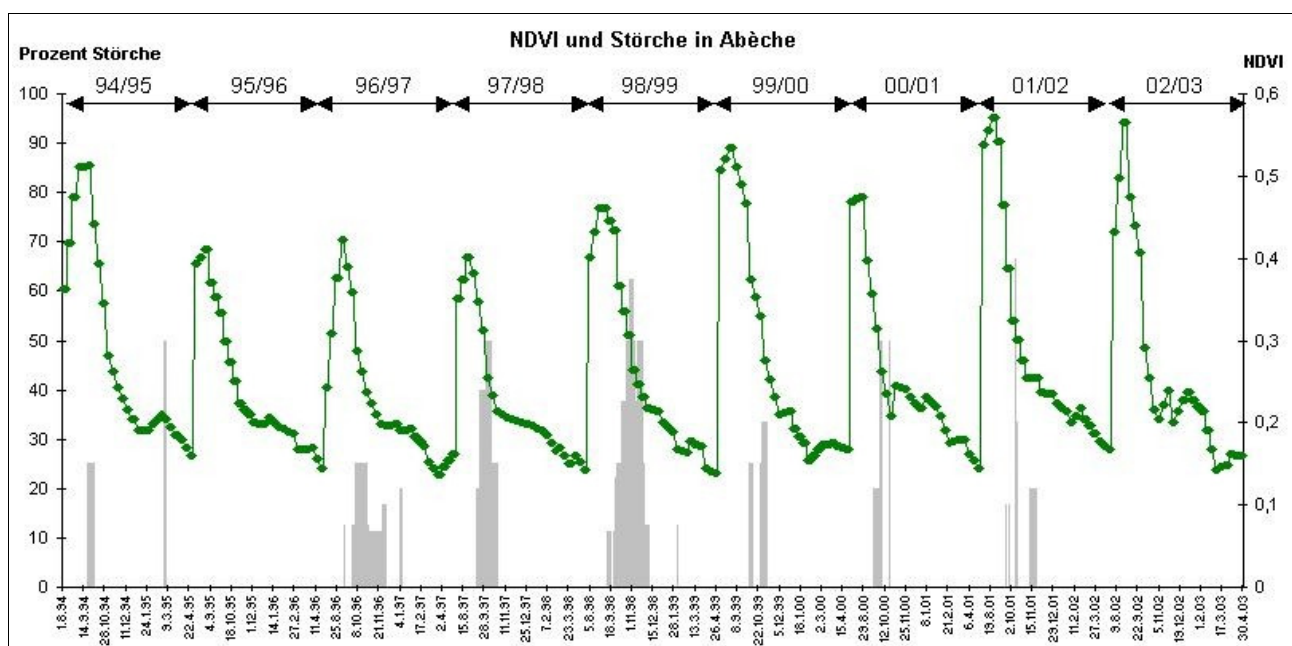
### c) NDVI und Weißstorchpräsenz in den wichtigen Rastregionen des Sahel

Wie können nun die Rastaufenthalte der Weißstörche mit diesen Vegetations-Unterschieden, gemessen am NDVI, in Beziehung gesetzt werden? Die Abbildung 52 zeigt beispielhaft die Aufenthalte der Weißstörche in der Rastregion Abèche in Relation zum entsprechenden NDVI. Die entsprechenden Grafiken zu den übrigen Rastregionen des Sahel (Regionen 1-6, siehe auch Kap. 3.1.5) sind im Anhang V, Abbildungen 1-6 zu finden. Die Anzahl der Weißstörche wurde prozentual zur jeweiligen Gesamtanzahl von Störchen im entsprechenden Monat berechnet, um vergleichbare Werte darzustellen. Der NDVI wird jeweils nur für den Zeitraum August bis April des folgenden Jahres dargestellt, da die Störche sich in der Zeit dazwischen in ihrem Brutgebiet aufhalten.

Auch diese Abbildungen lassen den klaren Wechsel zwischen Regen- und Trockenzeit im Sahel erkennen. Der NDVI steigt im August stark an und erreicht im September seinen Höchstwert. Von September bis Februar/März fällt der NDVI wieder ab und erreicht hier niedrigste Werte zwischen 0,1 und 0,2. In den meisten Jahren und Regionen kommt es in dieser Zeit nochmals zu einem



geringfügigen NDVI-Anstieg (2./ kleine Regenzeit). Die NDVI-Höchstwerte unterscheiden sich von Region zu Region. Die mit Abstand höchsten Werte werden in Gezira und Fitri erreicht. In Gezira steigt der NDVI im Jahr 2001 über 0,64, in Fitri werden in fast allen Jahren (1994-2002) Werte über 0,5 erreicht, 2001 sogar über 0,6. In der Region Wad Medani liegen die NDVI-Werte wesentlich niedriger, auch Höchstwerte in den Jahren 1994, 1998 oder 2001 liegen noch unter 0,47 (1994) bzw. 0,4. In Abèche und Süd-Darfur ist ein Trend in den Jahren 1995-2001 zu höheren Werten im September erkennbar, während die Höchstwerte in den übrigen Regionen zwischen den Jahren schwanken (z.B. West Darfur) bzw. relativ konstant bleiben (Wad Medani). Das Jahr 2000 weist im Vergleich zu den vorangegangenen bzw. den folgenden Jahren in allen Regionen sehr niedrige NDVI-Werte im September auf. Auch im Jahr 1996 liegen die NDVI-Werte in den Regionen Fitri, Abèche, West- und Süd-Darfur niedriger als in den umgebenden Jahren.

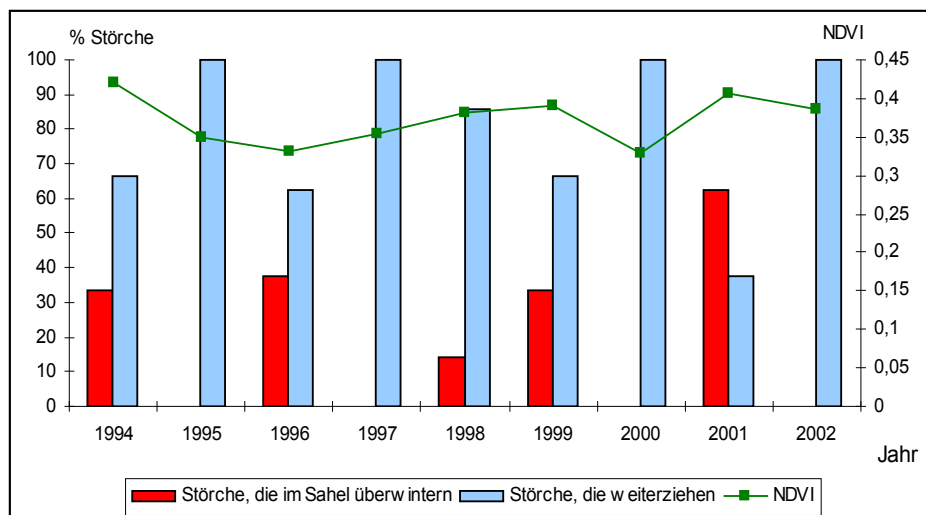


**Abbildung 52:** Verlauf des NDVI in der Rastregion Abèche mit den Jahren (grüne Linie, zur Lage der Region siehe Abb. 50). Die grauen Balken repräsentieren die Präsenz von Weißstörchen (prozentualer Anteil an allen Störchen in Afrika des jeweiligen Jahres). Grafiken für die übrigen Rastregionen im Sahel sind in Anhang V zu finden.

Die früheste Ankunft von Störchen in den Regionen findet Mitte/Ende September statt. Viele Störche erreichen die Regionen je nach ihrer Lage jedoch auch erst wesentlich später. So wird Fitri – weit im Westen gelegen – erst Ende Oktober bzw. im November erreicht. In den östlich gelegenen Regionen (Wad Medani, Gezira) fällt die Ankunft der Störche mit den höchsten NDVI-Werten zusammen, während in den Regionen West-, Süd-Darfur, Fitri und Abèche die spätere Ankunft im Oktober oder November bereits in die Zeit mit abnehmenden NDVI-Werten fällt. In der Rastregion Süd-Darfur hielten sich Weißstörche im Zeitraum November 2001 bis Januar 2002 über längere Rastperioden auf als in den anderen Jahren (vergleiche Kap. 3.1.5). Der mittlere NDVI im September 2001 liegt in dieser Region entsprechend wesentlich höher als in den Vorjahren, insbesondere im 2000 (siehe Abb. 3 in Anhang V). Im Dezember ist der mittlere NDVI jedoch

wieder weit abgefallen. Diese NDVI-Unterschiede sind zwischen den Jahren 2000 und 2001 in allen Rastregionen des Sahel zu finden.

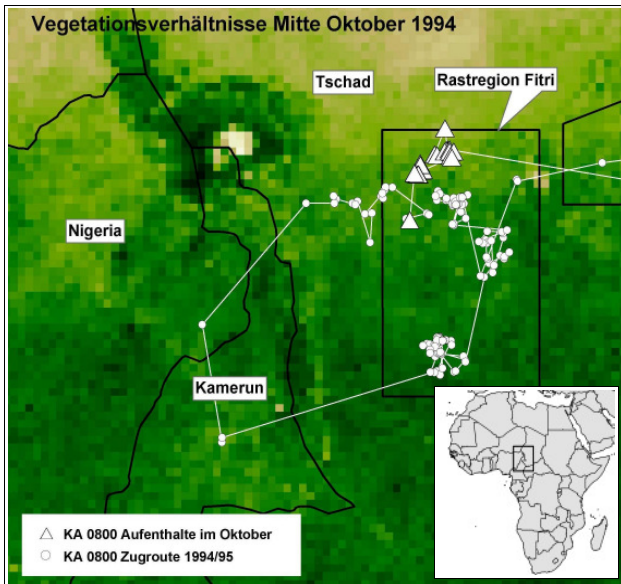
Betrachtet man alle Rastregionen im Sahel gemeinsam, zeigt sich, dass im Jahr 2001 ein ungewöhnlich hoher Anteil von Störchen im Sahel verblieb und nicht weiter südlich zog. Die Abbildung 53 zeigt den jeweiligen Anteil der Störche (Zugrouten), die im Sahel verbleiben (rote Säulen), bzw. weiterziehen (blaue Säulen). Bei einigen Zugrouten bleibt der weitere Verlauf mangels Telemetriedaten unklar, diese konnten daher nicht berücksichtigt werden. In der Grafik ist klar zu erkennen, dass der mittlere NDVI im Sahel im Jahr 2000 wesentlich niedrigerer liegt als in den Jahren zuvor und danach. Tatsächlich zogen in diesem Jahr alle Störche weiter. Allerdings lässt sich kein Umkehrschluss aus dieser Beobachtung ziehen: die hohe Anzahl von Störchen, die im Jahr 1998 weiterzogen, würde einen entsprechend niedrigen mittleren NDVI im Sahel erwarten lassen. Die Ergebnisse der NDVI-Analyse können diese Annahme jedoch nicht bestätigen: im Jahr 1998 liegt der mittlere NDVI sogar leicht höher als im Vorjahr (vergl. Abb. 52). Die Schwankungen des NDVI, sowohl regional als auch überregional vermögen also nur in einigen Fällen als Erklärung für die Anzahlen rastender Störche dienen.



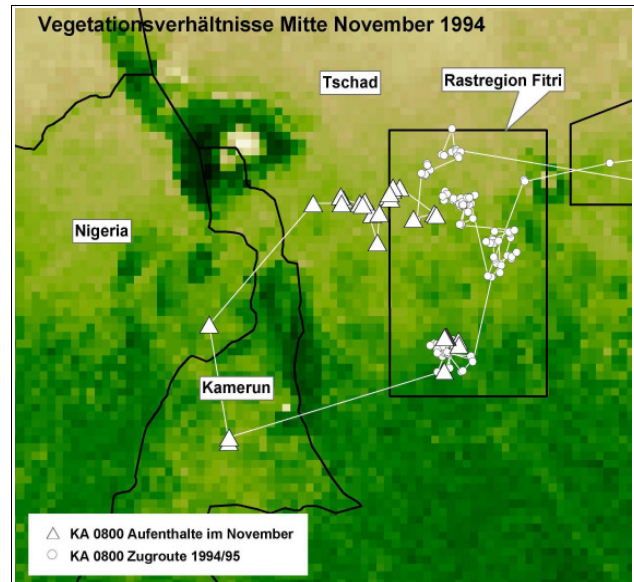
**Abbildung 53:** Prozentsatz von Störchen, die im Sahel verbleiben, bzw. weiterziehen. Der prozentuale Anteil wurde an der jeweiligen Gesamtzahl von Individuen im entsprechenden Jahr gemessen. In aufeinanderfolgenden Jahren können Individuen mehrmals auftauchen. Die grüne Linie zeigt den jeweiligen mittleren NDVI im September im Sahel (alle Rastregionen) an.

Zwischen den Schwankungen des NDVI in den einzelnen Regionen oder zwischen den Jahren und der Anzahl der Störche ist also kein unmittelbarer Zusammenhang erkennbar. Dennoch verdeutlichen sie im Allgemeinen eine gute Synchronisation des Vogelzugs mit dem Verlauf der Regenzeiten in Afrika. Die Störche treffen bei ihrer Ankunft im Sahel auf günstige Bedingungen, da die vorangegangene Regenzeit das Vegetationswachstum und damit auch die Grundvoraussetzungen für phytophage Insekten – einer wichtigen Nahrungsquelle der Störche – geschaffen hat (siehe hierzu auch Kap. 3.9.4 und DALLINGA & SCHOENMAKERS 1989; VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002). Eine individuelle und sofortige Reaktion auf die verschiedenen Bedingungen zwischen den einzelnen Regionen konnte jedoch nicht gezeigt werden. Da es sich um

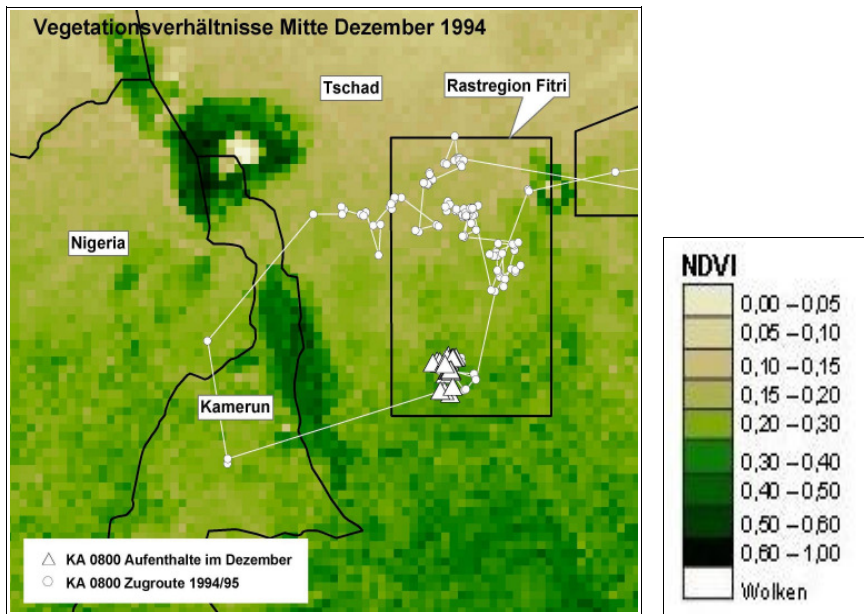
mittlere NDVI-Werte für eine gesamte Region handelt, bleibt unklar, in welchen lokalen Verhältnissen sich ein jeweiliger Storch tatsächlich aufhält. Zudem spielt bei der Wahl des Rast- oder Überwinterungsgebietes möglicherweise zusätzlich der „Gewohnheits-Faktor“ eine Rolle. Ein Storch hat zunächst natürlich kein „Wissen“ über die jeweilige Situation in den verschiedenen Gebieten und muss demnach zunächst auf die Erfahrung vorangegangener Jahre verlassen.



**Abbildung 54:** Vegetationsverhältnisse (NDVI) in Tschad und Aufenthalte des Storchs KA 0800 im Oktober 1994. Diese und die folgenden Abbildungen (55-56) liegen in der Albers Projektion vor. Die Größe eines Pixels entspricht 8\*8 km (siehe auch Kap. 2.7.4).



**Abbildung 55:** Vegetationsverhältnisse (NDVI) in Tschad und Aufenthalte des Storchs KA 0800 im November 1994. Der Storch verlässt die Rastregion Fitri in Richtung Südwesten und erreicht Gebiete mit höherem NDVI.



**Abbildung 56:** Vegetationsverhältnisse (NDVI) im Tschad und Aufenthalte des Storchs KA 0800 im Dezember 1994. Der Storch kehrt in die Rastregion Fitri zurück. Hier liegt der NDVI wiederum höher als im vorherigen Rastgebiet.

**Abbildung 57:** NDVI-Wert je Farbabstufung für die Abbildungen 54-56

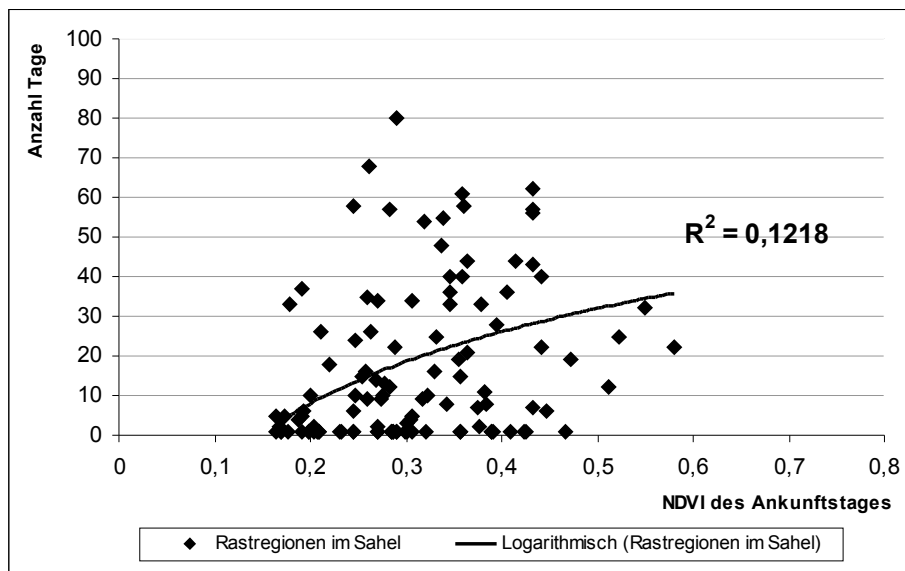
Dennoch können in Einzelfällen die NDVI-Schwankungen in den jeweiligen Rastregionen einen Erklärungsansatz für individuelle Zugmuster geben. Ein Beispiel zeigt hier der Rastaufenthalt des Weißstorchs KA 0800 in der Region Fitri im Tschad (Abbildungen 54-56). Der Storch verlässt das Gebiet für einen kurzen „Abstecher“ ins benachbarte Kamerun. Im Vergleich zum vorherigen Aufenthaltsgebiet trifft der Storch hier auf leicht verbesserte Bedingungen (höhere NDVI-Werte = üppigere grüne Vegetation). Aus ungeklärten Gründen verlässt der Storch das Gebiet jedoch wieder und hält sich in den folgenden Tagen im Süden der Region Fitri auf, wo die NDVI-Werte wiederum höher liegen. Die Abbildungen (54 bis 56) zeigen, wie der Storch die schlechter werdenden Bedingungen im Norden der Rastregion Fitri durch sein nomadisierendes Verhalten umging. Allerdings ließ der Vogel Gebiete mit noch günstigeren Verhältnissen („grüne Inseln“ im Grenzgebiet Tschad-Kamerun in Abb. 55) außer acht. Dennoch weist auch das erreichte Zielgebiet im Süden der Rastregion Fitri im Dezember noch wesentlich bessere Vegetationsverhältnisse (höherer NDVI) auf als der nördliche Teil – und ursprüngliche Aufenthaltsort des Storchs in der Region (Abbildung 56).

Neben den Einflüssen auf das direkte Zuggeschehen wurde zudem getestet, ob NDVI-Werte sich auf die Aufenthaltsdauer der Störche im Rastgebiet auswirken. Die Ergebnisse weisen hierbei auf einen positiven Zusammenhang dieser Parameter hin, das heißt, steigende NDVI-Werte führen zu tendenziell längeren Rastaufenthalten.

So zeigt die Abbildung 58 die Aufenthaltsdauer der Störche in den Rastregionen im Sahel (Regionen 1-6, siehe Kap. 3.1.5) aufgetragen gegen den entsprechenden NDVI-Wert zum Zeitpunkt der Ankunft im Gebiet. Eine zweite Grafik stellt dieselben Parameter für die Rastregionen südlich des Sahel dar (Abb. 59). In beiden Darstellungen ist eine Tendenz zu längeren Aufenthalten bei höheren NDVI-Werten erkennbar. Tatsächlich zeigt auch eine Regressionsanalyse aller

Rastregionen einen hoch signifikanten Zusammenhang beider Parameter. Dieser ist am stärksten bei einem logarithmischen Regressionsmodell ( $p = 0,006^{**}$ ;  $R^2 = 0,056$ , siehe Abb. 60). Betrachtet man nur die Rastgebiete im Sahel, zeigt sich ein höchst signifikanter Zusammenhang ( $p < 0,001^{***}$ ;  $R^2 = 0,12$ ) für die logarithmische Regression. In den Rastregionen des östlichen und südlichen Afrikas (Abb. 59) konnte lediglich eine Tendenz zu einem verlängerten Aufenthalt bei höherem NDVI festgestellt werden ( $p = 0,07$  für logarithmische Regression).

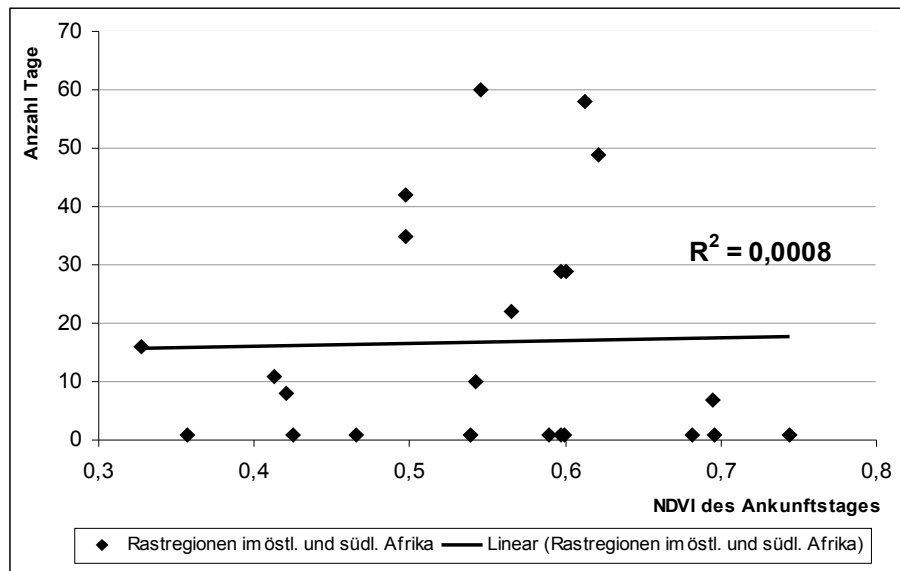
Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der NDVI-Wert in den Rastregionen des Sahel einen größeren Einfluss auf die Aufenthaltsdauer und somit das weitere Zugeschehen hat. Denn grundsätzlich lassen sich beim Weißstorch zwei verschiedene Zugmuster unterscheiden: Rund 33 % der hier berücksichtigten vollständigen Zugrouten zeigen, dass die Störche ausschließlich im Sahel bzw. den hier untersuchten Rastregionen überwintern, die übrigen ziehen weiter südwärts, um im östlichen und südlichen Afrika zu überwintern (vergl. Kap. 3.1.8). Im Sahel entscheidet sich demnach möglicherweise in Abhängigkeit von dortigen Vegetationsverhältnissen, ob ein Storch weiterzieht oder hier weiterhin überwintert. Aus den Ergebnissen in Abschnitt 3.2.5.a geht hervor,



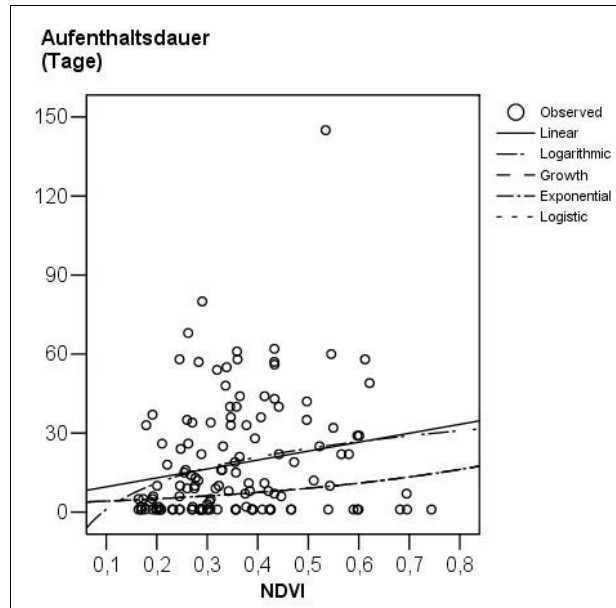
**Abbildung 58:** Aufenthaltsdauer der Störche im Sahel der Rastregionen Abèche, Fitri, Gezira, Wad Medani, W-Darfur und S-Darfur. Berechnet wurde der jeweils mittlere NDVI je Rastregion zum Zeitpunkt der Ankunft eines Storchs. Insgesamt gingen Daten von 28 Störchen mit 112 einzelnen Aufenthalten ein. Der Zusammenhang zwischen NDVI und Aufenthaltsdauer ist für diese Regionen höchst signifikant.

dass auch die Ankunft der Störche im südlichen Afrika mit dem Ende der Regenzeit und somit günstigeren Vegetationsverhältnissen zusammenfällt: Hier setzt die Regenzeit in der ersten Hälfte des Jahres ein und so erreicht der NDVI im Januar/Februar (Ngamiland, Lake Kariba und Drakensberge) bzw. April/Mai (Regionen Kitui und Serengeti) seinen Höchstwert. Für den Weißstorch bedeutet daher der Weiterzug südwärts eine Verbesserung der Bedingungen, während er bei einem Verbleib im Sahel mit zunehmender Trockenheit zurechtkommen muss, dabei allerdings auch die Ressourcen für den Weiterzug spart. Um den Einfluss der Vegetationsverhältnisse genauer

zu untersuchen, wird daher in den folgenden Kapiteln auf die individuellen Verhältnisse eingegangen.



**Abbildung 59:** Aufenthaltsdauer der Störche im östlichen und südlichen Afrika der Rastregionen Mau Forest, Kitui, Serengeti, Lake Kariba, Ngamiland und Drakensberge. Berechnet wurde der jeweils mittlere NDVI je Rastregion zum Zeitpunkt der Ankunft eines Storchs. Insgesamt gingen die Daten von 20 Störchen ein. Der Zusammenhang zwischen dem NDVI und der Aufenthaltsdauer ist hierbei nicht signifikant.



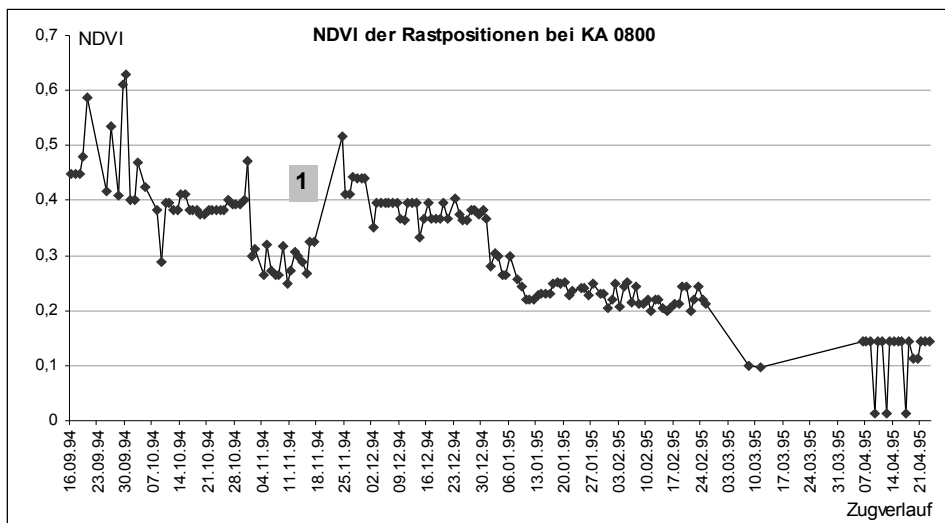
**Abbildung 60:** Regressionskurven zur Aufenthaltsdauer und dem jeweiligen NDVI des Ankunftstages je Storch für alle Rastregionen. Die Daten werden am besten durch eine logarithmische Regression approximiert ( $R^2 = 0,056$ ). Auch die lineare Regression ergab mit einem  $R^2$  von 0,04 noch einen signifikanten Zusammenhang. Dies war für die Regression Growth, Exponential und Logistic ( $R^2 = 0,026$ ) nicht der Fall. Insgesamt gingen Daten von 28 Störchen mit 135 einzelnen Aufenthalten ein.

#### d) Individuelle Zugmuster – Gezielte Wahl nahrungsreicher Gebiete?

Die Abbildungen 61-64 zeigen den NDVI-Wert jeder Rastposition im Verlauf des Zuges in Afrika. Beispielhaft wurden zwei Störche gewählt, die im Sahel überwintern und zwei weitere, die weiter nach Südafrika ziehen und dort überwintern (KA 0800, V 6495, V 6497 und E 819).

Der Zug des Storchs KA 0800 beginnt am 26.08.1994, die letzte Position („Tagesbeste“) ist vom 27.04.1995. Der Storch zieht über Iskenderun und den Suez-Kanal bis in den West-Tschad, wo er überwintert. Die meisten Positionen liegen dabei innerhalb der Rastregion Fitri (vergl. Kap. 3.1.5). Am ersten März 1995 tritt der Storch seinen Heimzug an. Abbildung 61 zeigt nun die jeweiligen NDVI-Werte der Rast-Positionen zu einem bestimmten Zeitpunkt. Dabei ist ein deutlicher Abfall des NDVIs ersichtlich. Weiterhin sind die Wechsel in andere, benachbarte Gebiete durch größere NDVI-Sprünge erkennbar (zum Beispiel der NDVI-Unterschied zwischen dem 17. und 24.11. von 0,17 (siehe Punkt 1). In diesem Zeitraum legte der Storch ca. 170 Kilometer zurück und hielt sich ca. sieben Wochen im südlichen Teil der Rastregion Fitri auf. Die im Kapitel 3.2.5 erläuterten Bedingungen in den Rastgebieten des Sahel zeigen klar, dass der NDVI im hier beschriebenen Überwinterungszeitraum abfällt und zu Anfang des folgenden Jahres seinen Tiefstwert erreicht. Dem Storch ist es daher auch durch Nomadisieren zwischen einzelnen Unterregionen nicht möglich, Gebiete mit besseren Vegetationsverhältnissen aufzusuchen. Daher zeigt sich hier eine fallende Tendenz im Verlauf des Zuges bzw. Aufenthalts.

Der Storch mit der Ringnummer V 6495 tritt zwischen dem 29.08. und dem 02.09.1996 seinen Zug an, der über Iskenderun entlang des Niltals bis in den südlichen Sudan führt (Abb. 62). Am 28.10.1996 erreicht der Storch die Zwischenüberwinterungsgebiete im Sahel. Hier verbleibt er in zwei verschiedenen Unterregionen (zwischen Süd-Darfur und Gezira) bis Mitte Januar. Erst nach dem 17.01.1997 verlässt der Storch die Sahel-Region und zieht weiter südlich bis in den Süd-Sudan. Im Verlauf des Zuges sind die einzelnen „Stationen“ mehr oder weniger deutlich an der Änderung des NDVI erkennbar. Der starke Unterschied im NDVI zwischen dem 20. und 30. Oktober (1) zeigt den Übergang der Gebiete in der Sahara (Steinwüste nach GLC 2000) und den



**Abbildung 61:** Zugverlauf des Weißstorchs KA 0800 und zugehörige NDVI-Werte der einzelnen Rastpositionen. Die Zahl bezieht sich auf die Nummern im Text.

landwirtschaftlich geprägten Gebieten des Sahel. Bis zum 15.12.1996 nimmt der NDVI nun stetig ab. Der Storch nomadisiert bis zu diesem Zeitpunkt zwischen seinem ersten Rastgebiet und der Region Süd-Darfur und erreicht am 23.12. ein Gebiet mit wesentlich höheren NDVI-Werten (2) westlich des Nils (vergleiche auch Abb. 26 im Anhang I). Am 18.01.1997 verlässt der Storch auch dieses Gebiet in Richtung Süden. Die entsprechenden NDVI-Werte liegen wiederum niedriger, der Unterschied ist jedoch nicht so stark wie im Falle des Storchs KA 0800. Am 09.02. erreicht der Storch seine südlichste Position (3). Die Grafik zeigt, dass der NDVI hier wesentlich niedriger ist. Mit der Rückkehr in das ursprüngliche Rastgebiet ca. 120 Kilometer nördlich am 14.02. erreicht der Storch wiederum ein Gebiet mit hohem NDVI (4). Auch bei der folgenden NDVI-Minderung liegen die letzten Positionen Mitte März in einer Region mit NDVI-Werten um 0,22, also vergleichbar mit den Werten Ende November/ Anfang Dezember.



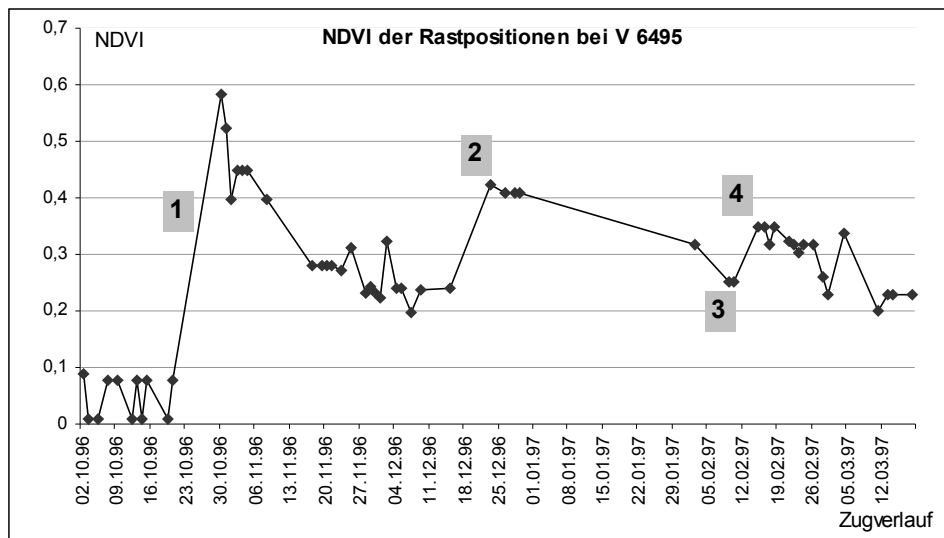


Abbildung 62: Zugverlauf des Weißstorchs V 6495 und zugehörige NDVI-Werte der einzelnen Rastpositionen. Die Zahlen beziehen sich auf die Nummern im Text.

Bei Störchen, die den Sahel verlassen und weiter südlich ziehen, zeigt der NDVI eine entgegengesetzte Tendenz: mit der Zeit und dem Zugverlauf steigt der NDVI stetig an, da die Störche auf bessere Vegetationsverhältnisse im südlichen Afrika stoßen.

Der Storch mit der Ringnummer V 6497 verlässt Ende August 1996 sein Brutgebiet in Polen und erreicht am 11.09. sein erstes Rastgebiet (Zwischenziel) im Sahel, westlich der Rastregion Wad Medani (Abb. 63). Hier verbleibt er bis zum 28.09.1996. Der NDVI ist hier mit Werten zwischen 0,1 und 0,2 zunächst noch relativ niedrig, da hier Teile des Gebietes von Wüste dominiert sind.

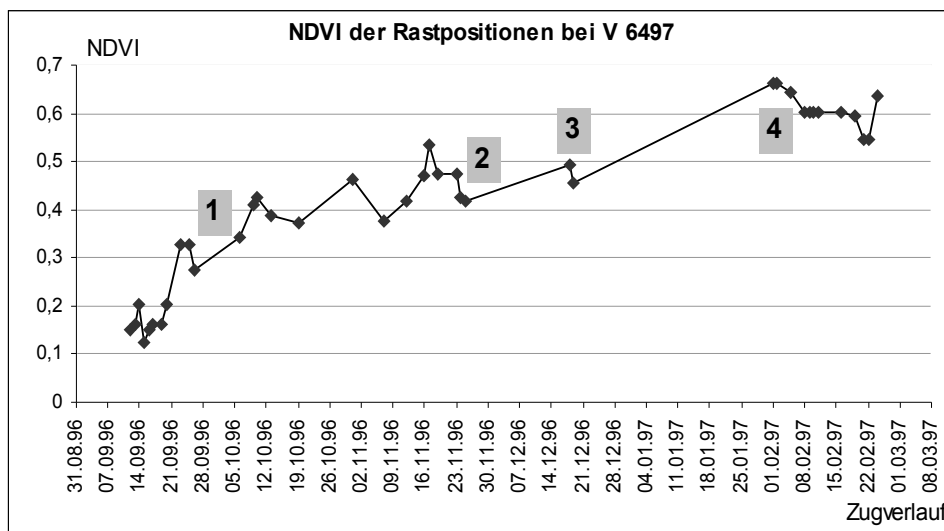


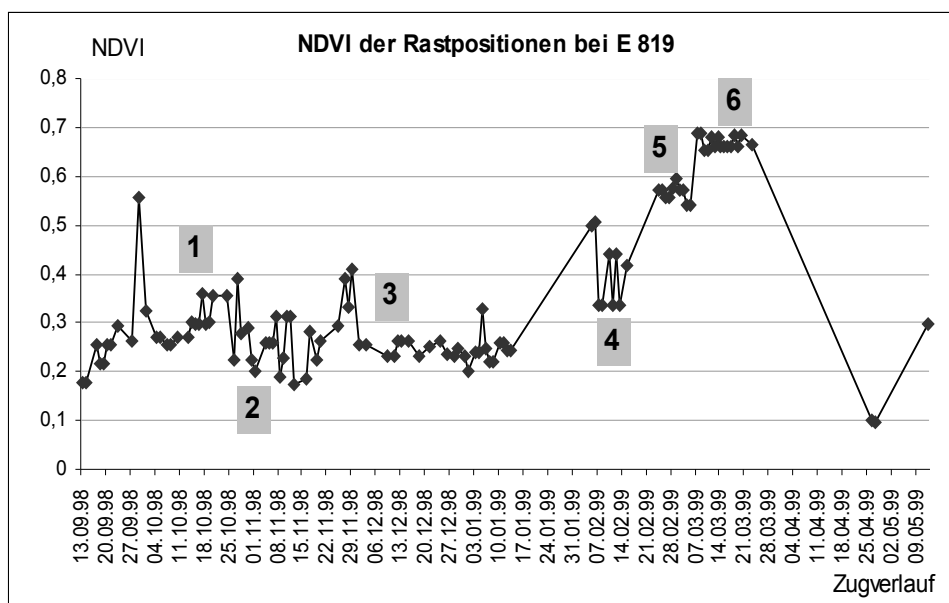
Abbildung 63: Zugverlauf des Weißstorchs V 6497 und zugehörige NDVI-Werte der einzelnen Rastpositionen. Die Zahlen beziehen sich auf die Nummern im Text.

Der Wechsel in ein anderes Gebiet im südlichen Grenzgebiet Tschad/Sudan führt zu einem deutlichen NDVI-Anstieg auf 0,34 (1). Der Storch hält sich diesem Gebiet knapp zwei Monate bis

zum 02.12.96 auf (2), wobei auch hier der NDVI eine ansteigende Tendenz zeigt. Während des Zuges in Richtung Süden kommt es nur zu einem kurzen Aufenthalt in der Rastregion Serengeti, wiederum mit höheren NDVI-Werten von knapp 0,5 (3). Schließlich erreicht der Storch am 06.01.1997 sein südlichstes Rastgebiet in der Region Ngamiland, in dem er bis zum 27.02. verbleibt (4). Hier liegen die NDVI-Werte zwischen 0,5 und 0,7.

Der Storch mit der Ringnummer E 819 zeigt ein ähnliches Zugmuster wie V 6497 (Abb. 64). Sein Zug beginnt am 22.08.1998 über Iskenderun bis in die Zwischenüberwinterungsgebiete im Sahel, die er am 13.09. erreicht. Der Storch hält sich zunächst nördlich der Rastregion Abèche auf, ab dem 29.09. nomadisiert er innerhalb dieser Region und verlässt das Gebiet erst am 22.11. in Richtung Westen. Die NDVI-Werte liegen in diesem Zeitraum zwischen 0,2 und 0,3, steigen jedoch ab dem 15.10. auf über 0,3 an (1). Bis zum Ende des Aufenthalts in dieser Region nimmt der NDVI jedoch wieder ab (2). Erst mit der Ankunft in der zweiten Rastregion Fitri am 25.11.98 steigen die NDVI-Werte wieder, pendeln sich dann aber auf einem niedrigeren Maß zwischen 0,2 und 0,26 ein (3).

Am 18.02.1999 verlässt der Storch die Zwischenüberwinterungsgebiete im Sahel in Richtung Südosten. Ein Zwischenstopp in der Rastregion Serengeti vom 04.-16.02.1999 ist in der Grafik auch



**Abbildung 64:** Zugverlauf des Weißstorchs E 819 und zugehörige NDVI-Werte der einzelnen Rastpositionen. Die Zahlen beziehen sich auf die Nummern im Text.

am hier deutlich höheren NDVI sichtbar (4). Am 24.02. erreicht der Storch sein südlichstes Überwinterungsgebiet im westlichen Mosambique und tritt erst am 29.03. wieder den Heimzug an. Die NDVI-Werte dieses Rastgebietes, welches nach GLC 2000 von Kulturflächen dominiert wird, liegen mit Werten um 0,57 wiederum höher als die der vorangegangenen Rastgebiete (5). Nachdem der Storch in diesem Gebiet mehrmals seine Position änderte, hielt er sich ca. 50 Kilometer weiter westlich in einem sehr eng begrenzten Gebiet auf. Dieses zeichnet sich wiederum durch einen höheren NDVI aus (6). Auch diese Positionsänderung brachte eine Erhöhung des NDVI mit sich.

Die oben aufgeführten Beispiele spiegeln eine Tendenz wider: Insgesamt kommt es bei den

Störchen, die weiter ins östliche/ südliche Afrika ziehen, zu relativ höheren NDVI-Werten im Verlauf des Zuges. Bei den Störchen, die im Sahel verbleiben, nimmt der NDVI hingegen ab, bzw. zeigt sich keine signifikante Tendenz (siehe Tabelle 13 mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse).

**Tabelle 13:** Tendenzen des NDVI während des Zugverlaufs einzelner Individuen (siehe Beispiele in den Abb. 61-64. Die Signifikanzniveaus entsprechen den Angaben in Kap. 2.11. Die erste Zeile listet Individuen mit signifikanten NDVI-Änderungen während des Zugverlaufs auf. In der zweiten Zeile wurden alle Individuen aufgeführt, bei denen keine signifikante Änderung des NDVI gezeigt werden konnte. Bei einigen war jedoch über eine Trendlinie eine Tendenz zu steigendem oder fallendem NDVI erkennbar. Diese Individuen wurden in die entsprechende Spalte „fallend“ oder „steigend“ einsortiert. Individuen mit Zugrouten ohne erkennbare Tendenz wurden mit „k.T.“ bezeichnet.

<b>Zugziel östliches/ südliches Afrika</b>		<b>Zugziel Sahel</b>	
<b>NDVI steigend</b>	<b>NDVI fallend</b>	<b>NDVI steigend</b>	<b>NDVI fallend</b>
E 819 *** V 6497 *** KA 0749 *** (98/99) E 846 *** (99/00) E 848 *** (99/00) E 849 *** E 817 *** L 4298 ** Unberingt 4 ** E 846 ** (98/99) E 847 ** Unberingt 7 * KA 0749 * (02/03)	V 6498 *** (98/99) V 6498 *** (99/00) KA 0776 *** E 848 ** (98/99)	L4290 ** KA 0750 ** V 6498 ** (97/98) KA 4797 * V 6495 *	KA 0800 *** L 836 ***
BA 007102 (02/03) KA 0749 (94/95) KA 0749 (01/02)	BA 007102 (01/02) KA 0011		V 6496 KA 4796 E 499 L 837 V 6498 (96/97) (k.T.) KA 4276 (k.T.)

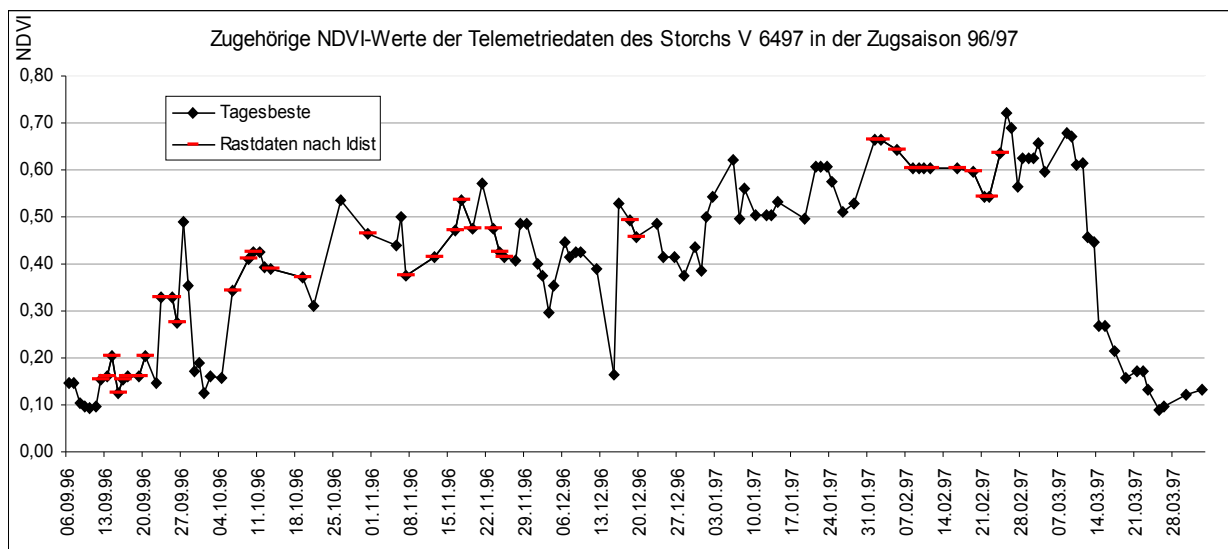
Die Tabelle zeigt, dass die meisten Zugrouten der Störche einen positiven NDVI-Trend im Verlauf des Zuges aufweisen. Dies gilt jedoch insbesondere für die weiterziehenden Störche. Doch auch einige im Sahel verbleibende Störche zeigen diesen positiven Trend. Die meisten Zugrouten der im Sahel verbleibenden Störche zeigen zwar eine eher fallende Tendenz, diese ist jedoch in vielen Fällen nicht signifikant. Die Zugrouten mit einem signifikant fallenden NDVI stammen vor allem aus den Jahren 1998/99 und 1994/95.

Fraglich ist, ob die höheren NDVI-Werte auch mit den unterschiedlichen Habitaten im Sahel und im südlichen Afrika zusammenhängen. Die Habitatanalyse in Kapitel 3.2.1.e zeigt die Zusammensetzung der einzelnen Regionen, woraus hervorgeht, dass zwar generell ähnliche

Habitats aufgesucht werden, die Zusammensetzung jedoch teilweise unterschiedlich ist (z.B. Kulturlächen im Sahel, Busch- und Grasland in Botswana).

#### e) Unterschiede im NDVI zwischen Rast und Zug

Bislang wurden der NDVI nur bezüglich der Rastdaten ausgewertet. Wie sieht dies im Vergleich zu Zugdaten aus? In Abbildung 65 wurde nochmals der Zugverlauf mit allen „Tagesbeste“-Daten dargestellt, die Rastpositionen nach  $I_{dist}$  dabei rot markiert. Es ist nicht eindeutig festzustellen, ob die Entscheidung zu einem Rastaufenthalt durch die vorangegangenen NDVI-Werte abhängig ist. Dennoch ist auch aus den übrigen Positionen (Zug oder nicht klassifizierbar) die Tendenz zu höherem NDVI im Verlauf der Zeit erkennbar.



**Abbildung 65:** NDVI-Werte während des Zugverlaufs des Storchs V 6497. In Rot (Querstrich) wurden die Rastpositionen nach  $I_{dist}$  markiert. In einem Vergleich der NDVI-Werte von Rast- und Zugpositionen konnte gezeigt werden, dass der NDVI der Rastpositionen signifikant höher liegt, siehe auch Tabelle 14.

Mithilfe des „Man-Whitney U“-Tests kann jedoch gezeigt werden, dass der NDVI bei den Rastdaten höchst signifikant höher liegt als bei Zugdaten ( $p \leq 0,001$ ). Der mittlere NDVI in der ersten Dekade aller Zugdaten in Afrika ( $n=795$ ) liegt bei 0,32, während der NDVI bei den Rastdaten in Afrika ( $n=1643$ ) im Mittel bei 0,37 liegt. Die gleichen Ergebnisse bringt der Vergleich des NDVI der zweiten und dritten Dekade, wobei hier die Unterschiede nicht mehr so deutlich sind: der mittlere NDVI der zweiten Dekade beträgt für die Rastdaten 0,35 und für die Zugdaten 0,32 ( $p \leq 0,001$ ); der mittlere NDVI der dritten Dekade beträgt für die Rastdaten 0,34 und für die Zugdaten 0,31 ( $p \leq 0,001$ ). Die Varianzen innerhalb der beiden Gruppen sind ebenfalls sehr unterschiedlich: die Zugdaten zeigen eine wesentlich höhere Standardabweichung als die Rastdaten. Die hier gezeigten Unterschiede lassen vermuten, dass die Störche in Gebieten mit höheren NDVI-Werten eher zur Rast schreiten als in Gebieten mit niedrigerem NDVI. Auch die unterschiedlichen Standardabweichungen unterstützen diese These, da demnach die Toleranz gegenüber den Vegetationsverhältnissen bei der Rast wesentlich geringer ist als während des Zuges.

Der gleiche Test wurde zum Vergleich der Rastdaten mit nicht klassifizierbaren Daten durchgeführt.

Hier konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede gezeigt werden, da die nicht klassifizierbaren Daten sowohl Rast- als auch Zugdatenpunkte beinhalten können und entsprechend keine eindeutige Tendenz im NDVI festgestellt werden kann.

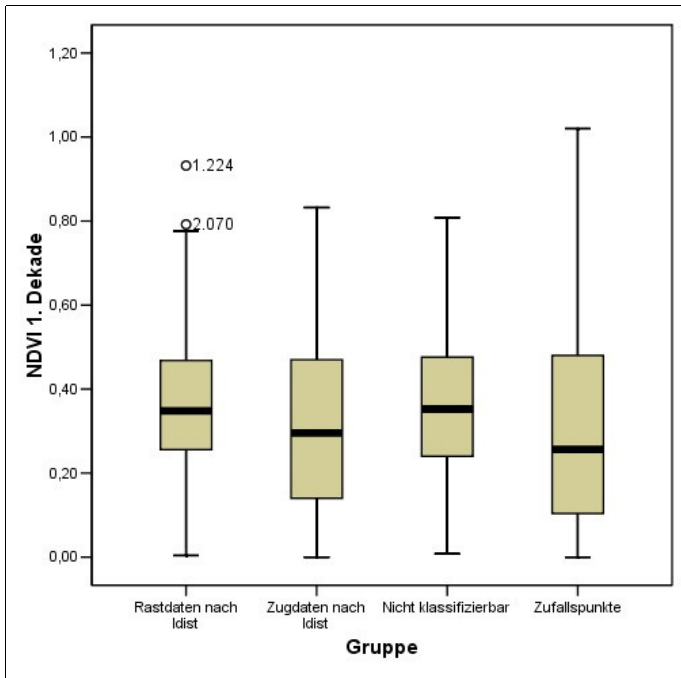
### **f) Vergleich mit Zufallspunkten**

Ein weiterer Vergleich wurde mit zufallsverteilten Punkten vorgenommen, um auszuschließen, dass die Wahl der Rastgebiete mit höheren NDVI-Werten ein Zufallsphänomen ist. In der gleichen Vorgehensweise wie schon in Kap. 2.8.4 beschrieben, wurden Zufallspunkte mit entsprechenden NDVI-Daten verschnitten, ausgewertet und sowohl mit Zug- als auch Rastdaten verglichen („Man-Whitney U Test“).

Die Statistik zeigt einen klaren Unterschied zwischen Telemetriedaten und zufallsverteilten Punkten (n=2280). Der mittlere NDVI-Wert der ersten Dekade an den Rastpositionen liegt mit 0,37 höchst signifikant höher als bei zufallsverteilten Punkten (0,31). Wiederum ist auch die Standardabweichung bei den Rastdaten geringer als bei den Zufallspunkten. Die Unterschiede sind für den NDVI der zweiten und dritten Dekade weniger groß, jedoch ebenfalls höchst signifikant. Der mittlere NDVI der zweiten Dekade beträgt für die Rastdaten 0,35 und für die Zufallspunkte 0,31; der mittlere NDVI der dritten Dekade beträgt für die Rastdaten 0,34 und für die Zufallspunkte 0,32. Auch hier ist die Standardabweichung der Rastdaten geringer als die der zufallsverteilten Punkte.

Der Vergleich zwischen Zugpositionen und zufallsverteilten Punkten zeigt hingegen lediglich für die erste Dekade einen signifikanten Unterschied. Der mittlere NDVI der drei Dekaden beträgt für die Positionen während des Zuges 0,32; 0,32 und 0,31; der mittlere NDVI der Zufallspunkte beträgt 0,31; 0,31 und 0,32. Da signifikante Unterschiede nur für die erste Dekade gezeigt werden konnten und dies auf einem geringeren Signifikanzniveau, ist anzunehmen, dass die Wahl des Übernachtungsplatzes während des Zuges (siehe Kap. 2.2.1.b) weniger stark von den jeweiligen Vegetationsverhältnissen abhängig ist.

In einem dritten Test wurden die mittleren NDVI-Werte für nicht klassifizierbaren Daten mit denen der Zufallspunkte verglichen. Hier konnten ebenfalls höchst signifikante Unterschiede zu den NDVI-Werten für alle drei Dekaden nachgewiesen werden. Dabei beträgt der mittlere NDVI der ersten Dekade bei den nicht klassifizierten Positionen 0,36 im Gegensatz zu 0,31 bei den Zufallspunkten. In der zweiten Dekade beträgt der mittlere NDVI der nicht klassifizierten Positionen 0,34, der der zufallsverteilten Punkte 0,31. Diese statistisch höchst signifikanten Unterschiede sind möglicherweise damit zu erklären, dass es sich bei den nicht klassifizierbaren Positionen eher um Rastaufenthalte handelt und daher die Wahl des Gebietes nicht zufällig war. Tatsächlich konnte im statistischen Vergleich zwischen Rast und nicht klassifizierten Daten kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.



In Abbildung 66 sind alle NDVI-Werte der untersuchten Gruppen (Rast-, Zug-, unklassifizierte Daten und Zufallspositionen) dargestellt. Deutlich erkennbar ist die große Varianz der Zufallspunkte gegenüber der relativ geringeren Varianz bei den Rastdaten. Da die nicht klassifizierten Daten ähnlich hohe NDVI -Mittelwerte aufweisen und keine signifikante Unterschiede zu den Rastdaten gezeigt werden konnten, ist anzunehmen, dass dieser Datensatz ebenfalls Rastpositionen beinhaltet, welche allerdings nicht den in Kap. 2.5.2 beschriebenen Kriterien entsprechen.

**Abbildung 66:** Mittlere NDVI-Werte bei Rast-, Zug-, nicht klassifizierten und zufallsverteilten Daten. Der NDVI der Rastdaten ist signifikant höher als der von zufallsverteilten Punkten ( $p \leq 0,001$ ). Dies lässt auf eine Bevorzugung der Störche von Regionen mit höherem NDVI und entsprechend höherer Biomasse schließen.

### Zusammenfassende Ergebnisse der NDVI-Analyse beim Weißstorch

**Tabelle 14:** Zusammenfassende Ergebnisse der Abschnitte 3.2.5.e-f. Die verschiedenen Datensätze wurden mit dem Man-Whitney U Test auf signifikante Unterschiede ihrer zugehörigen NDVI-Werte (jeweiliger Monatswert, alle drei Dekaden) getestet. Dies zeigte eine Präferenz der Weißstörche für Regionen mit höherem NDVI, insbesondere während der Rast (siehe auch Abb. 66).

<b>Datensatzpaar, welches auf signifikant unterschiedliche Werte getestet wurde</b>	<b>Signifikanzniveau</b>	<b>Datensatz mit höheren NDVI-Werten</b>
Rastdaten ↔ Zugdaten	***	Rastdaten
Rastdaten ↔ nicht klassifizierte Datensätze	n.s.	Kein Unterschied
Rastdaten ↔ Zufallspunkte	***	Rastdaten
Zugdaten ↔ Zufallspunkte	* (1. Dekade)	Zugdaten
Nicht klassifizierte Datensätze ↔ Zufallspunkte	***	Nicht klass. Datensätze

### 3.2.6 Einfluss von weiteren ökologischen und anthropogenen Faktoren auf die Rastgebietswahl

Die Telemetriedaten wurden neben dem NDVI und der Landbedeckungskarte mit weiteren ökologischen Informationen verschnitten. Dazu zählen Klimadaten (mittlere(r) monatliche(r) Niederschlag und Temperatur), anthropogener Einfluss auf die Landschaft (*Human Footprint*) und Höhe (für Details und Herkunft der Daten siehe Kap. 2.7.5).

### **a) Vergleich von Rast- mit Zugdaten**

Mit dem U-Test wurden die durchschnittlich erreichten Werte bei Rastdaten mit denen der Zugdaten auf signifikante Unterschiede verglichen.

Signifikante Unterschiede zwischen Rast- und Zugdaten konnten für die im Höhenmodell (DEM GTOPO) erreichten Werte, die Werte der monatlichen mittleren Temperatur und dem menschlichen Einfluss (*Human Footprint*) festgestellt werden. Keine signifikanten Unterschiede gab es hingegen zwischen den Mittelwerten für die monatliche Minimumtemperatur und den Niederschlag.

Der Mittelwert des mittleren monatlichen Niederschlags für die Rastdaten liegt bei 29,23 mm und damit gut 10 mm niedriger als bei den Zugdaten (39,8 mm, siehe auch Tabelle 15). Dieser Unterschied ist allerdings nicht signifikant. Der niedrige Niederschlagswert bei Rastdaten scheint zunächst im Widerspruch zu den in Kapitel 3.2.5 gezeigten Ergebnissen der NDVI-Analyse zu stehen. Ein genauer Blick in die zugrunde liegenden Daten zeigt aber, dass der Durchschnittswert des Niederschlags insbesondere im Sahel für einige Monate bei Null liegt. Genau in diesen Monaten liegen jedoch zahlreiche Rastpositionen der Störche vor, da diese erst zu Beginn der Trockenzeit den Sahel erreichen (vergl. Abschnitt 3.2.5.c). Im Gegensatz dazu wird der Schnitt für die Zugdaten (künstlich) nach oben gezogen, da ein Großteil der Daten aus Regionen mit höheren mittleren Niederschlägen vorliegt.

Der Vergleich der mittleren Höhe (in m ü. NN) zeigt, dass die Orte, die während der Rast aufgesucht werden, im Mittel gut 60 m niedriger liegen als solche, die während des Zuges aufgesucht werden. Dieser Unterschied ist mit  $p \leq 0,001$  höchst signifikant. Die Rastorte liegen auf einer mittleren Höhe von rund 589 m, die Orte während des Zuges hingegen auf rund 649 m. Der Unterschied ist wahrscheinlich durch die hohe Anzahl von Punkten im Sahel zu erklären, da diese Region wesentlich niedriger im Vergleich zu den Gebieten im ost- und südafrikanischen Hochland liegt (vergleiche mit Abb. 3 in Kap. 1.5.1). Möglicherweise konzentrieren sich aber auch die landwirtschaftlich genutzten Flächen – bevorzugte Habitate der Störche – in tiefer gelegenen Gebieten, wie z.B. in Flussniederungen.

Schließlich konnten auch höchst signifikante Unterschiede in der Nutzungsintensität durch den Menschen zwischen Rast- und Zugdaten gefunden werden. Der Index dieses *Human Footprint* erreicht bei den Rastdaten 23,2 und bei den Zugdaten 20,7 und liegt damit signifikant höher. Die daraus zu folgernde Präferenz für intensiver genutzte Gebiete während der Rast hängt mit großer Wahrscheinlichkeit mit der Präferenz für landwirtschaftlich genutzte Flächen zusammen.

Die mittlere monatliche Temperatur liegt sowohl bei Rast- als auch Zugdaten bei rund 26 °C, dennoch wurde im statistischen Test ein signifikanter Unterschied gezeigt. Die minimale monatliche Temperatur der Rast- und Zugdaten unterscheidet sich hingegen nicht signifikant und liegt während der Rast und des Zuges bei rund 18 °C.

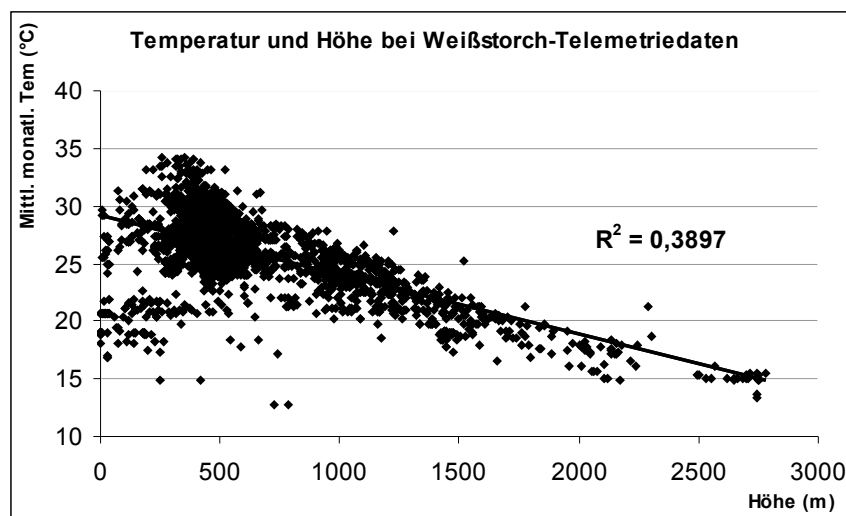
### **b) Vergleich der Rast- und Zugdaten mit zufallsverteilten Punkten**

Wiederum wurde ein Vergleich mit Zufallspunkten durchgeführt, um die These möglicher Präferenzen zu stützen. Er ergab höchst signifikante Unterschiede sowohl bei Rast- als auch Zugdaten in allen untersuchten Faktoren ( $p \leq 0,05$ ). Die Unterschiede sind dabei zumeist noch deutlicher als zwischen Rast- und Zugdaten. Die Tabelle 12 zeigt die jeweiligen Mittelwerte der Rast-, Zug- und Zufallspunkte.

**Tabelle 15:** Mittelwerte der untersuchten ökologischen und anthropogenen Faktoren. Die angegebenen Signifikanzniveaus (siehe Kap. 2.11) gelten jeweils für den durchgeführten U-Test im Vergleich mit Zufallspunkten.

<b>Faktor</b>	<b>Rastdaten der Weißstörche (n=1643)</b>	<b>Zugdaten der Weißstörche (n=795)</b>	<b>Zufallspunkte (n=2280)</b>
Tmean	26,2° C ***	25,9° C ***	23,2° C
Tmin	18,2° C ***	18,3° C ***	16,1° C
Prec	29,2 mm ***	39,8 mm ***	47,7 mm
DEM	588,7 m ***	649,3 m ***	718,1 m
Human Footprint	23,2 ***	20,7 ***	16,1

Im Gegensatz zum Vergleich innerhalb der Weißstorchdaten können hier auch signifikante Unterschiede zwischen den erreichten Niederschlags- und Temperaturwerten (Prec, Tmin und Tmean) gezeigt werden. Weiterhin ist auch großer Unterschied in der erreichten mittleren Höhe zu sehen (Unterschied der Rast- zu den Zufallspunkten beträgt rund 130 m). Da die Temperatur mit der Höhe korreliert (siehe Abbildung 67), ist hiermit auch der Unterschied in den Temperaturwerten zu erklären. Dieser fällt bei Rast- und Zugpunkten möglicherweise nicht so stark ins Gewicht, da der Höhenunterschied wesentlich geringer ist (rund 60 m).



**Abbildung 67:** Zusammenhang zwischen der jeweiligen mittleren monatlichen Temperatur und der Höhe für alle Weißstorch-Telemetriedaten. Dieser Zusammenhang ist mit  $p < 0,001$  (lineare Regression) höchst signifikant.

Auch der Wert für den *Human Footprint* differenziert sich deutlich zwischen Weißstorchpositionen und zufallsverteilten Punkten. Viele Zufallspunkte liegen in der Sahara, wo zumeist ein Footprintwert zwischen 0 und 9 erreicht wird (SANDERSON, JAITEH et al. 2002), Weißstorchdaten konzentrieren sich hingegen in landwirtschaftlich genutzten Gebieten mit weitaus höheren Footprintwerten. Dieses Ergebnis ist wenig überraschend, da der Weißstorch ein Kulturfolger ist



und folglich auch anthropogen beeinflusste Räume nutzen kann.

Auch für den mittleren Niederschlag liegen deutliche Unterschiede vor. Dieser liegt bei den Zufallspunkten mit rund 48 mm wesentlich höher als der erreichte Wert bei Rast- oder Zugdaten. Da eine Vielzahl von zufallsverteilten Punkten auch im westlichen Teil Afrikas liegt, wo die mittleren Niederschläge das ganze Jahr über hoch sind, werden bei diesen Daten höhere Niederschlagswerte erreicht. Für einen besser geeigneten Vergleich müsste eventuell die Untersuchungsfläche zur Generierung der Zufallspunkte noch genauer an die Verteilung der Weißstorchdaten angepasst werden (siehe Kap. 2.8.5).

**c) Auswertung von „Täglich“-Rastdatensätzen ausgewählter Störche**

Letztlich wurde auch hier analog zu den Kapiteln 3.1.9 und 3.2.2 ein Verschnitt auf Basis des „Täglich“-Datensatzes durchgeführt, welcher auch Positionen mit höherer fehlerhafter Abweichung enthalten kann. Da dieser „Täglich“-Datensatz nur relativ wenig Zugdaten enthält (siehe Kap. 3.1.9), wurden hier lediglich die Rastdaten ausgewertet, um einen Vergleich mit den vorangegangenen Ergebnissen auf Basis des „Tagesbeste“-Datensatzes zu ermöglichen. Doch auch die auswertbaren Rastdaten (alle Positionen in Afrika) repräsentieren mit 312 Datensätzen nur ein fünftel des Rastdatensatzes aus „Tagesbeste“.

Der statistische Vergleich mit NDVI-Daten zeigt höchst signifikante Unterschiede in den Ergebnissen der drei dekadischen NDVI-Werte. Tabelle 16 zeigt die jeweiligen berechneten Mittelwerte für den „Täglich“-Datensatz im Vergleich zum „Tagesbeste“-Gesamtdatensatz.

*Tabelle 16: Mittelwerte der untersuchten ökologischen und anthropogenen Faktoren für den „Täglich“-Datensatz. Die angegebenen Signifikanzniveaus (siehe Kap 2.11) gelten jeweils für den durchgeführten U-Test im Vergleich mit den Werten des „Tagesbeste“-Datensatzes. Datensätze ohne signifikanten Unterschied wurden als „nicht signifikant“ gekennzeichnet (n.s.).*

<b>Faktor</b>	<b>Rastdaten „Täglich“ (n=312)</b>	<b>Rastdaten „Tagesbeste“ (n=1643)</b>
NDVI 1. Dekade	0,289 ***	0,337
NDVI 2. Dekade	0,272 ***	0,354
NDVI 3. Dekade	0,256 ***	0,371
Tmin	18,3 (n.s.)	18,2
Tmean	27,3 ***	26,2
Prec	16,3 ***	29,2
DEM	602,3 ***	588,7

Auch in der Auswertung der Klima-Daten konnten für die mittlere monatliche Temperatur (Tmean) und den mittleren monatlichen Niederschlag höchst signifikante Unterschiede im Vergleich zum „Tagesbeste“-Datensatz gezeigt werden. Lediglich für Tmin (minimale monatliche Temperatur) konnte kein statistisch signifikanter Unterschied gefunden werden.

Es wird vermutet, dass der Unterschied beider Auswertungen mit der zum Teil sehr niedrigen Lokalisationsgenauigkeit zusammenhängt. Aber sicherlich wird auch der geringeren Datenumfang der Rastdaten (nur ausgewählte Storchrouten mit sonst schlechter Datenlage) im verwendeten

„Täglich“-Datensatz eine Rolle spielen, so dass kein repräsentatives Ergebnis vorliegt.

### 3.2.7 Generalized Linear Model als Test relevanter Faktoren auf das Rastverhalten

Neben dem Vergleich mit zufallsverteilten Daten wurde der Einfluss einzelner Faktoren auf das Rast- und Zugverhalten zusätzlich mithilfe eines Generalized Linear Model (GLM) getestet (siehe Kap. 2.11). Eine Auswahl der in den vorangegangenen Kapiteln untersuchten Parameter ging als unabhängige Parameter ein und wurden gegen die abhängige Variable „Status“ getestet, welche Rastdaten und zufallsverteilte Daten unterscheidet. Grundlage für die Durchführung des GLM waren also Rastdaten des Weißstorchs und Zufallsdaten, um schließlich die Erklärungswahrscheinlichkeit der eingegangenen Parameter für die Entscheidung zu einem Rastaufenthalt zu berechnen:

**Table 17:** Signifikanzniveaus der einzelnen Parameter, die als unabhängige Variablen in das Generalized Linear Model (GLM) des Weißstorchs eingingen. Unter „Richtung“ ist das Vorzeichen eingetragen, mit dem der jeweilige Parameter in das Modell eingeht. Bei einem Minuszeichen handelt es sich also um Parameter, die im Falle der Rastdaten eher gemieden werden, bzw. die bei Rastdaten kleinere Werte erreichen.

<i>Variable</i>	<i>Signifikanzniveau</i>	<i>Richtung</i>
NDVI 1. Dekade	***	+
Prec	***	-
DEM	***	-
Human Footprint	***	+
GLWD Klasse 1 (Seen)	*	-
GLWD Klasse 6 (Küstennahe Feuchtgebiete)	**	-
GLWD Klasse 9 (periodische Feuchtgebiete)	**	+

Das GLM bestätigt im Wesentlichen die Ergebnisse der vorangegangenen Auswertungen. Es unterstützt die These, dass ein hoher NDVI das Rastverhalten positiv beeinflusst. Bereits in Kapitel 3.2.5.f konnte ein deutlicher Unterschied zwischen Rast- und Zufallspunkten mit höheren NDVI-Werten bei den Rastdaten gezeigt werden. Das gleiche gilt für den Index des menschlichen Einflusses *Human Footprint*, welcher im GLM ebenfalls als höchst signifikanter Parameter positiv auf die Rastdatenverteilung wirkt. Dies wurde mit der einhergehenden Bevorzugung der Störche für landwirtschaftlich geprägte Gebiete begründet. Allerdings konnte das GLM keinerlei Signifikanzen für die entsprechenden GLC-Landbedeckungsklassen zeigen. Insgesamt geht keine der GLC-Klassen als signifikanter Faktor in das Modell ein.

Als „negativ“ beeinflussende Faktoren wurden hier mittlerer Niederschlag (Prec) und Höhe (DEM) identifiziert. Auch dies entspricht den vorangegangenen Ergebnissen (Kap. 3.2.5.b). So zeigt das Modell, dass die Rastdaten der Störche eher in Gebieten mit geringerer Höhe und geringerem mittleren Niederschlag liegen. Der scheinbare Widerspruch zu den bevorzugten erhöhten NDVI-Daten hängt mit der zeitverzögerten Reaktion der Vegetation auf Niederschlag zusammen. Dies

wird in Kapitel 4.2.1 ausführlicher diskutiert.

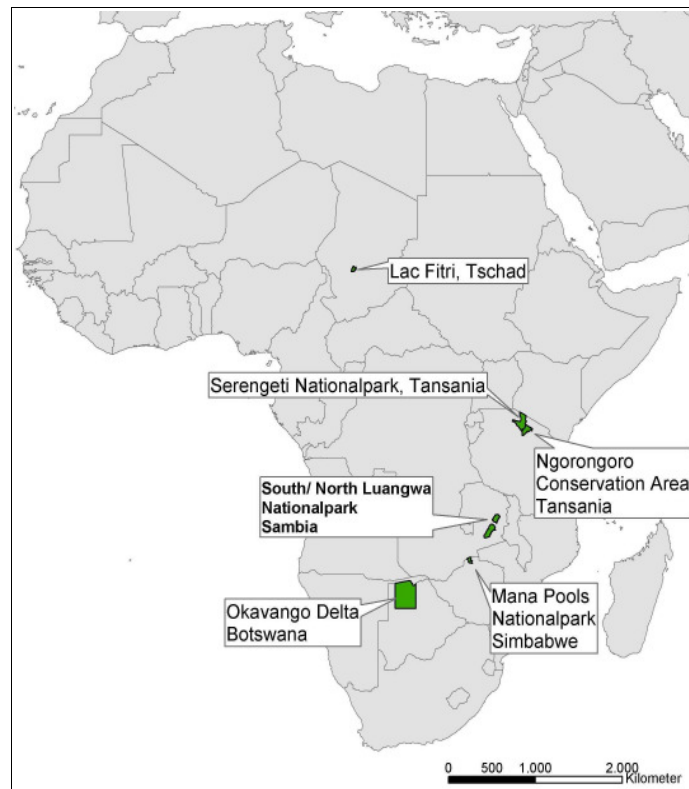
Von Wichtigkeit ist auch das Ergebnis der GLWD-Daten. Es zeigt eine Bevorzugung der Weißstörche für periodische Feuchtgebiete. Allerdings konnte das Modell nicht den starken Anteil der Rastdaten an Süßwassermarschen zeigen (vergleiche Kap. 3.2.4). Dieser ist also möglicherweise nicht signifikant unterschiedlich zu den zufallsverteilten Daten. Zudem zeigte sich eine Meidung der Vögel von Seen und küstennahen Feuchtgebieten. Tatsächlich liegen wesentlich mehr zufallsverteilte Punkte innerhalb solcher Feuchtgebietstypen (16 Punkte versus 4 Punkte bei Rastdaten). Dies hängt mit dem Zugverlauf der Störche zusammen, nur wenige Störche nähern sich den Küsten, dies ist allenfalls im südlichen Afrika der Fall. Die Rast bzw. Nahrungssuche der Störche in marinen Feuchtgebieten findet auch in der Literatur kaum Erwähnung (BÖHME 2002). Auch die Wahrscheinlichkeit, dass ein Datenpunkt innerhalb eines Sees liegt, ist sehr gering, da die Störche wenn überhaupt nur in der Nähe von Seen rasten. Bei den zufallsverteilten Punkten ist diese Wahrscheinlichkeit höher.

### 3.3 Weißstörche und Schutzgebiete in Afrika

Die Überlagerung aller Weißstorchpunkte („Tagesbeste“) mit Schutzgebieten zeigt, dass sich nur ein geringer Prozentsatz der Daten auf dem Gebiet nationaler bzw. internationaler Schutzgebiete befindet. Von den insgesamt 3186 Lokalisationen in Afrika befinden sich 285 innerhalb eines Schutzgebietes, davon 77 in Gebieten mit international anerkanntem Schutzstatus. Dies entspricht knapp 9 % bzw. 2,4 % des Gesamtdatensatzes. Unter den international anerkannten Schutzgebieten finden fünf Gebiete besondere Beachtung, da hier verschiedene Störche über einen längeren Zeitraum gerastet haben (Abb. 68). Zu diesen Gebieten gehören:

- Lac Fitri im Tschad, in dem vier verschiedene Störche in den Jahren 1995, 1997, 1998 und 1999 rasteten. Das Schutzgebiet liegt damit in denen als wichtige Rastgebiete identifizierten Regionen (siehe Kap. 3.1.5).
- Serengeti National Park und Ngorongoro Conservation Area im Norden Tansanias, in denen sechs Störche in den Jahren 1995, 1996, 2001 und 2003 rasteten. Auch dieses Gebiet wurden als wichtige Rastregion identifiziert.
- Mana Pools National Park im Norden Simbabwe mit Lokalisationen zweier Störche mit einem längerem Aufenthalt im Jahr 1999.
- Okavango Delta System im Norden Botswanas, in dem vier Störche in den Jahren 1997, 1999 und 2000 überwintert haben.

Die übrigen Lokalisationen verteilen sich auf Schutzgebiete nationaler Bedeutung, die sich vor allem entlang des ostafrikanischen Grabens konzentrieren und damit die Zugroute der Störche optimal abdecken. Allerdings genießen diese Gebiete einen sehr unterschiedlichen Schutzstatus. Während z.B. Nationalparke (National Park) oder „Nature Reserves“ klaren Definitionen der IUCN unterliegen (IUCN 1994), unterliegen andere Schutzgebiete wie „Controlled Hunting Area“, „Faunal Reserve“ oder „Game Management Area“ eher den nationalen Behörden und Definitionen, so dass ihr tatsächlicher Schutzstatus unklar ist.



**Abbildung 68:** Lage der Schutzgebiete mit längeren Rastaufenthalten von Störchen. Die Luangwa-Nationalparke fungieren zudem als Durchzugskorridor.

### 3.3.1 Luangwa Tal

Zusätzlich zu den oben genannten Schutzgebieten, spielt das Luangwa Tal in Sambia eine wichtige Rolle als Durchzugskorridor der nach Botswana und Südafrika ziehenden Störche (siehe Abb. 68). Entlang des Flusstals liegen drei Schutzgebiete (South- und North Luangwa National Park und Luambe National Park), welche von einem *Game Management Area* umgeben sind, in dem die natürlichen Habitate durch Landwirtschaft und Besiedelung eingeengt sind. Bereits SCHULZ (1988) erwähnte das Luangwa-Tal als wichtiges Rastgebiet der Weißstörche. Auch BirdLife International kategorisiert den Nord- und Süd-Luangwa Nationalpark als *Important Bird Area*.

Die Relevanz des Gebietes für Weißstörche wurde in GERKMANN, KAATZ et al. (submitted) erstmalig auf Basis der Telemetriedaten untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass das Tal zwar Rastaufenthalte der Störche aufweist, jedoch vor allem als wichtiger Durchzugskorridor mit „Zwischenhalten“ fungiert. Insgesamt konnten Daten von zehn besenderten Störchen ausgewertet werden, welche in einem Korridor von etwa 150 Kilometern das Tal durchquerten. Ein Storch rastet im Tal für einen etwas längeren Zeitraum (E 817: 02.-14.02. 1999), die meisten halten sich jedoch höchstens zwei Tage hier auf oder durchqueren das Tal lediglich, was im Schnitt etwa 3-4 Tage dauert. Die Habitate des Tals entlang des mäandrierenden Luangwa-Flusses setzen sich aus zahlreichen Sandbänken, periodischen Feuchtgebieten, Auen und flussbegleitendem Galeriewald zusammen. Im Umland finden sich über mehrere Höhenstufen Buschland, Savanne und verschiedene Waldtypen, im Norden auch Grasland. Entsprechend der Habitatvielfalt ist hier auch eine reiche Avifauna zu finden: Enten, Kraniche, Flamingos, Pelikane, Greifvögel, Geier und

schließlich auch alle in Afrika vertretenen Storcharten (LEONARD 2005).

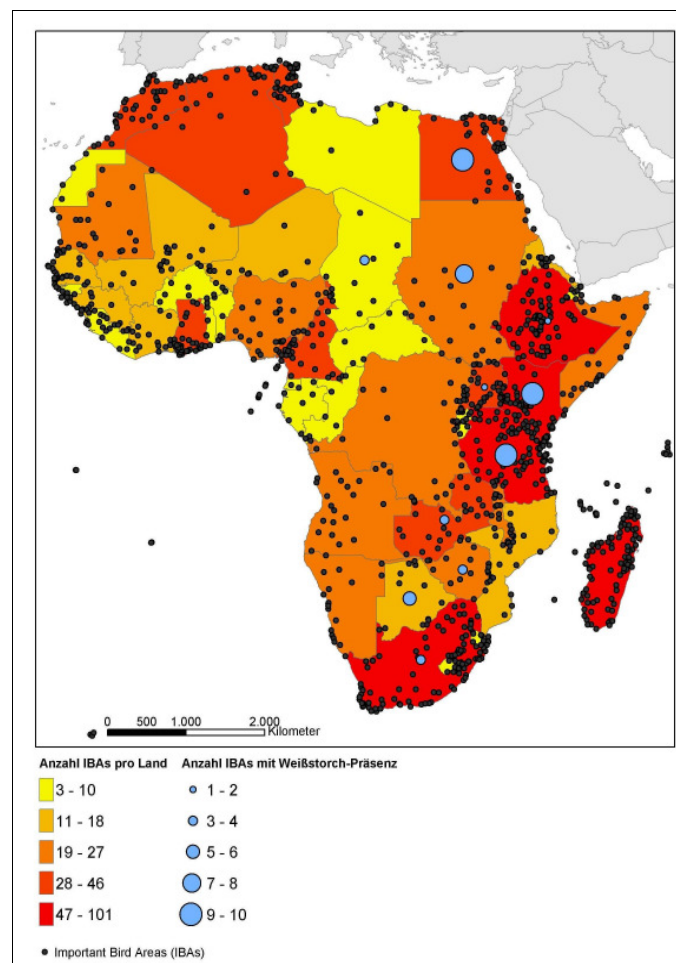
### 3.4 Weißstörche und Important Bird Areas (IBAs) in Afrika

Das *Important Bird Area Programme* in Afrika setzte sich für die Identifizierung, Dokumentation und den Schutz global wichtiger Gebiete für Vögel ein (FISHPOOL & EVANS 2001). Es handelt sich dabei um Gebiete unterschiedlicher Größe und Relevanz, kategorisiert in vier Gruppen, die nach verschiedenen Kriterien ausgewählt wurden:

- Gebiete, die signifikante Anzahlen global bedrohter Vogelarten beherbergen bzw. anderer Arten mit globaler Schutzwürdigkeit
- Gebiete, die signifikante Anzahlen von Vögeln mit begrenztem Verbreitungsgebiet beherbergen
- Gebiete, die signifikante Anzahlen von Vögeln beherbergen, deren Verbreitung auf ein Biom begrenzt ist
- Gebiete mit großen Ansammlungen von Vögeln (>1 % der Population einer kongregatorischen Wasservogelart, >1 % einer Seevogel-Population oder einer terrestrischen Art, >20.000 Wasservögeln oder >10.000 Seevogelpaare einer oder zweier Arten, „Flaschenhals“-Gebiet für wandernde Vogelarten) (aus den IBA-Kriterien in FISHPOOL & EVANS 2001).

Die Abbildung 69 zeigt die Lage und Verteilung der *Important Bird Areas (IBAs)* in Afrika. In unterschiedlichen Farben wurde die Anzahl der IBAs je Land dargestellt, die Länder in Rot beinhalten zwischen 49 und 101 Gebieten. Die Muster zeigen deutlich eine Ungleichverteilung: besonders viele Gebiete finden sich entlang der ostafrikanischen Zugroute (Ägypten, Äthiopien, Kenia, Tansania, Sambia). Zudem liegen viele IBAs an den Küsten, insbesondere in Westafrika. Wenige Gebiete sind im zentralen und saharischen Afrika zu finden. Fraglich ist, ob die Muster dieser Verteilung zum Teil auch ein Resultat des unterschiedlichen Erforschungsgrades sein können. Die Überlagerung der Weißstorch-Telemetriedaten („Tagesbeste“) mit den IBAs zeigt, dass sich in fast allen Ländern der Zugroute Weißstörche in solchen Gebieten aufgehalten haben. In Ländern wie Tansania und Kenia wurden in zehn verschiedenen IBAs Weißstorch-Aufenthalte gefunden. Während in Kenia davon in sieben Gebieten auch Rastdaten liegen, weisen in Tansania lediglich zwei Gebiete Rastdaten auf. Viele IBAs mit Weißstorch-Daten liegen auch in Ägypten (9), im Sudan (8) und in Botswana (6), davon weisen jeweils drei Gebiete auch Rastdaten auf.

Vergleicht man dieses Ergebnis mit den Erkenntnissen zur Lage wichtiger Rastgebiete, zeigt sich, dass die IBAs zumindest zu einem Teil die wichtigen Weißstorch-Rastregionen abdecken: In Kenia und Tansania, wo wichtige Rast- und Durchzugsgebiete des Weißstorchs liegen, wurden auch zahlreiche *Important Bird Areas* identifiziert. Dies gilt auch für den Sudan und Botswana mit Weißstorch-Rastgebieten. In anderen Ländern, wie beispielsweise dem Tschad wäre eine größere Überschneidung zu erwarten gewesen. Doch Weißstorchdaten sind lediglich in drei IBAs zu finden („Lake Fitri“, in „Ouadi Rimé--Ouadi Achim“ und im „Zakouma National Park“). Tatsächlich erwähnen FISHPOOL & EVANS (2001) für den Tschad ein weiteres IBA, welches nicht auf die Liste wichtiger Vogelgebiete aufgenommen wurde, aber regelmäßig große Ansammlungen von Weißstörchen beherbergt (Lake Iro). Insgesamt ist die Zahl der IBAs im Tschad mit acht im Vergleich zu seiner Größe recht gering. Nicht auf den typischen Durchzugsrouten gelegen, scheinen sich die Vögel im Tschad auf die wenigen Seenbiotope zu konzentrieren. In Botswana zeigt sich



**Abbildung 69:** Ausgewiesene Important Bird Areas (IBAs) in Afrika: die gelb-roten Farbabstufungen markieren die Anzahl der IBAs je Land, die blauen Punkte die Anzahl der IBAs mit Weißstorch-Aufenthalten.

hingegen eine bessere Übereinstimmung: In sechs der zwölf beschriebenen IBAs finden sich Telemetriedaten, davon die Hälfte auch mit Rastdaten („Makgadikgadi Pans“, „Okavango Delta“ und „Mannyelanong Hill“).

Südafrika führt die Liste der IBAs mit insgesamt 101 beschriebenen Regionen an. Dennoch finden sich in lediglich drei Gebieten Weißstorchdaten („Langeberg Mountains“, „Swartberg Mountains“ und „Platberg-Karoo Conservancy“). Dies ist sicherlich auch zu einem Teil auf die geringe Präsenz von Weißstorchdaten in Südafrika zurückzuführen.

Für insgesamt 10 *Important Bird Areas* konnten vermehrte oder längeren Weißstorch-Aufenthalte nachgewiesen werden, dabei wurden auch Aufenthalte in unmittelbarer Nähe der Gebiete berücksichtigt:

*Tabelle 18: Important Bird Areas mit längeren oder vermehrten Weißstorch-Aufenthalten.*

<i>Name des IBA</i>	<i>Land</i>	<i>Innerhalb einer wichtigen Rastregion (siehe Kap. 3.1.5)</i>
Lake Ngami	Botswana	Ngamiland
Lake Fitri	Tschad	Fitri
Bitter Lakes	Ägypten	-
Lake Nakuru National Park	Kenia	Mau Forest
Mau Forest Complex	Kenia	Mau Forest
Lake Abiad	Sudan	-
Ngorongoro Conservation Area	Tansania	Nähe zu Serengeti
Serengeti National Park	Tansania	Serengeti
Lower Zambezi National Park	Sambia	Nähe zu Lake Kariba
South Luangwa National Park	Sambia	-

Wiederum liegen viele dieser IBAs im östlichen Afrika, insbesondere in Kenia und Tansania, höchstwahrscheinlich bedingt durch die hohe Anzahl von IBAs im Land insgesamt. Die sechs in Kapitel 3.1.5 identifizierten wichtigen Rastgebiete der Weißstörche im Tschad und Sudan überschneiden sich hingegen lediglich mit je einem *Important Bird Area*.

Zu beachten ist hierbei auch die unterschiedliche Größe der IBAs. In nahezu allen Ländern des östlichen subsaharischen Afrikas liegen IBAs mit einer Größe zwischen 700.000 und 8 Millionen ha. Besonders viele von diesen größten Gebieten liegen im Kongo (8), im Sudan (6), in Botswana (6) und in Tansania (zum Beispiel Serengeti Nationalpark, insgesamt 5). Diese Länder weisen schließlich auch viele Weißstorchdaten auf, so dass in Tansania beispielsweise die Wahrscheinlichkeit recht hoch ist, Weißstorchdaten innerhalb eines IBAs zu finden.

Kurze Erläuterung der aufgeführten IBAs:

Das IBA „Lake Fitri“ im Tschad, ist – genauso wie der Tschadsee – von großer Bedeutung für palaearktische Wasservögel und zählt daher auch zu den RAMSAR-Gebieten (während der RAMSAR-Konvention 1971 als wichtiges Feuchtgebiet identifiziertes Gebiet, siehe auch Kapitel 3.4.1). Auch Weißstörche suchten das Gebiet mehrmals in unterschiedlichen Jahren auf. Der See hat in normalen Jahre eine Ausdehnung von ca. 50.000 ha, kann in feuchten Jahren aber doppelt oder dreimal so groß werden. In sehr regenarmen Jahren kann es jedoch zur Austrocknung kommen, so wie es 1991 zum Beispiel der Fall war (SCHOLTE & ROBERTSON 2001) Die Präsenz von Störchen wird in der IBA-Beschreibung nicht explizit hervorgehoben.

Nördlich der „Bitter Lakes“ in Ägypten rastete ein Storch über einen längeren Zeitraum. Die Seen liegen am Suezkanal und wurden durch den Bau des Kanals mit dem Mittelmeer verbunden, so dass die einstige Salinität abnahm und die Seen an Größe zunahmen. Im Westen der Seen wird das Land als Kulturland genutzt (BAHA EL DIN 2001). Die Präsenz von Störchen wird in der IBA-Beschreibung nicht explizit hervorgehoben.

In Kenia wurden insgesamt zwei IBAs länger oder vermehrt von Störchen aufgesucht. Genau zwischen den benachbarten IBAs „Lake Nakuru“ und „Mau Forest“ rastete ein Storch über einen länge-

ren Zeitraum. Bei dem „Lake Nakuru National Park“ handelt es sich um eine flaches Seenbecken, welches permanent mit Wasser gefüllt und von Busch- und Grasland umgeben ist. Der „Mau forest complex“ liegt im südwestlichen Hochland Kenias und bildet den größten verbleibenden Rest des heimischen Bergwaldes Ostafrikas. Die Umgebung dieses Gebietes wird intensiv landwirtschaftlich genutzt und weist eine recht hohe Bevölkerungsdichte auf (BENNUN & NJOROGE 2001). Die Präsenz von Störchen wird in der IBA-Beschreibung nicht explizit hervorgehoben .

In direkter Nachbarschaft zum „Lake Abiad“ im zentralen Sudan hielt sich ein Storch über einen längeren Zeitraum auf. Im Gebiet liegt ein permanenter See, welcher von offener Savanne umgeben ist. Die Präsenz von Störchen wird in der IBA-Beschreibung nicht explizit hervorgehoben.

In Tansania wurden die benachbarten IBAs „Ngorongoro Conservation Area“ und „Serengeti National Park“ von verschiedenen Störchen in verschiedenen Jahren aufgesucht. Ersteres IBA liegt im vulkanischen Hochland im Nordwesten Tansanias. Während die höheren Abschnitte von Bergwald dominiert werden, formen Feuchtgebiete, Akazien-Buschland und Grasland das Tiefland. BAKER & BAKER (2002) erwähnen die besondere Bedeutung der Graslandgebiete für Weißstörche, die hier saisonal in großen Anzahlen rasten. Der Serengeti Nationalpark ist Teil des ostafrikanischen Zentralplateaus. Dominierende Vegetationstypen sind Grasland und Akazien-Dornbusch. Der Park beinhaltet zwar wenige Feuchtgebiete, doch gibt es zahlreiche Regenwasser-Tümpel (BAKER & BAKER 2001). Die Präsenz von Störchen wird in der IBA-Beschreibung nicht explizit hervorgehoben.

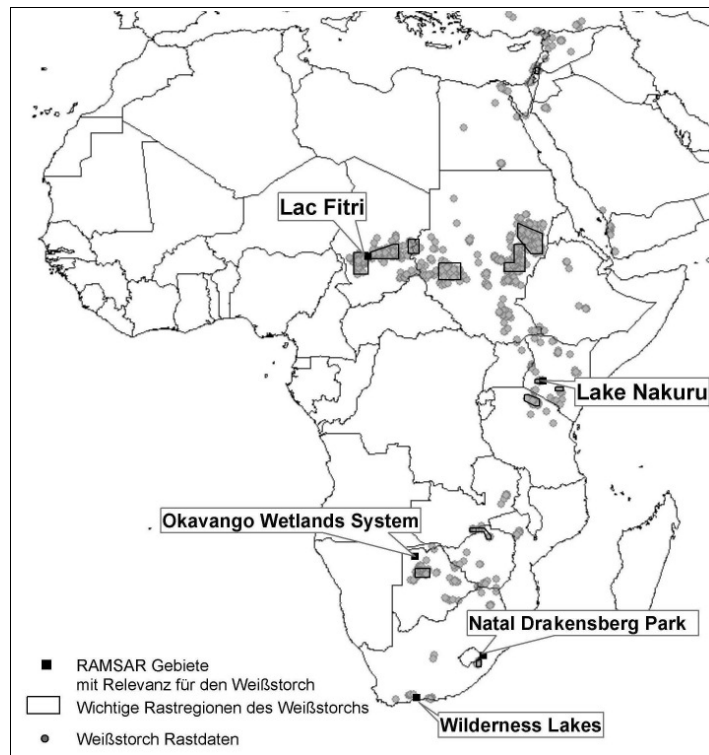
Südlich des IBAs „Lower Zambezi National Park“ in Sambia rastete ein Storch über einen längeren Zeitraum. In diesem Gebiet dominiert Miombo-Buschland und flussgeleitender Galeriewald des Zambesi-Flusses (LEONARD 2001). Auch im und am Rande des „South Luangwa National Parks“ rasteten verschiedene Störche während ihres Durchzugs. Der Nationalpark beinhaltet flussbegleitenden Auwald, Busch- und Grasland. Die Bedeutung des Parks für Störche wurde bereits im Kapitel 3.3.1 beschrieben. Die Checkliste in LEONARD (2001) bestätigt die Präsenz von Störchen in beiden IBAs.

### 3.4.1 RAMSAR Gebiete und wichtige Rastgebiete für Wasservögel

Neben der Lokalisierung von wichtigen Gebieten für Vögel (IBAs) wurde im iranischen Ramsar 1971 die „*Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat*“ verabschiedet, welche heute nur noch als „RAMSAR-Konvention“ bezeichnet wird und die Ausweisung und den Schutz wichtiger Feuchtgebiete, insbesondere für Wasservögel zum Ziel hat (zu den Kriterien siehe Kap. 2.10.4). Eine Affinität der Weißstörche, welche offiziell ebenfalls zu den Wasservögeln zählen, besteht zu solchen Feuchtgebieten allerdings nur geringfügig. Nur zwei RAMSAR-Gebiete liegen innerhalb der in der vorliegenden Arbeit identifizierten wichtigen Rastregionen (siehe Kap. 3.1.5): „Lac Fitri“ im Tschad, welches im Nordosten der Rastregionen Fitri liegt und bereits unter den *Important Bird Areas* genannt wurde (siehe Abschnitt 3.4 und Abb. 70). Der Fitrisee ist von großer Bedeutung für überwinterrnde palaearktische Wasservögel, insbesondere in Zeiten mit niedrigem Niederschlag oder Dürre. Innerhalb der Rastregion Mau Forest in Kenia liegt das RAMSAR-Gebiet „Lake Nakuru“, ein See dessen umgebendes Grasland und angrenzende Marschen ein wichtiges Refugium für ca. 33 Wasservogelarten darstellt und ebenfalls als IBA ausgewiesen wurde (RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS 2000). Diese Region ist



zudem auch als ein wichtiges Rastgebiet für Wasservögel nach SCOTT & ROSE (1996) ausgezeichnet (siehe Kap. 2.10.4). Weitere RAMSAR-Gebiete, in deren Nähe auch Weißstorch-Rastdaten liegen, sind „Natal Drakensberg Park“, „Wilderness Lakes“ in Südafrika und das „Okavango Wetland System“ in Botswana. Aufgrund der Entfernung zwischen Telemetrydaten und RAMSAR-Gebieten kann jedoch nicht mit Sicherheit von einer Nutzung dieser Gebiete durch die Störche ausgegangen werden.



*Abbildung 70: Lage von RAMSAR-Gebieten, die innerhalb oder in der Nähe wichtiger Rastregionen der Weißstörche liegen.*

### 3.5 Analyse der Schreiadler-Telemetriedaten

Wie bereits in Kapitel 1.1 beschrieben, war ein Ziel dieser Arbeit die Entwicklung neuer Methoden zur Auswertung von Telemetrie- und Satellitendaten. Dazu zählen der bereits vorgestellte Index zur Bestimmung der Rast- und Zugdatensätze, sowie die Habitatanalysen mithilfe der GLC-Daten und NDVI-Bilder. Die Ergebnisse der Anwendung an Weißstorch-Telemetriedaten konnte dabei mit zahlreichen Erkenntnissen der Literatur verglichen und bewertet werden.

In einem zweiten Schritt wurde die Methodik nun an den Telemetriedaten einer weiteren – weniger gut erforschten – Vogelart angewandt, um neue Erkenntnisse zu deren Habitatwahl und ihrem Zugverlauf zu erlangen.

#### 3.5.1 Telemetriedaten des Schreiadlers nach der Aufbereitung und Berechnung des Distanzen-Index $I_{dist}$

Der Telemetriedatensatz des Schreiadlers wurde analog zu den Weißstorch-Telemetriedaten aufbereitet, so dass in die nachfolgenden Auswertungen ebenfalls nur Lokalisationen geringer fehlerhafter Abweichung und je einer Lokalisation pro Tag („Tagesbeste“) eingingen (siehe Kap. 2.3). Aufgrund des wesentlich geringeren Datenumfangs beim Schreiadler (Auswertung von zwei besenderten Individuen) enthält dieser „Tagesbeste“-Datensatz nur 152 Positionen. Diese Positionen bildeten die Grundlage zur Klassifizierung der Rast- und Zugdaten nach dem Streckenindex  $I_{dist}$ .

Insgesamt konnten 119 von den 152 Datensätzen klassifiziert werden (78 %), davon wurden 27 Positionen als Zugdatensatz (gerichtete Bewegung) und 92 als Rastdatensatz (ungerichtete Bewegung) klassifiziert. Die Dominanz von Rastdatensätzen ist auf die gewählten Zeiträume zurückzuführen, aus denen die eingegebenen Daten stammen (siehe Kap. 2.3).

#### 3.5.2 Lage der Rastgebiete nach $I_{dist}$

Da in der vorliegenden Arbeit Daten von lediglich zwei Schreiadlern ausgewertet werden konnten, ist für die aufgeführten Rastgebiete unklar, welche Bedeutung sie für die Art insgesamt haben. In allen Fällen wurden die Gebiete nur jeweils von einem Adler aufgesucht, zum Teil aber auch in verschiedenen Jahren (z.B. W-Simbabwe).

Rastgebiete des Schreiadlers mit den Sendernummern 28000/ 6970:

##### 1. „W-Tansania“

Das Rastgebiet liegt ca. 100 Kilometer östlich des Tanganyikasees (siehe Abb. 71). Der Vogel rastet hier vom 31.10. bis zum 04.11.1997. Die Positionen des 3. und 4. Novembers konnten zwar nicht eindeutig als Rast klassifiziert werden, wurden hier jedoch ebenfalls in den Rastzeitraum eingeschlossen, da der Vogel erst am 5.11. das Gebiet verlässt. Alle Positionen liegen in einem sehr eng begrenzten Gebiet von weniger als 20 Kilometer Durchmesser.

##### 2. „Lukanga-Swamp“

Im zentralen Sambia liegt das Rastgebiet „Lukanga Swamp“, welches nördlich an das gleichnamige *Important Bird Area* (LEONARD 2005) angrenzt (siehe Abb. 73). Der Schreiadler rastet hier für fünf Tage vom 15. bis zum 19.11. 1997.

### 3. „Kabwe“

Nach Verlassen des Rastgebietes „Lukanga Swamp“ rastet der Schreiadler rund 139 Kilometer weiter südöstlich in einem relativ eng begrenzten Gebiet (ca. 250 km<sup>2</sup>), welches zwischen den Städten Kabwe und Lusaka liegt (siehe Abb. 73). Dieses Gebiet sucht der Schreiadler wiederholt in drei verschiedenen Jahren auf, allerdings nur mit einem längeren Rastaufenthalt vom 22.11. - 02.12.1997. Zwei weitere Positionen stammen vom 10.12.1998 und vom 02.03.1999, wobei es sich hierbei nicht um Rastaufenthalte handelt.

### 4. „Kafue-Flats“

Schließlich sucht der Schreiadler noch ein drittes Rastgebiet in der Nähe der Kafue-Niederung in Sambia und des gleichnamigen *Important Bird Area* auf (siehe Abb. 73). Auch hier kommt es zu einem längeren Rastaufenthalt vom 04.12. - 30.12.1997 und drei weiteren Durchzügen am 14.12.1998, 12.01.1999 und 07.02.1999. Möglicherweise hält der Schreiadler sich auch zwischen dem 14.12. und dem 07.02. und länger im selben Gebiet auf. Dies bleibt jedoch unklar, da nur wenige Koordinaten aus diesem Zeitraum existieren. Unter Hinzunahme weiterer Positionen mit größerer fehlerhafter Abweichung als im „Tagesbeste“-Datensatz finden sich im Gebiet und dessen Umkreis weitere Koordinaten am 17.12.98, 01.01.99, 27.01.99 und 26.02.99. Dies lässt auf einen durchgehenden Aufenthalt vom 14.12.1998 – 26.02.1999 schließen. Das Gebiet ist nach der RAMSAR-Konvention als artübergreifendes wichtiges Feuchtgebiet ausgezeichnet (RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS 2000).

Rastgebiete des Schreiadlers mit der Sendernummer 27999:

#### 1. „Gezira“

Dieses Rastgebiet liegt – entsprechend der gleichnamigen Rastregion der Weißstörche – in der fruchtbaren Region zwischen dem Weißen und Blauen Nil im Sudan (siehe Abb. 72). Der Aufenthalt des Schreiadlers dauert hier mindestens vier Tage, vom 18. bis 21.11.1998 und ist auf ein sehr kleines Gebiet von ca. 120 km<sup>2</sup> begrenzt. Zudem sind noch Positionen bis einschließlich zum 24.11. vorhanden, erst am folgenden Tag verlässt der Schreiadler das Gebiet.

#### 2. „Luangwa“

Im Norden des „South Luangwa Nationalparks“, welcher als *Important Bird Area* ausgewiesen ist (LEONARD 2001), liegt das Rastgebiet Luangwa (siehe Abb. 73). Der Schreiadler legt hier eine längere Rast im Zeitraum 25.11.-22.12.1997 bzw. bis zum 27.12.1997 ein. Die Koordinaten zwischen dem 22.12. und 27.12. haben zwar eine höhere fehlerhafte Abweichung, liegen aber ebenfalls mit Ausnahme zweier Positionen mit sehr großer fehlerhafter Abweichung im selben Rastgebiet. Damit diente das Luangwa-Tal über einen Monat als Rastgebiet.

#### 3. „W-Simbabwe“

Im Grenzgebiet Simbabwe-Botswana liegt dieses Rastgebiet (Abb. 74), welches der Schreiadler insgesamt zweimal aufsucht. Im Jahr 1998 rastet der Vogel vom 05.01. bis zum 08.01., verlässt dann das Gebiet und kehrt am 13.01. zurück, um es gleich am darauf folgenden Tag wieder zu verlassen. Am Ende des Jahres rastet der Vogel hier noch einmal im Zeitraum 23.12.1998 – 01.01.1999.

4. „Krüger-NP“

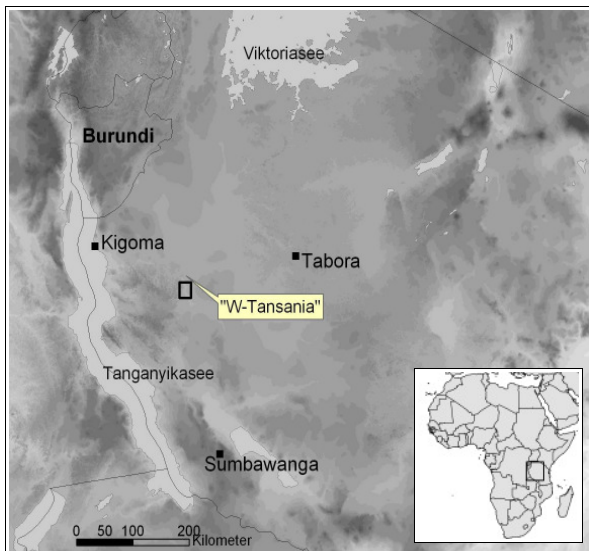
Vom 12.02.-20.02.1998 rastet der Schreiadler im Krüger Nationalpark in Südafrika (siehe Abb. 74). Am 21.02. tritt der Vogel seinen Heimzug an, rastet aber auch hier immer wieder für einige Tage.

5. „Gonarezhou“

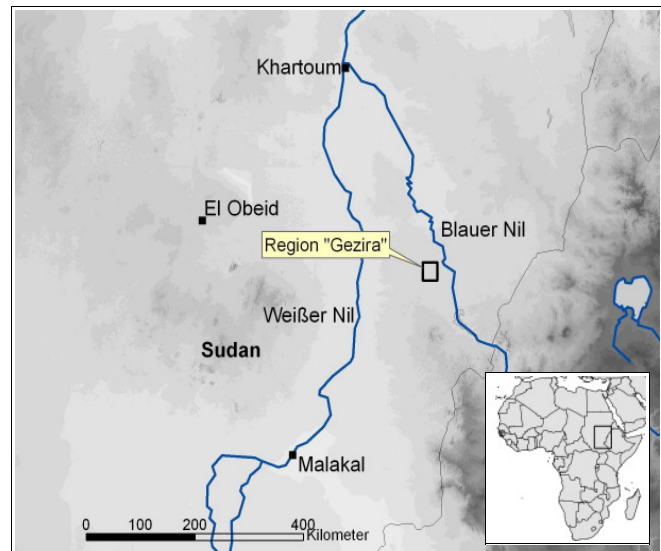
Dieses Rastgebiet liegt – wie oben erwähnt – auf dem Heimzug des Schreiadlers (siehe Abb. 74). Er rastet hier in einem sehr eng begrenzten Gebiet von ca. 18 km<sup>2</sup> Größe vom 25.02.-03.03.1998.

6. „Mosambique“

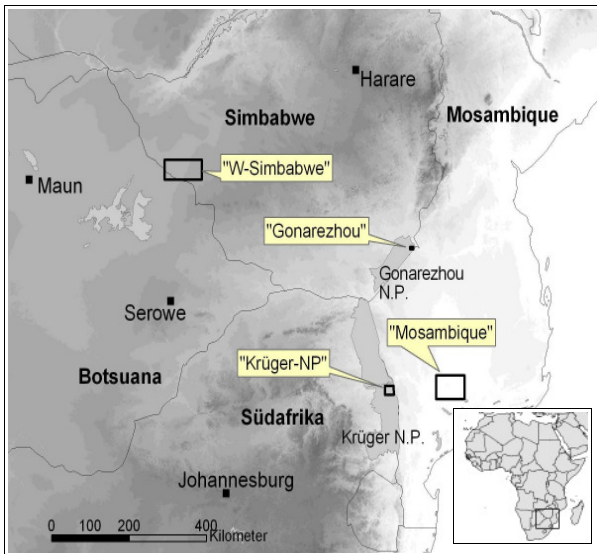
Rund 100 km östlich des Krüger Nationalparks liegt dieses Rastgebiet, welches das östlichste Rastgebiet beider besenderter Schreiadler ist (siehe Abb. 74). Schreiadler „27999“ rastet hier für gut zwei Wochen vom 12.01.-26.01.1999. Da die Telemetriedaten nur bis zu diesem Datum reichen, ist unklar, ob der Vogel noch länger in diesem Gebiet verbleibt oder sich wieder auf den Heimzug begibt.



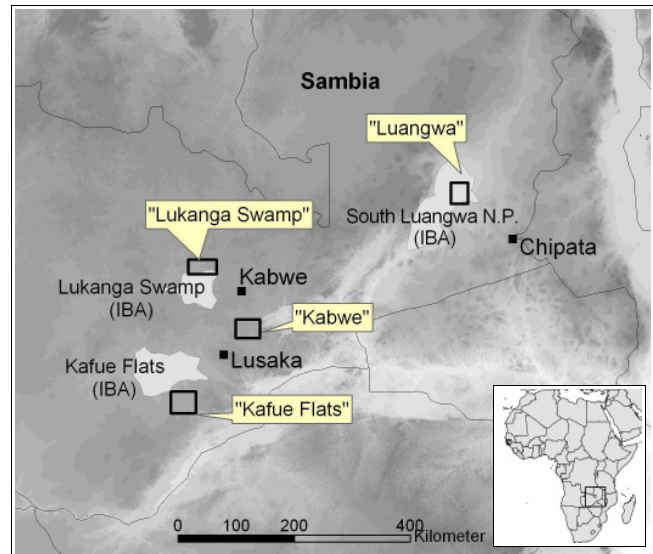
**Abbildung 71:** Lage des Rastgebietes "W-Tansania", in dem der Schreiadler 28000 im November 1997 rastete.



**Abbildung 72:** Lage des Rastgebietes "Gezira" im Sudan, in dem der Schreiadler 27999 im November 1998 rastete.



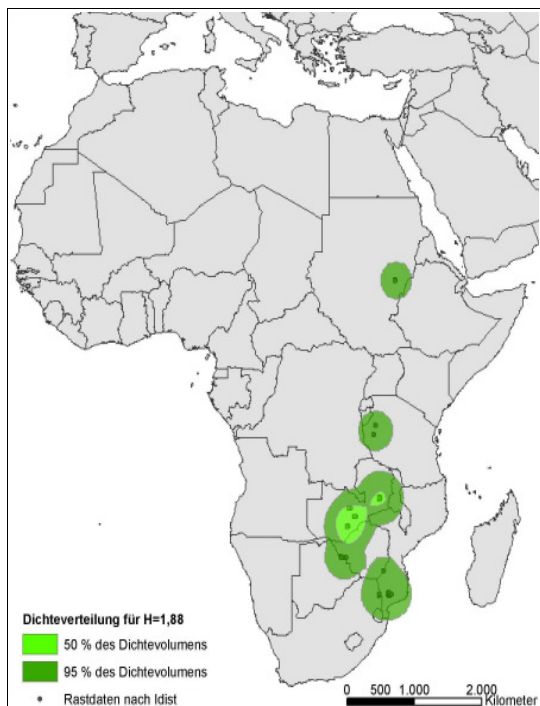
**Abbildung 73:** Lage der Rastgebiete "W-Simbabwe", "Gonarezhou", "Krüger-NP" und "Mosambique" des Schreiadlers 27999.



**Abbildung 74:** Lage der Rastgebiete "Lukanga-Swamp", "Luangwa", "Kabwe" und "Kafue-Flats" der Schreiadler 28000 und 27999.

### 3.5.3 Lage bedeutender Rastgebiete nach der Kernel-Homerange-Analyse

Die Berechnung des Streifgebietes für die beiden Schreiadler basiert ebenfalls auf den nach  $I_{dist}$  bestimmten Rastdaten, um auf diese Weise die Lage wichtiger Rastregionen zu lokalisieren (Abb. 75).



**Abbildung 75:** Berechnung der Lage von wichtigen Rastregionen nach der Kernel-Homerange Methode auf Basis aller Schreiadler-Rastdaten. Hauptkonzentrationspunkt von Rastdaten liegt in Sambia.

Im Gegensatz zum Weißstorch liegen die häufigsten Ansammlungen von Rast-Lokalisationen im südöstlichen Teil von Afrika. Wichtigste Gebiete mit 50 % des Dichtevolumens wurden im südlichen Sambia und nördlichen Simbabwe lokalisiert (zur Methodik der Kernel-Homerange Analyse siehe Kapitel 2.5.4.b). Ein weiteres Gebiet mit zahlreichen Lokalisationen liegt im Grenzgebiet von Südafrika und Mosambique. Letztlich wurden zwei weitere Gebiete im Ost-Sudan und in West-Tansania lokalisiert.

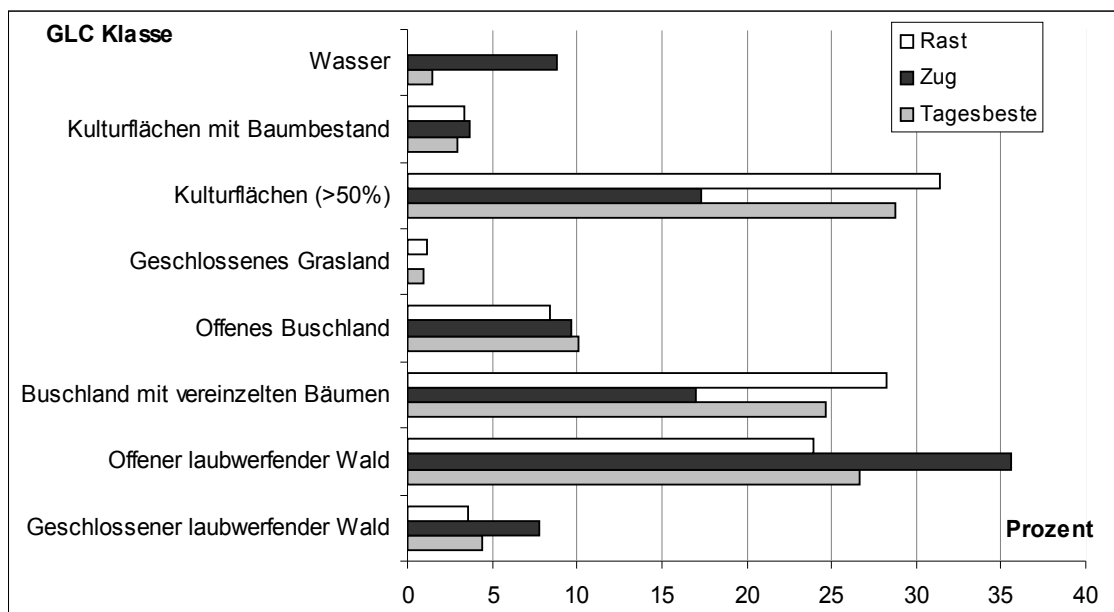
Für die Ergebnisse der Kernel-Homerange-Analyse gilt Ähnliches wie für die entsprechende Auswertung der Weißstorch-Telemetriedaten: Die hier lokalisierten Streifgebiete decken alle zuvor lokalisierten wichtigen Rastregionen ab (siehe Kap 3.5.2). Allerdings sind die berechneten Streifgebiete mit dem adhoc-Wert für H (siehe Kap. 2.5.4.b) zu groß, so dass eine genauere Eingrenzung der Rastregionen nicht möglich ist. Für diesen Zweck müsste der adhoc-Wert wiederum manuell angepasst werden. Deutlich wird in dieser Methode allerdings sofort die Konzentration der

Schreiadler-Lokalisationen in Sambia, wo auch vier der oben beschriebenen wichtigen Rastregionen liegen. Da es sich hier lediglich um Lokalisationen zweier Individuen handelt, ist die fortgeführte Auswertung weiterer Telemetriedaten von äußerster Wichtigkeit, um die Relevanz des Gebietes bestätigen zu können.

### 3.6 Kombination mit Fernerkundungsdaten

#### 3.6.1 Genutzte Habitate nach GLC 2000

Die grauen Balken in Abb. 76 zeigen die prozentualen Flächenanteile der einzelnen GLC-Klassen an der Gesamtfläche der gepufferten Lokalisationen (siehe Kap. 2.8.2). Berücksichtigt wurden alle Datensätze einschließlich der nicht klassifizierten („Tagesbeste“). Es ist deutlich zu erkennen, dass im Wesentlichen drei unterschiedliche Habitate aufgesucht werden: Kulturflächen bilden mit rund 28,8 % den größten Anteil, gefolgt von natürlichen Habitaten wie Offener laubwerfender Wald (26,6 %) und Buschland mit vereinzelt Bäumen (24,7 %). Zu einem geringeren Anteil dienen auch Offenes Buschland (rund 10 %) und Geschlossener laubwerfender Wald als Habitate der Schreiadler (4,4 %). Weitere Habitate werden weniger häufig aufgesucht und weisen daher nur geringe Flächenanteile auf (Geschlossenes Grasland mit 0,97 %, Kulturflächen mit Baumbestand mit 2,98 % und Wasser mit 1,5 %).



**Abbildung 76:** Allgemeine Habitatnutzung beim Schreiadler (Gesamt Datensatz „Tagesbeste“ in grau) und aufgeschlüsselt nach Rast (weiß) und Zug (schwarz). Die Balken stellen die prozentualen Anteile der jeweiligen Klasse an der berücksichtigten Gesamtfläche der gepufferten Lokalisationen dar (zur Methodik siehe Kapitel 2.8.2).

Unterscheidet man bei dieser Auswertung die nach  $I_{\text{dist}}$  klassifizierten Zug- (schwarze Balken) und Rastdaten (weiße Balken), zeigen sich in einigen Klassen Unterschiede. Eine Vielzahl der Rastdaten liegt auf Kulturflächen und in Buschland mit vereinzelt Bäumen, daher erreichen diese beiden Klassen auch die höchsten Flächenanteile (rund 31 % bzw. 28 %). Weiterhin von Bedeutung scheint Offener laubwerfender Wald zu sein, da auch hier der prozentuale Flächenanteil mit 23,9 % relativ

hoch ist. Die übrigen Habitats werden wesentlich seltener aufgesucht und liegen unter 4 % in der anteiligen Flächennutzung, lediglich für Offenes Buschland wird noch ein höherer Flächenanteil von 8,4 % erreicht.

Aus den Zugdaten ergibt sich eher eine Präferenz für Offenen laubwerfenden Wald (35,6 %). Doch auch hier werden Kulturflächen (17,3 %) und Buschland mit vereinzelt Bäumen (17,0 %) häufiger aufgesucht. Die GLC-Klasse Wasser ist hier ebenfalls mit 8,7 % Flächenanteil vertreten. Allerdings handelt es sich dabei um einen Ausreißer, da die Position selbst mit der gepufferten Fläche noch vollständig im Wasser liegt. Die Position hat möglicherweise eine noch größere Abweichung, als die nach KAATZ (1999) berechnete, da eine Bodenposition auf einer Wasserfläche unwahrscheinlich ist. Bei den angrenzenden Habitats handelt es sich um Offenen bzw. Geschlossenen laubwerfenden Wald, es sollte also von einer Nutzung eines dieser Habitats ausgegangen werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Schreiadler ebenso wie die Weißstörche Kulturflächen während der Rast aufsuchen. Zudem spielen Habitats mit geschlossener Vegetation wie Buschland und Waldhabitats eine Rolle. Im Gegensatz zu den Weißstörchen treten Grasland-Typen als genutztes Habitat völlig in den Hintergrund. Allerdings liegt der Umfang der Schreiadlerdaten weit unter dem der Weißstörche (insgesamt nur 152 Datensätze von zwei Schreiadler-Individuen), so dass diese Daten nicht unbedingt repräsentativ sein müssen.

Eine weitere Grafik (Abb. 77) zeigt die Zusammensetzung der Habitats in den einzelnen Rastregionen, die in Kapitel 3.5.2 beschrieben wurden. Größe und Umriss der Regionen wurden auf die von den Schreiadlern genutzten Gebiete beschränkt (Punkte inklusive der Pufferflächen), allerdings zwecks standardisierter Auswahl als rechteckige *Bounding Box* ausgewählt. Daher ist die dargestellte Habitatzusammensetzung lediglich eine Annäherung an das von den Adlern genutzte Gebiet.

Den Ergebnissen aus der Punktdatenauswertung entsprechend handelt es sich insgesamt nur um wenige Habitattypen. Allerdings unterscheiden sich die Gebiete je nach Lage zum Teil sehr stark in ihrer Zusammensetzung. Selbst benachbarte Gebiete wie Kabwe und Kafue Flats in Sambia (Abb. 73) weisen zwar die gleichen Habitattypen auf, jedoch in sehr unterschiedlichen Anteilen. Lediglich drei Regionen (Gezira, Kafue Flats und Krüger-NP, Abbildungen 72, 73 und 74) weisen zu einem großen Anteil (> 50 %) Kulturflächen auf, die Region Gezira ist dabei zur Gänze landwirtschaftlich genutztes Gebiet. Auch in den übrigen Gebieten gibt es mehr oder minder große Anteile von Kulturflächen, allerdings dominieren hier andere Habitats. In vier Regionen ist dies Offener laubwerfender Wald (41 % in Gonarezhou, 62 % in Mosambique, 73 % in W-Tansania und 53 % in W-Simbabwe, Abb. 71 und 74). Im Gebiet Luangwa in Sambia (Abb. 73) erreicht auch das Habitat Buschland mit vereinzelt Bäumen einen relativ hohen Anteil von 57 %. Offene natürliche Habitats wie zum Beispiel Grasland, die in der Habitatnutzung der Weißstörche eine große Rolle spielen (vergl. Kap. 3.2.1.b), sind hier kaum vertreten. Lediglich die Region Mosambique (Abb. 74) weist rund 14 % geschlossene Graslandschaft auf, wird aber ansonsten von Busch- und Waldhabitats dominiert.

Vergleicht man die Habitatzusammensetzung der Regionen nach den beiden Schreiadlern getrennt, kann kein wesentlicher Unterschied oder eine Präferenz eines Schreiadlers festgestellt werden.

Der hohe Anteil an Kulturflächen im Gebiet Krüger-NP (Abb. 74) steht etwas im Widerspruch zu den Erwartungen, da es sich um einen Nationalpark handelt. Nach der GLC-Landbedeckungskarte liegt das Rastgebiet des Schreiadlers innerhalb einer begrenzten landwirtschaftlich genutzten Region, welche auf den Südteil des Parks beschränkt ist. Es kann nicht geklärt werden, ob im Park tatsächlich landwirtschaftliche Nutzung stattfinden, oder ob dies ein Artefakt der GLC 2000-Karte ist. In FISHPOOL & EVANS (2001) werden lediglich landwirtschaftlich genutzte Gebiete außerhalb des Parks erwähnt, insbesondere im westlichen Einzugsbereich der Flüsse im Park. In diesem Zusammenhang wird auch berichtet, dass aufgrund der starken Verfolgung der Greifvögel der Park und die umliegenden Farmen ein wichtiges Refugium für diese Vogelgruppe darstellt. Doch in den letzten Jahren konnte auch beobachtet werden, dass Greifvögel aus dem Park das umliegende Farmland wieder besiedeln. Allerdings bleibt unklar, ob dies auch für den Schreiadler gilt.

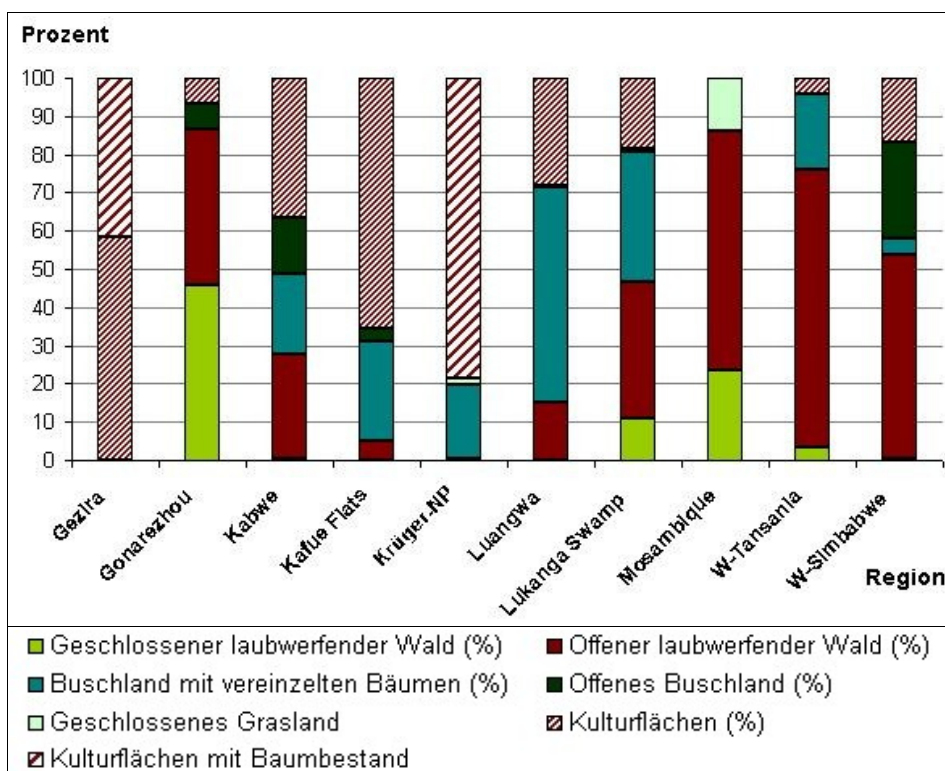


Abbildung 77: Habitatzusammensetzung der von Schreiadlern aufgesuchten Rastgebiete nach der Landbedeckungskarte GLC 2000 (zur Lage der Rastgebiete siehe Kap. 3.5.2, Abbildungen 71-74).

#### a) Habitatnutzung bei Rastdaten im Vergleich zu Zufallspunkten

Um auf eine mögliche Habitatpräferenz zu schließen, wurden auch die Telemetriedaten der Schreiadler mit zufallsverteilten Punkten im selben Gebiet (siehe Kap. 2.8.5) verglichen. Da im Falle des Schreiadlers Daten mit einer fehlerhaften Abweichung bis zu 10 km verwendet wurden (Kap. 2.8), wurden zwecks Vergleichbarkeit mithilfe des „Man-Whitney U-Tests“ nur die Punkte mit einer Abweichung bis 5 km ausgewählt, da die Größe der Pufferflächen zwischen diesen und den zufallsverteilten Punkten sonst nicht vergleichbar ist.

Der U-Test für die Rastdaten zeigt signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) mit einem höheren



Flächenanteil bei den zufallsverteilten Punkten für folgende GLC-Klassen: Immergrüner Tieflandwald, Mosaik Wald/Savanne, Mosaik Wald/Kulturflächen und Wasserflächen. Die Habitate Buschland mit vereinzelt Bäumen und Kulturflächen weisen hingegen einen signifikant größeren Flächenanteil für die Schreiadler-Positionen auf ( $p \leq 0,05$ ). Keine signifikanten Unterschiede im Flächenanteil zwischen Schreiadler- und Zufallspunkten ergeben sich für die Habitate (Sub-) Montaner Bergwald, Geschlossener und Offener laubwerfender Wald, Offenes Buschland, Geschlossenes Grasland, Grasland mit vereinzelt Büschen, Offenes Grasland, Sumpfiges Busch- und Grasland, Kulturflächen mit Baumbestand und Steinwüste. Die übrigen GLC-Klassen sind im Untersuchungsgebiet nicht vertreten.

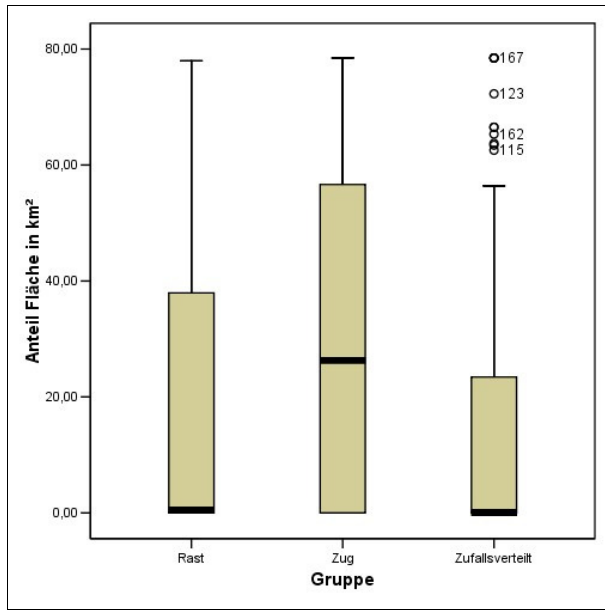
Die Ergebnisse des statistischen Tests unterstützen die These, nach der insbesondere Kulturflächen und Buschland von den Schreiadlern bevorzugt genutzt werden. Diese beiden Habitate erzielen auch im Vergleich mit Zugdaten höhere Flächenanteile. Offener laubwerfender Wald macht zwar ebenfalls einen relativ großen Flächenanteil sowohl bei der Telemetriedatenauswertung (rund 24 %) als auch bei der Habitatzusammensetzung einiger Rastgebiete (bis zu 46 %) aus, ein signifikanter Unterschied zu zufallsverteilten Punkten konnte allerdings nur für die Zugdaten gezeigt werden. Während der Rast liegt hier offenbar keine Bevorzugung vor.

Gebiete mit höherer bzw. geschlossener Vegetation wie Tieflandwald, Mosaik Wald/ Kulturflächen oder Mosaik Wald/ Savanne werden hingegen während der Rast eher gemieden, da die Flächenanteile signifikant niedriger als bei den zufallsverteilten Punkten sind.

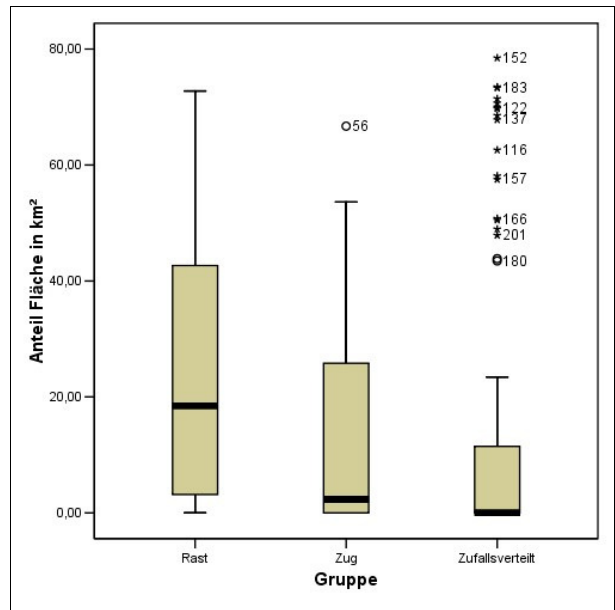
Im Vergleich der Zugdaten mit zufallsverteilten Punkten können für insgesamt zwei Klassen signifikante Unterschiede in der Flächennutzung der einzelnen Habitate gefunden werden ( $p \leq 0,05$ ): Die Habitate Offener laubwerfender Wald und Buschland mit vereinzelt Bäumen weisen eine häufigere Nutzung durch die Schreiadler auf, als es von den Zufallspunkten zu erwarten wäre. Die Landbedeckungsklasse Tieflandregenwald wird gegenüber zufallsverteilten Punkten gemieden, dies ist jedoch nur als Tendenz zu erkennen. Auch für die übrigen Klassen besteht kein signifikanter Unterschied.

Während des Zuges bevorzugen Schreiadler also eher Wald- und Buschlandhabitate, während bei der Rast Kulturflächen als auch Buschland bevorzugt genutzt werden..

Ein statistischer Vergleich zu Unterschieden in der Flächennutzung bei Rast und Zug unterstützt diese These: auch hier zeigen sich signifikante Unterschiede für die Habitate Geschlossener laubwerfender Wald, Offener laubwerfender Wald (siehe Abb. 78) mit bevorzugter Nutzung während des Zuges und für Kulturflächen eine stärkere Nutzung während der Rast (siehe Abb. 79). Für das Habitat Buschland mit vereinzelt Bäumen besteht lediglich eine Tendenz zu bevorzugter Nutzung während der Rast, welche allerdings nicht signifikant ist.



**Abbildung 78:** Flächenanteil bei Rast-, Zug- und Zufallspunkten des Schreiadlers für Offenen laubwerfenden Wald. Während des Zuges wird dieses Habitat bevorzugt.



**Abbildung 79:** Flächenanteil bei Rast-, Zug- und Zufallspunkten des Schreiadlers für Kulturflächen. Dieser Habitattyp wird während der Rast bevorzugt.

**Tabelle 19:** Präferenzen (+) und Meidung (-) von Habitaten nach der GLC-Auswertung der Rast- und Zugdaten des Schreiadlers (siehe auch Abbildung 76). Mithilfe des Man-Whitney U Tests wurden die anteiligen Flächen der gepufferten Positionen je Habitatklasse gegen die Flächenverteilung bei zufallsverteilten Daten auf signifikante Unterschiede getestet.

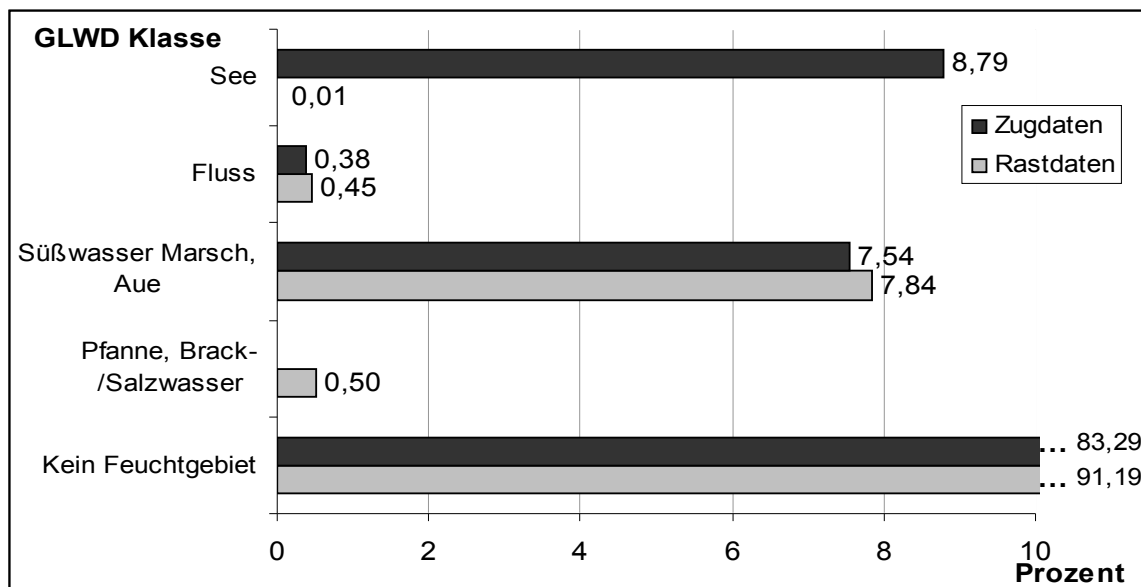
Habitat	Rastdaten		Zugdaten	
	Präferenz/ Meidung	Signifikanz- niveau	Präferenz/ Meidung	Signifikanz- niveau
Tieflandregenwald	-	***	-	Tendenz
Mosaik Wald/ Kulturflächen	-	*	Kein signifikanter Unterschied	
Mosaik Wald/ Savanne	-	**	Kein signifikanter Unterschied	
Offener laubwerfender Wald	Kein signifikanter Unterschied		+	*
Buschland mit vereinzelt Bäumen	+	***	+	*
Kulturflächen	+	***	Kein signifikanter Unterschied	
Wasserflächen	-	*	Kein signifikanter Unterschied	

### 3.6.2 Nutzung von Feuchtgebieten während der Rast und des Zuges

Die Auswertung der Schreiadler-Telemetriedaten hinsichtlich der Nutzung von Feuchtgebieten wurde analog zu den Weißstorch-Telemetriedaten mithilfe der „Global Lakes and Wetlands Database“ (GLWD) durchgeführt.

Rund 90 % der Schreiadler-Rastdaten liegen außerhalb von Feuchtgebieten (siehe Abb. 80). Die meisten der übrigen Positionen (7,8 %) befinden sich auf Gebieten, die als Süßwassermarschen oder Auen klassifiziert sind. Nach diesem Ergebnis ähnelt die Habitatnutzung der Schreiadler jener der Weißstörche. Die übrigen Feuchtgebietstypen werden nur geringfügig oder gar nicht genutzt (Pfannen mit Brack- oder Salzwasser zu 0,5 %, Flüsse und angrenzende Auen zu 0,45 % und Seen schließlich zu 0,01 %).

Im Gegensatz zur Rast scheint während des Zuges eine noch stärkere Präferenz für Feuchtgebiete zu bestehen, hier liegen rund 17 % an oder in Feuchtgebieten. Allerdings ist das Ergebnis mit Vorsicht zu bewerten, da nur relativ wenige Zugdaten vorliegen (n=26), so dass keine allgemeingültige Aussage getroffen werden kann. Dies gilt insbesondere für den hohen Prozentanteil für die Feuchtgebietsklasse „See“. Analog zu den Ergebnissen der GLC-Auswertung ist der hohe Flächenanteil durch eine Position bedingt, dessen Pufferfläche vollständig im Wasser liegt (vergleiche Kap. 3.6.1). Aufgrund der geringen Anzahl von Zugpositionen wird das Ergebnis dadurch möglicherweise verzerrt. Der prozentuale Anteil der in Süßwassermarschen und Auen gelegenen Positionen ist mit 7,5 % mit dem der Rastdaten zu vergleichen. Die übrige Fläche verteilt sich auf Flüsse (0,38 %). Insgesamt 83 % der potenziell genutzten Fläche liegen nicht innerhalb von Feuchtgebieten.



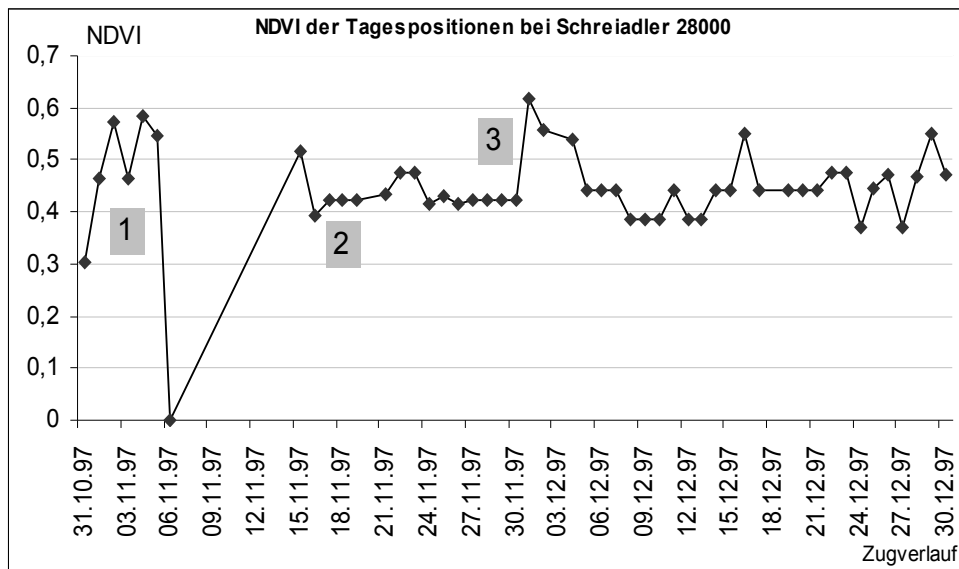
**Abbildung 80:** Nutzung von Feuchtgebieten der Schreiadler während der Rast und des Zuges nach der Auswertung der „Global Lakes and Wetlands Database“ (GLWD). Dargestellt sind die prozentualen Flächenanteile der gepufferten Positionen.

### 3.6.3 Zusammenhang zwischen dem NDVI und der Rastgebietswahl

#### a) Individuelle Zugmuster – Gezielte Wahl nahrungsreicher Gebiete?

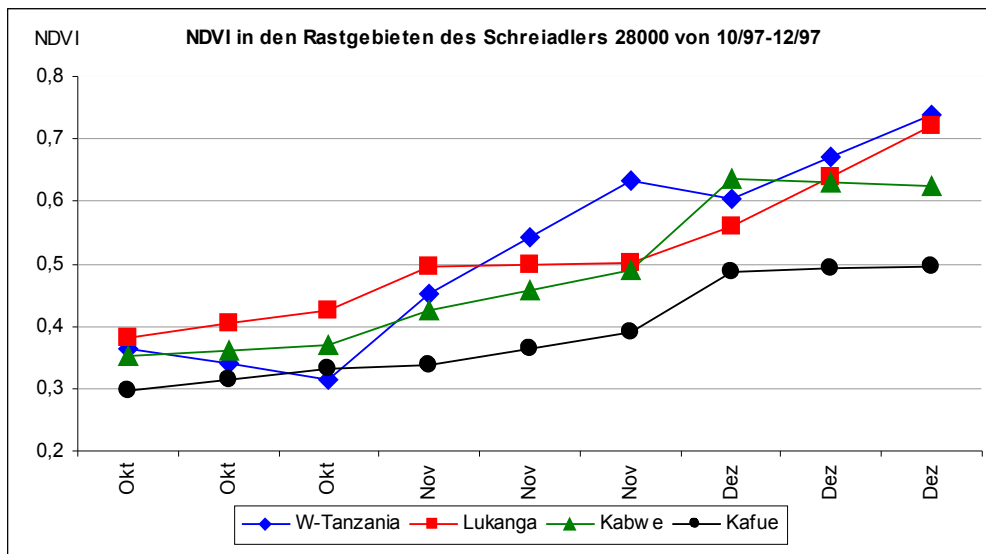
Im Kapitel 3.2.5.d konnte gezeigt werden, dass es bei einem großen Prozentsatz von Weißstörchen, insbesondere der bis ins südliche Afrika ziehenden Störche, zu einem Anstieg der jeweiligen NDVI-Werte im Zugverlauf kommt. Auch im Falle des Schreiadlers vermuteten MEYBURG, MEYBURG et al. (2004) bereits einen Zusammenhang zwischen der Rastgebietswahl und der Vegetationsdichte, gemessen durch den NDVI. Anknüpfend an diese These wurden auch für die beiden hier untersuchten Adler die jeweiligen NDVI-Werte (2. Dekade) je Position im Zugverlauf bzw. die Änderungen der Biomasseverhältnisse in den jeweiligen Rastgebieten dargestellt (Abb. 81-86).

Der Schreiadler mit der Sendernummer 28000 suchte im Zeitraum vom 31.10. bis 30.12.1997 drei verschiedene Rastgebiete auf (vergleiche Kap 3.5.2). Dabei zog er von W-Tansania bis nach Sambia und rastete hier in den benachbarten Gebieten Lukanga, Kabwe und Kafue Flats. Die Abbildung 81 zeigt den entsprechenden NDVI der jeweiligen Position. Die Werte liegen meist zwischen 0,4 und 0,5, wobei kein Anstieg oder Abfall zu erkennen ist. Entsprechend ist keine Beziehung zwischen den Änderungen des NDVI im Zeitverlauf und einem Positionswechsel des Tieres erkennbar. Das erste Rastgebiet „W-Tansania“ weist dabei noch relativ hohe NDVI-Werte auf (1). Bei dem nachfolgenden 0-Wert handelt es sich höchstwahrscheinlich um ein Artefakt, da ein NDVI-Wert nahe Null jenseits der Vegetationsgrenze liegt und dies im Hinblick auf umliegende Pixel als unwahrscheinlich bewertet wird. Im nächsten Rastgebiet Lukanga, welches der Adler am 15.11. erreicht, liegen die NDVI-Werte mit 0,4 niedriger als im ursprünglichen Rastgebiet (2). Die höchsten NDVI-Werte werden am 01.12. erreicht, als der Schreiadler das Rastgebiet „Kabwe“ erreicht (3). Allerdings verlässt er dieses aus ungeklärtem Grund und zieht weiter zum dritten Rastgebiet „Kafue-Flats“, in dem der mittlere NDVI wiederum bei 0,4 liegt.



**Abbildung 81:** NDVI der Tagespositionen („Tagesbeste“) bei dem Schreiadler mit der Sendernummer 28000. Die Zahlen beziehen sich auf die Verweise im Text.

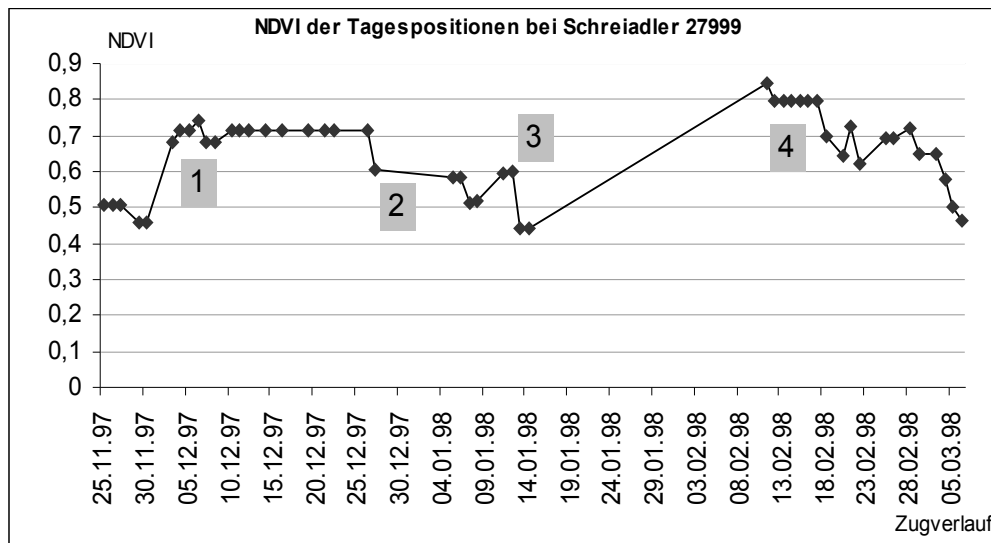
In einer weiteren Grafik (Abb. 82) ist die NDVI-Entwicklung in den vier oben erwähnten Rastgebieten aufgezeichnet. Deutlich ist bei allen Regionen die ansteigende Tendenz von Oktober bis Dezember der jeweiligen mittleren NDVI-Werte im Zeitverlauf zu erkennen. Selbst in den benachbarten Regionen Lukanga, Kabwe und Kafue sind Unterschiede erkennbar, beispielsweise ein NDVI-Anstieg Anfang November in Kabwe und Kafue, welcher in Lukanga ausbleibt. Damit ist auch der gleichbleibende NDVI der entsprechenden Schreiadlerpositionen (zwischen 2 und 3) zu erklären, da sich dieser im November in der Rastregion Lukanga aufhielt. Die Niederschlagsbedingungen können also lokal sehr unterschiedlich sein.



**Abbildung 82:** Änderung des NDVI zwischen Oktober und Dezember 1997 in den Rastgebieten Tansania, Lukanga, Kabwe und Kafue. Für eine Region wurde hierzu der jeweils mittlere NDVI je Dekade berechnet (zur Lage der Regionen siehe Kap. 3.5.2).

Für den zweiten Schreiadler (Sendernummer 27999) konnten zwei Zugrouten in aufeinander folgenden Jahren analysiert werden. Dabei zeigt die erste Route eine leichte steigende Tendenz im NDVI (Abb. 83), die zweite sogar einen deutlichen Trend (Abb. 85).

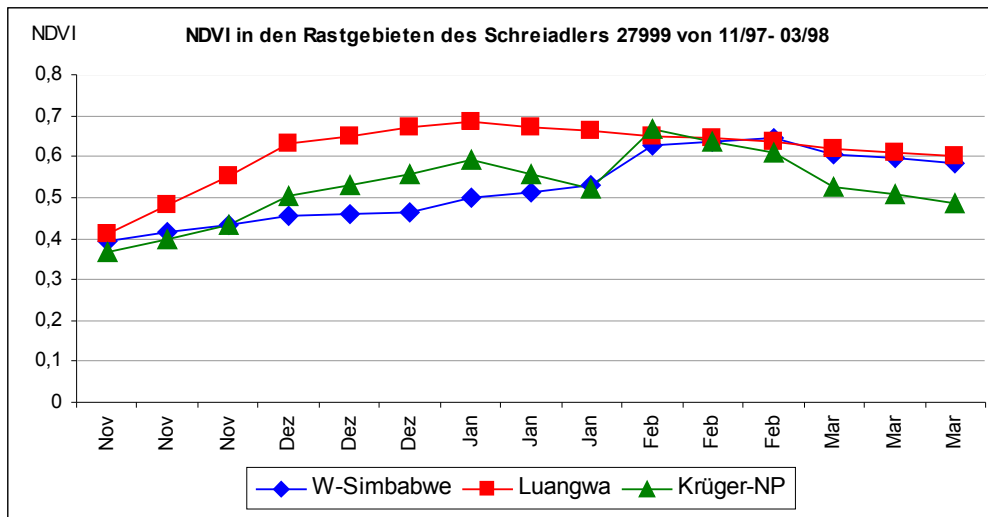
Im ersten Jahr suchte der Schreiadler drei verschiedene Rastgebiete auf (vergleiche Kap. 3.5.2). Den ersten Monat verbrachte er im Rastgebiet Luangwa, wo der NDVI konstant auf einem relativ hohen Wert von 0,71 blieb (1). Erst gegen Ende der Rastperiode fällt er auf 0,6, woraufhin der Schreiadler das Gebiet in Richtung Südwesten verlässt (2). Am 5.1. erreicht er das Rastgebiet W-Simbabwe mit NDVI-Werten zwischen 0,5 und 0,6. Ein kurzer Abstecher ca. 130 km östlich führt wiederum in ein Gebiet mit höherem mittlerem NDVI (3), doch der Vogel kehrt in das ursprüngliche Rastgebiet W-Simbabwe zurück. Hier liegen die mittleren NDVI-Werte bei 0,44. Über einen längeren Zeitraum sind keine Positionen vorhanden, allerdings zieht der Schreiadler offensichtlich weiter südlich, um im Rastgebiet Krüger-NP eine weitere Woche zu rasten. Hier liegen die NDVI-Werte mit über 0,8 weitaus höher (4). Diese fallen aber ab dem 18.02.98 auf unter 0,7. Kurze Zeit später verlässt der Schreiadler auch dieses Gebiet und beginnt seinen Heimzug.



**Abbildung 83:** NDVI der Tagespositionen („Tagesbeste“) bei dem Schreiadler mit der Sendernummer 27999 während des Zuges 1997/98. Die Zahlen beziehen sich auf die Verweise im Text.

Die Abbildung 84 stellt wiederum die NDVI-Entwicklung in den Rastgebieten im Vergleich dar. Im Zeitraum Januar bis März befinden sich die südlichen Regionen Afrikas am Ende der Regenzeit, im November erreichen die NDVI-Werte überall ihre Höchstwerte und fallen schließlich im Februar/März wieder ab. Entsprechend sind im betrachteten Zeitraum keine großen Varianzen im Zeitverlauf zu sehen. Dennoch gibt es zumindest im November und Dezember 1997 noch große Unterschiede der mittleren NDVI-Werte von 0,45 in W-Simbabwe bis 0,65 in Luangwa.

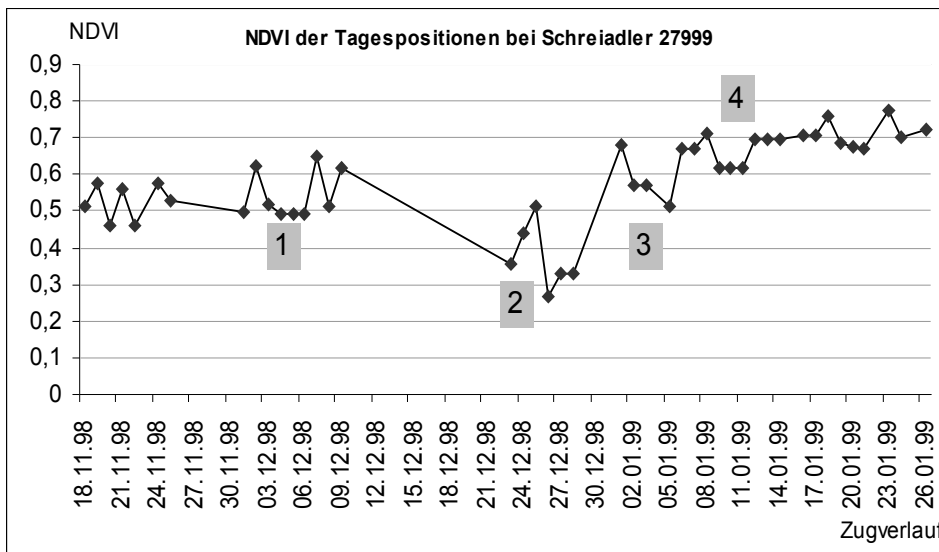
Während eines längeren Aufenthalts des Schreiadlers im ersten Rastgebiet Luangwa nehmen die NDVI-Werten stetig zu. Sie erreichen Mitte Januar ihren Höchstwert, zu diesem Zeitpunkt verlässt der Adler das Gebiet und rastet kurze Zeit später in W-Simbabwe, wo die mittleren NDVI-Werte wesentlich niedriger liegen, jedoch eine steigende Tendenz aufweisen. Der Adler verlässt das Gebiet kurzzeitig, wobei unklar bleibt, ob er auf der Suche nach geeigneteren Bedingungen ist oder das Gebiet aufgrund einer Störung verließ. Die NDVI-Werte liegen auch bei seiner Rückkehr nicht wesentlich höher. Erst im letzten Rastgebiet (Krüger-NP) findet der Adler bessere Bedingung mit mittleren NDVI-Werten über 0,6 vor. Da die drei Gebiete recht unterschiedlich in ihrer Vegetationszusammensetzung sind, können die NDVI-Werte allerdings nur begrenzt verglichen werden: Im Krüger-NP dominieren Kulturflächen mit Baumbestand, in Luangwa Buschland mit vereinzelt Bäumen und in W-Simbabwe Offener laubwerfender Wald (siehe auch Abb. 77 in Kap. 3.6.1)



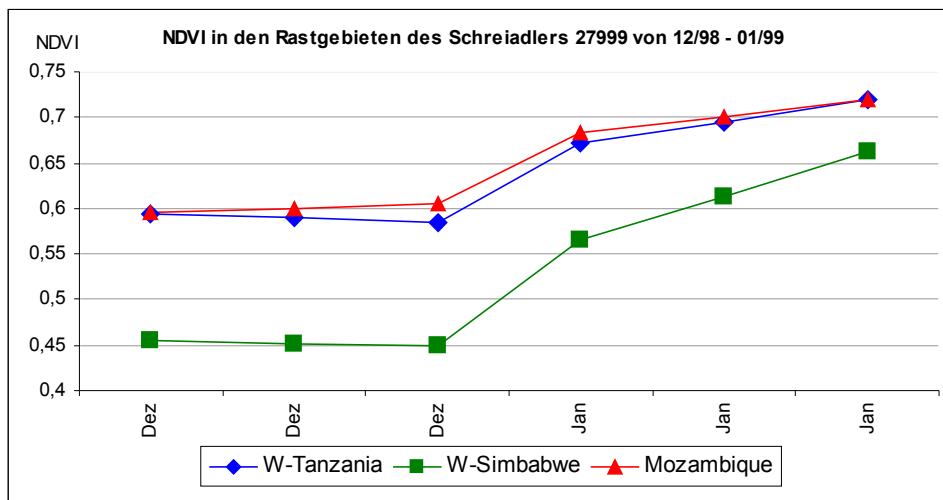
**Abbildung 84:** Änderung des NDVI zwischen November 1997 und März 1998 in den Rastgebieten W-Simbabwe, Luangwa und Krüger-NP. Es wurde für eine Region der jeweils mittlere NDVI je Dekade berechnet (zur Lage der Regionen siehe Kap. 3.5.2).

In der Zugperiode des darauf folgenden Jahres zeigt sich im Zugverlauf ein deutlicher Anstieg des NDVI (Abb. 85). Der Adler hält sich im Verlauf des Zuges in drei verschiedenen Rastgebieten über einen längeren Zeitraum auf. Eine erste, etwas kurze Rast macht er im Westen Tansanias ca. 100 Kilometer nördlich des Rastgebietes W-Tansania, in dem der Schreiadler 28000 im Jahr zuvor rastete. Der Adler hält sich in diesem Gebiet im Zeitraum vom 01.12.-07.12.98 auf, in dieser Zeit liegt der NDVI in dieser Region zwischen 0,5 und 0,6 (1). Mit Verlassen des Gebietes werden auch weiterhin noch bis zum 09.12. ähnlich hohe NDVI-Werte erreicht. Diese liegen dann aber zum Eintreffen im nächsten Rastgebiet W-Simbabwe wesentlich niedriger ( $\leq 0,36$ ) (2). Erst gegen Ende des Aufenthalts am 01.01.99 steigen auch hier die Werte auf über 0,5 (3). Allerdings verlässt der Schreiadler kurze Zeit später das Gebiet (03.01.) und sucht ein drittes Rastgebiet im Westen Mosambiques auf. Hier liegen die NDVI-Werte wiederum höher, zwischen 0,67 und 0,77 (4). Leider endet die Datenreihe am 26.01., sodass unklar bleibt, wie lange der Vogel in diesem Gebiet verbleibt.

In der Abbildung 86 zum Verlauf des mittleren NDVI in den einzelnen Rastgebieten ist zu erkennen, dass der Schreiadler das Gebiet W-Tansania zu einem Zeitpunkt mit fallender NDVI-Tendenz verlässt. Das danach aufgesuchte Rastgebiet in Simbabwe weist zum Ankunftszeitpunkt noch wesentlich niedrigere NDVI -Werte auf, diese steigen jedoch in der ersten Januar-Hälfte stark an. Der Schreiadler erreicht das Gebiet also während oder kurz nach einer Regenperiode. Der Zug in Richtung Süden bringt ihn schließlich in das Rastgebiet Mosambique, in dem ebenfalls eine Regenperiode (ansteigende NDVI-Werte) herrscht, zudem mit generell höheren NDVI-Werten. Da alle drei Regionen eine ähnliche Vegetationszusammensetzung haben, sind die NDVI-Unterschiede höchstwahrscheinlich auf einen unterschiedlichen Zustand der Vegetation (grüne Vegetation) zurückzuführen.



**Abbildung 85:** NDVI der Tagespositionen („Tagesbeste“) bei dem Schreiadler mit der Sendernummer 27999 während des Zuges 1998/99. Die Zahlen beziehen sich auf die Verweise im Text.



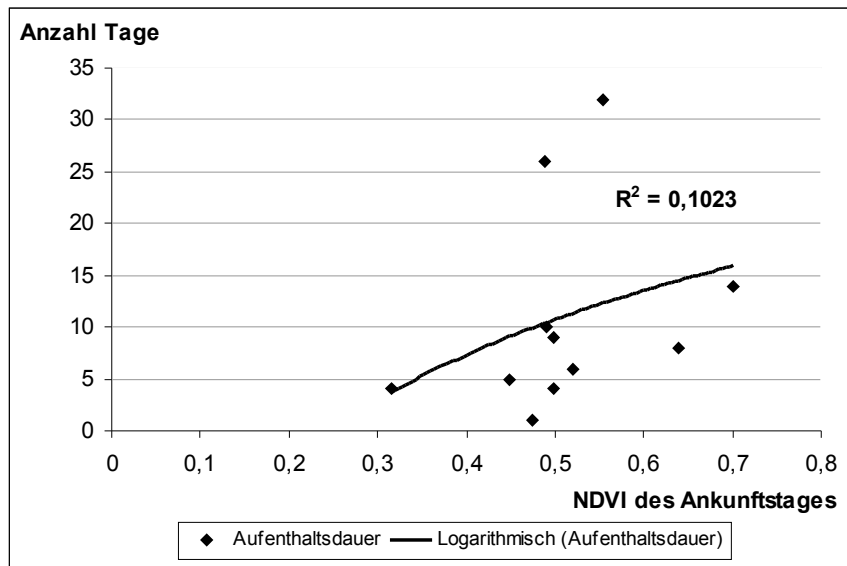
**Abbildung 86:** Änderung des NDVI zwischen Dezember 1998 und Januar 1999 in den Rastgebieten Tansania, Simbabwe und Mosambique. Es wurde für eine Region der jeweils mittlere NDVI je Dekade berechnet (zur Lage der Regionen siehe Kap. 3.5.2).

**b) NDVI und Aufenthaltsdauer der Schreiadler**

Um einen möglichen Einfluss des NDVI auf die Aufenthalte der Schreiadler je Rastregion zu testen, wurde die Dauer eines Aufenthaltes gegen den jeweiligen mittleren NDVI einer Region aufgetragen (siehe Abb. 87). Aus der resultierenden Grafik ist eine Tendenz zu einem positiven Zusammenhang zwischen dem NDVI und der Aufenthaltsdauer erkennbar (siehe Trendlinie). Die Regression zeigte zwar keinen signifikanten Zusammenhang ( $p > 0,05$ ), allerdings kann aufgrund der wenigen verfügbaren Daten (neun Regionen und insgesamt 11 Rastaufenthalte der beiden Schreiadler) keine



statistisch tragbare Aussage über einen möglichen Zusammenhang gemacht werden. Die Aufenthalte umfassen mit zwei Ausnahmen im Mittel 7,5 Tage (Median: 3 Tage). Den längsten Rastaufenthalt in einer Region hatte der Schreiadler mit der Sendernummer 27999 in der Region Luangwa, in der er 27 Tage blieb. Auch der Schreiadler 28000 rastet über einen längeren Zeitraum in der Region „Kafue Flats“ (24 Tage). Alle übrigen Aufenthalte sind kürzer und dauern zwischen 1 und 11 Tagen.



**Abbildung 87:** Aufenthaltsdauer der Schreiadler je Region (in Tagen) in Abhängigkeit vom mittleren NDVI zur Ankunftszeit. Dieser Zusammenhang ist nicht signifikant, was möglicherweise auf den geringen Datenumfang (11 Rastaufenthalte) zurückzuführen ist.

**c) Vergleich des NDVI der Rastdaten mit zufallsverteilten Punkten**

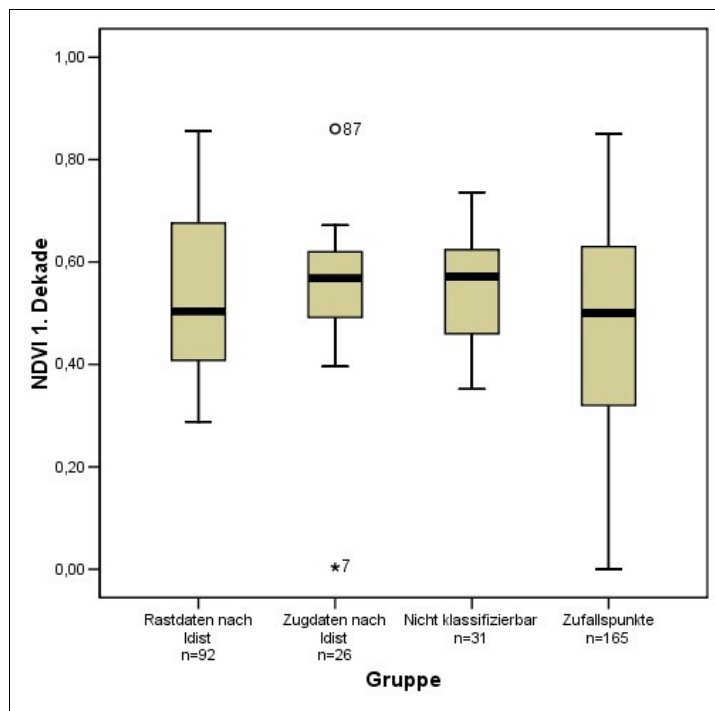
Der Vergleich des mittleren NDVI bei Schreiadler-Rastdaten mit zufallsverteilten Daten lässt entsprechend den Ergebnissen aus Kapitel 3.6.3.a eine Präferenz für Regionen mit höherem NDVI vermuten. Der mittlere NDVI der ersten Dekade liegt bei den Rastdaten bei 0,55, im Gegensatz zu 0,48 bei den Zufallspunkten. In der zweiten und dritten Dekade liegen die mittleren NDVI-Werte sowohl bei Rast- als auch Zufallspunkten noch höher (Regenzeit im betrachteten Zeitraum): 0,55 (2. Dekade) und 0,56 (3. Dekade) bei den Rastdaten und 0,40 (2. Dekade) bzw. 0,50 (3. Dekade) bei zufallsverteilten Punkten. Diese Unterschiede in allen drei Dekaden sind nach dem U-Test signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

Vergleicht man den Gesamtdatensatz („Tagesbeste“) mit Zufallspunkten wird diese Differenz noch deutlicher: hier liegen die mittleren NDVI-Werte der Schreiadler-Daten bei 0,55 (1. Dekade), 0,56 (2. Dekade) und 0,57 (3. Dekade). Tatsächlich zeigt auch der U-Test einen nun hoch signifikanten Unterschied zwischen dem Tagesbeste- und dem Zufallsdatensatz der ersten beiden Dekaden ( $p \leq 0,01$ ).

Ein statistischer Vergleich zwischen Rast- und Zugdaten ist aufgrund der wenigen Zugdaten nicht durchführbar, das Ergebnis lässt jedoch vermuten, dass auch während des Zuges Regionen mit höheren NDVI-Werten bevorzugt werden.

Abbildung 88 zeigt die NDVI-Mittelwerte der ersten Dekade in den verschiedenen Gruppen (Zug- und Rastdaten, nicht klassifizierbaren Daten und zufallsverteilten Punkten). Wie zu erwarten, ist die Varianz innerhalb der Zufallspunkte wesentlich höher. Nicht klassifizierte Punkte und Zugdaten haben aufgrund ihrer geringen Anzahl wesentlich kleinere Varianzen. Zudem wird sichtbar, dass der mittlere NDVI hier noch höher als bei Rast- und Zufallspunkten ist. Letztere scheinen einen fast gleichen Median zu haben, die Varianz der Rastdaten ist allerdings zu höheren NDVI-Werten verschoben.

Die Tendenz zu höheren NDVI-Werten bei den Zugdaten steht im Widerspruch zu den Ergebnissen aus der Analyse der Weißstorchdaten. Hier wiesen in allen Vergleichen die Rastdaten den höchsten mittleren NDVI auf. Möglicherweise handelt es sich im Falle des Schreiadlers um ein Artefakt, der Umfang der Zugdaten insgesamt zu klein ist ( $n=26$ ) und die Daten lediglich von zwei Individuen stammen.



**Abbildung 88:** Mittlerer NDVI der 1. Dekade bei Schreiadlerdaten (Rast, Zug und Nicht klassifizierbar) im Vergleich zu Zufallspunkten.

### 3.6.4 Einfluss von ökologischen und anthropogenen Faktoren auf die Rastgebietswahl

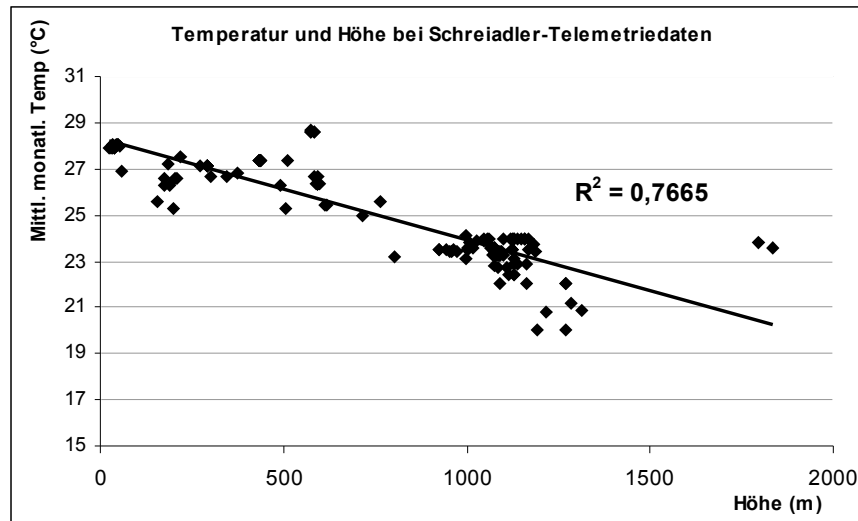
Der Vergleich zwischen Rastdaten und Zufallspunkten zeigte höchst signifikante Unterschiede der Mittelwerte in vier von fünf untersuchten Faktoren (siehe Tabelle 20).

**Tabelle 20:** Unterschiede zwischen Schreiadler-Rast- und Zugdaten im Vergleich zu zufallsverteilten Daten, nicht signifikante Unterschiede wurden mit „n.s.“ gekennzeichnet.

<b>Faktor</b>	<b>Rastdaten der Schreiadler (n=92)</b>	<b>Zufallspunkte (n=165)</b>	<b>Signifikanzniveau</b>
Tmean	25,2° C	24,0° C	***
Tmin	19,1° C	17,5° C	***
Prec	141 mm	99 mm	***
DEM	759 m	861 m	n.s.
Human Footprint	27,5	21	***

Höchst signifikante Unterschiede zeigten die Faktoren Tmean (mittlere monatliche Temperatur), Tmin (mittlere monatliche Minimums-Temperatur), Prec (mittlerer monatlicher Niederschlag) und *Human Footprint* (menschlicher Einfluss). Die beiden Temperaturwerte liegen jeweils um ein bzw. zwei Grad höher als der entsprechende Mittelwert der Zufallspunkte. Diese Differenzierung kann auf die unterschiedliche mittlere Höhe der Rast- und Zufallspunkte zurückgeführt werden, da die

Höhe und die Temperatur miteinander korreliert sind (siehe Abb. 89). Allerdings besteht kein signifikanter Unterschied zwischen der Höhe bei Rast- und Zufallspunkten, so dass die Bedeutung der unterschiedlichen Temperaturwerte fraglich bleibt.



**Abbildung 89:** Zusammenhang zwischen der jeweiligen mittleren monatlichen Temperatur und der Höhe für alle Schreiadler-Telemetriedaten. Dieser Zusammenhang ist mit  $p < 0,001$  (lineare Regression) höchst signifikant.

Auch der mittlere monatliche Niederschlag liegt bei den Rastdaten im Durchschnitt um 42 mm höher. Zudem konnte gezeigt werden, dass die Schreiadler in Gebieten mit höherem anthropogenen Einfluss rasten. Diese ist wahrscheinlich ebenfalls – entsprechend der Weißstorch-Rastaufenthalte – mit der Nutzung landwirtschaftlicher Gebiete zu erklären. Erstaunlich ist allerdings, dass der Wert auch höher als der der Weißstorch-Rastdaten liegt, da eher letztere Art als Kulturfolger bezeichnet wird.

### 3.6.5 GLM als Test relevanter Faktoren auf das Rastverhalten

Das durchgeführte *Generalized Linear Model* für die Rastdaten des Schreiadlers unterstützt die Ergebnisse der vorangegangenen Analysen nur teilweise. Als einzige signifikante Parameter für die Verteilung der Rastdaten gingen *Human Footprint* und Niederschlag (Prec) in das Modell ein (siehe Tabelle 21). Auch im vorangegangenen Kapitel (3.6.4) konnte gezeigt werden, dass für Niederschlag und *Human Footprint* signifikante Unterschiede zu zufallsverteilten Punkten vorliegen. Im Falle der Höhe (DEM) besteht nur eine leichte Tendenz zu einer Bevorzugung niedriger Regionen, das Signifikanzniveau von 0,09 zeigt jedoch einen nicht signifikanten Einfluss dieses Parameters.

**Table 21:** Signifikanzniveaus der einzelnen Parameter, die als unabhängige Variablen in das Generalized Linear Model (GLM) des Schreiadlers eingingen. Unter „Richtung“ ist das Vorzeichen eingetragen, mit dem der jeweilige Parameter in das Modell eingeht. Bei einem Minuszeichen handelt es sich also um Parameter, die im Falle der Rastdaten eher gemieden werden, bzw. die bei Rastdaten kleinere Werte erreichen.

<i>Variable</i>	<i>Signifikanzniveau</i>	<i>Richtung</i>
Human Footprint	***	+
Prec	***	+

Sowohl die Landbedeckungsklassen der GLC 2000 Karte als auch der NDVI der ersten Dekade erwiesen sich als nicht signifikant. Auch die GLWD-Klassen wurden als nicht signifikant für die Verteilung der Schreiadler-Rastdaten bewertet und gingen nicht in die resultierende Modell-Formel ein. Im Falle des NDVI zeigte sich bereits im Vergleich der Rastdaten mit zufallsverteilten Daten, dass der Unterschied zwar signifikant, jedoch relativ gering ist (vergleiche Kap. 3.6.3.c und Abb. 88). Dieser Unterschied reichte für das GLM offensichtlich nicht aus, um den NDVI als relevanten Faktor für die Verteilung der Rastdaten zu identifizieren. Dennoch geht der NDVI in die Formel mit ein.

In Kapitel 3.6.2 wurde die Nutzung von Feuchtgebieten nach der GLWD-Karte untersucht und zeigt mit knapp 10 % aller Rastdaten eine ähnlich hohe Nutzung von Feuchtgebieten wie im Falle des Weißstorchs. Um so mehr überrascht es, dass die Lage von Feuchtgebieten (GLWD-Klassen) nach dem GLM für die Verteilung der Rastdaten irrelevant ist.

### 3.7 Schreiadler und Schutzgebiete in Afrika

Im Vergleich zu den Weißstörchen spielen Schutzgebiete für den Schreiadler eine wesentlich größere Rolle. Insgesamt liegen 38 von den 92 als Rastdaten identifizierten Positionen innerhalb von Schutzgebieten, dies entspricht 41,3 % der Rastdaten und 25 % aller Schreiadler-Telemetriedaten („Tagesbeste“). Entsprechend liegen auch fünf der neun oben beschriebenen wichtigen Rastgebiete innerhalb oder am Rand von Schutzgebieten.

In folgenden Schutzgebieten liegen Rastdaten eines Schreiadlers (siehe auch Abb. 90):

- „Mpanda Line Forest Reserve“ (Tansania)  
Schreiadler 28000 hält sich hier vom 31.10.-04.11.1997 auf (mit Rastdaten vom 31.10.-02.11.97, vergleiche Rastregion W-Tansania in Kapitel 3.5.2)
- „South Luangwa National Park“ (Sambia)  
Schreiadler 27999 hält sich einen knappen Monat im Luangwa Tal auf (25.11.-27.12.1997 mit Rastdaten bis zum 22.12.97, vergleiche Rastregion Luangwa)
- „Forest Reserve“ (Kabwe) in Sambia  
Schreiadler 28000 rastet vom 24.11. bis zum 01.12.1997 im Forest Reserve, hält sich aber im gesamten Zeitraum vom 22.11. bis 10.12.97 im Schutzgebiet bzw. in unmittelbarer Nähe auf (vergleiche Rastregion Kabwe).

- „Hwange National Park“ (Simbabwe)  
Schreiadler 27999 rastet nur am 05./06.01.1998 im südlichen Teil des Nationalparks, hält sich jedoch vom 05.01. bis 14.01.1998 in unmittelbarer Nähe des Nationalparks auf. Auch auf dem folgenden Zug Ende desselben Jahres kehrt er in das Gebiet zurück, hält sich dann jedoch nicht im Schutzgebiet auf (vergleiche Rastregion W-Simbabwe).
- „Gonarezhou National Park“ (Simbabwe)  
Der Schreiadler 27999 hielt sich im Zeitraum 25.02.-03.03.1998 mit Rastdaten bis zum 28.02.98 auf (vergleiche gleichnamige Rastregion).
- „Krüger Nationalpark“ (Südafrika)  
Im Krüger Nationalpark verbleibt der Schreiadler 27999 vom 12.02. bis 20.02.1998 (mit Rastdaten bis zum 17.02., vergleiche gleichnamige Rastregion).

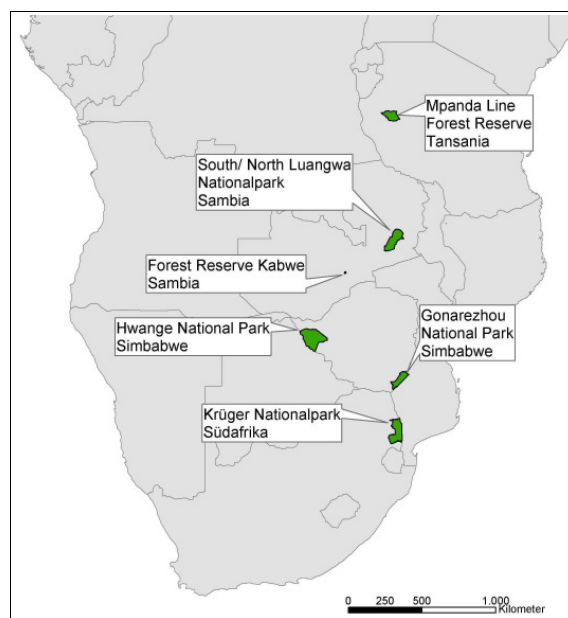


Abbildung 90: Lage von Schutzgebieten mit Rastdaten des Schreiadlers.

### 3.8 Schreiadler und Important Bird Areas (IBAs)

Zusätzlich zu den als *Important Bird Area* ausgewiesenen Schutzgebieten „South Luangwa National Park“ und „Krüger Nationalpark“ liegen Schreiadler-Rastdaten in weiteren IBAs: „Moyowosi-Kigosi Game Reserve“ im Westen Tansanias (Rast-Aufenthalt des Schreiadlers 27999 im Zeitraum 03.-06.12.1998) und „Lukanga Swamps“ in Sambia (vergleiche Rastregion Lukanga im Kap. 3.5.2). Eine einzige Position findet sich noch auf dem „Ufipa Plateau“, ebenfalls in West-Tansania.

Kurze Erläuterung zu den aufgeführten IBAs:

Der Krüger-Nationalpark besteht aus flachen Ebenen, die von Inselbergen unterbrochen werden. Im Osten erhebt sich das Lebombo-Gebirge. Zahlreiche Flüsse durchlaufen den Park, die meisten von

diesen führen mittlerweile nur noch saisonal Wasser, da im Westen den Flüssen viel Wasser entnommen wird. Vornehmliche Habitats sind Savanne und Buschland, welches sich teilweise auch in buschbestandenes Grasland öffnet. Entlang der Flüsse dominiert Galeriewald (FISHPOOL & EVANS 2001). Das Vorkommen von Schreiadlern im Park wird nicht explizit erwähnt, nach KEMP (2001) sind Schreiadler hier jedoch häufig.

Für die beiden in Sambia gelegenen IBAs bestätigt die Checkliste in LEONARD (2005) das Vorkommen des Schreiadlers. Das IBA Lukanga Swamps ist ein ausgedehntes Feuchtgebiet in einem der zuletzt erschlossenen Regionen in Sambia. Sümpfe, Seen und saisonale Flussläufe erschweren den Zugang in das Gebiet, so dass es nur spärliche Informationen über das Gebiet und dessen Avifauna gibt. Zum South Luangwa National Park siehe auch Erläuterungen in Kap. 3.3.1.

Auch das Moyowosi-Kigosi Game Reserve in Tansania ist ein Feuchtgebiet dessen Flüsse, Sumpfgebiete und Seen sich über ein Gebiet von 350.000 ha ausdehnen. An den Rändern findet sich auch Akazien-Buschland. Das Vorkommen des Schreiadlers wird nicht explizit erwähnt.

Zwischen dem Tanganyika- und dem Rukwa-See Tansanias liegt das Ufipa-Plateau, welches zum größten Teil mit Miombo-Buschland bestanden ist. Trotz des eher unfruchtbaren Bodens wird hier Landwirtschaft betrieben. Weitere Komponenten des IBA sind: Galeriewald, Graslandpfannen, Sumpfgebiete und der Sundu-See. Das Vorkommen des Schreiadlers wird nicht explizit erwähnt (FISHPOOL & EVANS 2001; LEONARD 2005).

### **3.8.1 RAMSAR-Gebiete und wichtige Rastgebiete für Wasservögel**

Für den Schreiadler ist lediglich das RAMSAR-Gebiet „Kafue-Flats“ im Südwesten Sambias von Bedeutung. Dieses Gebiet zählt ebenfalls zu einem nach SCOTT & ROSE (1996) identifizierten wichtigen Rastgebiet für Wasservögel (siehe Kap. 2.10.4). Hier rastete der Schreiadler mit den Sendernummern 28000/ 6970 über drei Wochen und zog in späteren Jahren hier durch (siehe Kap. 3.5.2). Das Gebiet ist als Nationalpark ausgewiesen und besteht aus Marschen und Überschwemmungsflächen, Grasland und Waldgebieten (RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS 2000)

### 3.9 Ergebnisse der Feld-Untersuchungen

Der Feldaufenthalt diente zur stichprobenartigen Überprüfung der in den vorangegangenen Kapitel gezeigten Ergebnissen. Die aufgenommenen Daten dienten im Wesentlichen zum Vergleich mit der Landbedeckungskarte GLC 2000, zur Verifizierung der lokalisierten wichtigen Rastregionen und den Habitatpräferenzen der Weißstörche (siehe Kap. 2.9).

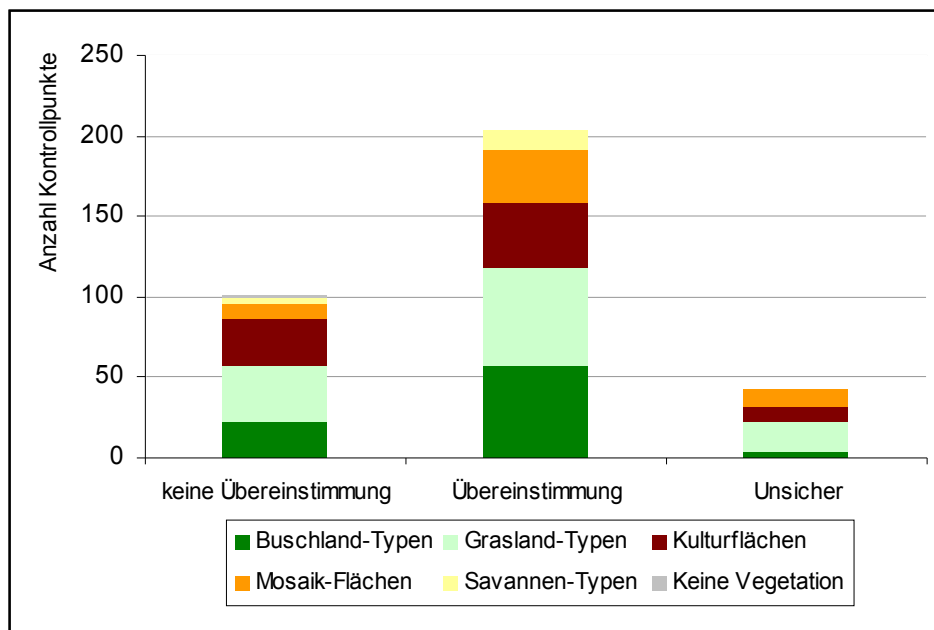
#### 3.9.1 Überprüfung der GLC-Habitate mit Bodenkontrollpunkten (Feldvegetationsaufnahmen)

Um die GLC 2000 Karte mit Felddaten abzugleichen, wurden 348 Bodenkontrollpunkte mit einer Vegetationsbeschreibung aufgenommen und mit GLC 2000 im GIS überlagert. Die jeweiligen Vegetationsklassen wurden dann mit den eigenen Beobachtungen verglichen (siehe Kap. 2.9.2.a), um eine Übereinstimmung oder Nicht-Übereinstimmung der Landbedeckungstypen festzustellen.

- **58,6 % mit übereinstimmender Klassifizierung**  
z.B. Baumsavanne, Feuchtbiotop, in der Umgebung Grasland (Beobachtung) – Offenes Grasland mit vereinzelt Bäumen (GLC 2000)
- **29 % ohne übereinstimmende Klassifizierung**  
z.B. Grasland, Weiden, z.T. feuchte Senken, jetzt ausgetrocknet und verbuscht (Beobachtung) – Kulturflächen (> 50 %) (GLC 2000)
- **12,4 % unsichere Übereinstimmung**  
z.B. Felder/ Wiesen mit kleinen Waldparzellen (Beobachtung) – Offenes laubwerfendes Buschland (GLC 2000)

Die Abbildung 91 zeigt den Datenvergleich nach Habitattypen aufgeschlüsselt. In allen Habitatklassen konnten sowohl Übereinstimmungen als auch Diskrepanzen mit der Landbedeckungskarte gefunden werden. Keine Übereinstimmung gab es insbesondere für Buschland-, Grasland- und Kulturflächen. Für Savannen- und Mosaik-Flächen konnte weitaus häufiger eine Übereinstimmung festgestellt werden. Aber auch für Buschland- und Graslandtypen traf in vielen Fällen eine Übereinstimmung mit der Landbedeckungskarte ein. Unsichere Bestimmung betraf insbesondere die Graslandhabitate.





**Abbildung 91:** Anteil klassifizierter Landbedeckungstypen, die mit der Klassifizierung in der Global Landcover-Karte (GLC 2000, siehe Kap. 2.7.1) (nicht) übereinstimmen oder deren Übereinstimmung unsicher war.

### 3.9.2 Feldbeobachtungen in Botswana und Südafrika

Neben der Aufnahme von Kontrollpunkten zur Vegetationsbestimmung sollte im Feld die tatsächliche Relevanz der anhand von Telemetriedaten identifizierten wichtigen Rastregionen geklärt werden. Zu diesem Zweck wurden einige Regionen beispielhaft aufgesucht, um die Präsenz von Störchen zu untersuchen. In Botswana wurde die wichtige Rastregion „Ngamiland“ mit längeren Weißstorch-Aufenthalten und Aufenthalten mehrerer Individuen aufgesucht, zudem eine Region im Nordosten Botswanas, welche ebenfalls Rastdaten mehrerer Individuen enthält. In Südafrika wurde ein Gebiet mit längeren Aufenthalten aufgesucht (Region Humansdorp/ Woodlands). Des Weiteren wurden einzelne Koordinaten aus vergangenen Jahren bzw. aktuelle Koordinaten des Senderstorchs aufgesucht (Regionen Khwai, Makgadikgadi-Salzpflanzen, Hoopstadt, Steytlerville und Lichtenburg, siehe Abb. 92, 93 in Abschnitt 3.9.2.a und Abb. 96, 97 in Abschnitt 3.9.2.b). Die Ergebnisse der Felduntersuchungen werden zunächst für jedes wichtige Beobachtungsgebiet dargestellt. Dort wird zusammengefasst, ob sich in einem Gebiet Telemetriedaten befinden (aus „Tagesbeste“ und neueren Telemetriedaten des Senderstorchs „Prinzesschen“, Ringnummer 0749 der Jahre 2004 und 2005), wie die beobachtete Vegetation zum Zeitpunkt des Feldaufenthaltes strukturiert ist, welche Landbedeckungstypen nach GLC 2000 dominieren und ob im Feld ebenfalls Störche beobachtet werden konnten. Unter „Beobachtungen“ sind Besonderheiten und weitere gesichtete Vogelarten zusammengefasst.

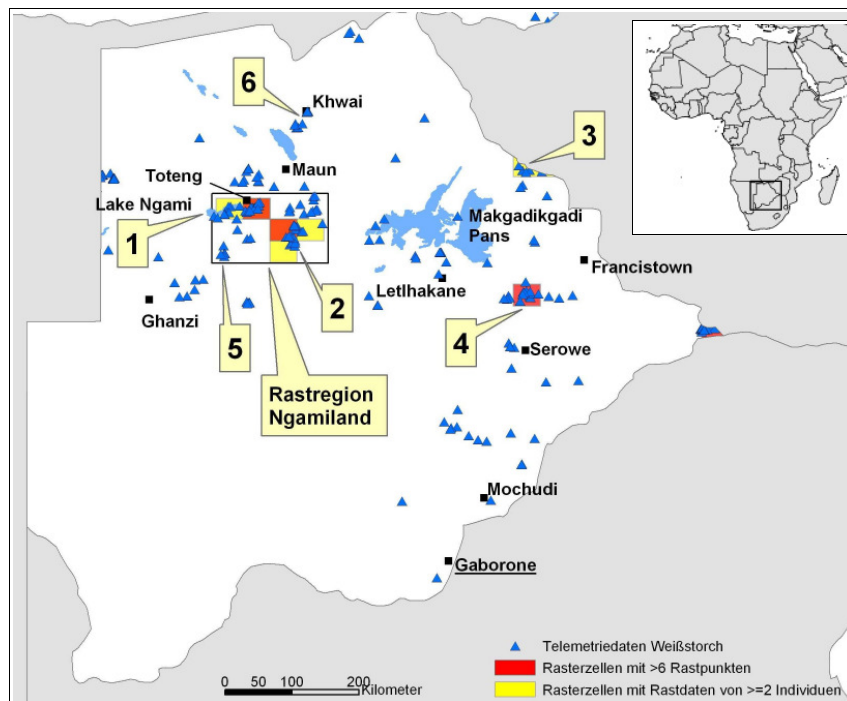
#### a) Botswana

Die Abbildungen zeigen zunächst die Lage der Weißstorch-Telemetriedaten in Botswana (Abb. 92) und dann die Orte an denen Feldbeobachtungen gemacht wurden (Abb. 93 graue Punkte), bzw.

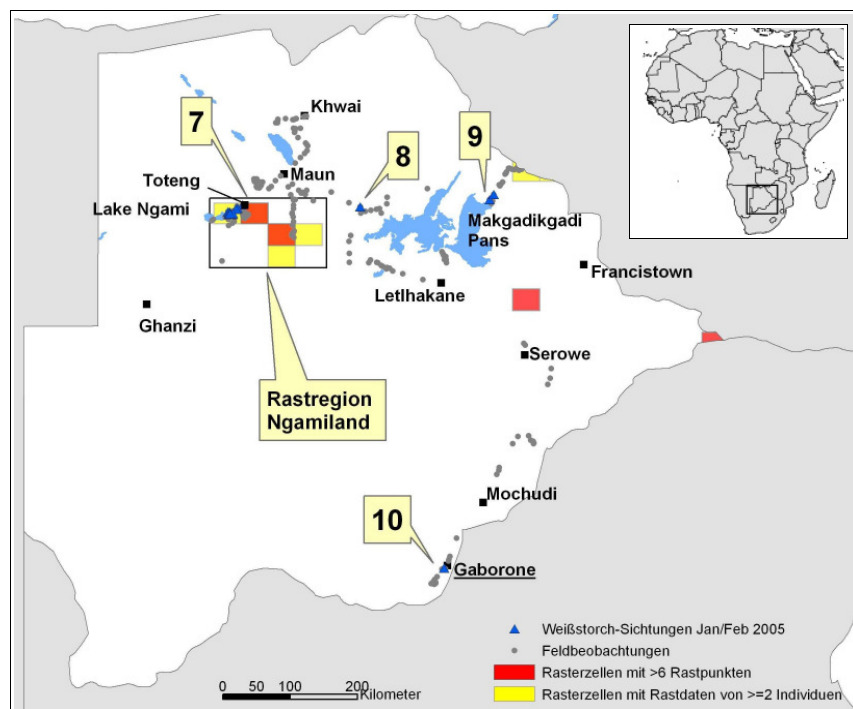
Weißstörche beobachtet werden konnten (blaue Dreiecke).

Insgesamt wurden im Zeitraum Januar-Februar 2005 in nur vier verschiedenen Regionen Botswanas Weißstörche gesichtet: am Lake Ngami und dessen Umland, westlich der Makgadikgadi-Salzpflanzen im gleichnamigen Nationalpark, am Nordostrand der Salzpflanzen im Nata Bird Reserve und schließlich im Süden Botswanas nördlich der Hauptstadt Gaborone (siehe Abb. 93).

Im Abgleich mit den vorhandenen Telemetriedaten erwies sich lediglich die Region des Lake Ngami (Rastregion Ngamiland) als wichtige Rastregion von Weißstörchen. Gebiete (= Gridzellen) südöstlich des Sees, in denen in den Jahren 1999 und 2000 Weißstörche über einen längeren Zeitraum rasteten, boten nun keinerlei geeignete Habitate mehr, so dass hier keine Störche beobachtet werden konnten. Auch an allen übrigen Orten mit Telemetriedaten wurden zum Zeitpunkt der Feldbeobachtungen keine Weißstörche beobachtet.



**Abbildung 92:** Lage der Weißstorch-Telemetriedaten und der während des Feldaufenthaltes 2005 aufgesuchten Regionen in Botswana.. Region 1: Lake Ngami, 2: Haina Hills, 3: Grenzgebiet Botswana/ Simbabwe, 4: Ost-Botswana, 5: Westl. Ngamiland, 6: Khwai.



**Abbildung 93:** Lage der Weißstorchsichtungen in Botswana während des Feldaufenthaltes 2005. Region 7: Straße Toteng-Maun, 8: Makgadikgadi Nationalpark, 9: Nata Bird Sanctuary, 10: Lobatse.

### Lake Ngami (1)

Telemetriedaten:	Februar 1997, Januar 1999
Vegetation:	Grasland und Buschland, teilweise auch Baumbestand am früheren Seeufer
Vegetation nach GLC 2000:	Offenes laubwerfendes Buschland, Grasland
Weißstörche gesichtet:	Ja, Punktzählung am 26.01.05 ergab 97 Störche in Sichtweite
Beobachtungen:	Der See war im Jahr 2005 zum Teil wassergefüllt, mit teils großen Ansammlungen von Wasservögeln: Flamingos ( <i>Phoenicopterus sp.</i> ), Pelikane ( <i>Pelecanus onocrotalus</i> ), Glanzenten ( <i>Sarkidiornis melanotos</i> ), Nimmersatt ( <i>Mycteria ibis</i> ), Klunkerkranich ( <i>Grus carunculatus</i> ), Silberadler ( <i>Aquila wahlbergi</i> ), Rotschnabelente ( <i>Anas erythrorhyncha</i> ), Goliath-Reiher ( <i>Ardea goliath</i> ), Schlangenhals ( <i>Anhinga rufa</i> ), Kormoran ( <i>Phalacrocorax spec.</i> ), Blaureiher ( <i>Egretta ardesiaca</i> ), Eisvogel ( <i>Ceryle rudis</i> ), Fischadler ( <i>Haliaeetus vocifer</i> ), Sattelstorch ( <i>Ephippiorhynchus senegalensis</i> ), Blaustirnhühnchen ( <i>Actophilornis africanus</i> ). Im umliegenden Grasland hohe Heuschrecken-Abundanz

**Haina Hills (100 km südlich von Maun) (2)**

Telemetriedaten:	Februar-März 1999, Februar 2000
Vegetation:	Buschland (Mopane), z.T. in lockerem Bestand oder mit offenen Grasflächen
Vegetation nach GLC 2000:	Offenes laubwerfendes Buschland, Geschlossenes Grasland
Weißstörche gesichtet:	Nein
Beobachtungen:	-

**Grenzgebiet Botswana/ Simbabwe (60 km östlich von Nata) (3)**

Telemetriedaten:	Dezember 1998, Januar 1999, Januar 2000, Dezember 2003, Januar und Dezember 2004
Vegetation:	Mopane-Akazien Buschland
Vegetation nach GLC 2000:	Offenes laubwerfendes Buschland, Offener laubwerfender Wald
Weißstörche gesichtet:	Nein
Beobachtungen:	Normalerweise ist das Gebiet von vielen Bächen durchzogen, Weißstörche wurden in der Regel nicht beobachtet (Befragung eines Einheimischen)

**Ost-Botswana (70 km nördlich von Serowe) (4)**

Telemetriedaten:	Anfang Februar 1999
Vegetation:	Keine Felddaten
Vegetation nach GLC 2000:	Offenes laubwerfendes Buschland, Offener laubwerfender Wald, Kulturlflächen
Weißstörche gesichtet:	Nein
Beobachtungen:	Keine Felddaten

**Westliches Ngamiland (5)**

Telemetriedaten:	Januar-Februar 1999
Vegetation:	Akazien-Savanne/ Buschland, zum Teil mit Kuhweide
Vegetation nach GLC 2000:	Offenes laubwerfendes Buschland, Geschlossenes Grasland
Weißstörche gesichtet:	Nein
Beobachtungen:	-

### **Khwai (6)**

Telemetriedaten:	Januar 1997, Dezember 2004
Vegetation:	Mopane Wald, zum Teil mit offenen Grasflächen, Tümpel, versumpfte offene Grasflächen
Vegetation nach GLC 2000:	Offenes laubwerfendes Buschland, Sumpfiges Busch- und Grasland
Weißstörche gesichtet:	Nein
Beobachtungen:	Sichtung von anderen Storchenarten, sehr große Anzahlen von Klaffschnäbeln (300) <i>Anastomus lamelligerus</i> , Reiher ( <i>Egretta alba</i> , <i>E. garzetta</i> ), Eisvogel ( <i>Ceryle rudis</i> ), Kleine Dommel ( <i>Ixobrychus minutus</i> ), Kormoran ( <i>Phalacrocorax spec.</i> ), Sporengans ( <i>Plectropterus gambensis</i> ), an weiteren Tümpeln oder Feuchtstellen Wollhalsstörche ( <i>Ciconia episcopus</i> ) und Sattelstörche ( <i>Ephippiorhynchus senegalensis</i> ), Blaureiher ( <i>Egretta ardesiaca</i> ), Rallenreiher ( <i>Ardeola ralloides</i> ), Klunkerkranich ( <i>Grus carunculatus</i> ), Löffler ( <i>Platalea alba</i> ), Fischadler ( <i>Haliaeetus vocifer</i> ), Kapkauz ( <i>Glaucidium capense</i> )

### **Straße Toteng – Maun (67 km westlich von Maun) (7)**

Telemetriedaten:	-
Vegetation:	Wiese, teils mit <i>Artemisia</i> -Sträuchern bestanden, Umgebung mit Siedlungen
Vegetation nach GLC 2000:	Offenes laubwerfendes Buschland, Geschlossenes Grasland
Weißstörche gesichtet:	Ja, 20 Störche bei der 1. Sichtung, jedoch auch in den nachfolgenden Tagen weiterhin Störche
Beobachtungen:	17 Abdimstörche ( <i>Ciconia abdimii</i> ), viele Heuschrecken und Eidechsen

### **Makgadikgadi Nationalpark (8)**

Telemetriedaten:	-
Vegetation:	Buschland, Tümpel (künstlich bewässert), nach Osten offene Savannen-Graslandschaft
Vegetation nach GLC 2000:	Offenes laubwerfendes Buschland, nach Westen Geschlossenes Grasland (mit vereinzelt Büschen)
Weißstörche gesichtet:	Ja (1), kurzer Aufenthalt am Wasserloch
Beobachtungen:	-

**Nata Bird Sanctuary – Sua Pan (9)**

Telemetriedaten:	-
Vegetation:	Salzpfanne (vegetationslos) mit kleinen Wasserstellen, die Sua Pan hingegen ein temporärer See, in der Umgebung Grasland
Vegetation nach GLC 2000:	Geschlossenes Grasland (mit vereinzelt Büschen), Salzpfanne
Weißstörche gesichtet:	Ja, ein Weißstorch am Tümpel, etwa acht Kilometer entfernt zwei weitere im Flug
Beobachtungen:	Zahlreiche Wasservögel: Klaffschnäbel ( <i>Anastomus lamelligerus</i> ), Löffler ( <i>Platalea alba</i> ), Seidenreiher ( <i>Egretta garzetta</i> ), <i>Anas erythrorhyncha</i> , Graureiher ( <i>Ardea cinerea</i> ), Stelzenläufer ( <i>Himantopus himantopus</i> ), Klunkerkranich ( <i>Grus carunculatus</i> ), Flamingos ( <i>Phoenicopterus ruber</i> ), Pelikane (410) ( <i>Pelecanus onocrotalus</i> ), Marabu ( <i>Leptoptilus crumeniferus</i> ), Nimmersatt ( <i>Mycteris ibis</i> ), Limikolen, Gleitaar ( <i>Elanus caerulens</i> )

**Müllkippe bei Lobatse (7 km südwestlich von Gaborone) (10)**

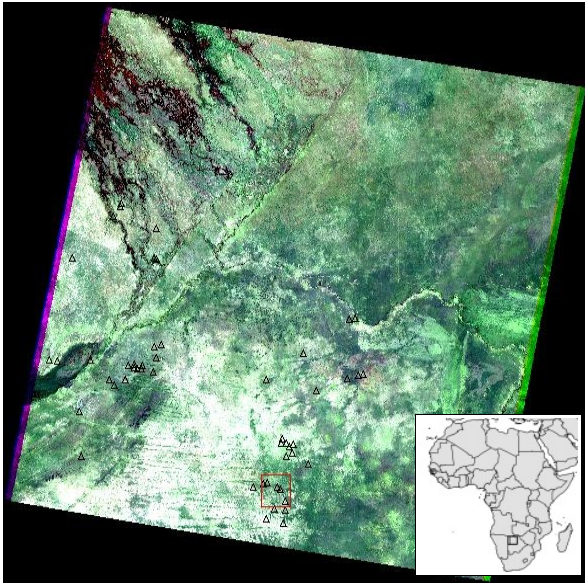
Telemetriedaten:	-
Vegetation:	Unmittelbare Nähe der Stadt Lobatse, im Umkreis Felder, Bäume und Gebüsch
Vegetation nach GLC 2000:	Geschlossenes Grasland, Kulturflächen
Weißstörche gesichtet:	Ja, 25 Störche auf der Müllkippe gesichtet
Beobachtungen:	60 Marabus ( <i>Leptoptilus crumeniferus</i> ), Krähen und Geier, die Vögel halten sich bei Tier-Kadavern auf, die auf der Müllkippe verwesen, vermutlich werden von den Störchen in den Kadavern sitzende Maden aufgepickt

In Botswana konnte aufgrund der wenigen Weißstorchsichtungen lediglich der westliche Teil der Rastregion Ngamiland als wichtiges Rastgebiet bestätigt werden. Die nach Telemetriedaten ausgewiesenen Aufenthaltsorte im südöstlichen Teil (2 „Haina Hills“ in Abbildung 92) waren hingegen nur schwer zugänglich und wiesen wenig geeignete Habitate auf. Die hier kartierten Habitate (geschlossenes bis mehr oder weniger offenes Buschland) werden nach den Beobachtungen und den Ergebnissen der Habitatanalyse von Störchen eher gemieden, da diese niedrigere Vegetation bevorzugen. Die Telemetriedaten stammen aus den Jahren 1999 und 2000, so dass die Landbedeckungskarte GLC 2000 prinzipiell den Zustand der Vegetation zum Zeitpunkt der Weißstorch-Aufenthalte wiedergeben sollte. Demnach dominierten in diesem Gebiet offenes Buschland und geschlossenes Grasland. Die Graslandflächen sind fleckenartig im Buschland verteilt, die Telemetriepositionen liegen jedoch sowohl innerhalb von Buschland- als auch Graslandhabitaten. Aufgrund der Auflösung von 1 km<sup>2</sup> ist es jedoch denkbar, dass die Störche dennoch kleinere Freiflächen in diesem Gebiet aufgesucht haben. Damit ist jedoch noch nicht

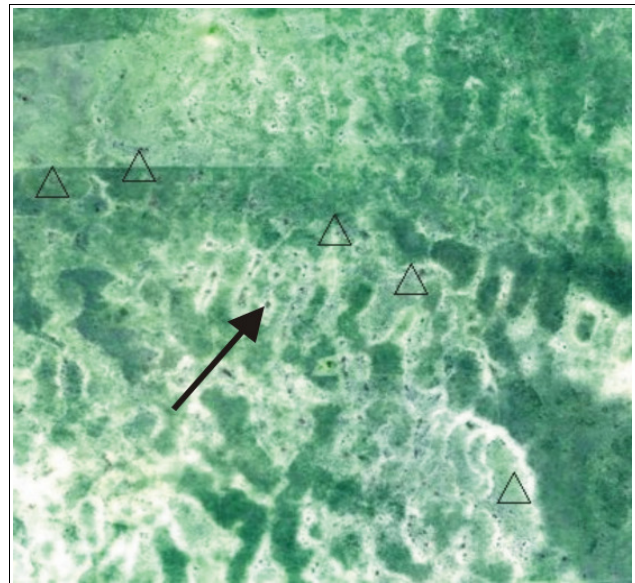
erklärt, warum das Gebiet über einen so langen Zeitraum für die Vögel attraktiv war (E 848 05.-21.02.2000 und E 849: 26.02.-09.03.1999). Die Karte der Feuchtgebiete Afrikas (GLWD, siehe Kap. 3.2.4) könnte hier Aufschluss geben. Danach ist in dieser Region ein größeres periodisches Feuchtgebiet verzeichnet, welches die Präsenz der Störche erklären könnte.

Um diese Frage zu klären, wurde eine Landsat-Satellitenszene hinzugezogen (Abbildungen 94 und 95). Die Aufnahme stammt vom 10.10.1999. Sie zeigt am rechten Rand den Lake Ngami und in der Mitte den Verlauf des Boteti Rivers (siehe Abb. 94). Eine zweite Abbildung zeigt einen Ausschnitt in der Kanalkombination 4-5-3 für RGB, welche feuchtere Stellen in Grün hervorhebt (Abb. 95). Weißstorch-Telemetriedaten des „Tagesbeste“-Datensatzes wurden als Dreiecke dargestellt. Im Ausschnitt ist zu erkennen, dass das Gebiet weitgehend vegetationslos ist (Vegetation würde in dieser Kombination rot erscheinen), sich hier jedoch zahlreiche Wasserstellen gebildet haben (dunkle Punkte). Es kann also zunächst davon ausgegangen werden, dass die dichte Buschvegetation der Feldaufnahmen 2005 in dieser Region noch nicht vorhanden war. Die Präsenz von Wasserstellen könnte wiederum den langen Rastaufenthalt der Weißstörche erklären. Auch BROUWER & MULLIÉ (1994) weisen darauf hin, dass sich überwinternde Weißstörche der West-Population und andere palaearktische Wasservögel an zahlreichen temporären Gewässern im nigerianischen Sahel sammelten. Die Weißstorch-Rastpunkte in diesem Gebiet entstammen aus dem Zeitraum Februar und März 1999. Die Landsat-Aufnahme entstand im Oktober desselben Jahres, könnte also durchaus den Zustand zum Zeitpunkt der dortigen Rastaufenthalte widerspiegeln, zumal die Regenzeit zum Jahreswechsel ihren Höhepunkt erreicht, so dass Wasserstellen, die im Oktober vorhanden sind, bei entsprechenden Regenereignissen auch noch zu Anfang des Jahres existieren.

Zum Zeitpunkt des Feldaufenthaltes war die Anziehungskraft des Lake Ngami sehr groß, da dieser See, der in den meisten Jahren vollkommen trocken ist, im Jahr 2005 zum ersten Mal seit 16 Jahren wieder mit Wasser gefüllt war (siehe unten). Entsprechend konnten auch in Ufernähe und vor allem im umgebenden Grasland die höchsten Anzahlen von Weißstörchen gesichtet werden. Im oberen Abschnitt zum Gebiet „Lake Ngami“ sind zudem weitere dort gesichtete Vogelarten aufgelistet.



**Abbildung 94:** Landsat 7 Szene vom 10.10.1999 in der Kanalkombination 4-5-3 aus Nord-Botswana, die das Okavangodelta, den Lake Ngami und den Boteti-River zeigt. Die schwarzen Dreiecke stellen die Rastpositionen der Weißstörche dar. Der rot markierte Ausschnitt ist in Abbildung 95 vergrößert dargestellt.



**Abbildung 95:** Landsat 7 Szene vom 10.10.1999 (Ausschnitt) in der Kanalkombination 4-5-3, in der feuchte Stellen dunkel erscheinen. Die Weißstorch-Rastpositionen sind als Dreieck dargestellt. Bei den dunklen Flächen (siehe Pfeil) handelt es sich vermutlich um Wasserstellen.

Die konzentrierte Ansammlung von verschiedenen Zug- und Wasservögeln zeigt, dass der See als wichtiges Feuchthabitat auch für den Durchzug von Wasservögeln dient (z.B. Pelikane). Auch andere Gebiete können zu solchen „Hot Spots“ werden, da die Bedingungen in Abhängigkeit der Regen- und Trockenzeit bzw. der jährlichen Niederschlagsmengen stark variieren und damit neue Feuchthabitate entstehen können. Sicherlich liegt dessen Bedeutung auch im geschichtlichen Rückblick begründet, da der See in der Vergangenheit wesentlich häufiger mit Wasser gefüllt war. Bis in das frühe 19. Jahrhundert wies der See noch große Wassertiefen auf und erst gegen 1820 begann das System auszutrocknen, so dass ehemaliger Galeriewald mit der Zeit zu vegetationslosem ariden Land degradierte. Besonders verstärkt wurde dieser Trend im Laufe des 20. Jahrhunderts, als mehrere Dürren aufeinander folgten. Zuletzt war der See 1988/89 mit Wasser gefüllt und bildet nunmehr eine trockene Savannenlandschaft (NICHOLSON 1996).

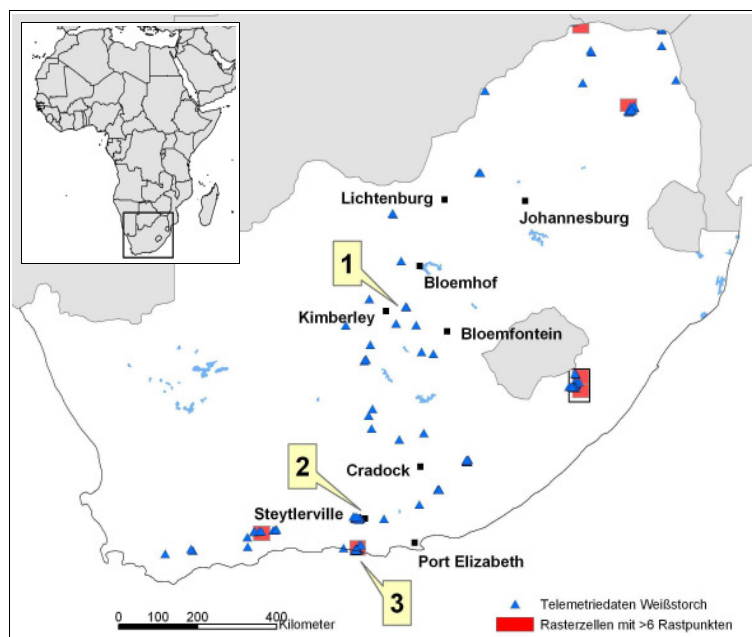
Die Relevanz der Rastregionen ist daher in Botswana möglicherweise stark von den jährlichen Bedingungen abhängig. Mit der jährlichen Niederschlagsvariabilität variiert auch die ökologische Relevanz einzelner Regionen. Das Jahr 2005, in dem auch die Felduntersuchungen durchgeführt wurden, war für Botswana zumindest im nördlichen Teil (Ngamiland) ein regenreiches Jahr. Entsprechend waren potenzielle Wasserreservoirs wie der Lake Ngami oder auch die nördlichen Makgadikgadi-Salzpflanzen (Sowa-Pan) gefüllt und boten einen starken Anziehungspunkt für Wasservögel. Neben verschiedenen Storcharten fanden sich hier auch Pelikane, Flamingos und weitere Wasservögel ein. Während das Okavango-Delta – das größte Ramsar-Feuchtgebiet der Erde (RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS 2000) – ein permanentes Frischwasserreservoir mit Feuchthabitaten darstellt, handelt es sich bei den oben beschriebenen saisonalen Reservoirs um



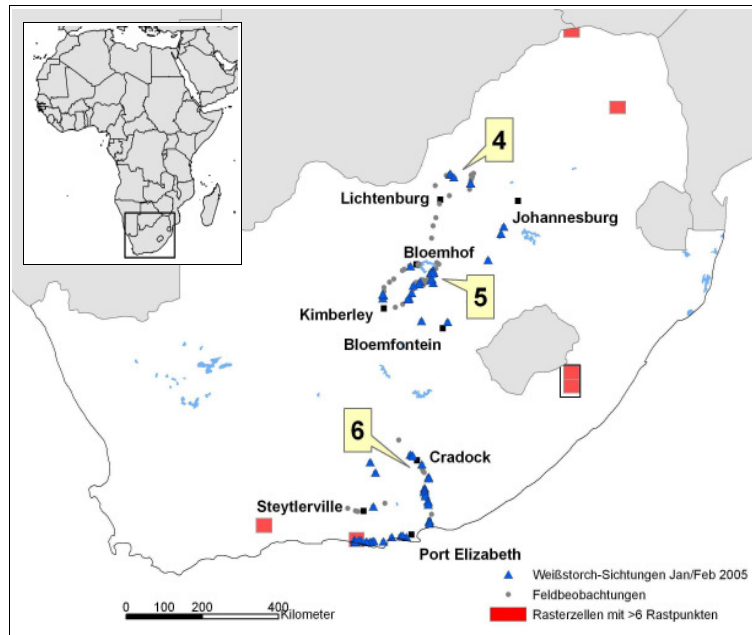
Habitats, die im Laufe der Jahre einer ständigen Veränderung unterliegen. Dennoch scheinen die (Zug-)Vögel diese Gebiete zu kennen und nutzen sie bei günstigen Bedingungen.

### b) Südafrika

In Südafrika verhält es sich umgekehrt wie in Botswana: Im Vergleich zu den eher verstreut liegenden Telemetriedaten konnten an zahlreichen weiteren Stellen Weißstörche gesichtet werden (Abbildungen 96 und 97). Es konnte im Feld nur eine Region mit längeren Rastaufenthalten („Woodlands“) aufgesucht werden, in der auch tatsächlich Weißstörche beobachtet werden konnten. Als ein weiteres wichtiges Rastgebiet erwies sich die landwirtschaftlich stark genutzte Region zwischen Bloemhof und Kimberley, in der zahlenmäßig die größten Ansammlungen von Weißstörchen beobachtet wurden. Dieses Gebiet wurde als einziges bereits im Jahr 2004 während des ersten Feldaufenthaltes aufgesucht. Auch hierbei konnten große Anzahlen von Störchen gesichtet werden. In allen übrigen Gebieten kam es immer wieder zu vereinzelt Sichtungen kleinerer Gruppen (10-15). Auch in der Rastregion „Woodlands“, westlich von Port Elizabeth hielten sich nicht mehr als rund 30 Störche auf. Jedoch zeigen aktuelle Daten des besondern Weißstorch „Prinzesschen“, dass die Region auch in den nachfolgenden Jahren als Rastgebiet diene.



**Abbildung 96:** Lage der Telemetriedaten in Südafrika und aufgesuchte Gebiete. Region 1: Kimberley, 2: Steytlerville, 3: Woodlands.



**Abbildung 97:** Feldbeobachtungen und Weißstorchsichtungen in Südafrika während des Feldaufenthaltes 2005. Region 4: Lichtenburg, 5: Bloemhof-Hoopstad, 6: Cradock.

### Kimberley (1)

- Telemetriedaten: Anfang März 2003, rund um Kimberley in einem Umkreis von 100-150 km weitere Telemetriepositionen aus verschiedenen Jahren
- Vegetation: Baumsavanne, Grasland, teilweise beweidet
- Vegetation nach GLC 2000: Grasland mit vereinzelt Bäumen, Kulturland
- Weißstörche gesichtet: Ja (zwischen 2 und 40), an verschiedenen Stellen, meist Grasland-Senken, teilweise feucht, oft weit verstreut über große Flächen
- Beobachtungen: In den feuchten Senken auch andere Wasservögel (u.a. Sporenkäse *Plectropterus gambensis*, Hagedasch-Ibisse *Bostrychia hagedash*, Abdimstörche *Ciconia abdimii*, Stelzenläufer *Himantopus himantopus*, Enten *Anas erythrorhynchos* und Limikolen)

### Steytlerville (2)

- Telemetriedaten: Anfang Januar 1999, Dezember 2004 und Januar 2005
- Vegetation: Polsterpflanzen, Grasland mit einzelnen Baumgruppen, teilweise beweidet
- Vegetation nach GLC 2000: Offenes laubwerfendes Buschland, Grasland mit vereinzelt Bäumen

Weißstörche gesichtet: Ja (1)  
Beobachtungen: Nach der Aussage eines Farmers konnten im selben Jahr (2005) viele Weißstörche beobachtet werden, diese waren allerdings nur nach Niederschlägen präsent

### **Woodlands (130 km westlich von Port Elizabeth) (3)**

Telemetriedaten: Januar-Februar 1999, Januar-Februar 2002, Januar-Februar 2003, Januar 2005  
Vegetation: Kiefernwald, Kuhweiden mit Tümpeln, in der Umgebung Hartlaub-Gebüsch  
Vegetation nach GLC 2000: Immergrüner Tieflandwald, Offener laubwerfender Wald, Buschland mit vereinzelt Bäumen  
Weißstörche gesichtet: Ja (3-30), Störche vereinzelt oder zu mehreren auf den Weiden, oft zwischen den Kühen  
Beobachtungen: Weitere Vogelarten: Ibis (*Threskiornis aethiopicus*, *Bostrychia hagedash*), Nilgänse (*Alopochen aegyptiacus*), Schakalbussard (*Buteo rufofuscus*), Graureiher (*Ardea cinerea*)

### **Lichtenburg (4)**

Telemetriedaten: Ende Dezember 2004  
Vegetation: Buschland, Weiden und Wiesen  
Vegetation nach GLC 2000: Offenes laubwerfendes Buschland, offener Wald  
Weißstörche gesichtet: Ja, (3) im Grasland (Kuhweide), 30 km weiter südlich, Nähe eines Farmhauses  
Beobachtungen: In der Umgebung von Lichtenburg weitere Störche gesichtet, in der Nähe eines Feldes bis zu 20 Störche auf Schlafbäumen

### **Bloemhof - Hoopstad (5)**

Telemetriedaten: -  
Vegetation: Kulturflächen (intensiv), hauptsächlich Mais, Erdnuss  
Vegetation nach GLC 2000: Kulturflächen (>50 %)  
Weißstörche gesichtet: Ja, (bis zu 200 Störche auf einem Feld), meist auf Erdnussfeldern  
Beobachtungen: Auch während des Feldaufenthaltes im Februar 2004 wurden hier große Zahlen von Weißstörchen beobachtet

**Cradock (6)**

Telemetriedaten:	Dezember 1997, Dezember 2004
Vegetation:	Buschland, Grasland, Weiden, Äcker, entlang von Flüssen/Bächen Galeriewald
Vegetation nach GLC 2000:	Offener laubwerfender Wald, Offenes Buschland, Kulturlflächen
Weißstörche gesichtet:	Ja (2-37), meist vereinzelt auf Äckern, an kleinen Tümpeln oder auf Weiden
Beobachtungen:	-

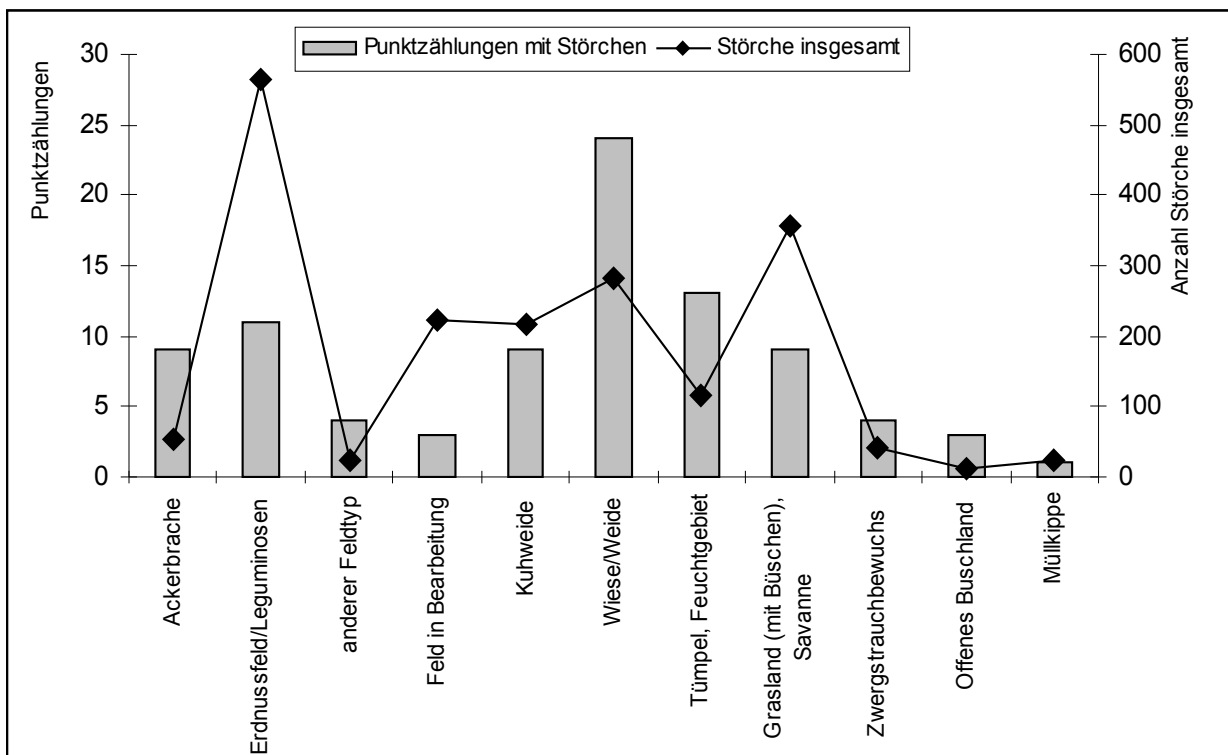
Die Felduntersuchungen in Südafrika zeigten für zwei ökologisch sehr unterschiedliche Gebiete eine hohe Relevanz für Weißstörche. Die Region Hoopstad (5 in Abb. 97) wird intensiv landwirtschaftlich genutzt. Dennoch konnten in dieser Region die höchsten Anzahlen von Weißstörchen beobachtet werden. Da bereits im Februar 2004 während eines ersten Kurz-Aufenthalts ebenso hohe Anzahlen von Weißstörchen gesichtet wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die Region regelmäßig von Störchen aufgesucht wird. Zudem zeigen neuere Telemetriedaten des Senderstorchs Prinzesschen (KA 0749), dass auch dieser sich im Gebiet über einen längeren Zeitraum aufgehalten hat (05.01.-24.01.2005). Eigene Beobachtungen über mehrere Tage konnten jedoch auch zeigen, dass das Gebiet für die Störche offenbar von einem auf den anderen Tag unattraktiv werden kann. Während am 03.02.2005 noch über 100 Störche auf den Feldern gezählt wurden, hielten sich am 05.02.2005 im selben Gebiet keine Störche mehr auf. Ähnliche Beobachtungen aus dem Jahr 2004 (siehe Kap. 2.9) legen den Verdacht nahe, dass ein umfangreicher Einsatz von Pestiziden, die mittels Flugzeugen ausgebracht werden, der Auslöser für das plötzliche Verschwinden der Störche sein kann. Zumindest für den Senderstorch Prinzesschen bedeutete der Pestizideintrag auf dessen „Futterfeld“ den Abzug aus dem Gebiet und möglicherweise den Auslöser zum Antritt des Heimzuges. Leider konnten zu diesem Problem keine systematischen Untersuchungen gemacht werden, so dass hier nur Raum für Vermutungen bleibt und weiterer Forschungsbedarf besteht.

Die zweite relevante Rastregion ist „Woodlands“ (3 in Abbildung 96). Sie diente in den Jahren 1998-99 und 2001-06 als Rastgebiet für den Senderstorch Prinzesschen (die Überwinterungsgebiete zwischen 1999 und 2001 Zeitraum sind mangels Besenderung nicht bekannt). Auch die Felduntersuchungen zeigten, dass die Region ein attraktives Rastgebiet für Weißstörche ist. Im Gegensatz zur oben beschriebenen Region handelt es sich hierbei um ein eher extensiv und lediglich zur Viehweide genutztes Gebiet. Die stärkere Strukturierung kann auch eine Erklärung für das Vorkommen weiterer Vogelarten wie Greifvögeln, Ibissen und Gänsen sein, die in Hoopstad nicht beobachtet werden konnten.

Auch an weiteren Senderlokalisationen vergangener Jahre konnten in den entsprechenden Regionen Weißstörche beobachtet werden. Dies umfasst die Regionen Cradock, Lichtenburg, Kimberley und Steytleville. In Südafrika scheinen die Regionen mit Senderlokalisationen vergangener Jahre also nach wie vor wichtige Gebiete für Weißstörche zu sein.

**3.9.3 Genutzte Habitate der Störche und ihre gesamtökologische Relevanz**

An insgesamt 90 verschiedenen Stellen („Punktzählungen“) in Botswana und Südafrika konnten Weißstörche – teils in Assoziation mit anderen Storch- oder sonstigen Vogelarten – beobachtet und gezählt werden. Die Abbildung 98 zeigt die verschiedene Habitatnutzung der Störche nach eigener Habitatklassifikation im Feld (siehe hierzu auch Anhang VI). Die Balken repräsentieren die Anzahl des jeweiligen Habitattyps, während die Punkte die Gesamtanzahl beobachteter Weißstörche in diesem Habitattyp zeigen. Es wurden 11 verschiedene Habitattypen unterschieden, davon sind sechs anthropogen beeinflusste, meist landwirtschaftlich genutzte Habitattypen. Hierzu gehören Ackerbrache, Erdnuss-/Leguminosenfeld, anderer Feldtyp, Feld in Bearbeitung (während oder kurz nach dem Pflügen), Kuhweide (mit Kühen) und Wiese/Weide ohne Weidevieh, jedoch



**Abbildung 98:** Anzahl der im Feld aufgenommenen Vegetationstypen bzw. Kulturflächentypen (Botswana und Südafrika) im Vergleich zur Gesamtanzahl der dort beobachteten Störche.

offensichtlich genutzt). Weitere Habitattypen sind Tümpel oder Feuchtgebiete, Grasland (mit Büschen oder Bäumen), Zwergstrauchbewuchs, Offenes Buschland und Müllkippe.

Die Abbildung zeigt deutlich, dass die Anzahl der aufgenommenen Punkte je Habitattyp nicht mit der Gesamtanzahl der gesichteten Störche korreliert. Eher seltene oder auf bestimmte Regionen beschränkte Habitattypen, wie beispielsweise Erdnussfelder, können also dennoch eine große Anzahl von Störchen aufweisen. Am häufigsten wurde das Habitat Wiese/Weide aufgenommen, mit relativ hohen Anzahlen von Störchen (mind. 282). Savannenartige Graslandtypen mit Büschen oder Bäumen waren zwar zahlenmäßig seltener vertreten, hier konnten jedoch insgesamt mehr

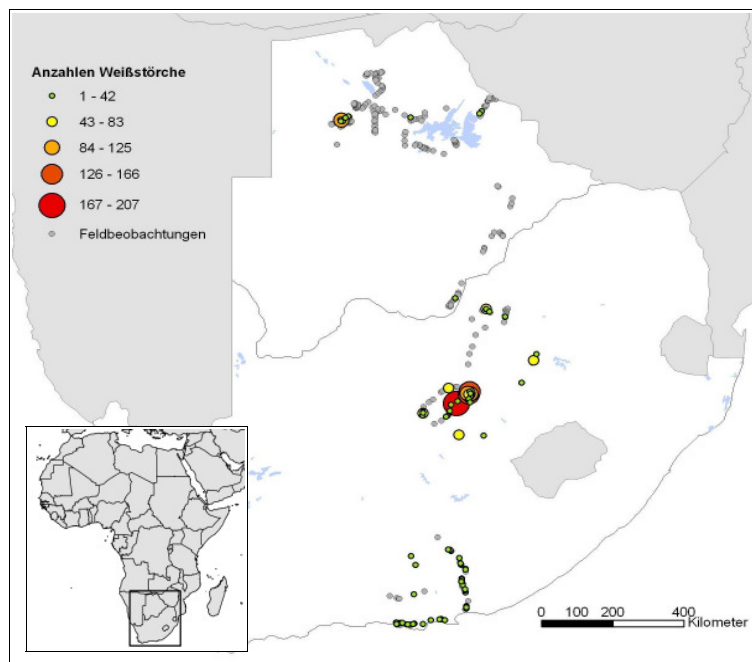
Weißstörche gesichtet werden (355). Auch Felder, die gerade bearbeitet wurden (z.B. mit dem Pflug) wurden insgesamt nur dreimal aufgenommen. Dennoch konnte auch hier eine große Anzahl von Störchen bei der Nahrungsaufnahme beobachtet werden (222). Die Lockwirkung der Arbeitsmaschinen war deutlich zu beobachten: aufsteigender Staub des Pflugs war aus großer Entfernung sichtbar. Sowohl Weiß- als auch Abdimstörche sammelten sich an dieser Stelle an, um dort zu landen und dem Arbeitsgerät zu folgen. Auch CREUTZ (1988), SCHULZ (1988) und KAATZ (2004) beschreiben dieses Verhalten. Eigene anschließende Untersuchungen auf dem gepflügten Boden zeigten, dass der Pflug zahlreiche Maden zu Tage förderte, die von den Störchen gefressen wurden.

Eine ähnlich hohe Anzahl von Störchen war auch auf Kuhweiden zu finden (216). Bezüglich anderer Vogelarten (es wurden nur Wasser- und Greifvögel aufgenommen) konnten insbesondere an Tümpeln oder in Feuchtgebieten und im Grasland mit Büschen oder Bäumen weitere Arten gesichtet werden. Dazu gehören Ibisse, Reiher, Enten und Limikolen. Auf den landwirtschaftlichen Flächen waren neben den Weißstörchen meist nur Abdimstörche (*Ciconia abdimii*) zu sehen. Die mit Abstand größte Ansammlung verschiedener Vogelarten gab es am Lake Ngami. Während die Weißstörche sich hier jedoch auf den umliegenden Kuhweiden aufhielten, waren die übrigen Vogelarten direkt am Wasser zu beobachten: insbesondere hohe Anzahlen von Pelikanen (*Pelecanus onocrotalus*) und nahezu alle anderen in Afrika heimischen Storcharten (Klaffschnabel *Anastomus lamelligerus*, Marabu *Leptoptilus crumeniferus*, Nimmersatt *Mycteria ibis* und Abdimstorch *Ciconia abdimii*).

Die Feldbeobachtungen zeigen, dass landwirtschaftliche Flächen, und hierbei insbesondere Erdnussfelder und Wiesen oder Weiden, von den Störchen bevorzugt aufgesucht werden. Unter den natürlichen Habitaten sind es die ausgedehnten Graslandschaften und Savannen, in denen Störche beobachtet wurden. Dies unterstützt sowohl die Ergebnisse der Habitatanalyse auf Basis der Landbedeckungskarte GLC 2000 als auch die Beobachtungen durch VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002); ALLAN (2003) und KAATZ (2004), wobei letzterer darauf hinweist, dass natürliche Habitate bevorzugt aufgesucht werden. Betrachtet man die Beobachtungen für Botswana und Südafrika getrennt, zeigt sich, dass in Botswana verstärkt natürliche Graslandhabitate von Störchen aufgesucht wurden, in Südafrika hingegen eher landwirtschaftlich genutzte Gebiete. Die Landbedeckungskarte bestätigt, dass in Botswana kaum größere zusammenhängende Flächen landwirtschaftlich genutzt werden, während der gesamte Nordosten Südafrikas unter dem Einfluss intensiver Landwirtschaft steht. Tatsächlich konnten die größten Ansammlungen von Störchen in der Region Hoopstad beobachtet werden. Das Gebiet war bereits von einem Feldaufenthalt im vergangenen Jahr (Februar 2004) bekannt, da hier der Senderstorch Prinzesschen überwintert hatte. Die Beobachtungen stimmen mit denen des letzten Jahres überein: hohe Anzahlen von Weiß- und Abdimstörchen, insbesondere auf den großen Erdnussfeldern. Die gesamte Region ist von intensiver Landwirtschaft geprägt, Erdnuss, Mais und in geringerem Anteil auch Sonnenblumen sind Hauptanbauprodukte.

Eine weitere Konzentration von Störchen – allerdings in geringeren Zahlen – konnte im Süden Südafrikas beobachtet werden (Abb. 99). Die bereits angenommene Relevanz des Gebietes bei Humansdorp/ Woodlands auf Basis der Telemetriedaten (längere Aufenthalte in verschiedenen Jahren) konnte auch im Feld bestätigt werden. Das Gebiet mit einer Ausdehnung von etwa 10 km<sup>2</sup> wird zur Milchviehwirtschaft genutzt. Neben Kuhweiden gibt es zahlreiche kleine Tümpel und

Abschnitte mit Kiefernwald. Es liegt zwischen einem bewaldeten Bergzug und der Küste des Indischen Ozeans. Auf den Wiesen konnten an mehreren aufeinander folgenden Tagen Störche beobachtet werden, unter anderem auch der besenderte Storch Prinzesschen. Die hohen Kiefern am Rande der Wiesen bieten optimale Schlafplätze für die Störche – mithilfe des Senders konnte Prinzesschen auf einem der Bäume lokalisiert werden. Neben Weißstörchen wurden im Gebiet vor allem an den Tümpeln Heilige Ibis (*Threskiornis aethiopicus*), Hagedash-Ibis (*Bostrychia hagedash*), ein Schakalbussard (*Buteo rufofuscus*) und Nilgänse (*Alopochen aegyptiacus*) beobachtet.



**Abbildung 99:** Anzahlen der in Botswana und Südafrika beobachteten Weißstörche während des Feldaufenthaltes 2005.

Trotz der hohen Anzahlen von Weißstörchen in den landwirtschaftlichen Regionen Südafrikas spielen auch Graslandschaften eine nicht unbedeutende Rolle. Die Landbedeckungskarte zeigt, dass die landwirtschaftlich geprägte Region im zentralen Südafrika nach Westen in offene Graslandschaft mit Busch- oder Baumbestand übergeht. Hier erfolgten zahlreiche Weißstorchsichtungen in natürlichen Grasland-Senken. Es wird angenommen, dass sich hier fakultativ kleine Wasserstellen oder Feuchtbereiche bilden, die sowohl Störchen als auch Wasservögeln bessere Nahrungsbedingungen bieten können als das Umland.

Wiesen, Weiden und Graslandschaften dienen auch in der Region Cradock den Weißstörchen als Habitat. Entlang der Straße in Richtung Port Elizabeth wurden immer wieder vereinzelte Störche oder größere Gruppen auf den angrenzenden Flächen beobachtet.

Eine Assoziation der Weißstörche mit Feuchtgebieten oder Tümpeln konnte nur bedingt festgestellt werden. Zwar wurden relativ viele Sichtungen an solchen Feuchthabitaten gemacht (13 verschiedene Koordinaten, entspricht 14 % aller Sichtungen), doch mit nur jeweils geringen Anzahlen von Störchen. Dies hängt hauptsächlich mit der Größe dieser Feuchtgebiete zusammen. Lediglich der

Lake Ngami und die Makgadikgadi-Pfannen in Botswana stellten größere Wassererservoirs dar. Größere Anzahlen von Störchen konnten dabei lediglich am Lake Ngami und im umliegenden Weideland beobachtet werden. Es wird gefolgert, dass die Wasserstellen weniger zur Nahrungsaufnahme genutzt werden (Fische oder Amphibien) als verstärkt zur Kühlung und Wasseraufnahme. Beobachtungen in der Region Hoopstad im vorangegangenen Jahr (Februar 2004) unterstützen diese These, da hier die Störche stets die Felder zu Nachmittagszeit verließen und einen nahe gelegenen Tümpel aufsuchten.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass zumindest einige der als wichtige Rastgebiete identifizierten Regionen tatsächlich größere Ansammlungen von Störchen aufwiesen. Dazu gehören Lake Ngami und Woodlands. Andere Gebiete wurden im Feld jedoch als ebenso wichtige Rastgebiete identifiziert, was jedoch aus den Telemetriedaten nicht hervorging.

### 3.9.4 Nahrungsquellen der Weißstörche

#### a) Gewölleuntersuchungen

Die Beobachtung der von Störchen aufgenommenen Nahrungstiere gestaltet sich im Feld sehr schwierig, da meist nicht genau bestimmt werden kann, welche Nahrungstiere aufgenommen werden. Daher wurden zur Klärung der Nahrungsquellen der Weißstörche Gewölle untersucht, die in den Rastgebieten Hoopstad und Woodlands unter den Schlafbäumen der Störche gefunden wurden. Insgesamt wurden 16 Gewölle untersucht, eines davon entstammt der Region Hoopstad (Nr. 1 in Abb. 100) während alle übrigen in Woodlands gesammelt wurden (2-16 in Abb. 100) (vergleiche Methoden Kap. 2.9.1.e).

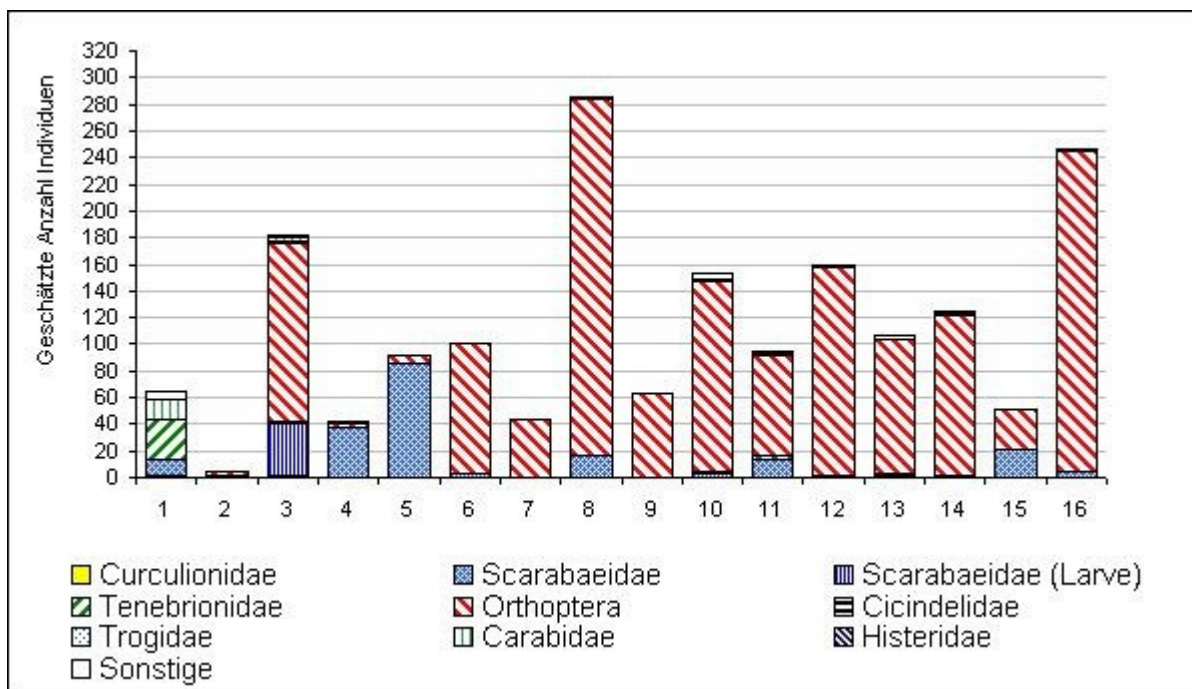
Die Abbildung 100 zeigt die Zusammensetzung der einzelnen Gewölle nach Tiergruppen. Folgende Tiergruppen waren vertreten: Rüsselkäfer (Curculionidae), Sandlaufkäfer (Cicindelidae), Mistkäfer und deren Larven (Scarabaeidae), Erdkäfer (Trogidae), Laufkäfer (Carabidae), Schwarzkäfer (Tenebrionidae), Stutzkäfer (Histeridae) und Orthoptera mit Langfühlerschrecken (Ensifera) und Kurzfühlerschrecken (Caelifera). In den Gewöllen konnten also nur unverdauliche Reste von Insekten gefunden werden.

In der Abbildung 100 ist klar die ähnliche Zusammensetzung der Gewölle erkennbar, allein das Gewölle aus Hoopstad unterscheidet sich deutlich von den übrigen. Hauptnahrungsquelle der Weißstörche bilden demnach Heuschrecken (Orthoptera). Sie machen in der geschätzten Individuenanzahl in den meisten Gewöllen einen Anteil zwischen 60 % und 90 % aller nachgewiesenen Tiergruppen aus. Eine zweite stark vertretene Gruppe sind die Mistkäfer (Scarabaeidae), doch sie fehlen in einigen der Gewölle auch gänzlich. Alle übrigen Gruppen treten nur vereinzelt auf und werden daher nicht explizit erwähnt. Entsprechend der genutzten Habitate in der Rastregion „Woodlands“ (Wiesen und Kuhweiden) erfüllt die Gewölleuntersuchung die Erwartungen hinsichtlich des Nahrungsspektrums. Insbesondere durch die weidenden Kühe ist ein hoher Anteil an Mistkäfern zu erwarten. Auch die starke Präsenz von Heuschrecken entspricht den Beobachtungen in den nicht beweideten Wiesen. Das einzige Gewölle aus Hoopstad setzte sich hingegen zu einem großen Teil aus Schwarzkäfern (Tenebrionidae) und Laufkäfern (Carabidae) zusammen. Unklar ist, wie hoch der Anteil an nicht nachweisbaren Tiergruppen ist, also solchen, die vollkommen verdaut werden. Hierzu können beispielsweise Raupen zählen. Als einzige



unverdauliche Teile könnten die Mundwerkzeuge übrig bleiben, auch diese waren jedoch in den Untersuchungen nicht nachweisbar (siehe Abb. 100 Gewölle 1). Da die Störche in Hoopstad meist in den Erdnussfeldern nach Nahrung suchten, wäre jedoch ein entsprechend hoher Anteil von dort lebenden Schadinsekten zu erwarten. Ein Vergleich mit der Literatur und eine Befragung der dortigen Farmer ergab, dass dies vor allem die Raupe einer Nachteule (*Spodoptera exempta*, Lepidoptera, Noctuidae) ist, welche auch als „Armyworm“ bezeichnet wird (SCHÜZ 1960; DALLINGA & SCHOENMAKERS 1989). Die Raupe ist in Afrika ein verbreitetes Schadinsekt auf Getreidefeldern (ROSE, DEWHURST et al. 1995). Auch Vertebraten sind in Gewöllen schlechter nachzuweisen. Ihre Knochen werden im Vogelmagen meist vollkommen verdaut (SZIJ & SZIJ 1955) und können im Gewölle daher nur anhand von Feder- oder Fellresten nachgewiesen werden. Die hier untersuchten Gewölle enthielten jedoch keinerlei unverdauliche Reste von Vertebraten.

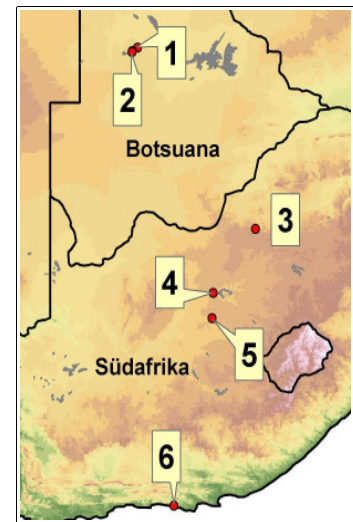
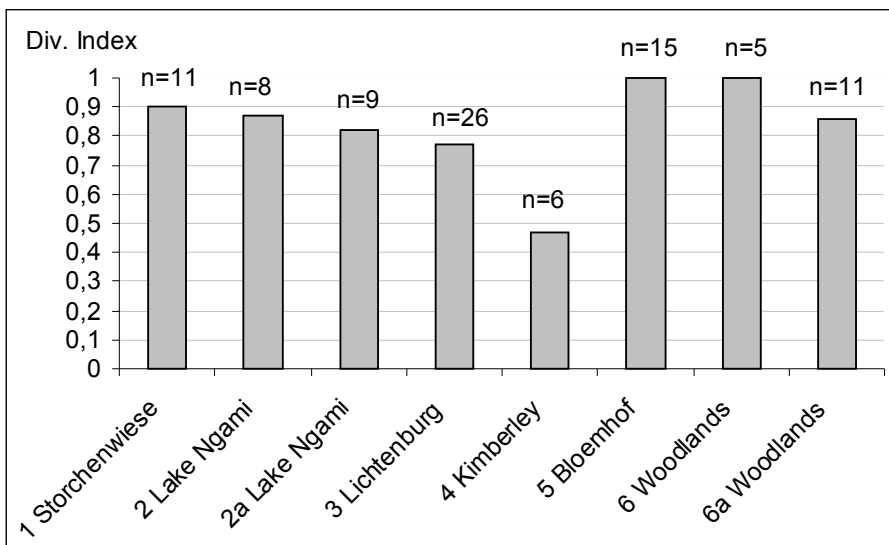
Die Rolle des „Armyworms“ als Nahrungsquelle für die Störche konnte allerdings nicht durch die Gewölleuntersuchungen bestätigt werden, da Raupen in der Regel in Gewöllen schwer nachweisbar sind (s.o.).



**Abbildung 100:** Zusammensetzung der untersuchten Gewölle aus den Regionen Hoopstad (Nr. 1) und Woodlands (Nr. 2-16) in Südafrika. Die Anzahl der Individuen je Insektengruppe wurde anhand der Anzahl gefundener Mundwerkzeuge abgeschätzt (siehe Kap. 2.9.2.b).

### b) Kescherfänge

In einigen Gebieten, in denen Weißstörche beobachtet werden konnten, wurden Kescherfänge durchgeführt, um den Insektenreichtum der genutzten Habitate vergleichen zu können. Dieser wurde mithilfe des Cairn's Index bestimmt, welcher die Arten- und Individuenanzahl und deren Verteilung miteinander in Beziehung setzt (siehe Kapitel 2.9.1.d). Die Abbildung 101 zeigt die Diversitätsindizes der verschiedenen Weißstorchhabitate. Die meisten Indizes liegen zwischen 0,7 und 1 und damit auf einem sehr hohen Niveau. Die höchsten Werte werden in den Regionen „Kimberley“ und „Woodlands“ erreicht. Die niedrigsten Werte liegen in Bloemhof (0,47) und „Lichtenburg“ (0,77).



**Abbildung 101:** Cairn's Diversitätsindex der Kescherfänge in Botswana und Südafrika. Über den Balken wurde die Anzahl der insgesamt gefangenen Individuen dargestellt (n). Da an einigen Orten mehrere Kescherfänge hintereinander durchgeführt wurden, ist der jeweilige Mittelwert bei jeweils 30 Kescherschlägen dargestellt (siehe auch Kap. 2.9.1.d).

**Abbildung 102:** Lage der Orte, an denen Kescherfänge durchgeführt wurden.

Der niedrigste Diversitäts-Index ergab sich aus Kescherfängen in „Bloemhof“, die auf einem Luzernefeld durchgeführt wurden. Hier hielten sich zwischen 50 und 60 Weißstörchen auf. Das Feld war zum Zeitpunkt des Kescherfangs frisch bearbeitet worden (gemäht), was sicherlich ein Anziehungsgrund für die Störche war (vergleiche Kap. 3.9.3). Im Kescherfang fanden sich sehr viele Larven (eine Morphospezies), die möglicherweise durch die Feldbearbeitung zu Tage befördert worden sind. Entsprechend liegt der Diversitätsindex hier auch niedrig im Vergleich zu den übrigen Regionen.

Auch in „Lichtenburg“ wurde auf einem Luzernefeld gekeschert, in dem der nicht heimische Käfer *Astylus atromaculatus* (Melyridae) besonders abundant war. Dieser Käfer stammt ursprünglich aus Südamerika und wurde nach seiner Einschleppung Anfang des 20. Jahrhunderts nach Südafrika hier zu einer großen Plage für die Landwirtschaft (PICKER, GRIFFITHS et al. 2004). Dennoch konnten im Feld auch weitere Insekten wie Heuschrecken, andere Käfer und Wanzenarten gefangen werden, so dass der Index auch hier noch relativ hoch liegt.

In Richtung „Kimberly“ konnten immer wieder Weißstörche in ausgedehnten Graslandpfannen und

in Assoziation mit anderen Vogelarten (siehe Kap. 3.9.2.b) und größeren Säugetieren wie Antilopen (Springbock *Antidorcas marsupialis*) beobachtet werden. Bei dem Kescherfang konnten hier jedoch nur wenige Individuen gefangen werden ( $n=6$ ), so dass der hohe Diversitätsindex mit Vorsicht bewertet werden sollte. Die Umgebung mit ihren ausgedehnten Graslandschaften und einigen vorhandenen Wasserstellen lassen jedoch auf eine hohe Abundanz von Insekten, insbesondere Heuschrecken schließen.

In „Woodlands“ wurde an zwei aufeinander folgenden Tagen gekeschert. Die Habitate bestanden hier aus reich strukturierten Wiesen, teils von Kühen beweidet, teils mit hohem Gras und am Rand mit Kiefern gesäumt. Die Kescherfänge wurden jeweils auf einer unbeweideten Wiese nahe des Schlafbaums des hier überwinterten Senderstorchs Prinzesschen durchgeführt (nachmittags ca. 16:00 Uhr und morgens ca. 10:00 Uhr). Obwohl in den Fängen nur wenige Heuschrecken enthalten waren, wurde deutlich, dass zahlreiche Heuschrecken vor dem Netz flüchten konnten und somit nicht gefangen wurden. Es wird daher vermutet, dass ihre Anzahl in den hier gezeigten Ergebnissen deutlich unterrepräsentiert ist. Die Gewölleuntersuchungen konnten jedoch zeigen, dass eine wichtige Nahrungsgrundlage der Störche in diesem Gebiet Dungkäfer bildeten, welche durch den Kuhdung abundant waren.

Auch am „Lake Ngami“ wurde an zwei aufeinander folgenden Tagen gekeschert. Das Habitat der Störche bestand hier aus Grasland mit vereinzelt Büschen, zum Teil von Kühen beweidet. Der erste Fang fand am spätem Nachmittag statt (ca. 17.00) und wies eine Vielzahl verschiedener Gruppen wie Lepidoptera, Hymenoptera und Orthoptera auf. Der zweite Fang wurde am Morgen des folgenden Tages durchgeführt. Hier ist ein höherer Anteil an Heuschrecken (eine Morphospezies) in den Fängen enthalten, so dass der Index leicht niedriger liegt. Da die Zeitpunkte zum Keschern jeweils am Morgen und Nachmittag gewählt wurden, sollte die Aktivität der Heuschrecken in etwa gleich sein (Kap. 2.9.1.d). Dennoch können Unterschiede in der Aktivität der Insekten durch die jeweiligen Wetterverhältnisse auftreten (UVAROV 1977). Zudem zeigte sich auch hier sehr deutlich, dass während des Kescherns eine Vielzahl der Heuschrecken nicht gefangen werden konnten, so dass die Ergebnisse möglicherweise nicht repräsentativ sind.

Die Kescherfänge auf der „Storchenwiese“ an der Straße zwischen Toteng und Maun zeigten ebenfalls Vertreter aller Gruppen, insbesondere Orthoptera und Coleoptera. Hier wurden zusätzlich zahlreiche Eidechsen gesichtet, die sicherlich eine weitere wichtige Nahrungsquelle der Störche darstellt.

Die Ergebnisse der durchgeführten Kescherversuche zeigen in fast allen Habitaten der Weißstörche hohe Werte des Diversitätsindex ( $> 0,8$ , siehe Abb. 101). Bei den einzelnen Fängen wurden also selten die gleichen Arten gefangen. Für die Weißstörche mag jedoch eher die Abundanz einzelner Insektengruppen als die Artendiversität entscheidend sein. Die Gewölleuntersuchungen in Kapitel 3.9.4.a zeigten, dass einzelne Insektengruppen einen großen Anteil der insgesamt enthaltenen Insekten ausmachen (meist Orthoptera oder Scarabidae). Es konnten zwischen zwei und elf Insektengruppen unterschieden werden. Das Gewölle Nr. 5 enthielt beispielsweise nur Überreste der Gruppen Scarabaeidae und Orthoptera. Eine Artenzuordnung war jedoch auf Basis der unverdaulichen Reste in den meisten Fällen nicht möglich, so dass keine Aussage über die Artendiversität in der aufgenommenen Nahrung der Störche getroffen werden kann. Die

Untersuchungen legen jedoch nahe, dass besonders abundante Gruppen auch in der insgesamt aufgenommenen Nahrung repräsentativ sind. Gewölle-Untersuchungen durch TSACHALIDIS & GOUTNER (2002) in Griechenland zeigten jedoch, dass insbesondere die Insektengruppen Orthoptera und Coleoptera große Anteile der Gewöllezusammensetzung ausmachen so dass sie als bevorzugte Nahrungsquelle der Weißstörche genannt werden.

### **3.10 Vergleich der Ergebnisse mit Daten aus der Literatur**

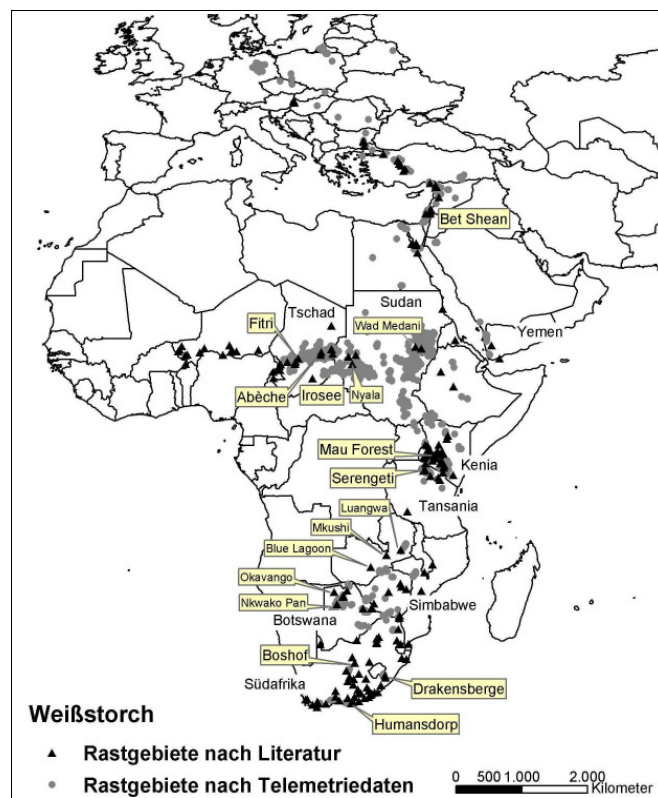
Der Weißstorch gehört zu einer der bestuntersuchten Vogelarten. Entsprechend existieren zahlreiche Veröffentlichungen über seine Biologie und Ökologie, aber auch zum Zugverhalten und dem Zugverlauf. Im Falle des Schreiadlers gibt die Literatur weitaus weniger her, insbesondere was den Zugverlauf und die Lage der Rastgebiete in Afrika betrifft. Hier konnten erst durch die Satellitentelemetrie wesentliche neue Erkenntnisse erbracht werden (MEYBURG, ELLIS et al. 2001; MEYBURG, MATTHES et al. 2002; MEYBURG, MEYBURG et al. 2004). Um einen Vergleich zwischen den hier gewonnenen Erkenntnissen zu ermöglichen, wurden gesammelte Artikel mit genaueren Angaben zur Lage wichtiger Rast- und Überwinterungsgebiete beider Arten im GIS ausgewertet und in den Abbildungen 103 in Abschnitt 3.10.1 und 104 in Abschnitt 3.10.2 im Vergleich zu den jeweiligen Rastdaten auf Basis der Telemetriedaten dargestellt. Die Literatur basiert zumeist auf eigenen Beobachtungen der Autoren, Beringungsauswertungen oder Literaturübersichten. Im Falle von SCHULZ (1988) und GICHUKI & BUSIENEI (2003) wurden auch Befragungen an die Naturschutzorganisationen und Nationalparks der jeweiligen Länder durchgeführt und ausgewertet.

#### **3.10.1 Weißstorch**

Die Literatursauswertung für den Weißstorch erhebt keinesfalls den Anspruch der Vollständigkeit, zumal hier das Hauptaugenmerk auf Literaturhinweise bezüglich der Ostzugroute lag. Vergleicht man die Lage der erwähnten Rastgebiete des Weißstorchs der Ostzugroute mit den Ergebnissen aus der Analyse der Telemetriedaten ist eine generelle Übereinstimmung mit den hier identifizierten Gebieten gegeben (siehe Abb. 103). Im Nahen Osten wird vor allen die Region „Bet Shean“ in SCHULZ (1988) als wichtiges Durchzugs- und Überwinterungsgebiet genannt. KAATZ (2004) konnte zudem Rastplätze von telemetrierten Störchen in der Türkei und in Bulgarien während eigener Zugbegleitungen als wichtige, mehrfach aufgesuchte Rastgebiete bestätigen. In Afrika zeigt die Auswertung der Literatur Rastgebiete im Tschad und Sudan, des weiteren in Kenia, Tansania, Sambia, Simbabwe, Botswana und Südafrika, womit die meisten der auf Basis der Telemetriedaten identifizierten Rastregionen bestätigt werden (vergleiche insbesondere mit Kap. 3.1.5). Dennoch steht die Häufung der Daten insbesondere in Kenia und Südafrika in leichtem Widerspruch zu den Ergebnissen der Telemetriedatenanalyse. Im Sahel, wo zunächst alle Weißstörche eine mehr oder weniger lange Rast vollziehen, liegen relativ wenige in der Literatur nachgewiesene Rastgebiete. Dennoch finden nahezu alle wichtigen Rastregionen aus Kapitel 3.1.5 Erwähnung: SCHULZ (1988) nennt für die Gebiete Wad Medani und das Bewässerungsgebiet „Rahad“ im Osten des Sudan große Ansammlungen von (rastenden) Störchen. Weiterhin vermutet er bei Nyala ein Überwinterungsgebiet. Tatsächlich liegt dieses Gebiet in der Nähe der wichtigen Rastregion „Süd-Darfur“. Auch die Region „Fitri“ wird in SCHULZ (1988) als wichtiges Überwinterungsgebiet der Weißstörche benannt (Fitrisee). Lediglich zwei weitere Literaturquellen

mit Angaben zu Rastgebieten des Weißstorchs konnten für den Tschad und den Sudan gefunden werden: PESKE, POJER et al. (1996) erwähnen ebenfalls ein Gebiet in der Region „Fitri“ in dem 50 Weißstörche in der Savanne im Jahr 1996 gesichtet wurden. Nach einer Befragung von Dorfbewohnern rasten Weißstörche zudem in Deresa, im Osten der Region „Abèche“, wo die Störche temporäre Gewässer nutzen (PESKE, pers. Mitteilung). LYNES (1925) erwähnt außerdem die Region Fasher, die als Durchzugsgebiet von Weißstörchen bekannt ist. Ein weiteres wichtiges Überwinterungsgebiet liegt nach SCHULZ (1988) am Irosee im Süden des Tschad. Diese Angabe kann auf Basis der Telemetriedaten nicht bestätigt werden, da keiner der besenderten Störche in diesem Gebiet rastete. Lediglich rund 150 Kilometer weiter östlich, nahe der Grenze zur Zentralafrikanischen Republik, rasteten die telemetrierten Störche mit den Ringnummern V 6497 und E 847 in den Jahren 1996 und 1998.

SCHULZ (1988) und MOREAU (1928) berichten außerdem von Ansammlungen mehrerer Weißstörche im West-Yemen. Hierher führten auch die Zugrouten zweier besonderer Störche, wobei unklar blieb, ob es sich dabei um eine „Versehen“ der Störche handelte (BERTHOLD, BOSSCHE et al. 1997a). Die Angaben in der Literatur lassen zumindest vermuten, dass es sich dabei nicht um Einzelfälle gehandelt hat.



*Abbildung 103: Lage von Rastgebieten des Weißstorchs nach der Literaturlauswertung (Dreiecke) im Vergleich zur Lage der Telemetrie-Rastdaten (Punkte).*

Zahlreiche Berichte über große Weißstorch-Ansammlungen gibt es auch aus West-Kenia. Die Informationen entstammen sowohl SCHULZ (1988) als auch GICHUKI & BUSIENEI (2003), die ein Monitoring für Weißstörche in Kenia durchgeführt haben. Daher ist die Datenlage für dieses Land

besonders gut. Es werden drei wichtige Rastgebiete rund um die Region Mau-Forest (Muhoroni, Londiani und Lake Nakuru) genannt. Die Region Kitui wird hingegen nicht genannt. Weitere wichtige Überwinterungsgebiete liegen besonders im südwestlichen Kenia (GICHUKI & BUSIENEI 2003). Auch hier stimmen diese zum Teil mit Rastaufenthalten besonderer Weißstörche überein (z.B. „Endebess“ mit Rastdaten des Storchs E 847 aus dem Jahr 1999 oder „Eldoret“ mit Telemetriedaten der Störche E 858, KA 0750 und Unberingt 7).

Die Rastregion Serengeti im Norden Tansanias, in der zahlreiche besenderte Weißstörche rasten, wird auch von SCHULZ (1988) als wichtiges Überwinterungsgebiet genannt.

Während in Sambia nur vereinzelte Rastdaten der telemetrierten Störche liegen, nennt Schulz drei wichtige Rastgebiete: „Blue Lagoon National Park“, „Mkushi River“ und das „Luangwa-Tal“. Lediglich die Bedeutung des Luangwa Tals, allerdings eher als Durchzugsgebiet, konnte hierbei auch mithilfe der Telemetriedaten gezeigt werden (Kap. 3.3.1). Die Region „Lake Kariba“ konnten in der Literatur nicht als wichtiges Rastgebiet bestätigt werden.

Für Botswana lieferte TYLER (pers. Mitteilung) einige wichtige Hinweise zur Lage von Weißstorch-Rastgebieten. Sie nennt die „Nkwako Pan“ als ein Gebiet mit regelmäßigem Vorkommen von Weißstörchen und bestätigt damit die Relevanz der wichtigen Rastregion Ngamiland im Norden Botswanas. Auch in Gebieten im Moremi- und Chobe Nationalpark im Okavango Delta Botswanas konnten Weißstörche beobachtet werden, allerdings nicht in großer Anzahl. SCHULZ (1988) und DARKOH (2003) nennen weiterhin den nördlichen Okavango als wichtiges (Rast-) Gebiet für Weißstörche und andere Arten. Telemetriedaten liegen im Okavango-Delta allerdings nur von den Störchen V 6497 und KA 0749 (hier nicht berücksichtigte Daten des Jahres 2004) mit relativ kurzen Rastaufenthalten vor. Von einer großen Ansammlung von Störchen berichtet TYLER (pers. Mitteilung) an der „Mea-Pan“ (östlicher Abschnitt der Makgadikgadi-Pans) im Dezember 2001. Telemetriedaten aus diesem Monat liegen im südlichen Afrika nur von Prinzesschen (KA 0749) vor. Tatsächlich suchte sie Anfang Januar 2002 ebenfalls dieses Gebiet auf, rastete hier jedoch nicht.

Zahlreiche Sichtungen von Weißstörchen sind aus Südafrika überliefert. SCHÜZ (1960), WINTERBOTTOM (1977) und SCHULZ (1988) nennen insgesamt 48 Gebiete, in denen mehrere Weißstörche gesichtet wurden oder regelmäßig rasten. Die Rastregion „Drakensberge“ in der sich der Senderstorch Unberingt 4 über zwei Monate aufhielt, wird auch in SCHÜZ (1960) als wichtiges Rast- und Überwinterungsgebiet zahlreicher Störche genannt. Auch in Boshof im zentralen Südafrika berichtet SCHÜZ (1960) von großen Ansammlungen von Weißstörchen. Die Bedeutung dieses Gebietes als Rastregion ging nicht aus den Telemetriedaten hervor, konnte aber während des Feldaufenthaltes bestätigt werden. Aus „Hopetown“, ca. 170 km weiter südwestlich berichtet SCHÜZ (1960) ebenfalls von einer große Ansammlung von Weißstörchen in Zusammenhang mit einem massenhaften Auftreten des „Armyworms“ (*Spodoptera exempta*), der Raupe des Eulenfalters, die in Afrika in großen Zahlen als Schädling der Landwirtschaft auftritt (ROSE, DEWHURST et al. 1995). SCHÜZ (1960) bestätigt damit die Vermutungen, welche sich aus den Feldbeobachtungen ergaben (vergleiche Kap. 3.9.2). Die in der Literatur genannten Gebiete stimmen zum Teil auch mit der Lage einzelner Telemetriedaten überein (z.B. „Hanover“, wo sich auch die Senderstörche E 848 und KA 0749 aufhielten oder „Riversdale“ im Westen Südafrikas, wo der Storch Unberingt 4 rastete). Auch bei „Humansdorp“, unweit des Rastgebietes „Woodlands“ konnte SCHÜZ (1960) Weißstörche beobachten.

## Vergleich der Ergebnisse mit Daten aus der Literatur

**Tabelle 22:** Übersicht des Vergleichs zwischen der Literaturoswertung und der Telemetriedaten-Auswertung hinsichtlich wichtiger Rastgebiete des Weißstorchs, vergleiche auch mit Abb. 103.

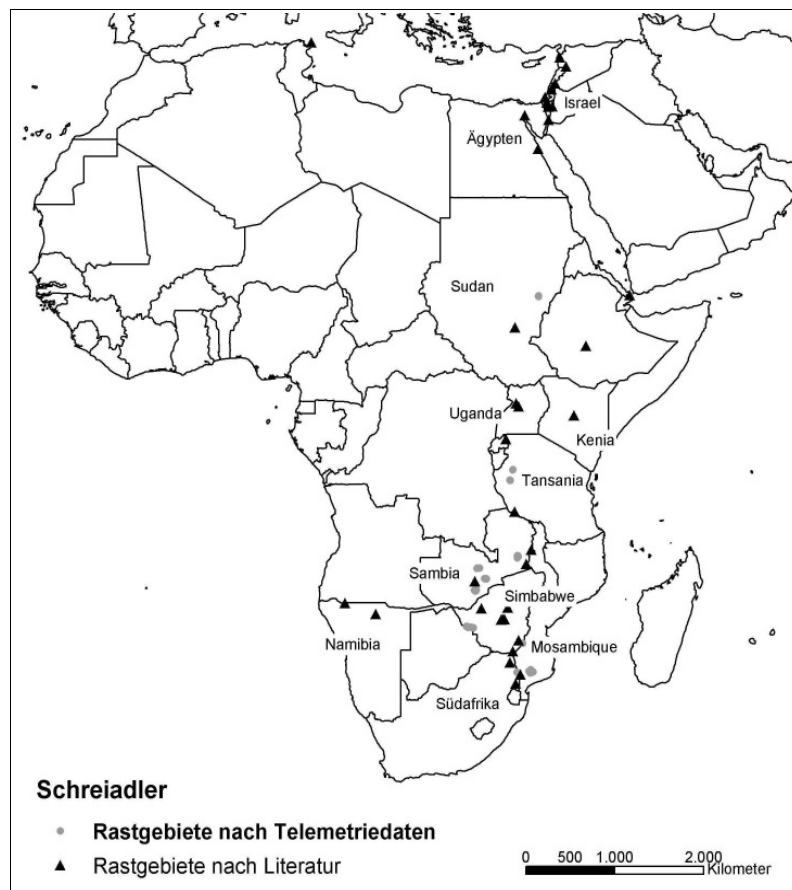
<b>Nach der Literatur und Satellitentelemetrie wichtige Rastgebiete der Weißstörche</b>	<b>Weitere Rastgebiete mit Telemetriedaten</b>	<b>Weitere Rastgebiete in der Literatur</b>
<b>Sahel:</b> Fitri, Abèche, W-Darfur, S-Darfur, Wad Medani, Gezira  <b>Tansania/ Kenia</b> Serengeti Mau Forest/ Kitui  <b>Sambia</b> Luangwa  <b>Botswana</b> Okavango Ngamiland  <b>Südafrika</b> Woodlands, Drakensberge  <b>Israel</b> Bet Shean	<b>Sambia/ Simbabwe</b> Lake Kariba  <b>Südlicher Sudan</b> <b>Nord-Kenia</b> <b>Botswana</b> <b>Simbabwe</b> (einzelne Rastdatenpunkte)	<b>Sudan</b> Irosee  <b>Sambia</b> Mkushie, Blue Lagoon

### 3.10.2 Schreiadler

Die Kenntnisse über die Zugrouten und Rast- bzw. Überwinterungsgebiete des Schreiadlers konnten im Wesentlichen mit der Satellitentelemetrie erweitert werden (siehe Kap. 1.4.2). Daher liegen auch nur wenige Literaturhinweise auf wichtige Rastgebiete des Schreiadlers vor. Die meisten entstammen der Auswertung besenderter Schreiadler aus MEYBURG, SCHELLER et al. (1995, 2000), MEYBURG, ELLIS et al. (2001) und MEYBURG, MEYBURG et al. (2004). Einige wichtige Durchzugsgebiete des Schreiadlers werden zudem von ZALLES & BILDSTEIN (2000) genannt (s.u.). Der größte Teil der insgesamt 35 genannten Regionen liegt in Israel, Sambia, Simbabwe und Südafrika. Dabei gehören die Gebiete in Israel zu den durch BirdLife identifizierten wichtigen Gebieten für wandernde Greifvögel („Raptor Migration Sites“, ZALLES & BILDSTEIN 2000) mit sehr hohen Anzahlen für dort durchziehende Schreiadler.

Lediglich ein Gebiet nennen MEYBURG, SCHELLER et al. (2000) im West-Sudan. Auch CHRISTENSEN & SORENSEN (1989) nennen einige Nachweise von Schreiadlern im Sudan und Tschad (nicht auf der Karte verzeichnet), allerdings wird die Relevanz der Gebiete nördlich des Äquators insgesamt als eher gering eingestuft. Im Uganda nennen ZALLES & BILDSTEIN (2000) ein weiteres wichtiges (Durchzugs-)gebiet des Schreiadlers, welches in relativer Nähe (50 km) zu einem Rastgebiet nach MEYBURG, ELLIS et al. (2001) liegt. Die nach MEYBURG, MEYBURG et al. (2004) in Simbabwe liegenden Rastgebiete entstammen der Analyse eines weiteren Schreiadlers, der in der Slowakei besendert wurde. Dessen Rastgebiete liegen im nördlichen und zentralen Simbabwe und

überschneiden sich nicht mit denen der in der vorliegenden Arbeit ausgewerteten telemetrierten Adler. Die zahlreichen Rastaufenthalte der in hier untersuchten Schreiadler in Sambia (vergleiche Kap. 3.5.2) werden nur zum Teil durch weitere Literaturangaben bestätigt. Lediglich MEYBURG, SCHELLER et al. (2000) nennen ein Rastgebiet bei Lusaka im Westen Sambias. ZALLES & BILDSTEIN (2000) nennen darüber hinaus zwei Gebiete im Osten Sambias. Das südlichere dieser Gebiete weist dabei im März Anzahlen von bis zu 500 Schreiadlern auf. Auch im Grenzgebiet Südafrika/Mosambique liegen mehrere Nachweise rastender Schreiadler vor. Diese entstammen allesamt den Auswertungen in MEYBURG, MEYBURG et al. (2004) und überdecken sich mit dem Überwinterungsgebiet des Schreiadlers mit der Sendernummer 27999 im Krüger-Nationalpark (vergl. Kap. 3.5.2). Zudem konnte auch MONING (pers. Mitteilung) im Krüger Nationalpark große Anzahlen von Schreiadlern sichten.



**Abbildung 104:** Lage von Rastgebieten des Schreiadlers nach der Literatursauswertung (Dreiecke) im Vergleich zur Lage der Telemetrie-Rastdaten (Punkte).



## 4 Diskussion und Konsequenzen für den Naturschutz

Die wichtigsten Bemühungen auf globaler Ebene zum Schutz (wandernder) Vogelarten gehen von prominenten Organisationen aus, allen voran BirdLife International mit seinem IBA-Programm zur Identifizierung wichtiger schützenswerter Gebiete für Vögel (zu den Kriterien siehe Kap 3.4). BirdLife arbeitet eng mit nationalen Organisationen zusammen, die sich insbesondere dem Vogelschutz im eigenen Land widmen. Eine wichtige Aufgabe von BirdLife ist es, prioritäre Gebiete für zukünftige Schutzmaßnahmen zu identifizieren und hier den Schutz von Arten und Habitaten voranzutreiben (FISHPOOL & EVANS 2001; WALTHER & RAHBECK 2002). BirdLife widmete sich mit dem Projekt „Raptor Watch“ zudem der Identifikation wichtiger Gebiete für wandernde Greifvögel, da diese zumeist empfindlich auf Habitatverlust oder Pestizideinsatz reagieren und somit als gute Bioindikatoren fungieren können (ZALLES & BILDSTEIN 2000). Eine wichtige Institution, die sich explizit dem Schutz wandernder Tierarten widmet, ist die „Convention of Migratory Species“ (CMS), welche sich in Form von länderübergreifenden Abkommen mit speziellen Fragestellungen und Problemen wandernder Tierarten auseinandersetzt. So verpflichten sich die Staaten des „African-European Waterbird Agreement“ (AEWA)<sup>13</sup>, Schutzbemühungen für wassergebundene Vogelarten zu erarbeiten und zu realisieren. Besondere Erwähnung findet hier das „Wings over Wetlands“-Projekt, welches sich als gemeinsame Initiative von BirdLife International, dem AEWA-Übereinkommen und weiteren Organisationen der internationalen Zusammenarbeit zum Schutz von Feuchtgebieten und Wasservögeln widmet. In diesem fünfjährigen Projekt werden für insgesamt 12 ausgewählte Feuchtgebiete in Europa, Afrika und SW-Asien Naturschutzprojekte erarbeitet, die sich beispielsweise dem Ökotourismus, der Wiederherstellung von Feuchtgebieten oder der Umweltbildung widmen<sup>14</sup>. So steht dieses Projekt auch in enger Zusammenarbeit mit der RAMSAR-Konvention zum Schutz wichtiger Feuchtgebiete (siehe Kap 3.4.1). Im Rahmen der RAMSAR-Kriterien entstand zudem ein Atlas wichtiger Rastgebiete für Entenvögel (*Anatidae*), der Gebiete von globaler Bedeutung für Wasservögel auflistet (zu den genauen Kriterien siehe Kap. 2.10.4). Leider beschränkt sich dieser Atlas auf Entenvögel, so dass Weißstörche oder gar Schreiadler nicht berücksichtigt werden. Auch ein GIS-Verschnitt dieser Feuchtgebiete ergab nur wenig Überschneidungen mit den in der vorliegenden Arbeit identifizierten wichtigen Rastregionen (siehe Kap. 3.4.1 (Weißstorch) und 3.8.1 (Schreiadler)). Erst nationale, auf einzelnen Arten basierte Studien bringen mehr Genauigkeit. So wurden in einem von der RAMSAR-Konvention unterstützten Projekt wichtige Rastgebiete des Weißstorchs – der ja ebenfalls offiziell zu den Wasservögeln zählt (siehe AEWA-Abkommen<sup>15</sup>) – in Kenia identifiziert (GICHUKI & BUSIENEI 2003). Hier konnte wiederum eine sehr gute Übereinstimmung mit der in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Telemetriedatenanalyse gefunden werden (siehe Kap. 3.10.1).

Eine weitere wichtige Initiative im Rahmen der CMS ist das „Weltregister wandernder Tierarten“ (Global Register of Migratory Species, GROMS)<sup>16</sup>, welches den gegenwärtigen Kenntnisstand zu wandernden Tierarten zusammenfasst und in geografisch auswertbare Information mithilfe von GIS umsetzt (RIEDE 2004a; RIEDE 2004b). Eine Analyse der GROMS-Datenbank zeigt die Artenzahlen

---

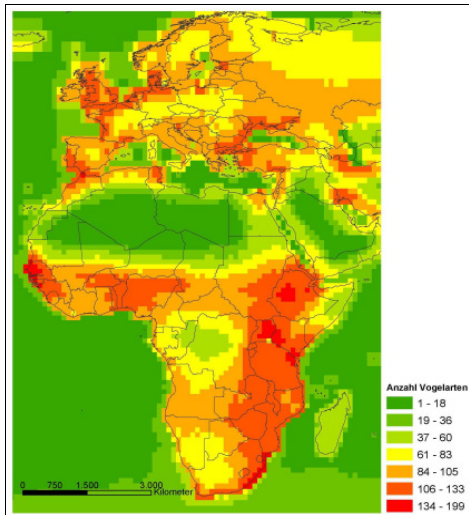
13 <http://www.unep-aewa.org>

14 <http://www.flywaysproject.org/>

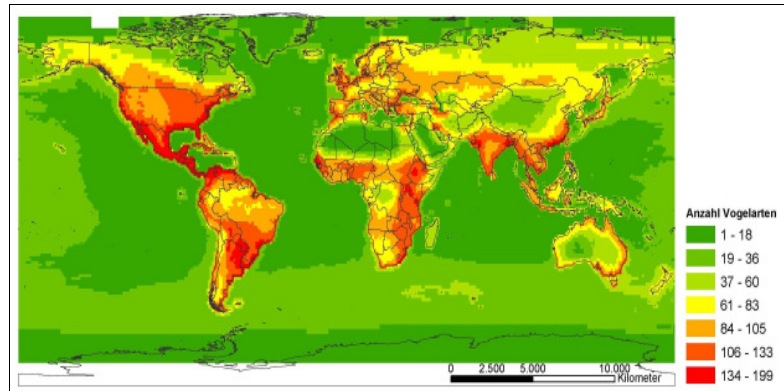
15 <http://www.unep-aewa.org/birds/>

16 <http://www.groms.de>

wandernder Tierarten im globalen Vergleich bezogen auf eine Fläche mit einer Kantenlänge von einem Grad (Abb. 106) (siehe Kap. 2.10.5). Neben Nord- und Südamerika, welche durch zusätzliche Datenverfügbarkeit besonders hohe Anzahlen aufweisen, weist der afrikanische Kontinent über hundert wandernde Vogelarten auf. Entsprechende Anzahlen erreichen auch die südasiatischen Länder wie Indien und China.



**Abbildung 105:** Artenzahlen je Grideinheit wandernder Tierarten im eurasisch-afrikanischem Raum aus einer Analyse der GROMS-Datenbank.



**Abbildung 106:** Artenzahlen je Grideinheit wandernder Tierarten weltweit aus einer Analyse der GROMS-Datenbank.

Die Abbildung 105 zeigt die jeweilige Anzahl wandernder Tierarten pro Gridzelle in Afrika. Durch die zahlreichen europäisch-afrikanischen Zugrouten – zu denen auch die des Weißstorchs und des Schreiadlers gehören – finden sich insbesondere entlang des ostafrikanischen Grabenbruchs (Rift-Valley) hohe Anzahlen wandernder Tierarten. Wichtige Rastregionen des Weißstorchs wie „Serengeti“ und „Mau Forest“ oder „Krüger-Nationalpark“ und „Mosambique“ des Schreiadlers liegen in Gebieten mit Anzahlen zwischen 100 und 140 wandernder Tierarten. Damit liegen die Zugrouten der hier untersuchten Vogelarten in Regionen mittlerer bis hoher Zahlen wandernder Tierarten und vertreten beispielhaft ein wichtiges globales Zugsystem. Insgesamt zählt die GROMS-Datenbank 327 Vogelarten für das subsaharische Afrika, von denen 117 Arten im östlichen Sahel-Gebiet des Tschad und Sudan überwintern.

WALTHER & RAHBECK (2002) widmeten sich ebenfalls mit einem Datenbankprojekt der Informationssammlung und Auswertung von geografisch verwertbaren Daten über paläarktische Vogelarten, die in Afrika überwintern<sup>17</sup>. Sie weisen ausdrücklich auf die Informationslücken hin, welche bezüglich der Lage von Überwinterungsgebieten und dem Verlauf von Zugrouten bestehen. In ihrer Auswertung machen sie 240 paläarktische Vogelarten aus, die ins subsaharische Afrika ziehen. Eine mit der Abbildung 105 vergleichbare Karte zeigt die Artenzahlen paläarktischer Vogelarten pro Grideinheit im subsaharischen Afrika. Auch hier zeigen die Muster höchste Artenzahlen für den Sahel und den ostafrikanischen Grabenbruch.

Die vorliegende Arbeit knüpft an die oben aufgezählten Programme an und versucht, auf Artebene

<sup>17</sup> <http://www.macroecology.ku.dk/africamigrants/>

die Nutzungsmöglichkeiten neuerer Technologien wie die Fernerkundung und die Satellitentelemetrie zu untersuchen. Ziel war es, für die hier untersuchten Arten entsprechende Naturschutzempfehlungen zu formulieren (siehe Kap. 4.5 und 4.6). Darüber hinaus soll die Methode aber als ein hier erprobtes Instrument weitere Anwendung an anderen wandernden Arten finden. Die Ausführungen von WALTHER & RAHBECK (2002) bestätigen den dringenden Handlungsbedarf.

Folgende Aspekte sollen daher im folgenden auf ihre Relevanz in Naturschutzfragen diskutiert werden:

1. Nutzung von Satellitentelemetriedaten zur genauen Bestimmung der Wanderrouen, Rast- und Überwinterungsgebiete (Auswertung mithilfe eines neuen Index zur Bestimmung von Zug- und Rastdaten, Lokalisierung von wichtigen Rastgebieten)
2. Die Verwendung von satellitengestützter Bildinformation zur Bestimmung genutzter Habitate während des Zuges und der Rast (kontinentaler Ansatz mithilfe der „Global Landcover Map“ GLC 2000 für Afrika)
3. Die Untersuchung von Faktoren, insbesondere des NDVI, die den Zug und die Wahl von Rastgebieten möglicherweise beeinflussen (Auswertungsmöglichkeiten)

### 4.1 Auswertung der Telemetriedaten

Satellitentelemetrie mithilfe der Satelliten-Plattform ARGOS<sup>18</sup> wird immer mehr zu einem bedeutenden Instrument zur Erforschung von Wanderungsbewegungen. Die Vorteile des Systems liegen klar auf der Hand: es arbeitet 365 Tage im Jahr und 24 Stunden am Tag, so dass theoretisch jederzeit von jedem Ort der Erde das Abrufen von Daten möglich ist. Die Wanderbewegungen der Tiere können über lange Zeitspannen und weite Strecken verfolgt werden, was tiefere Einblicke in die geografische Ausdehnung der Zugrouen, die genutzten Habitate und die Lage von Nahrungs- und Rastgebieten ermöglicht (BRÉONCE 2001). Die anfänglich noch sehr schweren Transmitter mit einem Gewicht von 2,1 kg wurden mit dem technischen Fortschritt immer leichter und können heute ein Gewicht unter 10 Gramm erreichen, so dass mittlerweile auch die Besenderung von kleineren Tieren möglich ist (FIELITZ 2003).

Entsprechend zeigt eine Literaturrecherche eine stetig steigende Anzahl von Veröffentlichungen, in denen Satellitentelemetrie angewandt wird. Ein Großteil davon widmet sich der Erforschung von Vögeln – meist Großvogelarten wie Störchen (z.B. BERTHOLD, NOWACK et al. 1995), Albatrossen (z.B. WEIMERSKIRCH, SALAMOLARD et al. 1993), Kranichen (z.B. HIGUCHI, NAGENDRAN et al. 1994; MINTON, HALLS et al. 2003), Greifvögeln (MEYBURG & MEYBURG 1998; HAKE, KJELLÉN et al. 2001; 2003), Gänsen (ØIEN & AARVAK 2001) und Pinguinen (CULIK 2001). Aber auch in zahlreichen Säugetier-Gruppen wie Walen (z.B. READ & WESTGATE 1997), Elefanten (z.B. VENKATARAMAN, SAANDEEP et al. 2005), Bären (z.B. MAURITZEN, DEROCHER et al. 2002) oder Seehunden (z.B. BENGTON, HILL et al. 1993), sowie bei Reptilien (meist Meeresschildkröten, z.B. BENTIVEGNA 2004) findet die Technik Anwendung.

Ein Blick in die Zukunft zeigt, dass diese vielfach genutzte Technik weitere Fortschritte erfährt: Mittlerweile bieten Hersteller wie „Microwave“ solarbetriebene Transmitter mit einem Gewicht von nur neun Gramm an, die die Besenderung von Kleinvögeln möglich machen. Steigende Genauigkeit

---

18 [https://www.argos-system.org/html/applications/wildlife\\_en.html](https://www.argos-system.org/html/applications/wildlife_en.html)

wird von GPS-Empfängergeräten erreicht. Bislang waren diese nur in Form von relativ schweren Halsbändern verfügbar, die eine festgelegte Anzahl von GPS-Positionen speichern, welche nur direkt vom Gerät abrufbar sind (FIELITZ 2003). Diese GPS-Geräte sind nun auch als Transmitter und in einem für Vögel verträglichen Gewicht verfügbar. Unter Nutzung des ARGOS-Satellitensystems werden die GPS-Daten an die entsprechenden ARGOS-Datenzentrale gesendet und sind von dort dem Nutzer zugänglich (MEYBURG, MEYBURG et al. 2006).

Aufgrund der zukunftssträchtigen und vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Satellitentelemetrie wurden für diese Arbeit bereits erhobene Daten verwendet und erstmalig in einem umfassenden, kontinentalen Ansatz mit Satellitenbildern ausgewertet. Die Telemetriedaten stammen von zwei verschiedenen Vogelarten mit sehr unterschiedlichem Erforschungsstand. Auf diese Weise war es möglich, Vorgehensweise und Analysemöglichkeiten zunächst an einer gut erforschten Vogelart, dem Weißstorch (*Ciconia ciconia*) zu testen und mit bestehenden Kenntnissen zu vergleichen. Die Methoden wurden dann in einem zweiten Schritt an einer weniger gut erforschten Art, dem Schreiadler (*Aquila pomarina*) angewandt, um neue Erkenntnisse zum Zugverlauf und zur Überwinterung zu gewinnen.

Eine erste Analyse der Daten beschränkte sich hierbei auf die Lokalisation bedeutender Rastregionen, die schließlich unter Hinzunahme von Satellitenbildinformationen charakterisiert wurden. Die Daten des Weißstorchs wurden bereits in vorangegangenen Arbeiten ausgewertet, um wichtige Habitate der Vögel bestimmen zu können. VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002) veröffentlichten erste Ergebnisse von 63 der insgesamt 75 besenderten ostziehenden Weißstörche bezüglich des Zugverlaufs und der Rastgebiete insbesondere in Israel. Durch Beobachtungen in Europa und der Türkei konnten die genutzten Habitate der Störche bestimmt werden. KAATZ (2004) betrachtete unter Verwendung der Telemetriedaten ostziehender Weißstörche insbesondere das Zugverhalten und dessen Unterschiede zwischen des Herbstzuges (Wegzug) und Frühjahrszuges (Heimzug) bis zu den afrikanischen Überwinterungsgebieten. Weiterhin konnten hier durch die Begleitung besonderer Störche in Deutschland und Osteuropa Erkenntnisse zur Habitatnutzung während des Zuges gewonnen werden.

Räumlich und methodisch an diese Arbeiten anknüpfend, wurden die Telemetriedaten in der vorliegenden Arbeit in Hinblick auf wichtige Rast- und Überwinterungsgebiete in Afrika untersucht und die genutzten Habitate mithilfe von Satellitenbildern ausgewertet. Weitere Fragestellungen widmeten sich – auch in Hinblick auf *climate change* – den beeinflussenden Faktoren auf das Zugverhalten.

#### 4.1.1 Aufbereitung des Telemetriedatensatzes

Der große Umfang der Weißstorch-Telemetriedaten erforderte zunächst, eine geeignete Auswahl validierter Daten zu treffen (siehe Kap. 2.2.1). Auf Basis der Ausführungen von KAATZ (2004), der sich bereits sehr intensiv mit dieser Problematik beschäftigt hatte, sollte der hier zur weiteren Verwendung geeignete Datensatz folgende Kriterien erfüllen:

- Lokalisationen mit geringer Abweichung

Hierbei konnte gewährleistet werden, dass die fehlerhafte Abweichung nicht zu einem verschobenen oder gar falschen Ergebnis bei dem Verschnitt mit Habitat-, Klima- und NDVI-

Daten führt.

- Lokalisationen zum Zeitpunkt eines Aufenthaltes am Boden

Für Fragen der Habitatnutzung konnten keine Koordinaten während des Fluges verwendet werden

- Je eine Lokalisation pro Tag

Zur Lokalisierung wichtiger Aufenthaltsgebiete sollte eine Verschiebung durch mehrere Koordinaten pro Tag verhindert werden. Daher war es wichtig, einen zeitlichen Mindestabstand zwischen den Positionen eines Vogels zu definieren.

Zur Berechnung der fehlerhaften Abweichung von Positionen konnte auf eine von KAATZ (1999) entwickelte Methode zurückgegriffen werden. Diese ermöglichte, zu jeder Position anhand der weiteren gegebenen Parameter die fehlerhafte Abweichung zu berechnen. Daraufhin konnte eine maximale Abweichung bestimmt werden und die Daten hiernach ausgewählt werden. Die Abweichung wurde hierbei auf 5 km (Weißstorch) als Kompromiss zwischen Datengenauigkeit und zu starker Datenreduktion festgelegt. Im Falle der Schreiadlerdaten, die einen wesentlich geringeren Umfang hatten, wurde eine Ungenauigkeit bis 10 km zugelassen. In den nachfolgenden GIS-Analysen wurde der Datenverschnitt hinsichtlich der Ungenauigkeit der Telemetriepositionen angepasst. So wurden für den Verschnitt mit höher aufgelösten Daten (GLC 2000) Pufferflächen verwendet (siehe Kap. 2.8.2).

Das zweite Kriterium war die Gewährleistung einer „Bodenkoordinate“. Hier konnte ebenfalls auf Erfahrungen nach KAATZ (pers. Mitteilung) zurückgegriffen werden, so dass Koordinaten vor Abflug bzw. nach der Landung der Störche gewählt wurden. Da im Falle der Schreiadler keine Erfahrungswerte vorlagen, wurde hier nach Möglichkeit die erste Koordinate am Morgen bzw. die letzte am Abend ausgewählt (siehe Kap. 2.2.1.b). Auf diese Weise kann davon ausgegangen werden, dass jede Position tatsächlich einer Nutzung des entsprechenden Gebietes entspricht.

Letztlich wurde je eine Koordinate pro Individuum und pro Tag ausgewählt. Da zum Teil bis zu 10 Positionen pro Tag vorhanden waren, würde die Verwendung aller Daten möglicherweise zu einer falschen Gewichtung der lokalisierten Rastregionen führen. Um alle drei Kriterien zu erfüllen, musste der Datensatz stark reduziert werden. Dennoch wurde dies als unbedingt notwendig angesehen, da für den nachfolgenden Verschnitt mit Satellitenbildinformationen ein validierter Datensatz eine wichtige Voraussetzung war.

Zum Vergleich wurde jedoch eine zweite Auswahl der Weißstorch-Daten vorgenommen, in denen als höchstes Kriterium die Auswahl je einer Position je Individuum galt („Täglich“-Datensatz). Falls möglich, sollten die übrigen, oben angeführten Kriterien zusätzlich erfüllt werden, dies war in diesem Falle jedoch nicht zwingend erforderlich. Dieses Datenset wurde schließlich im Falle des Weißstorchs für Individuen mit besonders geringer Datendichte verwendet und diente als Vergleich zu den übrigen Ergebnissen. Die Ergebnisse divergieren hier im Falle der NDVI-Auswertung, was möglicherweise mit der teils geringen Lokalisationsgenauigkeit zusammenhängt. Die Habitatanalyse zeigte hingegen vergleichbare Ergebnisse. Da der „Täglich“-Datensatz jedoch nur für beispielhafte Individuen verwendet wurde (siehe Kap. 2.2.1.d), hängen die Unterschiede auch mit diesem im Vergleich geringen Datenumfang zusammen. Um eine Aussage über die tatsächliche Eignung dieses

Datensatzes treffen zu können, sollte daher die Auswertung mit dem gesamten „Täglich“-Datensatz mit allen Individuen durchgeführt werden.

#### 4.1.2 Index zur Bestimmung der Rastregionen

Ein wichtiger Teil dieser Arbeit widmete sich einem systematischerem Ansatz zur Unterscheidung von Rast- und Zugdaten. In den meisten Arbeiten wurde lediglich zwischen Distanzen über und unter 50 Kilometer unterschieden. So definierten KAATZ (2004) und VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002) das Ende des Herbstzuges der Weißstörche, wenn der 18. nördliche Breitengrad überflogen wurde und an fünf aufeinanderfolgenden Tagen eine Strecke von weniger als 5 km geflogen wurde. Entsprechend wird der Beginn des (Herbst-) Zuges mit einer Tagesstrecke über 50 km definiert. Durch diese Definitionen ist eine klare Unterteilung in Zug – Überwinterung – Zug möglich. Allerdings werden zwischenzeitliche Rast- oder Zugperioden nicht berücksichtigt. Bisher gewonnene Erkenntnisse aus den Telemetriedaten des Weißstorchs zeigten allerdings, dass der Zug eher dynamisch verläuft (BERTHOLD, BOSSCHE et al. 1997b) und Rast- und Zugperioden immer wieder miteinander abwechseln. Besonders deutlich wird dies durch das Aufsuchen eines ersten „nordafrikanischen Zwischenzieles“ und des in einigen Fällen folgenden Weiterzugs ins südliche Afrika. Doch auch während der Zugperioden erfolgen immer wieder kurze Rastaufenthalte. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit nicht explizit zwischen Zug und Überwinterung unterschieden, sondern lediglich von Rast und Zug gesprochen. Deren Unterscheidung erfolgte mittels eines neu entwickelten Index ( $I_{\text{dist}}$ ), welcher neben der geflogenen Tagesstrecke auch die „Gerichtetheit“ für jeweils drei aufeinanderfolgende Positionen einer Flugbewegung beurteilt (siehe Kap. 2.5.2). Einen ähnlichen Ansatz verfolgten bereits FULLER, SEEGAR et al. (1998), die für Telemetriedaten von besenderten Wanderfalken (*Falco peregrinus*) und Präriebussarden (*Buteo swainsoni*) zur Unterscheidung zwischen Rast und Zug die Gerichtetheit der Bewegung zur Hilfe nahmen. Zudem wurde in ihrer Arbeit die Summe der Distanzen mehrerer Streckenabschnitte während des Zuges mit der direkten Verbindung des End- und Startpunktes verglichen. Auch SHAMOUN-BARANES, BAHARAT et al. (2003) nutzten diesen Ansatz der Gerichtetheit zur Unterscheidung von Zug und Rast bei Weißstorch-Telemetriedaten. Der in der vorliegenden Arbeit neu entwickelte Index knüpft an diese Methoden an und ermöglicht die automatisierte Berechnung der Gerichtetheit des Fluges für aufeinanderfolgende Positionen und unterscheidet unter Hinzunahme von bestimmten Distanzkriterien (siehe Tabelle 1, Kap. 2.5.2) auf diese Weise zwischen Zug- und Rastdaten. Diese Methode erlaubt zudem die Lokalisierung von kürzeren, während des Zuges erfolgten Rastaufenthalten, welche schließlich ebenfalls in die Habitatauswertung einfließen.

Die Berechnung und Anwendung des Index  $I_{\text{dist}}$  für die Schreiadler-Telemetriedaten war leicht zu realisieren, da eine vorgefertigte Eingabemaske in Excel die Berechnung der Distanzen und die Klassifizierung in Rast- und Zugdaten automatisch durchführt. Da nicht alle Telemetriedaten der beiden besenderten Schreiadler zur Verfügung standen (siehe Kap. 2.3), konnte die Anwendung des Index jedoch nur bedingt getestet werden, da es sich im wesentlichen um vorausgewählte Rastdaten handelt. So wurden nur wenige Datensätze (27 Positionen) als Zugdaten klassifiziert und konnten aufgrund ihrer geringen Anzahl für spätere Auswertungen nicht verwendet werden. Daher bringen die in der vorliegenden Arbeit erzielten Ergebnisse lediglich neue Erkenntnisse zur Lage der

Rastgebiete.

Wesentlicher Kritikpunkt am Index  $I_{dist}$  ist die Bestimmung des Schwellenwertes, welcher zur Unterscheidung zwischen Rast und Zug führt. Hier wurde ein möglichst objektives Verfahren gewählt: Bei einer vollkommen gerichteten Bewegung sind die tatsächlich zurückgelegte Strecke (geflogene Strecke) und die geografische Distanz identisch (siehe auch Gleichung 2 in Kapitel 2.5.2). Berücksichtigt man den möglichen Fehler der Position und leichte geografisch bedingte Abweichungen sollte ein leicht verschobenes Verhältnis erlaubt werden. Dies wurde für die Nachkommastellen erlaubt, so dass der Schwellenwert mit 1,1 festgelegt wurde. Indexwerte über 1,1 weisen also auf einen Rastdatensatz hin. Die hinzu genommenen Distanzkriterien wurden in Anlehnung an die zuvor festgelegten Distanzen zur Unterscheidung von Rast und Zug gewählt, die ihrerseits natürlich auch einen mehr oder weniger subjektiven Grenzwert darstellen. Auf diese Weise fließt nicht nur die Gerichtetheit einer Bewegung, sondern auch die geflogene Distanz in die Bewertung mit ein. Diese kann schließlich über die Distanzkriterien individuell an die jeweilige Art angepasst werden.

**Tabelle 23:** Vor- und Nachteile bei der Verwendung des Index  $I_{dist}$

<i>Vorteile (+) und Nachteile (-) des Index <math>I_{dist}</math></i>	
(+) klare Definition, die individuell angepasst werden kann	(-) Datenreduktion, da nicht alle Daten klassifizierbar sind
(+) jegliche (auch kurze) Rastaufenthalte werden berücksichtigt	(-) Schwellenwert muss nach wie vor definiert werden
(+) einfache Berechnung durch vorgegebene Eingabemaske	

#### 4.1.3 Methoden zur Lokalisierung wichtiger Rastregionen

Die Lokalisierung wichtiger Rastregionen erfolgte im Wesentlichen durch drei verschiedene Methoden: a) Der visuellen Identifizierung von Rastdaten-Konzentrationen (Kap. 3.1.4 und 3.5.2), b) der Kernel-Homerange-Methode (3.1.6 und 3.5.3) und c) im Falle des Weißstorchs unter Hinzunahme eines Rasternetzes (Grid, Kap. 3.1.5).

Insbesondere letztere Methode half, den umfangreichen Telemetriedatensatz des Weißstorchs sinnvoll auszuwerten. Die Wahl von quadratischen Rasterzellen ist eine vielfach angewandte Methode zur Darstellung und Quantifizierung biologischer Daten. Meist werden auf diese Weise Artenzahlen ausgewertet, um Biodiversitätskarten zu erstellen (MUTKE, KIER et al. 2001; WILLIAMS, GIBBONS et al. 1996; VAN JAARVELD, FREITAG et al. 1998). Die Wahl der Zellengröße des in der vorliegenden Arbeit verwendeten Grids ist sicherlich zu diskutieren, da sie die Genauigkeit des Ergebnisses maßgeblich beeinflusst. In diesem Fall wurde zugunsten einer erhöhten Auflösung entschieden und eine Zellengröße von 35\*35 km gewählt (siehe Kap. 2.5.4.a). Damit ergibt sich eine größtmögliche Ausdehnung in der Diagonale von ca. 50 km. Es wurden nur die nach  $I_{dist}$  identifizierten Rastdaten verwendet, sodass ausschließlich Rastaufenthalte berücksichtigt wurden. Dabei war entscheidend, dass es sich um vermehrte (zwei oder mehr Individuen) oder längere (> 6 Tage) Aufenthalte handelt. Bei der Festlegung auf diese Tagesanzahl wurde impliziert, dass sich

Störche nur in gut geeigneten Habitaten über einen längeren Zeitraum aufhalten. Eine besondere Relevanz wurde dann auch den Gebieten mit Aufhalten verschiedener Individuen beigemessen.

Die Auswertung der Daten auf Basis dieses Grids ermöglichte eine wesentlich differenziertere Lokalisierung von wichtigen Rastgebieten. Sie erfolgte nicht nur auf Basis der Anzahl von Telemetriepunkten, sondern beinhaltet klare Kriterien bezüglich Individuenanzahl und Aufenthaltsdauer (s.o.). Konzentrationen mehrerer auf diese Weise identifizierter Gridzellen (mindestens zwei nebeneinander liegend) wurden schließlich zu Rastregionen zusammengefasst. Auf diese Weise konnten 13 Rastregionen in Israel und Afrika identifiziert werden. Ein Abgleich mit anderen, in der Ökologie angewandten Methoden wie die Kernel-Homorange-Analyse (z.B. TUFTO, ANDERSEN et al. 1996; SEAMAN, MILLSPAUGH et al. 1999) ergab wiederum eine gute Übereinstimmung (siehe Kap. 3.1.6), zeigte jedoch eine wesentlich höhere Genauigkeit in der Lokalisierung der Gebiete. Die von VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002) und KAATZ (2004) identifizierten Rastgebiete wurden hier genauer eingegrenzt und ermöglichten zudem eine Charakterisierung mithilfe der Landbedeckungskarte zur Bestimmung ihrer Habitatzusammensetzung.

**Tabelle 24:** Übereinstimmungen mit der Literatur und Einschränkungen bei der Identifizierung wichtiger Rastregionen

<b>Vorteile (+) und Nachteile (-) der Telemetriedatenanalyse zur Identifizierung wichtiger Rastregionen</b>	
(+) Telemetriedaten können die Lücken in weniger gut erforschten Gebieten schließen	(-) Identifizierung von Rastregionen stark von der Menge der besenderten Tiere abhängig
(+) Gridmethode ermöglicht eine standardisierte Identifikation von Gebieten (z.B. über Anzahlen der Individuen pro Gridzelle)	(-) Kernel-Homorange bei großen Datensätzen wie dem des Weißstorks zu ungenau für eine detaillierte Identifikation der Rastgebiete

#### 4.1.4 Lage wichtiger Rastregionen im Vergleich zur Literatur

Die in der vorliegenden Arbeit identifizierten Rastregionen beider Arten wurden mit Angaben aus der Literatur verglichen, um die tatsächliche Relevanz dieser Regionen einschätzen und bewerten zu können. Der vergleichsweise gute Kenntnisstand des Weißstorks sollte hierbei von besonderem Nutzen zur Validierung der gewonnenen Ergebnisse sein, während die wenigen Literaturangaben zum Schreiadler eher erweitert werden sollten.

Ein Vergleich mit bekannten Rast- und Überwinterungsgebieten auf Basis der Telemetriedaten oder aus der Literatur zeigt im Falle des Weißstorks eine recht gute Übereinstimmung (siehe Kap. 3.10.1). Bereits VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002) und KAATZ (2004) hoben die besondere Bedeutung der Zwischenüberwinterungsgebiete im Tschad und Sudan (Wad Medani, W-Sudan, Ost-Tschad) hervor, da hier alle ostziehenden Störche einen mehr oder weniger langen Rastaufenthalt einlegen. Auch werden hier die im südlichen Afrika gelegenen Rast- und Überwinterungsgebiete erwähnt (Rukwa Valley, Tansania). In der Literatur finden die Sahel-Gebiete des Tschad und Sudan hingegen weniger Beachtung, LYNES (1925) und MOREAU (1928) nennen lediglich zwei Gebiete im Sudan mit regelmäßigen Beobachtungen von Weißstörchen. Vor allem SCHULZ (1988), NIKOLAUS (1989), MULLIÉ, BROUWER et al. (1995) und PESKE, POJER et al.



(1996) weisen auf wichtige Gebiete im Tschad und Sudan hin (z.B. Tschad- und Fitrisee im Tschad), welche auch zum Teil mit den hier identifizierten wichtigen Rastregionen übereinstimmen. HOGG, DARE et al. (1984) nennen die Region Butana (entspricht hier „Wad Medani“) im Sudan, in der Weißstörche regelmäßig rasten und sich von Heuschrecken und anderen Insekten ernähren. Wesentlich mehr Literaturhinweise stammen aus Kenia und Tansania, sowie den südafrikanischen Staaten Simbabwe, Botswana und Südafrika. Die geringere Präsenz der Sahel-Gebiete hängt sicherlich mit dem allgemein schlechten Erforschungsgrad und der zum Teil politisch bedingten eingeschränkten Zugänglichkeit einiger Regionen zusammen. Dies zeigt auch die Analyse der Weißstorch-Ringfunde durch FIEDLER (2001a, 2001b). Konzentrationen von Ringfunden auf dem ostafrikanischen Zugweg liegen in den „Flaschenhalsgebieten“ in Israel und am Suezkanal in Ägypten. Weiterhin finden sich zahlreiche Ringfunde im bereits erwähnten Ost-Sudan (in den wichtigen Rastregionen „Wad Medani“ und „Gezira“), in Uganda und Kenia (u.a. in der Rastregion „Mau Forest“), in Tansania, Simbabwe und dem östlichen Teil von Südafrika (Rastregion „Drakensberge“). Botswana enthält wiederum kaum Ringfunde, davon lediglich einen Fund nördlich der Rastregion „Ngamiland“. Die Nachteile der Auswertung von Ringfunden liegen auf der Hand: auch hier sind Gebiete mit geringer Zugänglichkeit und geringerer Bevölkerungsdichte unterrepräsentiert. Diese Lücke kann allein mithilfe der Satellitentelemetrie geschlossen werden, was die Auswertungen von VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002) und KAATZ (2004) bestätigen. Die Ergebnisse der hier durchgeführten Lokalisierung wichtiger Rastgebiete stimmt also in wesentlichen Teilen mit den Erkenntnissen aus der Literatur überein, kann diese jedoch zum Teil noch erweitern. Die Bestimmung der Rastdaten mithilfe des Index  $I_{dist}$  wird daher als gut geeignet bewertet.

Ein Vergleich der Ergebnisse aus der Analyse der Schreiadler-Telemetriedaten mit bestehenden Erkenntnissen ist schwierig, da erst die Verwendung der Satellitentelemetrie zu wesentlichen Einblicken in die Lage der Rast- und Überwinterungsgebiete führte (siehe Kap. 3.10.2). Die wenigen Literaturhinweise stammen im Wesentlichen von MEYBURG, SCHELLER et al. (2000) und MEYBURG, MEYBURG et al. (2004) selbst und wurden auf Basis der ersten besenderten Schreiadler durchgeführt (MEYBURG, SCHELLER et al. 1995). Erschwerend wirkt auch die leichte Verwechselbarkeit des Schreiadlers mit Schell- (*A. clanga*) und Steppenadlern (*A. nipalensis*) (FORSMAN 1991), die seine Bestimmung und Beobachtungen im Feld schwierig macht. CHRISTENSEN & SORENSEN (1989) zeigten in ihrer Literaturübersicht, dass Schreiadler trotz einer starken Präsenz von Weißstörchen im Sudan diese Gebiete nicht als Überwinterungsgebiet nutzen. Auch im Tschad konnten nur einige Sichtungen erfolgen, bei denen die Bestimmung jedoch unsicher blieb. Weiterhin überwintern nur wenige Individuen in Kenia, während mehrere Quellen die Überwinterung von Schreiadlern in Tansania, Sambia und Mosambique erwähnen. Zusammenfassend liegen die Überwinterungsgebiete des Schreiadlers nach CHRISTENSEN & SORENSEN (1989) südlich des Äquators: Simbabwe, Sambia, Namibia, Südafrika und evtl. Mosambique (BROOKE, GROBLER et al. 1972).

Die in der vorliegenden Arbeit identifizierten Rastregionen basieren lediglich auf Daten zweier Adler und können daher keine Hinweise auf relevante Gebiete der Gesamtpopulation geben. Dennoch zeigt die Literaturübersicht, dass einige der hier identifizierten Gebiete tatsächlich von genereller Bedeutung für überwinternde Schreiadler sein müssen. Dies trifft zum Beispiel für den Krüger Nationalpark (KEMP 2001) oder für die Gebiete in Sambia zu (LEONARD 2005), vergleiche

Kapitel 3.5.2 und 3.8. Auch zwei in MEYBURG, MEYBURG et al. (2004) identifizierte Rastgebiete eines weiteren besenderten Schreiadlers überlappen mit den Regionen Gonarezhou in Simbabwe und Krüger Nationalpark in Südafrika. ZALLES & BILDSTEIN (2000) bieten zwar eine hervorragende Übersicht über die weltweit bedeutenden Gebiete für wandernde Greifvögel, sie konzentrieren sich jedoch dabei auf die Zugkorridore. Es bleibt unklar, in wie weit diese auch eine Rolle als Rast- oder Überwinterungsgebiet spielen. Insgesamt konnten hier kaum Übereinstimmungen mit den in der vorliegenden Arbeit lokalisierten Rastregionen gefunden werden.

## 4.2 Verschnitt mit Fernerkundungsdaten

Ein innovativer Ansatz in dieser Arbeit ist das Verschneiden der Telemetriedaten mit Fernerkundungsdaten, um auf diese Weise die Habitatzusammensetzung der wichtigen Rastgebiete, die Habitatnutzung der Vögel und die beeinflussenden Faktoren auf das Zuggeschehen untersuchen zu können. GOTTSCHALK, HUETTMANN et al. (2005) geben einen Überblick über Arbeiten, die Satellitenbildinformationen nutzen, um Habitatwahl bei Vögeln zu untersuchen. Der Übersichtsartikel zeigt, dass nur wenige Arbeiten beide Techniken – Fernerkundung und Satellitentelemetrie – miteinander vereinen. Darüber hinaus beschränken sich viele Arbeiten auf kleine Untersuchungsgebiete, wie auch die Arbeit von GOTTSCHALK (2002), der die avifaunistische Zusammensetzung der Serengeti und die dortigen Habitate mithilfe einer Landsat-Satellitenbildszene auswertete.

In der vorliegenden Arbeit wurde auf einem kontinentalen Niveau gearbeitet. Die untersuchten Arten wiesen Rastregionen auf der gesamten Osthälfte des afrikanischen Kontinents auf – vom Sahel bis nach Südafrika. Zudem überdecken die Telemetriedaten des Weißstorks mehr als 10 Jahre, so dass entweder zugunsten einer Fallstudie aus einem ausgewählten Gebiet oder zugunsten einer großskaligen kontinentalen Habitatanalyse entschieden werden musste. In diesem Falle wurde letztere Vorgehensweise gewählt: mithilfe der „Global Landcover Map 2000“ fand sich eine Datenbasis, die eine afrikaweite Habitatanalyse ermöglichte und zudem den Auflösungs- begrenzungen der Telemetriedaten entsprach. Die Karte liegt bereits klassifiziert und validiert vor, so dass eine eigene zeitaufwendige Klassifizierung entfiel. Mit einer Pixelgröße von 1\*1 km<sup>2</sup> befindet sich die Auflösung der Landbedeckungskarte noch immer unter dem möglichen Fehler der verwendeten Telemetriedaten ( $\leq 5$ km). Aus diesem Grund wurde die Habitatanalyse auf Basis der jeweiligen Pufferflächen je Lokalisation durchgeführt, um eine flächenanteilige Habitatzusammensetzung zu erhalten. Eine zuvor durchgeführte Analyse auf Basis von zufallsverteilten Daten mit unterschiedlicher Pufferflächengröße und unterschiedlicher Anzahl von Punkten zeigte, dass der Einfluss der Puffergröße bei hohen Anzahlen von auszuwertenden Punkten ( $> 100$ ) zu vernachlässigen ist (siehe Kap. 2.8.1).

Da in GLC 2000 nur permanente Feuchtgebiete berücksichtigt werden, wurde eine weitere Karte speziell zur Lage von Feuchtgebieten hinzugezogen (GLWD), um die Bedeutung von Feuchtgebieten für die beiden Vogelarten gesondert untersuchen zu können.

Zur Klärung der Habitatpräferenzen wurde eine parallele Analyse mit zufallsverteilten Punkten im gleichen Verbreitungsgebiet (Kap. 2.8.5) durchgeführt. Ein solches Verfahren – als *Monte Carlo* Verfahren bezeichnet – eignet sich gut zur statistischen Untersuchung komplexer statistischer Fragestellungen (SOKAL & ROHLF 1995) und ermöglicht den Vergleich der biologischen Daten mit

Zufallsdaten. Statistisch signifikante Unterschiede der Ergebnisse können entsprechend auf Habitatpräferenzen hinweisen.

Ein großer Nachteil der Nutzung dieser Datenquelle ist der fehlende Zeitbezug für ein Großteil der Telemetriedaten. Die Global Landcover Karte stellt den Zustand der Landbedeckung für das Jahr 2000 dar, während die Telemetriedaten des Weißstorchs sich über einen Zeitraum von über 10 Jahren erstrecken. Sicherlich besser geeignet für eine Habitatanalyse wären zeitbezogene Satellitenbildszenen der entsprechenden Monate und Jahre. Die wäre allerdings – zuzüglich des erforderlichen Aufwands für die Klassifikation der Bilddaten – im Rahmen dieser Arbeit nicht leistbar gewesen und konnte nur im Falle der NDVI-Daten erreicht werden. Daher ist die Habitatanalyse mit Vorsicht zu betrachten, zumal auch der Abgleich mit Felddaten Diskrepanzen aufzeigte. Dennoch zeigt die Habitatanalyse auf Basis des GLC Datensatzes durchaus sinnvolle Ergebnisse, die mit den Angaben aus der Literatur übereinstimmend sind (siehe unten).

**Tabelle 25:** Vor- und Nachteile bei der Verwendung der Landbedeckungskarte GLC 2000 zur Habitatanalyse.

<b>Vorteile (+) und Nachteile (-) der Landbedeckungskarte GLC 2000</b>	
(+) Kontinentweit (Afrika) verfügbar	(-) Statischer Zustand des Jahres 2000, Zeitbezug daher nicht für alle Daten gegeben
(+) Auflösung (1 km <sup>2</sup> ) relativ hoch, liegt über dem möglichen Fehler der Telemetriedaten (bis 5 km)	(-) Detaillierte Betrachtung kleinerer Gebiete nur bedingt möglich
(+) Klassifiziert und validiert	(-) mögliche Über- oder Unterbewertung einzelner Klassen, dieser Fehler kann jedoch auch bei eigens durchgeführter Klassifizierung entstehen
	(-) (Temporäre) Feuchtgebiete nicht ausreichend repräsentiert
	(-) Übereinstimmung mit den Felddaten nicht sehr gut (60 %), da die Landbedeckung zeitabhängig ist

Die Ergebnisse der hier durchgeführten Habitatanalyse unterstützen bereits bekannte Erkenntnisse zur Habitatnutzung des Weißstorchs. Die Beobachtungen von VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. (2002) zeigten, dass die Störche hauptsächlich in der Trockensavanne, in Wiesen entlang von Flussauen und Seen und auf Kulturland nach Nahrung suchten. ALLAN (2003) beschreibt den Weißstorch als einen ausgesprochenen Opportunisten, der sowohl natürliche Habitate wie *Bushveld*, Karoo-Savannenlandschaften, Grasland und Feuchtgebiete, als auch vom Menschen veränderte Kulturlandschaften nutzt. ALLAN (2003) betont, dass Störche vor allem in Alfalfa-Feldern zu beobachten sind. Die hier durchgeführte Habitatanalyse unterstützt dieses Bild: bevorzugte Habitate waren Grasland mit vereinzelt Büschen und Kulturlandschaften. GIRI, ZHU et al. (2005) konnten in einem Vergleich zwischen der GLC-Karte und einer eigenen Klassifikation auf Basis von MODIS-Daten Diskrepanzen, insbesondere für die Sahel-Region nachweisen. Demnach sollte hier der Anteil an Savannen und Grasland höher sein, im Gegensatz dazu die landwirtschaftlichen Flächen geringer ausfallen. Auch MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. (2004) weisen auf die mögliche

Überbewertung von Kulturlächen in semiariden Gebieten in der Landbedeckungskarte 2000 hin. Folglich könnte dies zu einer Verschiebung zugunsten einer Habitatpräferenz von Kulturlächen geführt haben, zumal zahlreiche Telemetriedaten im Sahel liegen. Allerdings bestätigten auch die durchgeführten Felduntersuchungen in Botswana und Afrika die starke Präferenz landwirtschaftlicher Flächen: die Störche konnten ausschließlich auf Kulturlächen oder in natürlichem Grasland gesichtet werden. Die größten Weißstorch-Anzahlen waren dabei in intensivlandwirtschaftlichen Gebieten zu finden (siehe Kap. 3.9.3). Auch andere Quellen bestätigen, dass der Weißstorch nicht nur im Brutgebiet (CREUTZ 1988), sondern auch in seinen Rast- und Überwinterungsgebieten ein Kulturfolger ist und Kulturlächen nutzt (OATLEY & RAMMESMAYER 1988; SCHULZ 1988; DALLINGA & SCHOENMAKERS 1989; GORIUP & SCHULZ 1990; SCHULZ 1995; GICHUKI & BUSIENEI 2003; ROBERTS 2005).

Neben der Nutzung von Kulturlächen wird auch immer wieder die Wichtigkeit von Feuchtgebieten für die Störche betont (GORIUP & SCHULZ 1990; EZEALOR 1994; MULLIÉ, BROUWER et al. 1995; SCHULZ 1995; BROUWER, MULLIÉ et al. 2003). Die hier durchgeführte Überlagerung der Telemetriedaten mit Feuchtgebietsflächen zeigte, dass rund 10 % der potenziell genutzten Fläche Feuchtgebiet war. Dies wird im Vergleich zur Gesamtverteilung der Habitatflächen aus der GLC 2000-Analyse als recht hoch bewertet. Zudem muss beachtet werden, dass die hier verwendete Karte der Feuchtgebiete (GLWD) nur Feuchtgebietstypen mit größeren Flächen darstellt (LEHNER & DÖLL 2004a). Eine wesentliche Quelle für Wasser stellen jedoch auch temporäre Wasserstellen dar, welche nach Regenfällen in zum Teil großen Zahlen entstehen. HOGG, DARE et al. (1984) und MOREL (1972) gaben bereits Hinweise, dass diese für ziehende Vögel als wichtige Wasserressourcen fungieren.

Die Relevanz temporärer Wasserstellen konnte auch im Falle der Rastregion „Ngamiland“ des Weißstorchs gezeigt werden. Die Analyse einer zusätzlichen Landsat-Szene zeigte im Gebiet der Weißstorch-Aufenthalte zahlreiche Wasserstellen, die vermutlich zum längeren Rastaufenthalt der Störche beitrugen. Zudem bestätigte die GLWD-Karte hier die Lage eines temporären Feuchtgebietes.

Die Durchführung des *Generalized Linear Model* (GLM) zum statistischen Testen wichtiger Parameter für die Verteilung der Rastdaten konnte im Gegensatz zu den Ergebnissen aus Kapitel 3.2.1 für die Habitatanalyse mithilfe der Landbedeckungskarte GLC 2000 keine Vegetationsklasse mit signifikantem Einfluss identifizieren. Die Gründe hierfür können in möglichen Korrelationen dieser Habitatklassen mit anderen Faktoren (z.B. *Human Footprint*) liegen. Zudem ist die Klassenanzahl in dieser Landbedeckungskarte (27) für das GLM möglicherweise zu hoch, so dass keine signifikanten Habitatnutzungen errechnet werden konnten. Das Ergebnis des GLM lässt schließen, dass nur die „Primärfaktoren“ wie Klima und Höhe sowie NDVI entscheidend für die Wahl der Rastgebiete sind und aus diesen Präferenzen eine Bevorzugung bestimmter Landbedeckungsklassen die Folge ist.

Dies gilt wiederum nicht für die Lage der Feuchtgebiete. In Kapitel 3.2.7 konnte gezeigt werden, dass im GLM temporäre Feuchtgebiete als wichtiger Faktor zur Verteilung der Rastdaten gelten. Dieses Ergebnis steht zwar im Einklang mit der flächenanteiligen Analyse (Kap. 3.2.3), allerdings konnte im GLM keine signifikante Präferenz für die Feuchtgebietsklasse „Süßwassermarschen“ nachgewiesen werden, obwohl im Vergleich zu den Zufallspunkten wesentlich mehr Rastdaten

innerhalb dieses Feuchtgebietstyps liegen (45 Zufallspunkte versus 157 Rastdaten).

**Tabelle 26:** Übereinstimmungen mit der Literatur und Diskrepanzen bei der Habitatanalyse für den Weißstorch.

<b>Übereinstimmung (+) und Diskrepanzen (-) der Habitatanalyse des Weißstorchs im Vergleich mit der Literatur</b>	
(+) Präferenz der Weißstörche für Savannen-, Gras- und Kulturlandschaftlich	(-) Anteil der Nutzung von Kulturlandschaften ist möglicherweise überbewertet
(+) Nutzung von Feuchtgebieten	(-) Präferenz von Feuchtgebieten konnte nicht durch GLC bestätigt werden, sondern nur unter Hinzunahme der GLWD-Karte

Im Falle des Schreiadlers wurden bislang nur sehr wenige Beobachtungen aus den afrikanischen Überwinterungsgebieten veröffentlicht, so dass die Habitatwahl hier noch weitgehend unerforscht ist (MEYBURG, SCHELLER et al. 1995; MEYBURG, HARASZTHY et al. 1999). NUTTALL (1995) beobachtete Schreiadler im südlichen Afrika und beschreibt ihr Habitat dort als offenes Buschland, oft in der Nähe von Feuchtgebieten. Ein weiteres Individuum wurde in einem Grasland-Gebiet mit Buschvegetation beobachtet. Beobachtungen in Kenia zeigten, dass Schreiadler hier offene Ebenen und Farmland nutzten und sich zudem in der Nähe von Wasserstellen aufhielten (PEARSON & MEADOWS 1979). Auch THIOLLAY (1989) beobachtete Schreiadler im Tschad und in Kamerun in der Nähe von Wasserstellen, Flüssen oder Feuchtgrünland. Diese wenigen Beobachtungen stehen im Einklang mit den hier erhaltenen Ergebnissen. Im Gegensatz zum Weißstorch scheinen die Schreiadler (offene) Wald- und Buschlandhabitate zu bevorzugen. Aber auch Farmland spielt eine wichtige Rolle, zumal über 30 Prozent der Rastpositionen auf Kulturflächen lagen. Weiterhin wird in der Literatur ausdrücklich auf die Nutzung von Feuchthabitaten hingewiesen. Auch dies konnte durch die gesonderte Auswertung der GLWD-Daten bestätigt werden: rund 10 Prozent der Rastdaten waren in Feuchthabitaten zu finden. Die Ergebnisse zeigen zudem, dass es sich sowohl bei den Habitaten der Überwinterungsgebiete als auch denen der Brutgebiete um geschlossene, jedoch reich strukturierte Gebiete handelt (Wald - Buschland). So nutzen Schreiadler in den Brutgebieten Feuchtwälder und angrenzende Grünland- und Ackerflächen (MEYBURG, HARASZTHY et al. 1999; SCHELLER, FRANKE et al. 2001).

Ähnlich den Ergebnissen für den Weißstorch konnten im GLM keine signifikanten GLC oder GLWD Klassen identifiziert werden, welche die Lage der Rastdaten der Schreiadler erklären. Während zwar die Landbedeckungsklassen mit in die Modell-Formel eingingen, wurden die GLWD-Klassen vollständig aus dem Modell genommen. Die Relevanz von Feuchtgebieten wurde somit nicht unterstützt und widerspricht den Ergebnissen der Flächenauswertung bzw. den Angaben aus der Literatur. Es wird empfohlen, eine weitere Analyse mit einer besseren Datenlage durchzuführen, um dieses Ergebnis erneut zu überprüfen.

**Tabelle 27:** Übereinstimmungen mit der Literatur und Diskrepanzen bei der Habitatanalyse für den Schreiadler.

<b>Übereinstimmung (+) und Diskrepanzen (-) der Habitatanalyse des Schreiadlers im Vergleich mit der Literatur</b>	
(+) Präferenz der Schreiadler für Busch- und Waldhabitate, sowie Ackerflächen	(-) Anteil der Nutzung von Kulturlandschaften ist möglicherweise überbewertet
(+) Nutzung von Feuchtgebieten	(-) Präferenz von Feuchtgebieten konnte nicht durch GLC bestätigt werden, sondern nur unter Hinzunahme der GLWD-Karte

#### 4.2.1 Beeinflussende Faktoren

Neben der Untersuchung von Habitatpräferenzen wurde in der vorliegenden Arbeit auch der Einfluss verschiedener ökologischer und anthropogener Faktoren auf den Zugverlauf und das Rastverhalten getestet. Im Hinblick auf die möglichen Veränderung im Zuge des Klimawandels werden dahingehende Fragestellungen immer häufiger bearbeitet (siehe auch Kap. 1.3). SCHAUB, KANIA et al. (2005) untersuchten etwa die Zusammenhänge zwischen der Primärproduktion in Afrika und den Weißstorch-Bestandszahlen. Auch KANYAMIBWA, SCHIERER et al. (1990) und SAETHER, GROGAN et al. (2006) widmeten sich einer ähnlichen Fragestellung und konnten einen Zusammenhang zwischen Niederschlagsbedingungen im Sahel und der Populationsdynamik von Störchen in den Brutgebieten zeigen: bei reichlichen Niederschlägen im Sahel konnten größeren Populationen in den westeuropäischen Brutgebieten nachgewiesen werden. Darüber hinaus zeigten die Beobachtungen durch SCHULZ (1988) dass Weißstörche sich bevorzugt in Regionen aufhalten, in denen es kürzlich geregnet hatte.

Die vorliegende Arbeit knüpft an diese Erkenntnisse an und setzt verschiedene Faktoren, darunter den NDVI als Vegetationsindex, mit den Rast- und Zugdaten in Beziehung. Der NDVI auf Basis der NOAA-Satelliten (siehe Kap. 1.2.1) ist seit den 80er Jahren verfügbar und dient als ein Instrument zur standardisierten Darstellung der Vegetationsdichte (BELWARD 1991a). Diese steht in direktem Zusammenhang mit Niederschlagsereignissen (siehe Kap. 2.7.4) (NICHOLSON, DAVENPORT et al. 1990; PRINCE 1991; LO SEEN CHONG, MOUGIN et al. 1993). MEYBURG, MEYBURG et al. (2004) untersuchten bereits die Zusammenhänge zwischen Niederschlag und der Präsenz von Schreiadlern und konnte im Falle eines Überwinterungsgebietes in Namibia mithilfe des NDVI zeigen, dass die Schreiadler sich bevorzugt in den vegetationsreicheren Regionen aufhielten.

Über die Niederschlagsvariabilität und die daraus resultierenden Biomasseveränderungen können wiederum Rückschlüsse auf die Abundanz von Nahrungsressourcen (Insekten) gezogen werden: DINGLE & KHAMALA (1972) und SINCLAIR (1978) zeigten in ihren Untersuchungen einen positiven Zusammenhang zwischen Niederschlägen in afrikanischen Savannenlandschaften (Serengeti) bzw. afrikanischen Graslandschaften und der Abundanz von Insekten. Auch LIVERSIDGE (1989) und THIOALLY (1989) beschäftigten sich mit der fluktuierenden Nahrungsverfügbarkeit in Afrika, insbesondere für Greifvögel. Demnach bieten semiaride Gebiete in den feuchten Sommermonaten sehr gute Bedingungen mit einem Überangebot an Nahrung. Nach Regenereignissen steigt die Zahl von Termiten, Heuschrecken und kleinen Vertebraten, deren Lebenszyklus an diese schwankenden Bedingungen angepasst ist (LIVERSIDGE 1989). Somit kann der NDVI als Indikator für pflanzliche

Biomasse genutzt werden, welche wiederum die Biomasse der potenziellen Nahrungstiere beeinflusst. Da die NDVI-Daten unter anderem auf Satellitenbildern der NOAA-AVHRR-Satelliten basieren, welche seit den 80er Jahren Monat für Monat und weltweit zur Verfügung stehen, bieten sie daher ein geeignetes Instrument zur Analyse zeitlich hoch aufgelöster Daten wie den Telemetriedaten.

Neben dem NDVI wurden weitere klimatische Parameter (mittlerer Niederschlag, Temperatur) und anthropogene Faktoren (*Human Footprint* nach SANDERSON, JAITEH et al 2002) auf ihren Einfluss auf das Rast- und Zugverhalten getestet (siehe Kap. 3.2.6). Unter Hinzunahme klimatischer Größen wie z.B. dem mittleren monatlichen Niederschlag konnte geklärt werden, ob eher durchschnittliche oder eher temporäre Bedingungen die Rastgebietswahl beeinflussen.

Im Kapitel 3.2.5 sind die NDVI-Veränderungen für die wichtigen Rastregionen des Weißstorchs dargestellt. Klar sind hier die mittleren Niederschlagsverhältnisse wiederzuerkennen: Im Sahel zeigt sich die lange Trockenzeit von mindestens sechs Monaten (GOUDIE 1996) mit niedrigen NDVI-Werten zwischen Januar und Juli. Der Beginn der Regenzeit Mitte Juni im Sudan, welche bis Mitte Oktober andauert (WICKENS & COLLIER 1971) ist im NDVI mit ansteigenden Werten ab Juli zu sehen. Diese erreichen im September/ Oktober ihren höchsten Wert. Die mittleren Werte für Rastregionen im östlichen und südlichen Afrika liegen teilweise wesentlich höher im Vergleich zum Sahel. Nach NICHOLSON, DAVENPORT et al. (1990) kommt es im Osten Afrikas bei gleicher Niederschlagsmenge zu höheren NDVI-Werten, d.h. zu stärkerer Biomasseproduktion. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass hier auch der Anteil an Buschland-Habitaten größer ist und auch dadurch höhere NDVI-Werte zustande kommen. SINCLAIR (1978) beschreibt die Niederschlagsverhältnisse in der Serengeti mit zwei Regenzeiten, die von November bis Januar und März bis Juni andauern. Von Juli bis Oktober herrscht Trockenzeit. Die in den Abbildungen 2 und 4 in Anhang IV gezeigten mittleren NDVI-Werte für die Rastregion „Serengeti“ zeigen eine vergleichbare Dynamik: Ende Dezember bis Januar steigt der NDVI-Wert an und erreicht Ende Januar einen ersten Höchstwert. Die zweite und nach SINCLAIR (1978) auch stärkere Regenperiode ist an den ab März wiederum ansteigenden NDVI-Werten erkennbar, welche im April den Jahreshöhepunkt von 0,74 erreichen. Während der Trockenzeit fallen die NDVI-Werte stetig.

Dies zeigt, dass der NDVI insgesamt gut mit den Niederschlagsereignissen bzw. der Vegetationsdynamik korreliert, was auch in vorangegangenen Arbeiten insbesondere für semiaride Regionen (Sahel und südliches Afrika) bestätigt werden konnte (NICHOLSON, DAVENPORT et al. 1990; BELWARD 1991; PRINCE 1991; LO SEEN CHONG, MOUGIN et al. 1993; MENZ & BETHKE 2000; ICHII, KAWABATA et al. 2002; SANNIER, TAYLOR et al. 2002).

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Zug- und Rastverhalten der Vögel und den verschiedenen Umweltparametern zu untersuchen, wurden verschiedene Ansätze getestet. Für den geografischen Verschnitt der Telemetriedaten mit den Bilddaten war eine flächenanteilige Berechnung wie im Falle der klassifizierten Habitatdaten nicht sinnvoll, da die NDVI-Daten eine niedrigere Auflösung von 8\*8 km bzw. 10 Minuten im Fall der Klimadatensätze (siehe Kap. 2.8.4) besitzen und daher unterhalb der möglichen Positionsungenauigkeit der Telemetriedaten liegen. Aus diesen Gründen wurde auf eine flächenanteilige Berechnung verzichtet und die Telemetriedaten punktgenau mit den jeweiligen Satellitendaten verschnitten. Da aus dem Spektrum der Telemetriedaten allein keine Aussage über mögliche Präferenzen einzelner Umweltvariablen

getroffen werden kann, wurde der Datensatz wiederum mit Zufallsdaten verglichen (s.o.). Der Vergleich zeigte signifikante Unterschiede zwischen Rast- und Zufallsdaten sowohl für den Weißstorch als auch den Schreiadler für den NDVI, für anthropogenen Einfluss, Niederschlag (nur beim Schreiadler) und Höhe (nur beim Weißstorch) (siehe Kap. 3.2.6 und 3.6.4). Die Temperaturwerte autokorellieren mit den Höhendaten, daher konnten auch hier entsprechende signifikante Unterschiede gefunden werden. Das Ergebnis unterstützt die zuvor aufgestellte Hypothese, nach der beide Vogelarten bevorzugt in Regionen rasten, in denen es zuvor ausreichend geregnet hat und eine ausreichende Nahrungsverfügbarkeit aufweisen. Bei dem Weißstorch konnten auch signifikante Unterschiede zwischen Rast- und Zugdaten gezeigt werden – mit höheren NDVI-Werten bei den Rastpositionen – so dass dies tatsächlich auf eine Präferenz der Vögel für Biomasse-reiche Regionen hinweist und als Entscheidungskriterium für die Rast fungieren kann. Schließlich zeigte auch das nachfolgend durchgeführte *Generalized Linear Model* (GLM) einen signifikanten positiven Einfluss des NDVI (1. Dekade) auf das Rastverhalten der Störche. Dieser konnte allerdings nicht für die Schreiadlerdaten gezeigt werden.

Die Überlagerung der jahresspezifischen NDVI-Dynamik in den einzelnen Rastregionen und der jeweiligen Präsenz von Störchen zeigte darüber hinaus, wie das Zugsystem der hier untersuchten Vogelarten an die Bedingungen in Afrika angepasst ist. Dabei verfolgen beide Arten dennoch unterschiedliche Strategien: Die Weißstörche treffen gegen Ende der Regenzeit in der Sahelzone ein und finden hier ein Überangebot an Nahrungsressourcen vor (MOREL 1972; SINCLAIR 1978). Diese schwinden mit dem Fortschritt der Trockenzeit, welche von Juli bis Oktober andauert. Die Region bietet möglicherweise nicht genügend Kapazität, um auch weiterhin genügend Nahrungsressourcen für alle dort rastenden Störche bereitzustellen. Schreiadler hingegen nutzen die Sahelregionen nicht als Rastgebiet über einen längeren Zeitraum. Lediglich einer der besenderten Adler rastete im Sudan für vier Tage und auch die Literaturübersicht durch CHRISTENSEN & SORENSEN (1989) konnte keine bedeutenden Rastaufenthalte von Schreiadlern im Sudan zeigen.

Ein Vergleich mit anderen im Sahel rastenden palaearktischen Vogelarten zeigt, dass sehr unterschiedliche Zugstrategien existieren (JONES 1995). Arten wie der Seggenrohrsänger (*Acrocephalus paludicola*) überwintern im westlichen Sahel (SCHÄFFER, WALTHER et al. 2006), Singvogelarten wie Fitis (*Phylloscopus trochilus*) oder Grauschnäpper (*Muscicapa striata*) ziehen nach kurzer Rast weiter ins südliche Afrika und wiederum andere Arten ziehen ohne längere Aufenthalte durch (Kuckuck *Cuculus canorus*, Bienenfresser *Merops apiaster*) (MOREL 1972).

Die Weißstörche teilen sich hierbei auf: Rund 33 Prozent der telemetrierten Vögel mit vollständigen Zugrouten verbleiben im Sahel, die Übrigen ziehen weiter nach Ost- oder Südafrika (SCHULZ 1988; VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002).

Eine Grafik mit den NDVI-Werten der entsprechenden Rastregionen im Osten und Süden Afrikas zeigt im Vergleich zum Sahel verschobene Bedingungen. Hier beginnt die erste Regenzeit erst im November (SINCLAIR 1978; JONES 1995) mit einem Peak grüner Vegetation im April zur zweiten Regenzeit. Die weiterziehenden Störche finden also weiter südlich verbesserte Nahrungsbedingungen auf, müssen jedoch zum Weiterzug die nötigen Ressourcen haben. BERTHOLD, KAATZ et al. (2004) zeigten zudem, dass einzelne Individuen, deren Zug Dank der Satellitentelemetrie über viele Jahre verfolgt werden konnte, eine von Jahr zu Jahr veränderte Zugstrategie aufweisen. Auch die Zugrouten weiterer hier untersuchter Störche zeigte, dass keinesfalls absolute Rastgebietstreue



besteht (siehe auch BERTHOLD, BOSSCHE et al. 2002). So überwinterte der Senderstorch V 6498 in den Jahren 1996 und 1997 in Kenia, in den darauf folgenden Jahren 1998 und 1999 verblieb der Storch im Sahel und suchte hier Rastgebiete im Tschad und Sudan auf (siehe Abbildungen 21-25 im Anhang I). Welchen Zugverlauf der einzelne Vogel wählt, ist also möglicherweise von den jeweiligen Bedingungen im Rastgebiet abhängig und muss von Jahr zu Jahr neu entschieden werden. Die Analyse der Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit vom NDVI weist darauf hin, dass die Bedingungen zur Ankunft der Störche die Aufenthaltsdauer im Rastgebiet beeinflussen. Dies gilt insbesondere für die Rastgebiete im Sahel. Allerdings stehen andere Ergebnisse hierzu im Widerspruch. So konnte diese Korrelation zwischen NDVI und der Aufenthaltsdauer nicht für die Rastregionen des östlichen und südlichen Afrikas gezeigt werden. Zudem war kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den NDVI-Schwankungen je Rastregion im Sahel im Laufe verschiedener Jahre und den Anzahlen dort rastender Störche ersichtlich (siehe Kap. 3.2.5.c).

Im Ergebnisteil (Kap. 3.2.5.c) wurde bereits auf die spezielle Funktion der Rastregionen im Sahel eingegangen: diese Gebiete können sowohl als Überwinterungsgebiet als auch als Zwischenziel fungieren (KAATZ 2004). Hier entscheidet sich also, ob der Vogel weiterzieht oder dort überwintert. Unter diesem Gesichtspunkt ist eine besonders starke Korrelation zwischen NDVI und Aufenthaltsdauer zu erwarten. Allerdings bleibt fraglich, warum dieser Zusammenhang nicht für die Gebiete im östlichen und südlichen Afrika gezeigt werden konnte, denn auch hier sind die Vögel auf günstige Nahrungsbedingungen angewiesen.

Bei diesen Ergebnissen ist jedoch zu beachten, dass der NDVI sicherlich nicht als einziger Parameter Einfluss auf das Rast- und Zugverhalten hat. Neben den individuellen Erfahrungen (und der Bevorzugung bekannter Regionen) jedes Individuums sind weitere Parameter wichtig, die das Verhalten beeinflussen. Dazu zählen beispielsweise Windverhältnisse (SHAMOUN-BARANES, BAHARAT et al. 2003), Wetterbedingungen (Aufwinde) (PENNYCUICK 1972) oder Störungen am Rastplatz (KAATZ 2004). Alle Faktoren wirken offensichtlich zusammen und können zum Bleiben oder Verlassen eines Gebietes führen. Auch die eigenen Beobachtungen in Südafrika zeigten, dass der Einsatz von Pestiziden auf den dortigen Erdnussfeldern möglicherweise zum Abzug des Senderstorchs Prinzesschen und dessen Antritt des Heimzuges führten. Letztlich haben die Vögel natürlich keine großräumige Übersicht über ein großes Gebiet und müssen vor Ort nach geeigneten Bedingungen suchen. Die Fülle an weiteren möglichen Einflussfaktoren zeigt, dass die Ergebnisse der hier durchgeführten Untersuchungen zwar einen Erklärungsansatz bieten, die untersuchten Faktoren jedoch keinesfalls ausschließlich über das Rast- und Zugverhalten entscheiden.

Die Ergebnisse der Analyse klimatischer Einflussfaktoren zeigen scheinbar widersprüchliche Tendenzen im Falle des mittleren Niederschlags. Dieser liegt für die Weißstorch-Rastdaten niedriger als für die Zugdaten bzw. die zufallsverteilten Punkte. Der niedrige Wert kommt dadurch zustande, dass die Störche erst zum Ende der Regenzeit in den Rastgebieten des Sahel eintreffen (siehe Kap. 3.2.5.c) und viele Positionen somit in Regionen mit einem im Ankunftsmonat sehr niedrigen mittleren Niederschlagswert liegen. In der Abbildung 107 wird dies verdeutlicht. In Farbabstufungen von dunkelrot bis gelb sind die Regionen mit mittleren Niederschlägen zwischen 0 und 20 mm für den jeweiligen Monat dargestellt. Es wird deutlich, dass die Rastregionen bereits im Oktober innerhalb dieser Bereiche liegen. Gegen Ende des Jahres schreitet die Trockenzeit weiter nach Süden vor. Dies zeigt, dass der NDVI aufgrund der verzögerten Reaktion der Vegetations-

verhältnisse in diesem Falle ein wesentlich besseres Instrument zur Darstellung der Produktivität einer Region ist. Zudem stellt er die realen Bedingungen des jeweiligen Jahres und Monats dar, während es sich bei den Klimadaten um interpolierte gemittelte Werte handelt.

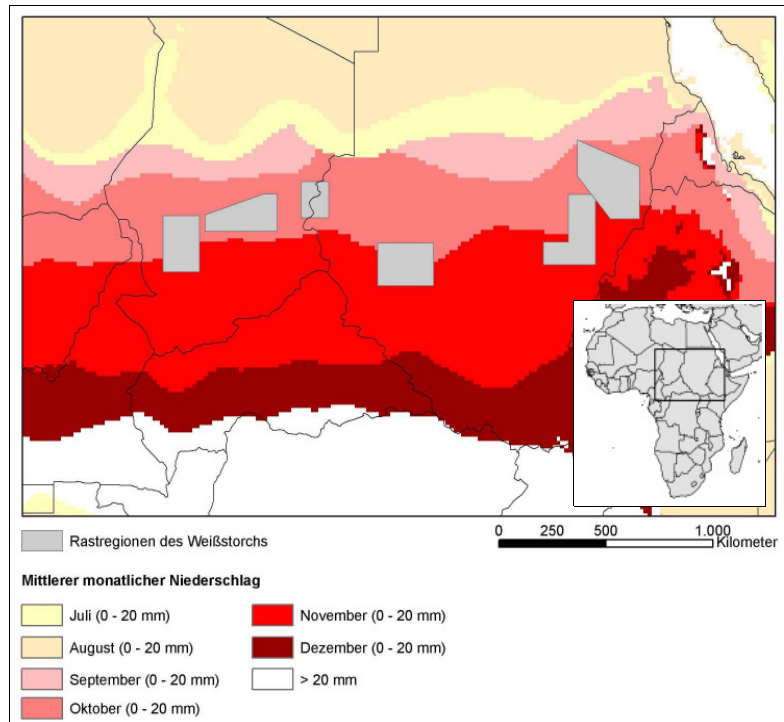
Aufgrund dieser und der vorangegangenen Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass ein möglichst starker Zeitbezug der verwendeten Satellitenbild-Informationen gegeben sein sollte.

Die Ergebnisse aus der Auswertung von Temperatur- und Höhendaten zeigen, dass die Störche sowohl während der Rast als auch während des Zuges niedriger gelegene Gebiete mit einer entsprechend höheren mittleren Temperatur bevorzugen, als es nach einer Zufallsverteilung von Daten zu erwarten gewesen wäre. Dies steht sicherlich im Zusammenhang mit der starken Konzentration von

Telemetriedaten in den Sahelgebieten, welche zumeist unter 500 m liegen, während nur die weiter südlich ziehenden Vögel höher gelegene Gebiete über 500 m erreichen.

Die Analyse des Einflusses menschlicher Aktivitäten, gemessen mithilfe des *Human Footprint*, zeigte für die Weißstorch-Rastdaten signifikant höhere Werte. Dieses Ergebnis ist sicherlich klar auf die starke Bevorzugung von landwirtschaftlichen Flächen zurückzuführen und zeigt wiederum, dass der Weißstorch ein Kulturfolger ist. SANDERSON, JAITEH et al. (2002) geben eine Übersicht der mittleren Werte des *Human Footprint*. Demnach variieren die Werte in Afrika zwischen 9 (Wüsten) und 20 (Mangroven). Für Graslandgebiete und Savannen, in denen sich die Störche ebenfalls aufhalten, liegt der mittlere *Human Footprint* bei 11,8. Dieser liegt immer noch wesentlich niedriger als der erreichte Wert bei den Rast- und Zugdaten (rund 23 bzw. 21, siehe Tabelle 15). Es zeigt sich daher eine deutliche Bevorzugung von Gebieten mit stärkerem anthropogenen Einfluss.

Die Schreiadler verfolgen eine andere Zugstrategie als die Weißstörche: die besenderten Adler wiesen nur einen Rastaufenthalt von kurzer Dauer in der Rastregion „Gezira“ auf. Auch generell konnten keine längeren Rastaufenthalte in einem „Zwischenziel“ bei dieser Art beobachtet werden (MEYBURG, SCHELLER et al. 2000; MEYBURG, MEYBURG et al. 2004).



**Abbildung 107:** Gebiete im Sahel mit mittlerem monatlichen Niederschlag unter 20 mm von Juli bis Dezember. Zur Orientierung wurden die Rastregionen des Weißstorchs aus Kap. 3.1.5 eingezeichnet. Es wird sichtbar, dass in der zweiten Jahreshälfte mit Ankunft der Störche in diesen Regionen die Trockenzeit (hier Gebiete mit einem mittleren monatlichen Niederschlag unter 20 mm) weiter nach Süden fortschreitet und somit der jeweilige Niederschlagswert aus dem Verschnitt mit Weißstorch-Rastdaten sehr niedrig ist. Die Ergebnisse aus Kap. 3.2.6 zeigten daher eine Bevorzugung von Regionen mit einem geringen mittleren Niederschlag.

Die Ergebnisse der Analyse beeinflussender Faktoren konnten auch hier die Hypothese stärken, dass die Vögel während des Zuges Regenfronten folgen (MEYBURG, SCHELLER et al. 2000; STEYN 1982; PEARSON & MEADOWS 1979). So konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den NDVI-Werten der zufallsverteilten Daten und den Rastpositionen der Adler gezeigt werden, mit höheren NDVI-Werten bei den Rastdaten. Andere Ergebnisse sind in diesem Kontext jedoch widersprüchlich bzw. wenig aussagekräftig. So zeigt sich lediglich eine Tendenz zu verlängerten Rastaufenthalten bei höherem NDVI, diese ist jedoch statistisch nicht signifikant. Bei den individuellen Zugverläufen konnte bei zwei der insgesamt drei Zugrouten eine Tendenz zu einem steigenden NDVI im Verlauf des Zuges gezeigt werden. Der Zugverlauf des Schreiadlers 28000 zeigt zumindest einen gleichbleibenden NDVI. Zudem konnte das durchgeführte *Generalized Linear Model* den NDVI nicht als signifikanten Faktor für die Verteilung der Schreiadler-Rastdaten identifizieren.

Da auch für den Schreiadler Insekten eine wichtige Nahrungsquelle in den Überwinterungsgebieten bilden, ist auch hier der enge Zusammenhang zwischen Regionen mit erhöhtem NDVI und der Verfügbarkeit von Nahrung gegeben. Als bevorzugte Nahrung der Schreiadler nennen viele Untersuchungen geflügelte Termiten und Blutschnabelweber (*Quelea quelea*) (BROOKE 1972 in NUTTALL 1995; BOWLES 1967; HERREMANS & HERREMANS-TONNOEYR 2000). Letztere sind in Afrika sehr häufig und können in einigen Regionen auch zur Plage werden (MCWILLIAM & CHEKE 2004). MOREAU (1972) zählt für den Schreiadler Insekten, Würmer und sogar Aas auf, während die Vögel in den Brutgebieten sich hauptsächlich von Vertebraten ernähren. LIVERSIDGE (1989) listet für wandernder Greifvögel im südlichen Afrika als wichtige Nahrungsquellen Heuschrecken, Termiten (*Hodotermes sp.*) *Quelea* und Kleinsäuger auf, und auch MEYBURG, MEYBURG et al. (2004) erwähnen Termiten, Heuschrecken und Frösche als wichtige Nahrungsquellen, deren Abundanz stark mit Niederschlägen bzw. dem Beginn der Regenzeit steigt. Eine Bevorzugung von niederschlagsreicheren Regionen, die also einen entsprechend höheren NDVI aufweisen, ist daher zu erwarten.

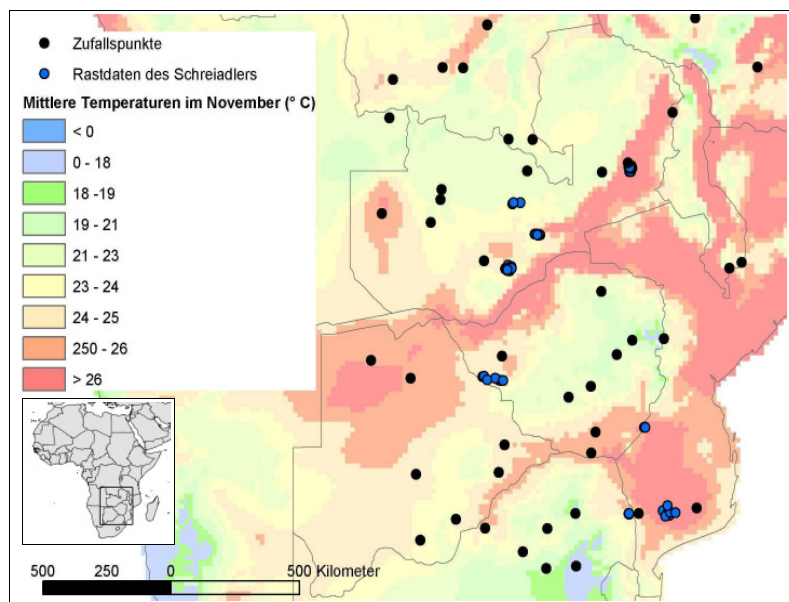
Einige der hier präsentierten Ergebnisse weisen tatsächlich auf eine solche Bevorzugung hin, reichen jedoch nicht aus, um allgemeingültige Aussagen machen zu können. Sie ermuntern jedoch zu weiterer Forschung, insbesondere den NDVI betreffend. Da bereits eine Vielzahl weiterer Schreiadler und auch anderer Greifvogelarten besendert wurde (MEYBURG & MEYBURG 2002), bietet die hier angewandte Methode zahlreiche Möglichkeiten zur fortgeführten Anwendung, die unbedingt zur Klärung der hier noch widersprüchlichen Ergebnisse beitragen sollte.

Diskussionswürdig sind weiterhin die Ergebnisse der übrigen untersuchten Parameter: Für den Höhendatensatz (DEM) konnten keinerlei signifikante Unterschiede zwischen Rast- und Zufallspunkten gezeigt werden konnten. Auch im GLM erwies sich die Höhe nicht als erklärender Parameter. Im Falle der mittleren Temperaturwerte besteht hingegen ein signifikanter Unterschied. Demnach bevorzugen die Adler wärmere Gebiete. Dies ist nur mit der Bevorzugung von wärmeren Niederungen zu erklären, wie dies beispielsweise in Sambia der Fall ist (siehe Abb. 108). Insbesondere die längeren Rastaufenthalte im Luangwa-Tal, in Kabwe, in den Kafue Flats und in Mosambique weisen höhere Mitteltemperaturen auf (23-26°C im November). Viele Zufallspunkte sind hingegen auf den Hochlandplateaus in Sambia, Simbabwe und Südafrika verteilt, wo die mittlere Temperatur meist unter 21°C liegt. Entsprechend wäre jedoch auch ein signifikanter Unterschied in der Höhe zu erwarten, da diese Werte stark miteinander korrelieren (siehe Kap. 3.6.4

und Abb. 89). Die mittlere Höhe der Rastdaten liegt in der Tat niedriger als die der Zufallspunkte, dieser Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant.

Die Ergebnisse der Analyse zum menschlichen Einfluss zeigt beim Schreiadler analog zum Weißstorch signifikant höhere Werte, also einen höheren menschlichen Einfluss bei den Schreiadler-Rastorten im Vergleich zu zufallsverteilten Punkten. Dies ist wiederum auf die Nutzung von Kulturlandschaften zurückzuführen, in denen auch die Adler zu rund 30 Prozent rasten. Tatsächlich wird auch in der Literatur die Nutzung von landwirtschaftlichen

Flächen auch im Brutgebiet erwähnt, allerdings solche mit naturnaher Bewirtschaftung (SCHELLER, FRANKE et al. 2001). WENDLAND (1958) wies jedoch aufgrund eigener Beobachtungen darauf hin, dass der Schreiadler entgegen der weitläufigen Meinung kein „Kulturflüchter“ sei, da seine Fluchtdistanz nicht geringer als die eines Bussards ist und die Vögel sich auch durch die Nähe menschlicher Siedlungen nicht gestört fühlen.



**Abbildung 108:** Temperaturverhältnisse im November im südlichen Afrika und Lage der Schreiadler-Rastdaten (blau) bzw. Zufallspunkte (schwarz).

**Tabelle 28:** Bestätigung und Einschränkungen möglicher beeinflussender Faktoren auf den Zugverlauf.

<b>Bestätigung (+) und Einschränkung (-) möglicher beeinflussender Faktoren auf den Zugverlauf</b>	
(+) Signifikant höhere NDVI-Werte bei Rastdaten im Vergleich zum Zug (Weißstorch) und zu Zufallspunkten (beide Arten)	(-) Kein direkter Zusammenhang zwischen Anzahl rastender Störche und dem NDVI im Rastgebiet
(+) Signifikant längere Aufenthalte bei höheren NDVI-Werten bei der Ankunft im Rastgebiet (Weißstorch)	(-) im Falle des Schreiadlers konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Aufenthaltsdauer und NDVI gezeigt werden
(+) (Signifikante) Steigerung bei Südafrikaziehern des NDVI während des Zugverlaufs (Weißstorch und Schreiadler)	(-) Individuelles Zugverhalten kann nicht immer mit den regionalen Bedingungen erklärt werden (Regionen mit höherem NDVI werden beispielsweise überflogen)
(+) Signifikant höherer Wert für <i>Human Footprint</i> bei Rastdaten des Weißstorchs und Schreiadlers im Vergleich zu Zufallspunkten	(-) Niederschlagsdaten wenig geeignet, um das Zugeschehen zu erklären, da der Zeitbezug zu gering ist
	(-) Widersprüche in den Ergebnissen für den Schreiadler werden auf den geringen Umfang an Daten zurückgeführt

### 4.3 Relevanz von Schutzgebieten

Die Rastaufenthalte der Schreiadler sind stark mit Schutzgebieten assoziiert. Die Ergebnisse in Kapitel 3.7 zeigen, dass nahezu die Hälfte der Rastdaten innerhalb von Schutzgebieten liegen. Die identifizierten Rastregionen tangieren oder überdecken sich mit sechs Schutzgebieten, von denen vier Nationalparkstatus haben. Trotz der Nutzung von anthropogen beeinflussten Gebieten wie Kulturflächen scheinen Schutzgebiete ein wichtiges Refugium darzustellen. Es ist anzunehmen, dass Schreiadler stärker als Weißstörche unter der zunehmenden Habitatvernichtung und intensivierter Landwirtschaft leiden. Greifvögel werden allgemein als sensitiv für Umweltänderungen eingeschätzt (WICHMANN, DEAN et al. 2004), so dass sie ganz besonders von Schutzgebieten profitieren. HARTLEY, HUSTLER et al. (1996) betonen, dass nur Schutzgebiete in Simbabwe geeignete Habitate für die meisten Greifvogelarten bieten, entsprechend sind Greifvögel innerhalb von Nationalparks wesentlich häufiger (AUMANN 1997). BILDSTEIN, SCHELSKY et al. (1998) zeigten in einer Untersuchung, dass über die Hälfte aller Greifvögel, deren Überwinterungs- oder Brutgebiete in den Tropen liegen, durch Habitatverlust, Verschmutzung oder Verfolgung gefährdet sind. Auch HERREMANS & HERREMANS-TONNOEYR (2000) konnten für verschiedene Greifvogelarten in Botswana eine stärkere Abundanz innerhalb von Schutzgebieten nachweisen. Allerdings galt dies nur für sensitive Arten, Greifvögel mit einer Präferenz für anthropogene Habitate wie zum Beispiel der Schwarzmilan *Milvus migrans* waren außerhalb von Schutzgebieten abundanter. Wandernde Greifvögel waren jedoch weniger von negativen Effekten durch Dürren oder Überweidung beeinträchtigt, da sie von lokalen Regenereignisse profitieren, die eine Fülle an Nahrungstieren (Termiten, Käfer) hervorbringen.

Im Gegensatz dazu sind Weißstörche in ihren Überwinterungsgebieten kaum in Schutzgebieten

anzutreffen, was sicherlich mit ihrer starken Präferenz für landwirtschaftliche Flächen zu erklären ist. Auch die Feldbeobachtungen konnten zeigen, dass Weißstörche robuster auf anthropogen bedingte Habitatveränderungen reagieren und in der Lage sind, auch intensiv landwirtschaftlich genutzte Regionen zu nutzen. Dies gilt allerdings nur solange auch genügend Nahrung, z.B. in landwirtschaftlichen Regionen in Form von Schadinsekten, vorhanden ist.

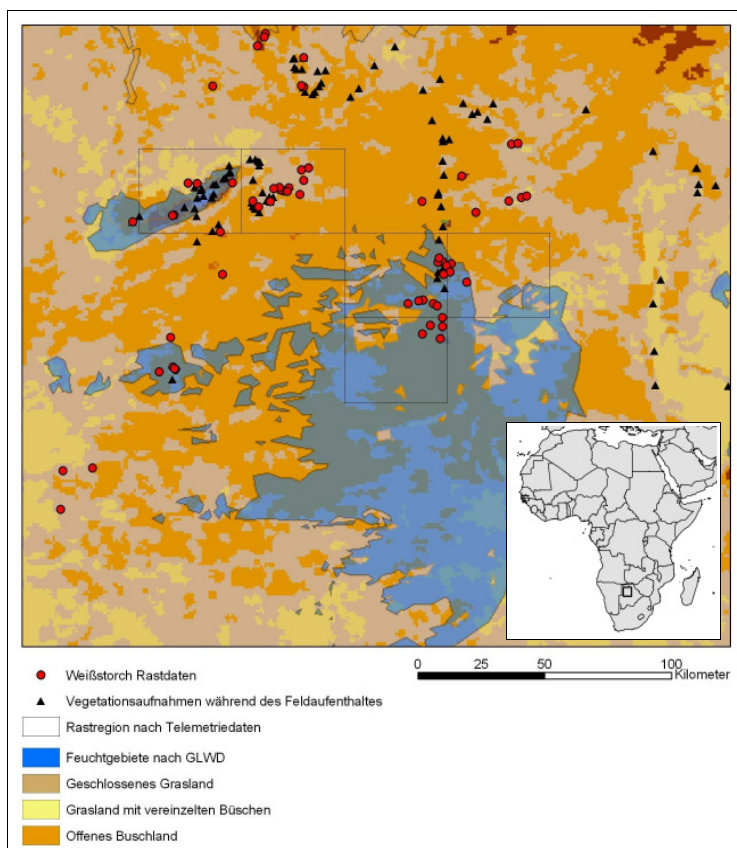
#### **4.4 Ergebnisse des Feldaufenthaltes**

Aufgabe des Feldaufenthaltes im Januar/Februar 2005 war es, die Ergebnisse der Satellitenbildanalyse mit den tatsächlichen Gegebenheiten zu vergleichen. Hierbei sollte überprüft werden, ob die identifizierten Rastregionen tatsächlich von Relevanz für die Störche sind und ob die aus der GLC-Analyse resultierenden Habitatpräferenzen der Realität entsprechen. Im Zeitraum der Dissertation war nur ein großer Feldaufenthalt von sechs Wochen durchführbar. Die Erkenntnisse eines kürzeren, zweiwöchigen Aufenthalts im Februar 2004 in Südafrika flossen nur am Rande ein.

##### **4.4.1 Lage der wichtigen Rastregionen**

Zum Zeitpunkt des Feldaufenthaltes lagen bis zu sechs bzw. acht Jahre zwischen den im Untersuchungsgebiet mittels Satellitentelemetrie erfassten Rastdaten, welche dann soweit möglich im Feld aufgesucht wurden. Zusätzlich konnten aktuelle Koordinaten des Senderstorchs Prinzesschen aufgesucht werden, da dieser Storch zum Zeitpunkt des Feldaufenthaltes noch einen aktiven Sender trug und somit auch im Feld geortet werden konnte.

Die Relevanz der identifizierten Rastregionen konnte in Botswana nur zum Teil bestätigt werden. Dies steht sicherlich im Zusammenhang mit der Aktualität der Daten und den zwischenzeitlichen Veränderungen der Vegetationsstruktur. Die Rastregion Ngamiland (siehe Kap. 3.9.2.a) erwies sich im Gebiet des Lake Ngami nach wie vor als wichtiges Rastgebiet von Weißstörchen. Über einen längeren Zeitraum konnten hier Störche beobachtet werden. Auch im umliegenden Gebiet des Sees konnten Weißstörche – allerdings in geringeren Anzahlen – beobachtet werden. Dabei spielte die Präsenz von Wasser eine wichtige Rolle: der Lake Ngami war zum Zeitpunkt des Feldaufenthaltes mit Wasser gefüllt und diente neben den Weißstörchen auch zahlreichen Wasservögeln (insbesondere großen Anzahlen von Pelikanen) als Rastplatz. Die Telemetriedaten wiesen hingegen längere und vermehrte Aufenthalte in den Jahren 1999 und 2000 im südlichen Teil der Rastregion auf (siehe Abb. 109). Dieses Gebiet erwies sich, soweit im Feld erreichbar, als (mittlerweile) vollkommen ungeeignet für Weißstörche, da hier dichtes mannshohes Mopane- und Akazien-Buschland dominierte. Auch die Landbedeckungskarte GLC 2000, welche den Zustand des Jahres 2000 darstellt, zeigt in diesem Gebiet Offenes Buschland und Geschlossenes Grasland. Erst die Hinzunahme einer Landsat-Szene des nördlichen Teils konnte Aufschluss geben: sie zeigt, dass der Boden zum Zeitpunkt der Storchenaufenthalte mehr oder weniger vegetationslos war und sich hier zahlreiche Wasserstellen gebildet hatten. Da das Gebiet mittlerweile mit Buschland bestanden ist, stellt es wohl auch in Zukunft kein geeignetes Habitat mehr für Weißstörche dar. Weitere Telemetriekoordinaten liegen weiter südlich und decken sich hier mit dem in GLWD identifizierten Feuchtgebietskomplex. Diese Koordinaten konnten im Feld leider nicht erreicht werden, so dass keine Aussage über die dortigen Vegetationsverhältnisse gemacht werden kann.



**Abbildung 109:** Lage des temporären Feuchtgebietes nach GLWD in der Rastregion Ngamiland in Botswana. Zusätzlich wurden die Rastdaten des Weißstorchs (rote Punkte) und die Vegetationsaufnahmen während des Feldaufenthalts 2005 (schwarze Dreiecke) eingezeichnet.

In Südafrika wurde eine der identifizierten Rastregionen im Feld aufgesucht („Woodlands“, siehe Kap. 3.9.2.b). Die Region zeichnete sich durch längere Aufenthalte in verschiedenen Jahren des Senderstorchs Prinzesschen aus. Tatsächlich wurde das Gebiet auch in den nachfolgenden Jahren von 2003 an stetig von dem Storch aufgesucht. Während der Felduntersuchungen konnte die Präsenz von Störchen bestätigt werden: im betrachteten Zeitraum (09.02.-11.02.05) hielten sich im Gebiet bis zu 30 Weißstörche auf. Die Feldbeobachtungen zeigten darüber hinaus, dass das Gebiet auch für weitere Vogelarten attraktiv war, allerdings nicht zu vergleichen mit den Feuchthabitaten des Lake Ngami.

In Südafrika konnte ein weiteres wichtiges Rastgebiet im zentralen Südafrika von Weißstörchen identifiziert werden („Hoopstad“, siehe Kap. 3.9.2.b), welches aus den Telemetrie-

daten nicht ersichtlich war. Der Weißstorch Prinzesschen rastete hier in den Jahren 2003 und 2004 über mehrere Tage. Die hier durchgeführten Feld-Beobachtungen sowohl im Jahr 2004 als auch 2005 zeigten, dass sich in der Region sehr große Anzahlen von Weißstörchen einfinden, die auf den ausgedehnten Feldern nach Nahrung suchen. Allerdings zeigten Zählungen über mehrere Tage, dass sich die Storchpräsenz auf einen sehr begrenzten Zeitraum beschränkt. Gründe für dieses abrupte Verlassen der Region waren schwer festzustellen, können aber mit der Verfügbarkeit von Nahrung zusammenhängen. Im Jahr 2004 konnte hier zuvor der Einsatz von Flugzeugen für den Einsatz von Pestiziden beobachtet werden. Ob die Präsenz von Weißstörchen tatsächlich mit dem Einsatz von Pestiziden zusammenhängt, kann allerdings nur anhand systematischer Feldbeobachtungen über einen längeren Zeitraum und ggf. in verschiedenen Regionen geklärt werden. Die Literatur ist sich in diesem Punkt nicht einig, da einige Artikel ausdrücklich auf die Gefahren von Pestiziden auf die Weißstörche verweisen, jedoch unklar ist, wie stark die negativen Folgen auf die Population sind (MILSTEIN 1964; DALLINGA & SCHOENMAKERS 1989; MULLIÉ, BROUWER et al. 1995; SCHULZ 1995; SCHULZ 1999; ROBERTS 2005). Dies muss sicherlich in Hinblick auf die jeweilige Region differenziert betrachtet werden. Bei den in Südafrika aufgesuchten Gebieten handelt es sich um hoch intensivierte Kulturlandschaften mit sehr großen Feldern und im Schnitt nur zwei dominierenden Feldfrüchten (Mais und Erdnuss). Der Einsatz von Pestiziden erfolgte mithilfe von

Flugzeugen, so dass ein gezielter Einsatz unter Auslassen der Ackerrandgesellschaften kaum möglich ist. Im gesamten Gebiet stellen die Felder mit ihren Schädlingen die einzige Nahrungsquelle für die Störche dar, sonstige geeignete Habitate wie Wiesen, Weiden oder Tümpel waren kaum vorhanden. Dies lässt vermuten, dass die Präsenz der Weißstörche durchaus mit dem Einsatz von Pestiziden negativ verknüpft ist. Ob die Störche allerdings Schaden davontragen, kann an dieser Stelle nicht geklärt werden. Fortgeführte systematische Felduntersuchungen bezüglich dieser Fragestellung sind daher dringend zu empfehlen.

#### 4.4.2 Genutzte Habitate

In den Rastregionen bzw. den weiteren beobachteten Weißstorch-Rastplätzen wurden zusätzlich Daten zu den genutzten Habitaten aufgenommen. Gleichzeitig erfolgte ein Vergleich der tatsächlich beobachteten Vegetation mit der in GLC 2000 klassifizierten Landbedeckung. Zu diesem Zweck wurde an allen Feldbeobachtungspunkten und auch während der Fahrt in Botswana und Südafrika die Vegetationsstruktur aufgenommen. Um die Beobachtungen schneller und einheitlicher zu beschreiben, wurden im Vorfeld Vegetationsklassen definiert, die einen Vergleich mit den GLC-Klassen ermöglichen (siehe Anhang VI). Im Wesentlichen wurden die Vegetationsstrukturen aufgenommen, da diese auch für die Weißstörche entscheidend sind. Auf eine detaillierte Aufnahme der Pflanzenarten konnte verzichtet werden, da diese nicht relevant für einen Vergleich mit den GLC-Klassen sind. Eine eindeutige Übereinstimmung der GLC Klassen konnte für lediglich 60 % der Bodenkontrollpunkte gezeigt werden. Für weitere 12 % der Punkte war die Übereinstimmung unsicher, da es sich um sehr starke Mischhabitate handelte. Dieser relativ geringe Prozentsatz übereinstimmender Vegetationstypen ist auf den Zeitaspekt zurückzuführen. Die Karte stellt den Zustand des Jahres 2000 dar, wo hingegen die Telemetriedaten einen großen Zeitraum von über 10 Jahren umspannen.

Die Habitate in denen Weißstörche beobachtet wurden, zeigten eine sehr gute Übereinstimmung sowohl mit der GLC-Auswertung als auch mit Erkenntnissen aus der Literatur. Die Störche waren auf natürlichen Grasland-Flächen (teilweise verbuscht), Wiesen und Weiden und in Kulturlandschaften zu finden (siehe Kap. 3.9.3). Die mit Abstand größten Zahlen wurden dabei auf den Erdnussfeldern im zentralen Südafrika aufgenommen. Die Bevorzugung solcher Felder, auch allgemein Leguminosen- oder Luzerne-Felder („Alfalfa“) wird in der Literatur bestätigt (OATLEY & RAMMESMAYER 1988; SCHULZ 1988; VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002; ALLAN 2003). Die Störche profitieren hier von den in den Feldern abundanten Schädlingen wie beispielsweise dem „Armyworm“ (DALLINGA & SCHOENMAKERS 1989). Dies konnte auch vor Ort von den südafrikanischen Farmern bestätigt werden. Die Habitatpräferenz für Leguminosenfelder konnte nur im zentralen Südafrika beobachtet werden, da ausschließlich hier die dafür erforderliche Intensiv-Landwirtschaft betrieben wurde. Alle übrigen Beobachtungen von Störchen in Kulturlandschaften beschränkten sich auf kleinere Felder und Wiesen oder Weiden. Vor allem in Botswana dominierten natürliche Habitate. Die Ergebnisse in Kap. 3.9.3 zeigen zudem, dass zwar die größten Gesamt-Anzahlen von Störchen auf den Erdnussfeldern gesichtet wurden, die meisten Beobachtungspunkte von Störchen allerdings auf Wiesen oder Weiden (zur landwirtschaftlichen Nutzung) lagen, da dieses Habitat sowohl in Botswana als auch in Südafrika wesentlich häufiger ist. Im südafrikanischen Überwinterungsgebiet („Woodlands“, siehe Kap. 3.9.2.b) konnte zudem gezeigt



werden, dass die Störche auf Wiesen in Assoziation mit Kühen nach Nahrung suchten. Die Assoziation sowohl mit Kühen als auch anderen großen Säugern (Büffel, Nashorn, Gnu, Antilopen) wird ebenfalls durch zahlreiche Literaturhinweise bestätigt (DEAN & MACDONALD 1981, PARASHARYA 1998; GICHUKI & BUSIENEI 2003; ROBERTS 2005). Die Gewölleuntersuchungen zeigten, dass der Kuhdung eine hohe Abundanz von Mist- und Dungkäfern (Scarabaeidae) zur Folge hatte, die dann – neben Heuschrecken – als Hauptnahrungsquelle der Störche dienten (siehe Kap. 3.9.4). Allerdings zeigt ein Vergleich der Anzahlen von Beobachtungspunkten und die Gesamtanzahl von dort gesichteten Störchen, dass dieses Habitat nicht bevorzugt aufgesucht wurde (siehe Abb. 98 in Kapitel 3.9.3).

### 4.4.3 Nahrungsquellen

Zusätzlich zu den Habitatpräferenzen der Weißstörche wurden im Feld Hinweise auf die potenziellen Nahrungsquellen gesammelt. Eine wichtige Quelle waren hierbei gesammelte Gewölle, die aus dem südafrikanischen Überwinterungsgebiet „Woodlands“ stammen (siehe Kap. 2.9.1.e). Da es zahlreiche Literaturhinweise auf das Nahrungsspektrum der Störche in den Brutgebieten gibt, nur wenige Untersuchungen sich aber den afrikanischen Rast- und Überwinterungsgebieten widmeten, bot dieser Aspekt weitere Erkenntnisse. Da die Untersuchungen ausschließlich auf Gewölle basieren und keine Mageninhalte untersucht wurden, beinhalten diese jedoch nur die unverdaulichen Teile der aufgenommenen Nahrung. Die Ergebnisse zeigen eine klare Präferenz für Arthropoden, hierbei waren vor allem die Tiergruppen Coleoptera und Orthoptera vertreten (siehe Kap. 3.9.4.a). Leider konnte nicht geklärt werden, wie groß der Anteil nicht nachweisbarer Nahrungstiere ist. Es wird jedoch vermutet, dass Kleinsäuger weitgehend ausgeschlossen werden können, da hier zumindest Fellreste oder Zähne in den Gewölle enthalten wären. Fische oder Amphibien sind in Gewölle hingegen schlecht oder gar nicht nachweisbar, da Knochen im Gegensatz zum Chitin in der Regel gänzlich verdaut werden (SZIJJ & SZIJJ 1955; TSACHALIDIS & GOUTNER 2002).

Der hohe Anteil an Heuschrecken in den Gewölle deckt sich mit der Literatur: MILSTEIN (1964); DALLINGA & SCHOENMAKERS (1989), MULLIÉ, BROUWER et al. (1995) und SCHULZ (1995) betonen, dass Heuschrecken eine wichtige Nahrungsquelle der Störche darstellen, zumal diese in Afrika oft in großen Schwärmen auftreten und somit eine leichte Beute darstellen. Auch Gewölleuntersuchungen aus den Brutgebieten der Störche zeigten einen großen Anteil sowohl von Käfern als auch Heuschrecken (SZIJJ & SZIJJ 1955; SACKL 1987; REKASI 1989; TSACHALIDIS & GOUTNER 2002). Dies zeigt, dass das Nahrungsspektrum in den Überwinterungsgebieten nicht wesentlich von dem der Brutgebiete abweicht, in Afrika aber sicherlich ein größerer Anteil von Orthopteren zum Spektrum zählt.

Letztlich unterstützen die Ergebnisse der Gewölleuntersuchungen auch die These zur Nahrungsverfügbarkeit nach Niederschlägen. Wie bereits in Kap. 2.7.4 beschrieben wurde, nimmt die Insektenabundanz nach Niederschlägen zu, da sich mit dem einsetzenden Pflanzenwachstum auch die Insektenlarven entwickeln können. Demnach kann die Präferenz für Biomasse-reiche Gebiete – wie sie in den Ergebnissen der NDVI-Datenanalyse gezeigt werden konnte – erklärt werden.

Die Kescherfänge in Habitaten, in denen Weißstörche beobachtet wurden, dienten als Zusatzuntersuchung, um die Diversität dieser Habitate einschätzen zu können. Tatsächlich wiesen

die meisten dieser Habitate – und insbesondere die natürlichen Graslandhabitate – hohe Diversitätsindizes auf. Testreihen mit unterschiedlicher Anzahl von Kescherschlägen konnten zeigen, dass der Index ab einer Zahl von 30 Schlägen stabil bleibt, so dass in den weiteren Habitaten diese Zahl als Richtwert genommen wurde (siehe Kap. 2.9.1.d). Dennoch wurde während des Kescherns deutlich, dass eine große Anzahl der Heuschrecken vor dem Kescher flüchteten und im Vergleich dazu nur wenige im Netz gefangen wurden. Wie auch bereits im Ergebnisteil erwähnt, wird daher davon ausgegangen, dass diese Gruppe deutlich unterrepräsentiert ist. Die vorgestellten Ergebnisse sind mit Vorsicht zu bewerten.

Um tatsächlich Aussagen über die unterschiedliche Habitatqualität machen zu können, sollten die Kescherfänge intensiviert werden. Mehrere Fänge im selben Habitat zu unterschiedlichen Zeiten könnten temporäre oder saisonale Unterschiede klären. Zudem sollten Kescherfänge auch in Habitaten ohne Weißstorch-Präsenz durchgeführt werden, um hier mögliche Unterschiede aufzudecken. Leider konnte keine Literatur mit vergleichbarer Fragestellung und Methodik gefunden werden, so dass hier fortgeführte Untersuchungen erforderlich sind, um die Ergebnisse im Zusammenhang dieser bewerten zu können.

**Tabelle 29:** Überprüfung der Ergebnisse aus der Analyse der Telemetrie- und Fernerkundungsdaten mithilfe von Feldbeobachtungen.

<b>Übereinstimmung (+) und Divergenz (-) der Felduntersuchungen mit der Telemetrie- und Satellitenbildanalyse</b>	
(+) Wichtige Rastregionen „Lake Ngami“ und „Woodlands“ im Feld bestätigt	(-) Relevanz des Gebietes „Ngamiland“ fragwürdig aufgrund veränderter Vegetationsverhältnisse? Feld-Untersuchungen hier allerdings räumlich eingeschränkt
(+) Sichere Übereinstimmung der Bodenkontrollpunkte mit GLC 2000 zu rund 60 %	(-) Relevanz der Region „Hoopstad“ in Südafrika nicht durch Telemetriedaten bestätigt
(+) Habitatpräferenzen aus GLC und Literatur konnten im Feld bestätigt werden	(-) Gewölleuntersuchungen beschränken sich auf unverdauliche Nahrungsreste
(+) Arthropoden (Coleoptera, Orthoptera) als wichtige Nahrungsgrundlage der Störche	

#### 4.5 Naturschutzempfehlungen für den Weißstorch

In Hinblick auf Aspekte des Arten- und Naturschutzes können folgende Ergebnisse der Weißstorch-Telemetriedatenanalyse und Felduntersuchungen festgehalten werden:

- Die Sahel-Zone beinhaltet sechs der hier identifizierten Rastgebiete des Weißstorchs und hat in ihrer Gesamtheit eine wichtige Funktion als Rastregion, sowohl als vorübergehendes Rastgebiet für alle telemetrierten Störche als auch als Überwinterungsgebiet für 34 % aller auswertbaren vollständigen Zugrouten (n = 29).
- Als Rastgebiet dienen weitere Regionen im östlichen und südlichen Afrika, diese werden allerdings nicht von allen Störchen angefliegen, da sich das Zugeschehen südlich des Sahel stark ausdifferenziert (20 % aller vollständigen Zugrouten enden im östlichen Afrika, die übrigen 35 % enden südlich des 15. südlichen Breitengrades)

- Während der Rast bevorzugen die Störche landwirtschaftlich genutzte Gebiete (40 % aller Rastdaten) und natürliche Habitate wie Gras- und Buschlandregionen (insgesamt 42 % aller Rastdaten)
- Entsprechend der Nutzung von landwirtschaftlichen Gebieten zeigt sich, dass die Störche sich in Regionen aufhalten, die stärker vom Menschen geprägt sind (*Human Footprint* = 23,2)
- Der NDVI (Vegetationsindex für grüne Vegetation) hat insbesondere in den Rastgebieten der Sahelzone Einfluss auf die Länge des Aufenthalts der Störche, günstige Nahrungsbedingungen mit hoher Biomasse (= hoher NDVI) veranlassen hier zu längeren Aufenthalten, zudem werden Regionen mit einem höheren NDVI bevorzugt aufgesucht
- Insekten, vor allem Käfer und Heuschrecken bilden eine wichtige Nahrungsquelle in den afrikanischen Rastgebieten

Aus diesen Ergebnissen lassen sich folgende Empfehlungen für den Arten- und Naturschutz ableiten:

### ➤ **Nachhaltige Nutzung der Wasserressourcen im Sahel**

In der Sahel-Region rasten alle west- und ostziehenden Störche. Aus den Ergebnissen kann gefolgert werden, dass die herrschenden Bedingungen bei Ankunft der Störche Einfluss auf den weiteren Zugverlauf haben. Gegenüber dieser Relevanz als Rast- und Überwinterungsgebiet leidet die Region unter enormen Druck: als eines der am dichtesten besiedelten tropischen Trockenregionen muss sie einem enormen Bevölkerungsdruck standhalten und wird zudem im Zuge der Klimaänderungen mit einer zunehmenden Dürre konfrontiert (HIERNAUX 1995). Sowohl die zunehmende Trockenheit als auch die intensive Nutzung durch den Menschen führten schließlich zu einer zunehmenden Desertifikation der Region. Aufgrund der geringen und stark saisonalen Niederschläge ist Landwirtschaft nur mithilfe künstlicher Bewässerung möglich (DIALLO 1995), was eine weitere Ausbeutung der Wasserressourcen bedeutet (SCHOLTE & ROBERTSON 2001). Dies hat nicht nur Konsequenzen für die dort lebende Bevölkerung, sondern auch auf die Funktionalität des Ökosystems und schließlich das Verschwinden heimischer Pflanzen- und Tierarten (DIALLO 1995).

Der Weißstorch steht hierbei als Vertreter für zahlreiche andere Vogelarten, deren Rast-, Überwinterungs- oder Brutgebiete ebenfalls in dieser Region liegen. Hierzu gehören auch gefährdete Arten wie Rötelfalke (*Falco naumani*) oder Klunkerkränich (*Grus carunculatus*) (Rote Liste der IUCN<sup>19</sup>). Allein für den Tschad nennen SCHOLTE & ROBERTSON (2001) 532 Vogelarten, Standvögel und Zugvögel, die insbesondere die Seengebiete des Tschadsees und des Fitriisees nutzen. Dasselbe gilt für die Feuchtgebiete des Sudan, die von großer Bedeutung für Wasservögel sind (ROBERTSON 2001). In Anlehnung an die zahlreichen Literaturhinweise auf die zunehmende Dürre im Sahel (KANYAMIBWA, SCHIERER et al. 1990; KAFANDO 1994; SCHULZ 1999) gilt die dringende Empfehlung hier dem Schutz der Wasserressourcen der Region. Die Habitatanalyse auf Basis der GLWD-Datenbank konnte die Wichtigkeit von Wasserressourcen für die Rast der Weißstörche herausstellen. Auch in zahlreichen vorangegangenen Arbeiten wird auf die Relevanz von Wasserverfügbarkeit in den Rast- und Überwinterungsgebieten aufmerksam gemacht (MULLIÉ, BROUWER et al. 1995; SCHULZ 1995;

---

19 <http://www.iucnredlist.org/>

KAATZ 2004). BROUWER (2002) beschreibt zum Beispiel die Relevanz von (temporären) Feuchtgebieten im Sahel am Beispiel Niger: vor 6-10.000 Jahren herrschten in der Sahara und im Sahel wesentlich feuchtere Bedingungen, jetzt noch erkennbar an den zahlreichen Trockentälern. In diesem alten Drainagesystem und den verbliebenen Senken bilden sich nach Regenfällen temporäre Gewässer oder Feuchtgebiete von unterschiedlicher Größe. Diese Gewässer sind sowohl für Menschen (Landwirtschaft und Viehzucht) als auch Wildtiere (Wasservögel) überlebensnotwendig. In Zukunft wird das System immer stärker beeinflusst bzw. „ausgebeutet“ werden, durch steigenden Bevölkerungsdruck, intensiviert Landwirtschaft, Überweidung und steigende Landnutzung der Feuchtgebiete (KAFANDO 1994; DARKOH 2003). Zunehmend trockenere Bedingungen im westlichen Sahel im Verlauf des 20. Jahrhunderts (DESANKER, MAGADZA et al. 2001) führten dabei zu einer Verstärkung dieser Probleme. Insbesondere EZEALOR (1994) und SCHULZ (1995) machen auf Staudammprojekte bzw. Entwicklungshilfe-Projekte aufmerksam, in denen ökologische Aspekte kaum oder gar nicht berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang wird auch das Merowe-Staudammprojekt im Sudan mit Sorge betrachtet, da den möglichen Auswirkungen sowohl auf die lokale Bevölkerung als auch auf flussabwärts gelegenen Ökosysteme kaum Beachtung geschenkt wird (GILES 2006). Subventionen und Fördermittel an der falschen Stelle führen zu teilweise unsinnigen landwirtschaftlichen Konsequenzen, wie es im Sudan der Fall ist. Hier wurden traditionelle Methoden zugunsten von Hirse-Monokulturen aufgegeben, obwohl erstere wesentlich besser an Dürre und Schädlinge angepasst waren (DARKOH 2003).

Um die Ökosysteme der Region und die damit verbundenen Rastgebiete wandernder Vogelarten zu erhalten, ist es dringend erforderlich, zukünftige Entwicklungshilfe mit dem Schutz natürlicher Wasserressourcen zu vereinen und einer Übernutzung der Region entgegenzuwirken.

➤ **Nachhaltige/ Traditionelle Land-/ Viehwirtschaft**

In Südafrika waren Weißstörche am häufigsten in den intensiv genutzten landwirtschaftlichen Regionen zu beobachten, doch ihre Präsenz schien auf einen bestimmten Zeitrahmen konzentriert zu sein. Den eigenen Beobachtungen zufolge wird hier angenommen, dass die vorhandenen Nahrungsressourcen in Form von Schadinsekten nur über eine bestimmte Zeit vorhanden sind und möglicherweise durch den Einsatz von Pestiziden komplett vernichtet werden. Daher waren die Störche gezwungen, die Region zu verlassen. Als Indizien dienen die anfänglich sehr hohe Dichte von Störchen und ihre vollständige Abwesenheit nach einigen Tagen. Um eine gesicherte Aussage zu machen, wäre hier jedoch eine systematische Untersuchung im Feld erforderlich, die den Einsatz von Pestiziden mit der Präsenz von Störchen in Beziehung setzt.

- Der Weißstorch gehört in diesem Fall sicherlich zu den robusteren Arten, die in der Lage sind, sich den jeweiligen Nahrungsbedingungen anzupassen (MULLIÉ, BROUWER et al. 1995) und auf andere Gebiete mit besserer Versorgung auszuweichen. Es zeigt jedoch auch, dass intensiv genutzte landwirtschaftliche Gebiete kein kontinuierliches Rastgebiet darstellen können. Die Abwesenheit anderer Vogelarten zeigt zudem, dass die intensiven landwirtschaftlichen Regionen Südafrikas gesamtökologisch gesehen keine geeigneten Habitate für Vögel bieten.
- Letztlich kann intensiv betriebene Landwirtschaft oder Viehzucht, wie im Falle der Sahelgebiete nicht nachhaltig betrieben werden, da sie zu einer Übernutzung und Ausbeutung des gesamten

Ökosystems führt, welche letztendlich noch größeren Probleme (Wassermangel, ärmere Böden) bewirken (s.o.). So wurde in Botswana die Viehhaltung stark gefördert, was zu einer Überweidung einiger Gebiete führte (DARKOH 2003). Zudem wurden Veterinärzäune gebaut, um das Vieh vor einer Ausbreitung von Krankheiten zu schützen (*Pleuropneumonia*). Die Konstruktion dieser Zäune führte letztlich zu einer Unterteilung des Landes in Wild- und Viehzuchtgebiete, welche die wandernden Tierarten in starke Bedrängnis bringt, da sie zu Beginn der Trockenzeit nicht mehr in regenreichere Gebiete auswandern können (ALBERTSON 1998).

### ➤ **Vermeidung des Einsatzes von Pestiziden**

Wie groß die Folgeschäden durch Pestizide beim Weißstorch sind, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Fraglich ist zudem, ob die Störche durch den Einsatz von Pestiziden sofort vertrieben werden oder zuvor kontaminierte Insekten aufnehmen. In den meisten Literaturhinweisen wird die Verwendung von Pestiziden als nicht bestandsgefährdend für den Weißstorch angesehen. Dennoch wird hier empfohlen, diese nach Möglichkeit zu unterbinden. Der Weißstorch als Schädlings-Vertilger ist letztlich von dieser Nahrungsquelle abhängig und passt sein Zug- und Rastverhalten günstigen Bedingungen an. Eigene Beobachtungen lassen vermuten, dass der intensivierte Einsatz von Pestiziden, wie in Südafrika der Fall, den Störchen die Nahrungsressourcen entzieht und sie zum Weiterzug zwingt (s.o.).

### ➤ **Schutz natürlicher Habitate**

Dort, wo Weißstörche in natürlichen Habitaten wie Graslandschaften und in der Nähe von Feuchtgebieten rasteten, waren sie mit zahlreichen anderen Vogelarten assoziiert (zum Beispiel in den Rastregionen „Ngamiland“ oder „Kimberley“, Kap. 3.9.2). Gras- und Savannenlandschaften bilden den dominierenden Vegetationstyp in Afrika und dürfen bei Schutzmaßnahmen nicht vernachlässigt werden, da sie höchst empfindlich auf Umweltänderungen reagieren. Die dort lebende Bevölkerung ist zu einem großen Teil von ihren eigenen landwirtschaftlichen Erzeugnissen abhängig (STOTT 1991). Der resultierende Verlust natürlicher Habitate führt jedoch zu einer Dezimierung der vorhandenen Ressourcen (z.B. Produktivität des Bodens, Wasserspeicherung) (DARKOH 2003). Im Serengeti Nationalpark konnten SINCLAIR, MDUMA et al. (2002) beispielsweise in einem direkten Vergleich zwischen natürlichen Savannenlandschaften und benachbarten landwirtschaftlichen Flächen zeigen, dass die Savannen sowohl eine höhere Dichte und Artenzahl von Vögeln als auch höhere Abundanz und Zahl von Insekten aufwiesen.

### ➤ **Gefahren durch Hoch- und Mittelspannungsleitungen minimieren**

Zwar wurde dieser Aspekt nicht in der vorliegenden Arbeit untersucht, er soll jedoch an dieser Stelle ebenfalls hervorgehoben werden. Zahlreiche Autoren haben sich bereits mit dieser Problematik befasst und konnten zeigen, dass die Verluste von Weißstörchen an Hochspannungsleitungen sowohl in den Brutgebieten als auch den Durchzugs- und Überwinterungsgebieten massiv sind (KAATZ, 2004; SCHULZ 2001). Selbst in Deutschland, wo durch eine neue Gesetzeslage eine vogelgefährliche Bauweise von Leitungsmasten unterbunden werden soll, geht die flächendeckende Umsetzung von entsprechenden Maßnahmen nur schleppend voran (KAATZ 2006). Die Bemühungen der NABU-BAG „Stromtod“ richten sich

daher weiterhin auf die Umsetzung entsprechender Maßnahmen (HAAS, NIPKOW et al. 2005). Die Gefahren durch Hochspannungsleitungen in den Rast- und Durchzugsgebieten in Afrika sind weniger gut erfasst, sie werden jedoch hier als weniger relevant eingestuft, da die Stromversorgung in vielen Ländern wenig fortgeschritten ist und nicht mit den Verhältnissen in Europa zu vergleichen ist. SCHULZ (1988) erwähnt hierbei insbesondere Südafrika mit einem ausgedehnten Stromnetz, wo immer wieder Kollisionen von Störchen mit Hochspannungsleitungen beobachtet wurden. Aber auch im Sudan erwähnen ELMALIK (1989) und NIKOLAUS (1981) jährliche Verluste durchziehender Störche an Hochspannungsleitungen, insbesondere im Raum Wad Medani und Gedaref. Das Hauptaugenmerk der Aktivitäten zur Konstruktion vogelfreundlicher Hochspannungsleitungen sollte dennoch nach wie vor auf den hoch industrialisierten Ländern liegen. Die zunehmende Stromversorgung in unterentwickelten Ländern sollte entsprechend mit der Umsetzung der formulierten Schutzmaßnahmen einhergehen. Gefordert wird an dieser Stelle auch weiterhin der fortgeführte internationale Dialog und die weltweite Umsetzung, zumal nicht nur Weißstorch, sondern auch andere Großvogelarten von Verlusten an Hoch- und Mittelspannungsleitungen betroffen sind.

➤ **Ausweisung von Schutzgebieten**

NOWAK (1995) fordert als Konsequenz der Erkenntnisse durch die Satellitentelemetrie die Nennung der wichtigsten Rastgebiete des Weißstorchs und deren Ausweisung als Schutzgebiete. GORIUP & SCHULZ (1990) und SCHULZ (1995) betonen ergänzend, dass ein Schutzkonzept weniger auf bestimmte Regionen begrenzt werden sollte, da die Störche in Afrika zu weit verstreut sind. Dies sei nur sinnvoll für einige Konzentrationsgebiete. Daran anknüpfend sollen die in dieser Arbeit erbrachten Erkenntnisse zur Lage wichtiger Rastregionen des Weißstorchs der Ausweisung prioritärer Gebiete für den Natur- und Artenschutz dienen. Dies sind insbesondere die folgenden Gebiete:

- „Fitri“, „Abèche“, „West-Darfur“, „Süd-Darfur“, „Gezira“ und „Wad Medani“ im Sahel als Konzentrationsgebiete aller ostziehenden Weißstörche
- „Serengeti“, nach weiteren ornithologischen Arbeiten von gesamtökologischer Bedeutung (SCHMIDL 1982; GOTTSCHALK 2002)
- „Ngamiland“ mit hoher gesamtökologischer Bedeutung durch saisonal hohe Artenzahlen (TYLER & BISHOP 2001)
- „Bet Shean“ als wichtiges Durchzugsgebiet des Weißstorchs und weiterer wandernder Vogelarten (FRUMKIN, PINSHOW et al. 1995; VAN DEN BOSSCHE, BERTHOLD et al. 2002)

**4.6 Naturschutzempfehlungen für den Schreiadler**

In Hinblick auf Aspekte des Arten- und Naturschutzes können folgende Ergebnisse der Schreiadler-Telemetriedatenanalyse festgehalten werden:

- Wichtige Rastregionen sind vor allem im südöstlichen Afrika, und hier insbesondere in Sambia zu finden, dies deckt sich auch mit den Aussagen von MEYBURG, MEYBURG et al. (2004) beziehungsweise CHRISTENSEN & SORENSEN (1989). Die Gesamtbedeutung der Sahel-Region als Rastregion wird nur durch einen kurzen Rastaufenthalt belegt und bleibt unklar. Doch auch MEYBURG, SCHELLER et al. (2000) und CHRISTENSEN & SORENSEN (1989) erwähnen den Sudan als

Rastgebiet.

- Bevorzugte natürliche Habitats sind Buschland mit vereinzelt Bäumen und Offener laubwerfender Wald. Zudem werden auch Kulturflächen genutzt.
- Feuchtgebiete spielen eine wichtige Rolle während der Rast und des Zuges.
- Die Schreiadler tendieren zu längeren Aufenthalten in Gebieten mit höherem NDVI (höhere Biomasse), während der Rast und des Zuges werden bevorzugt Regionen mit einem höheren NDVI aufgesucht.
- Schreiadler halten sich bevorzugt in Schutzgebieten auf, allein die Daten zweier Individuen deckten insgesamt sechs verschiedene Schutzgebiete ab.

In der vorliegenden Arbeit wurden Daten von zwei Schreiadlern ausgewertet und deren Habitat- und Raumnutzung bestimmt. In MEYBURG, SCHELLER et al. (1995), MEYBURG, SCHELLER et al. (2000), MEYBURG, ELLIS et al. (2001) und MEYBURG, MEYBURG et al. (2004) werden weitere Rastgebiete genannt. Die Ergebnisse sind allerdings bei weitem nicht ausreichend für etwaige Vorschläge für Schutzgebiete. Daher sollten zukünftige Forschungsvorhaben die folgenden Punkte umfassen:

- **Fortgeführte Analyse** weiterer Schreiadler-Telemetriedaten unter Einbeziehung der genutzten Habitats
- **Identifikation wichtiger Rastregionen**, in denen Schreiadler über längere Zeit rasten  
Bislang können folgende Regionen genannt werden:
  - Grenzgebiet Südafrika/ Mosambique („Krüger Nationalpark“)
  - das südliche Sambia (Regionen „Lukanga Swamps“, „Kabwe“ und „Kafue Flats“)
  - Simbabwe (Zentrales Simbabwe mit Regionen aus MEYBURG, MEYBURG et al. (2004) und Rastregion „W-Simbabwe“)
- Genauere Habitatanalyse in den Rastregionen, auch in Bezug auf Störung
- Zudem gelten hier ähnliche Forderungen, die bereits für den Weißstorch formuliert wurden:
- **Schutz natürlicher Habitats, insbesondere der Buschlandhabitats und Feuchtgebiete** in den Überwinterungsgebieten des Schreiadlers
- Vermeidung des Einsatzes von Pestiziden
- Nachhaltige Landwirtschaft und Schutz natürlicher Wasserressourcen
- Gefahren durch Hoch- und Mittelspannungsleitungen minimieren

## 5 Ausblick

### 5.1 Fortgeführte Anwendung der erarbeiteten Methoden auf Telemetriedaten

Durch intensive Beringung und Besenderung, aber auch zahlreiche Beobachtungen und ökologische Studien gehört der Weißstorch zu den bestuntersuchten Vogelarten. Der umfangreiche Telemetriedatensatz aus über 10 Jahren Besenderung ermöglichte die Entwicklung neuer Methoden zur kombinierten Auswertung dieser Daten mit Fernerkundungsdaten und erlaubte einen Vergleich der Ergebnisse mit bestehendem Wissen. In Zukunft gilt es, die Satellitentelemetrie an anderen, weniger gut erforschten Arten fortzuführen bzw. die bereits erhobenen Telemetriedaten auszuwerten. Weitere Schreiadler wurden bereits besendert, so dass die hier erarbeiteten Methoden direkte Anwendung finden. Die hier gewonnenen Ergebnisse für den Schreiadler hinsichtlich der Habitatnutzung oder den beeinflussenden Faktoren auf das Zugverhalten sollten unbedingt mit weiteren Zug- und Rastdaten überprüft werden. Erst die Kenntnis weiterer individueller Zugverläufe erlaubt Aussagen über generelle Muster des Zugverlaufs und ermöglicht die Lokalisierung wichtiger – populationsübergreifender – Rastgebiete.

Darüber hinaus ist eine Anwendung der Methoden auch für Telemetriedaten weiterer Arten wünschenswert. Die vorliegende Arbeit schlägt neue und objektivierte Methoden zur Auswertung von Telemetriedaten wandernder Vogelarten vor, welche die Identifikation wichtiger Rastgebiete erleichtern. Als neues Werkzeug dient hierbei der Distanzen-Index  $I_{\text{dist}}$  zur Unterscheidung zwischen Rast- und Zugdaten. Die Ausführungen in Kapitel 4.1 zeigten, dass die Satellitentelemetrie eine breite Anwendung findet. Durch die hier erprobten Methoden wird es möglich sein, auch für andere Tierarten die Erkenntnisse über den Zugverlauf und die Habitatansprüche in den Durchzugs- und Rastgebieten zu erweitern.

### 5.2 Nutzung weiterer Satellitenbildquellen

Ein wichtiger Aspekt der vorliegenden Arbeit war der geografische Verschnitt von Telemetriedaten mit Fernerkundungsdaten. Damit wurde eine Habitatanalyse durchgeführt, die allerdings nur auf einer kontinentalen Skala durchgeführt werden konnte. Damit konnte auf Basis des klassifizierten Datensatzes *Global Landcover 2000* die Auswertung für alle Rastgebiete auf dem gesamten Zugweg beider Vogelarten erfolgen. Hier sollte in Zukunft angesetzt werden: Weitere, höher aufgelöste Satellitendaten sollten zu einer verbesserten Charakterisierung der identifizierten Rastgebiete führen. Zudem kann durch unabhängig durchgeführte Klassifikationen die Habitatnutzung der Vögel validiert und gegebenenfalls angepasst werden. In Kapitel 4.2 wurde bereits auf die möglichen Fehlerquellen durch die Verwendung der GLC-Karte hingewiesen, so zeigten GIRI, ZHU et al. (2005) mögliche Schwierigkeiten bei dieser Klassifikation und auch MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. (2004) erwähnen beispielsweise eine Überbewertung landwirtschaftlicher Klassen. Am Beispiel Botswana konnte bereits in Kapitel 3.9.2.a in einem ersten Ansatz gezeigt werden, dass höher aufgelöste Satellitendaten Antworten auf gezielte Fragestellungen zu ausgewählten Regionen geben können. Insbesondere im Falle des Schreiadlers sollten die bereits identifizierten Rastgebiete auf diese Weise genauer charakterisiert werden.



### **5.3 Natur- und Artenschutz vorantreiben**

In den Kapiteln 4.5 und 4.6 wurden bereits Vorschläge für mögliche Schutzmaßnahmen für die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Vogelarten gegeben. Aufgabe ist es nun, diese Vorschläge an die entscheidenden Instanzen, wie der „Konvention zum Schutz wandernder Tierarten“ heranzutragen und Möglichkeiten der Umsetzung zu diskutieren. Mit dem „Weltregister der wandernden Tierarten“ oder der Datenbank zu westpalaearktischen wandernden Vogelarten (WALTHER & RAHBECK 2002) bestehen bereits Plattformen, die wichtige Erkenntnisse der Tierwanderung erfassen und als Datengrundlage dienen. Zahlreiche Initiativen und Konventionen wie die RAMSAR-Konvention zum Schutz international bedeutender Feuchtgebiete, das AEWA-Abkommen zum Schutz eurasisch-afrikanischer Wasservögel oder die Identifikation wichtiger Gebiete für Vögel (IBAs) beschäftigen sich seit Jahr(zehnt)en mit der Lokalisierung wichtiger Rastgebiete und der Erarbeitung und Umsetzung geeigneter Schutzmaßnahmen. Dennoch zeigten einige hier durchgeführte Vergleiche, dass für die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Vogelarten Weißstorch und Schreiadler diese Gebiete längst nicht ausreichend sind. So brachte die Satellitentelemetrie insbesondere für die weniger gut untersuchte Art, den Schreiadler, neue wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Lage von Rast- und Überwinterungsgebieten. Konkrete Naturschutzinitiativen wie das „Wings over Wetlands“-Projekt von BirdLife International und in Kooperation mit AEWA und der RAMSAR-Konvention widmen sich in zwölf Ländern dem Schutz wichtiger Feuchtgebiete, die insbesondere für wandernde Wasservögel von großer Bedeutung auf ihrem Zugweg sind. Dabei werden bestehende Strukturen lokaler und nationaler Organisationen genutzt, um beispielsweise Ökotourismus (Niger) oder die Wiederherstellung von Feuchtgebieten (Estland) zu fördern. Die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnisse und zukünftige Erkenntnisse zur Lage bedeutender Biotope wandernder Vogelarten sollten in Projekten solcher Art auf nationaler Ebene Berücksichtigung finden.

## 6 Zusammenfassung / Summary

Das Wanderverhalten ermöglicht Tierarten, saisonal ungünstigen Umweltbedingungen auszuweichen und in Gebiete mit besseren Bedingungen – vor allem solchen mit ausreichenden Nahrungsressourcen – abzuwandern. Während ihrer Wanderung können Tiere unterschiedliche Biome, Klimazonen oder Habitate nutzen, sie überschreiten Ländergrenzen und legen zum Teil tausende Kilometer zurück. Damit sind sie jedoch auch verschiedenen Gefahren ausgesetzt, die insbesondere aus der Vernichtung von Habitaten, Verfolgung und Bejagung durch den Menschen und schließlich aus den vielfältigen Konsequenzen des Klimawandels resultieren. Dieses Gefahrenpotenzial kann den Zug erschweren oder gar zu einer Dezimierung der Populationen führen. Somit besteht dringender Handlungsbedarf hinsichtlich einer besseren Erforschung des Zugverhaltens zur Erarbeitung geeigneter Schutzmaßnahmen für wandernde Tierarten.

Die vorliegende Arbeit erforscht die Auswertungsmöglichkeiten moderner Technologien wie der Satellitentelemetrie und der Fernerkundung anhand zweier wandernder Vogelarten, dem Weißstorch *Ciconia ciconia* (ostziehend) und dem Schreiadler *Aquila pomarina*. Die in vorangegangenen Besenderungsprojekten erhobenen Telemetriedaten geben genauen Aufschluss über den zeitlichen und räumlichen Zugverlauf. In der vorliegenden Arbeit wurde das Potenzial dieser Daten unter Hinzunahme von Fernerkundungsdaten erweitert, um wichtige Fragen zur Lage und Habitatzusammensetzung der Rastgebiete und dem Einfluss klimatischer Faktoren auf den Zugverlauf klären zu können. Der lange Besenderungszeitraum von 1991 – 2003 und der vergleichsweise gute Kenntnisstand beim Weißstorch ermöglichten die Validierung der erzielten Ergebnisse und der methodischen Vorgehensweise. Im Falle des Schreiadlers konnten schließlich die erarbeiteten Methoden zur kombinierten Analyse von Satelliten- und Telemetriedaten angewandt werden. Ein wichtiges Ziel der vorliegenden Arbeit war hierbei die Anwendbarkeit auf weitere Telemetriedaten, um ein neues Werkzeug zur schnellen und effektiven Datenanalyse bereitstellen zu können.

Die Telemetriedaten wurden eingehend auf ihre Qualität und Nutzbarkeit untersucht. Der daraus resultierende Standarddatensatz erfüllt wichtige Kriterien zur fortgeführten Gebiets- und Habitatanalyse. Ein erstes Werkzeug stellt der Distanzen-Index  $I_{\text{dist}}$  dar, welcher eine objektivere Unterscheidung zwischen Rast- und Zugdaten ermöglicht. Dabei werden sowohl die „Gerichtetheit“ als auch die zurückgelegten Distanzen der Vögel berücksichtigt.

Mithilfe Geografischer Informationssysteme (GIS) wurden die auf diese Weise bestimmten Rast- und Zugdaten der Vögel mit verschiedenen Geoinformationen verschnitten. Dazu zählen Landbedeckungskarten, Klimadaten, Schutzgebiete und Vegetationsindizes zur Bestimmung relevanter Faktoren für das Rast- und Zugverhalten. Zudem wurden im GIS wichtige Rastgebiete des Weißstorchs und des Schreiadlers lokalisiert. Aufgrund der hohen Anzahl von Daten wurden im Falle des Weißstorchs zusätzliche Kriterien wie Aufenthaltsdauer und Anzahl verschiedener Individuen formuliert. Wichtige Rastregionen konnten in hoher Auflösung im Tschad und Sudan, in Kenia, Tansania, Simbabwe, Botswana und Südafrika identifiziert werden. Die Ergebnisse bestätigten damit die Relevanz der Regionen im Sahel (Tschad und Sudan), zudem wurden weitere wichtige Rastgebiete beispielsweise in Botswana lokalisiert. Die Rastregionen des Schreiadlers liegen im südlichen Afrika vornehmlich in Sambia, Simbabwe und Südafrika. Eine Validierung

dieser Ergebnisse war lediglich mit Ergebnissen aus vorangegangenen Telemetriestudien möglich, was den enormen Forschungsbedarf an dieser Art demonstriert.

Die bevorzugten Habitate beider Arten wurden mithilfe der Landbedeckungskarte „Global Land Cover 2000“ bestimmt. Weißstörche bevorzugten wie in ihren Bruthabitaten auch in den Durchzugs- und Überwinterungsgebieten Kulturlandschaften (40 % aller Rastdaten) sowie offene Grasland- und Buschlandregionen (insgesamt 42 % aller Rastdaten). Die Schreiadler scheinen hingegen offene Habitate mit Ausnahme von Kulturlandschaften (34 % aller Rastdaten) zu meiden und halten sich eher in Busch- und offenen Waldlandhabitaten auf (insgesamt 65 %). Für beide Arten konnte eine Nutzung von Feuchtgebieten unter Hinzunahme der „Global Lakes and Wetlands Database“ nachgewiesen werden. Rund 10 % der Rastdaten beider Arten lagen innerhalb von Feuchtgebieten wie Süßwassermarschen, Auen und periodischen Feuchtgebieten.

Zeitlich hoch aufgelöste Satellitendaten der NOAA-Plattform wurden verwendet, um den Einfluss von vorhandener Biomasse auf das Zug- und Rastverhalten der Vögel zu testen. Ein standardisiert berechneter Vegetationsindex (NDVI) stellt dabei die Dichte an grüner Vegetation dar und korreliert direkt mit der entsprechenden Niederschlagsmenge in einer Region. Eine Aufspaltung der Rast- und Zugdaten in die jeweiligen Monate und Jahre ermöglichte den Verschnitt mit NDVI-Daten des zugehörigen Zeitraums. Aufgrund dieses guten Zeitbezugs konnten mit dieser Analyse aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden. Sie zeigte, dass die Vögel sich bevorzugt in Regionen mit einem höheren NDVI aufhalten. Dies wurde durch einen Vergleich mit zufallsverteilten Punktdaten getestet. Zugleich zeigt sich im Falle der Weißstörche und insbesondere für die Rastregionen des Sahel ein signifikanter Einfluss des NDVI am Ankunftstag auf die gesamte Aufenthaltsdauer im Gebiet.

Die Rastdaten wurden darüber hinaus mit klimatischen Parametern (mittlerer Niederschlag, mittlere Temperatur), Höhendaten sowie anthropogenen Informationen (*Human Footprint*) verschnitten. In den Ergebnissen konnte gezeigt werden, dass Weißstörche sich im Vergleich zu zufallsverteilten Daten in Regionen mit signifikant geringerer Höhe aufhalten. Beide Arten rasten in Gebieten mit höherem menschlichen Einfluss, was aus der Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen resultiert. Schreiadler bevorzugten Regionen mit einem signifikant höheren mittleren Niederschlag während Weißstörche solche Regionen bevorzugten, in denen der mittlere Niederschlag signifikant niedriger als für zufallsverteilte Punkte liegt. Dies kann mit ihrer Ankunft im Sahel zum Ende der Regenzeit erklärt werden. Die Signifikanz aller Parameter für die Wahl von Rastplätzen wurde zusätzlich mithilfe eines *Generalized Linear Model* (GLM) getestet, welches vergleichbare Ergebnisse zeigte.

Ein sechswöchiger Feld-Aufenthalt in Botswana und Südafrika diente der Überprüfung der Ergebnisse aus den Telemetriedaten des Weißstorchs. In den dort identifizierten Rastregionen hielten sich tatsächlich Weißstörche auf, allerdings konnte die Relevanz einer Rastregion in Botswana nur teilweise bestätigt werden. Dies zeigte wiederum den starken zeitlichen Bezug der Daten und die Variabilität des Weißstorchenzuges. Zusätzlich zu den Ergebnissen der Telemetriedaten konnte ein weiteres Rastgebiet im zentralen Südafrika lokalisiert werden, in dem keiner der besenderten Störche im Zeitraum zwischen 1991 und 2003 zuvor gerastet hatte. In dieser landwirtschaftlich geprägten Region konnten die Störche auf Erntefeldern beobachtet werden.

Vegetationsaufnahmen in Botswana und Südafrika ermöglichten darüber hinaus eine Validierung

der Landbedeckungskarte GLC 2000 und bestätigten dessen Klassifikation in lediglich 60 % der Fälle. In weiteren 12 % war eine Übereinstimmung unsicher. Für die übrigen Vegetationsaufnahmen konnte eine deutliche Nicht-Übereinstimmung festgestellt werden. Diese relativ geringe Übereinstimmung ist mit der zeitlichen Begrenzung des GLC-Datensatzes zu erklären und zeigt die Probleme bei der Verwendung von „veralteten“ Satellitenbildquellen. Dennoch stimmen die Ergebnisse der Habitatanalyse auf Basis der Land Cover Map 2000 mit den Feldbeobachtungen überein: Die Störche wurden zumeist auf landwirtschaftlichen Flächen oder in natürlichem Grasland beobachtet.

Zusammenfassend zeigt die hier durchgeführte Analyse der Telemetriedaten des Weißstorchs eine gute Übereinstimmung mit bestehenden Erkenntnissen. Im Falle des Schreiadlers konnten weitere Erkenntnisse z.B. zur Lage der Rastgebiete gefunden werden. Der neu entwickelte Distanzenindex stellt entsprechend ein geeignetes und automatisierbares Instrument zu Identifikation wichtiger Rastgebiete dar. Fernerkundungsdaten konnten zur Identifikation bevorzugter Habitats genutzt werden und zeitlich hoch aufgelöste Daten wie der NDVI zeigten die Einflüsse saisonaler und jahresbedingter Schwankungen (Biomasse) auf das Zugeschehen. Dieser Zusammenhang konnte auch für den Schreiadler gezeigt werden, dies sollte jedoch mit Telemetriedaten weiterer Individuen verifiziert werden.

Schutzbemühungen für die Rastgebiete der Weißstörche sollten sich prioritär auf die in der vorliegenden Arbeit identifizierten Regionen konzentrieren und hier eine nachhaltige Landwirtschaft und den schonenden Umgang mit den vorhandenen Wasserressourcen fördern. Besonders Schreiadler profitieren stark von Schutzgebieten.

Zukünftig soll die Arbeit als Grundlage für die fortgeführte Anwendung der Satellitentelemetrie und Fernerkundung dienen, um ihr Potenzial im Sinne des Arten- und Habitatschutzes zu nutzen und die Vereinbarungen internationaler Abkommen wie der „Konvention zum Schutz wandernder Tierarten“ und deren AEWA-Abkommen, der *Convention on Biological Diversity* (CBD) oder der RAMSAR-Konvention erfolgreich umzusetzen.

---

## Summary

Migration is an adaptation of animals to avoid seasonal fluctuations of resources by moving into regions with better conditions, especially sufficient food. During migration, animals might occupy different biomes, climate zones or habitats. Their routes cross political boundaries and often cover thousands of kilometres. But migration also exposes species to a number of threats including habitat destruction, persecution and hunting by man, and impacts of climate change. These potential dangers can make migration more difficult or even lead to decreases in population size. Hence, there is an urgent need for suitable conservation measures in order to minimize dangers during their migration, breeding, and wintering.

The present study investigates the potential of applying modern technologies, such as remote sensing and satellite telemetry, to two migratory bird species, the White Stork *Ciconia ciconia* (Eastern population) and the Lesser Spotted Eagle *Aquila pomarina*. Telemetry data containing information about timing and spatial dimension of migration were obtained from previous studies. Additionally, remote sensing information was used to locate important staging areas, used habitats, and factors influencing migration. The huge set of telemetry data from an entire decade (1991 – 2003) and results of many years of investigations on White Storks helped to identify suitable methods and validate the results. For the Lesser Spotted Eagle, these methods could be applied to gain a better knowledge of migration of this species. These tools should be applicable to other telemetry datasets of other species.

Validation of the telemetry datasets is the first step for the use of high quality data in further analyses. One important tool is a newly developed index, which helps to locate areas of staging or wintering. This index relates directional movement and flown distances, thus differentiating between migration and staging data.

In a Geographic Information System (GIS) migration and staging data of the birds were overlaid with different geographic information including land cover maps, climate data, conservation areas, and vegetation indices to determine influencing parameters for migration and staging. This enabled important staging areas of the White Stork and the Lesser Spotted Eagle to be located. Due to the high number of telemetry data available for the White Stork, additional criteria such as duration of resting and number of individuals was used to further improve this location information. Important staging areas of the White Stork were identified in detail for Chad and Sudan, in Kenya, Tanzania, Zimbabwe, Botswana and South Africa. Results confirm the relevance of the Sahelian regions (Chad and Sudan) and lead to the identification of additional important staging areas, as in Botswana. Staging areas of the Lesser Spotted Eagle are located in southern Africa, particularly in Zambia, Zimbabwe, and South Africa. These findings could be validated with only few previous telemetry studies, which demonstrate the need for further research.

With the help of the “Global Land Cover Map 2000”, the preferred habitats of both species were identified. During migration and staging, White Storks prefer croplands (40 % of all staging data) and open grasslands or bushland (42 % of staging data). Lesser Spotted Eagles seem to avoid such open habitats except for croplands, where 34 % of the staging data were located. Most of the data were located in bush and open forest habitats (65 %). The preference of both species for wetlands was tested using the “Global Lakes and Wetlands Database”. This overlay showed, that around 10

% of the staging data of both species were mainly located in freshwater marshes, floodplains, and intermittent wetlands.

To test the influence of biomass on the choice of staging areas, satellite data of the NOAA platform with a high temporal resolution were used. The NOAA Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was used for getting information about density of green vegetation, which correlates with biomass and precipitation in the staging areas. Migration and staging data of every month since 1991 (beginning of satellite telemetry with White Stork) were overlaid with the corresponding NDVI to test the potential influence of biomass on staging. Because of the good temporal accordance of the data, significant results were obtained. Comparing staging data with random points clearly indicated a preference of White Storks and Lesser Spotted Eagles for regions with a higher NDVI. In White Storks, length of staging in regions with higher NDVI was significantly longer. This relationship was strongest for the Sahelian staging areas.

Staging data were overlaid with other parameters such as precipitation, mean temperature, elevation, and anthropogenic influence (*Human Footprint*). In comparison with random points, White Storks significantly prefer lower regions, and both species rest in regions with a higher human influence as a consequence of the use of agricultural landscapes. Lesser Spotted Eagles prefer regions with a significantly higher precipitation, while White Storks rest in regions with significantly lower precipitation, this being an effect of their arrival in the Sahel at the end of the rainy season. Significance of all these parameters was also tested by a generalized linear model (GLM) which showed similar results.

The results for the White Stork were verified during a six-weeks field study in Botswana and South Africa. In most of the staging areas identified by means of satellite telemetry, White Storks were observed, but the relevance of one Botswanan region seems to have been overestimated. This is due to the strong effect of temporal change in conditions and the variability of the storks migration. Furthermore, the field studies led to the identification of one more important staging region in central South Africa, where none of the tagged storks rested between 1991 and 2003. In this agricultural region hundreds of storks were observed in peanut fields.

Besides this, field studies did allow a comparison between the observed land cover at several control points and the classified land cover of the Global Land Cover Map 2000. This comparison showed accordance in 60 % of all control points. In further 12 % an accordance was unsure, for the rest there was a clear discrepancy between map and actual landcover. This relative low accordance shows the limitation of the use of the land cover dataset, which originated from year 2000. Nevertheless, results of the habitat analysis based on Global Land Cover 2000 are coincident with field observations: White Storks were mostly seen on agricultural lands or natural grassland.

In summary, the obtained results of the telemetry data analyses in White Storks show high accordance to previous knowledge. In the case of the Lesser Spotted Eagle, that knowledge was extended. The newly developed distance index is a useful instrument to analyse telemetry data automatically and to identify important staging areas. Satellite data served to identify preferred habitats of birds; NDVI with its high temporal resolution was able to show the influence of yearly and seasonal fluctuations on migration of White Storks. This influence was also found in the Lesser Spotted Eagle but should be verified with telemetry data of more individuals.

Conservation efforts should concentrate on the important staging areas identified in the present study, many of which contain areas managed by humans. Therefore a sustainable agriculture and conservation of natural water resources is recommended.

This study serves as a reference for further studies that combine satellite telemetry and remote sensing data. This data has potential for use in species and habitat conservation, and to achieve the aims of international conventions like the “Convention on Migratory Species“ (CMS) with its AEWA-agreement, the “Convention on Biological Diversity” (CBD), and the RAMSAR convention.

## 7 Literatur

- Abassy, M., H. Ibrahim & H. Abdel-Kader (2003). "Persistent Organochlorine Pollutants in the aquatic ecosystem of Lake Manzala, Egypt." *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 70: 1158-1164.
- Adams, W., A. Goudie & A. Orme (1996). „The physical geography of Africa.“ Oxford University Press. Oxford.
- Albertson, A. (1998). „Northern Botswana Veterinary: Critical Ecological Impacts.“ Maun, Botswana, Okavango Peoples Wildlife Trust. Conservation International, Okavango Programme: 76.
- Albertz, J. (2001). „Einführung in die Fernerkundung - Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern.“ Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt.
- Alerstam, T. & A. Hedenström (1998). „The development of bird migration theory.“ *Journal of Avian Biology* 29: 343-369.
- Alerstam, T., A. Hedenström & S. Åkesson (2003). „Long-distance migration: evolution and determinants. Ecology of long-distance movements: migration and orientation performance.“ Lund University, Sweden, Oikos.
- Allan, D. (2003). „White Stork - *Ciconia ciconia*. In: D. Young, J. Harrison, R. Navarro, M. Anderson and B. Colahan (eds): Birds on farms: MAZDA Car report 1993-2001.“, Avian Demography Unit, University of Cape Town.
- ARGOS (1996). „User Manual.“ CLS/Service Argos. Toulouse.
- Aumann, T. (1997). "Sightings of diurnal raptors in relation to habitat and land use in the Matobo Hills, Zimbabwe." *Journal of African raptor biology* 12(1&2): 2-8.
- Baha el Din, S. (2001). „Egypt“. In: L. D. Fishpool & M. Evans (eds): Important Bird Areas in Africa and associated islands - Priority sites for conservation. Newbury and Cambridge, UK, Pisces Publications and BirdLife International. 11: 241-264.
- Baker, E. & N. Baker (2002). "Important Bird Areas in Tanzania." Wildlife Conservation Society of Tanzania.
- Baker, N. & L. Baker (2001). „Tanzania“. In: L. D. Fishpool & M. Evans (eds): Important Bird Areas in Africa and associated islands - Priority sites for conservation. Newbury and Cambridge, UK, Pisces Publications and BirdLife International. 11: 897-945.
- Barbraud, C., J.-C. Barbraud & M. Barbraud (1999). "Population dynamics of the White Stork *Ciconia ciconia* in western France." *Ibis* 141(3): 469-479.
- Bauer, H.-G. & G. Heine (1992). "Die Entwicklung der Brutvogelbestände am Bodensee: Vergleich halbquantitativer Rasterkartierungen 1980/81 und 1990/91." *Journal für Ornithologie* 133(1): 1-22.



- Belward, A. S. (1991a). „Remote Sensing for vegetation monitoring on regional and global scales.“ Remote Sensing and Geographical Information Systems for Resource Management in Developing Countries. Kluwer Academic Publisher Dordrecht.
- Belward, A. S. (1991b). „Spectral Characteristics of Vegetation, Soil and Water in the Visible, Near-Infrared and Middle-Infrared Wavelengths. Remote Sensing and Geographical Information Systems for Resource Management in Developing Countries.“ Kluwer Academic Publisher Dordrecht.
- Bengtson, J., R. Hill & S. Hill (1993). “Using satellite telemetry to study the ecology and behavior of Antarctic seals.” *Korean Journal of Polar Research* 4: 109-115.
- Bennun, L. & P. Njoroge (1999). „Important Bird Areas in Kenya.“ Nature Kenya - The East African Natural History Society. Nairobi.
- Bennun, L. & P. Njoroge (2001). „Kenya“. In: L. D. Fishpool & M. Evans (eds.): Important Bird Areas in Africa and associated islands - Priority sites for conservation.“ Newbury and Cambridge, UK, Pisces Publications and BirdLife International. 11: 411-464.
- Bentivegna, F. (2004). “Intra-Mediterranean migrations of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) monitored by satellite telemetry.” *Marine Biology* 141(4): 795-800.
- Berthold, P. (2000). „Vogelzug - Eine aktuelle Gesamtübersicht.“ Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt.
- Berthold, P., v. d. W. Bossche, W. Fiedler, C. Kaatz, M. Kaatz, Y. Leshem, E. Nowack & U. Querner (2001). “Detection of a new important staging and wintering area of the White Stork *Ciconia ciconia* by satellite tracking.” *Ibis* 143: 450-455.
- Berthold, P., v. d. W. Bossche, Y. Leshem, C. Kaatz, M. Kaatz, E. Nowak & U. Querner (1997a). “Satelliten-Telemetrie beim Weißstorch *Ciconia ciconia*: Wanderung eines Ost-Storchs in den Süd-Jemen.” *Journal für Ornithologie* 138: 546-549.
- Berthold, P., v. d. W. Bossche, Y. Leshem, C. Kaatz, M. Kaatz, E. Nowak & U. Querner (1997b). “Satelliten-Telemetrie beim Weißstorch *Ciconia ciconia*: Wanderung eines Ost-Storchs westlich bis Nigeria.” *Journal für Ornithologie* 138: 331-334.
- Berthold, P., W. v. d. Bossche, Z. Jakubiec, M. Kaatz & U. Querner (2002). “Long-term satellite tracking sheds light upon variable migration strategies of White Storks (*Ciconia ciconia*).” *Journal of Ornithology* 143: 489-495.
- Berthold, P., W. Fiedler & U. Querner (2000). “White Stork (*Ciconia ciconia*) Migration Studies: Basic Research Devoted to Conservation Measures.” *Global Environmental Research* 4(2): 133-141.
- Berthold, P., W. Fiedler, R. Schlenker & U. Querner (1998). “25-Year study of the population development of central european songbirds: A general decline, most evidenz in long-distance migrants.” *Naturwissenschaften* 85: 350-353.

- Berthold, P., W. Fiedler, R. Schlenker & U. Querner (1999). "Bestandsveränderungen mitteleuropäischer Kleinvögel: Abschlussbericht zum MRI-Programm." *Die Vogelwarte* 40: 1-10.
- Berthold, P., M. Kaatz & U. Querner (2004). "Long-term satellite tracking of white stork (*Ciconia ciconia*) migration: constancy versus variability." *Journal für Ornithologie* 145: 356-259.
- Berthold, P., E. Nowack & U. Querner (1992). "Satelliten-Telemetrie beim Weißstorch (*Ciconia ciconia*) auf dem Wegzug - eine Pilotstudie." *Journal für Ornithologie* 133: 155-163.
- Berthold, P., E. Nowack & U. Querner (1995). "Satelliten-Telemetrie eines Zugvogels von Mitteleuropa bis in das südafrikanische Winterquartier: eine Fallstudie am Weißstorch (*Ciconia ciconia*)." *Journal für Ornithologie* 136(73-76).
- Berthold, P., E. Nowack & U. Querner (1997). "Eine neue Dimension der Vogelforschung: Die Satelliten-Telemetrie." *Der Falke* 44: 134-140.
- Bibby, C. (1992). "Conservation of migrants on their breeding grounds." *Ibis* 134(1): 29-34.
- Biber, O. (1995). „Analysis of threats and approaches to solve problems of White Stork conservation: introduction.“ In: O. Biber, P. Enggist & C. Marti (eds): Proceedings of the International Symposium on the White Stork (Western Population), Basel 1994 (Switzerland), Schweizerische Vogelwarte Sempach (Switzerland). 97-98.
- Bildstein, K. L., W. Schelsky, J. Zalles & S. Ellis (1998). "Conservation status of tropical raptors." *The Journal of Raptor Research* 32(1): 3-18.
- Bock, M. (2003). "Remote sensing and GIS-based techniques for the classification and monitoring of biotopes - Case examples for a wet grass- and moor land area in Northern Germany." *Journal for Nature Conservation* 11(3): 145-155.
- Böhme, W. (2002). "Marine Nahrungssuche von Weißstörchen (*Ciconia ciconia*) im schleswig-holsteinischen Wattenmeer." *Corax* 18: 442-443.
- Bossard, M., J. Feranec & J. Otahel (2000). „CORINE technical guide“ - Addendum 2000, European Environment Agency.
- Both, C. & M. Visser (2001). "Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird." *Nature* 411: 296-298.
- Bowles, R. (1967). "Lesser spotted eagle on migration." *Journal of East African Natural History* 26(2): 87.
- Bréonce, A. (2001). „Wildlife Telemetry and Tracking by Satellite.“ Monitoring Migratory Animals. K. Riede. Bonn, Federal Agency for Nature Conservation (BfN): 101-106.
- Brooke, R., J. Grobler, M. Stuart Irwin & P. Steyn (1972). "A study of migratory eagles *Aquila nipalensis* and *A. pomarina* (Aves: Accipitridae) in Southern Africa, with comparative notes on other large raptors." *Occ. Pap. natn. Mus. Rhod. B* (5) (2): 61-114.

- Brouwer, J. & W. Mullié (1995). „The need for an integrated approach towards the management of small scattered wetlands in the Central Sahel.“ In: O. Biber, P. Enggist & C. Marti (eds): Proceedings of the International Symposium on the White Stork (Western Population), Basel 1994 (Switzerland), Schweizerische Vogelwarte Sempach (Switzerland). 296-297.
- Brouwer, J. (2002). „Wetlands, biodiversity and poverty alleviation in semi-arid areas: Niger as an example from the Sahel.“ Online-Artikel unter:  
[http://library.wur.nl/wasp/bestanden/LUWPUBRD\\_00324854\\_A502\\_001.pdf](http://library.wur.nl/wasp/bestanden/LUWPUBRD_00324854_A502_001.pdf).
- Brouwer, J., W. Mullié & P. Scholte (2003). “White Storks *Ciconia ciconia* wintering in Chad, northern Cameroon and Niger: a comment on Berthold et al. 2001.” *Ibis* 145: 499-501.
- Brown, J., S. Li & N. Bhagabati (1999). “Long-term trend toward earlier breeding in an American bird: A response to global warming?” *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 96: 5565-5569.
- Chaves-Campos, J. (2004). “Elevational movements of large frugivorous birds and temporal variation in abundance of fruits along an elevational gradient.” *Ornithologia Tropical* 15(4): 1-13.
- Chaves-Campos, J., J. E. Arévalo & M. Araya (2003). “Altitudinal movements and conservation of Bare-necked Umbrellabird *Cephalopterus glabricollis* of the Tilarán Mountains, Costa Rica.” *Bird Conservation International* 13: 45-58.
- Christensen, S. & U. Sorensen (1989). „A review of the migration and wintering of *Aquila pomarina* and *Aquila nipalensis orientalis*.“ In: B.-U. Meyburg & R. Chancellor (eds): Raptors in the Modern World. Berlin, London & Paris, WWGBP: 139-150.
- Church, J. A., J. M. Gregory, P. Huybrechts, M. Kuhn, K. Lambeck, M. T. Nhuan, D. Qin & P. L. Woodworth (2001). In: J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van derLinden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds): „Changes in sea level.“ *Climate Change 2001: The scientific basis*. New York, Cambridge University Press.
- Cotton, P. (2003). “Avian migration phenology and global climate change.” *Proceedings of the National Academy of Science of the USA* 100(21): 12219-12222.
- Creutz, G. (1988). „Der Weißstorch *Ciconia ciconia*.“ A. Ziemsen Verlag. Wittenberg Lutherstadt.
- Crick, H. (2004). “The impact of climate change on birds.” *Ibis* 146(1): 48-56.
- Crick, H., C. Dudley, D. Glue & D. Thomson (1997). “UK birds are laying eggs earlier.” *Nature* 388: 526.
- Crick, H. & T. Sparks (1999). “Climate change related to egg-laying trends.” *Nature* 399: 423-424.
- Culik, B. (2001). „Satellite-Telemetry of Humboldt Penguin (*Spheniscus humboldti*) migratory behaviour: a review.“ In: K. Riede (ed): New Perspectives for monitoring migratory animals - Improving knowledge for conservation. Federal Agency for Nature Conservation (BfN) Bonn. 77-100

- Dallinga, J. & S. Schoenmakers (1989). „Population changes of the White Stork *Ciconia ciconia* since the 1850s in relation to food resources.“ In: G. Rheinwald, Ogden and H. Schulz (eds): Weißstorch - White Stork Proc. I Int. Stork Conserv. Symp., Schriftenreihe des DDA. 10: 231-262.
- Darkoh, M. (2003). „Regional perspectives on agriculture and biodiversity in the drylands of Africa.“ *Journal of Arid Environments* 54(2): 261-279.
- Danko, D. M. (1992). „The digital chart of the world.“ *GeoInfo Systems* 2: 29-36.
- Dean, W. & I. Macdonald (1981). „A review of african birds feeding in association with mammals.“ *Ostrich* 52: 135-155.
- Del Hoyo, J., A. Elliott & J. Sargatal (1994). „Handbook of the birds of the world. New World Vultures to Guineafowl.“ Barcelona, Lynx Editions. 2.
- Desanker, P., C. Magadza, A. Allali, C. Basalirwa, M. Boko, G. Dieudonne, T. Dowing, P. Dube, A. Githeko, M. Githendu, P. Gonzalez, D. Gwary, B. Jallow & J. Nwafor (2001). „Africa.“ In: J. McCarthy, O. Canziani, N. Leary, D. Dokken and K. White (eds): *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.*, Cambridge University Press: 487-532.
- Diallo, B. (1995). „Desertification and biodiversity in Sahelian Africa. Biological Diversity in the Drylands of the world.“ United Nations.
- Dingel, H. (1996). „Migration - The Biology of Life on the Move.“ Oxford University Press. New York Oxford.
- Dingle, H. & C. Khamala (1972). „Seasonal changes in insect abundance and biomass in an east african grassland with reference to breeding and migration in birds.“ *Ardea* 59: 216-221.
- Driese, K., W. Reiners, E. Merrill & K. Gerow (1997). „A digital land cover map of Wyoming, USA: a tool for vegetation analysis.“ *Journal of Vegetation Science* 8: 133-146.
- Dytham, C. (2003). *Choosing and using statistics - a biologists' guide.* Blackwell Science Ltd. Malden, Oxford, Victoria. 2.
- Eidenshink, J. & J. Faundeen (1994). „The 1 km AVHRR global land data set: first stages in implementation.“ *International Journal of Remote Sensing* 15(17): 3443-3462.
- Elmalik, A. (1989). „Threats to the White Stork (*Ciconia ciconia*) in the Sudan, and conservation priorities.“ In: G. Rheinwald, J. Ogden and H. Schulz (eds): *Weißstorch - White Stork - Proc. I Int. Stork Conserv. Symp.*, Schriftenreihe des DDA. 10: 331-336.
- Ezealor, A. (1995). „Wintering White Storks in Nigeria.“ In: O. Biber, P. Enggist & C. Marti (eds): *Proceedings of the International Symposium on the White Stork (Western Population), Basel 1994 (Switzerland), Schweizerische Vogelwarte Sempach (Switzerland).* 213-218.
- FAO (2005). „Global Forest Resources Assessment 2005 - Progress towards sustainable forest management.“ FAO Forestry Paper 147. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.

- FAO (1986). „Atlas of African agriculture: the next 25 years.“ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome.
- Felinks, B., M. Pilarski & G. Wiegleb (1998). “Vegetation survey in the former brown coal mining area of eastern Germany by integrating remote sensing and ground-based methods.” *Journal of Vegetation Science*: 233-240.
- Fiedler, G. (1999). „Zur Gefährdung des Weißstorchs (*Ciconia ciconia*) durch Freileitungen in europäischen Staaten.“ In: H. Schulz (ed): Weißstorch im Aufwind? - White Storks on the up? - Proceedings, Internat. Symp. on the White Stork. Hamburg, NABU Bonn.
- Fiedler, W. (2001a). “Large-scale ringing recovery analysis of european White Storks (*Ciconia ciconia*).” *The Ring* 23(1-2): 73-79.
- Fiedler, W. (2001b). „Vorläufige Ergebnisse der gesamteuropäischen Ringfundanalyse zum Zugverhalten des Weißstorchs.“ In: C. Kaatz & M. Kaatz (ed): 2. Jubiläumsband Weißstorch, 8. u. 9. Storchentag 1999/2000. Tagungsbandreihe. Storchenhof Loburg (Staatliche Vogelschutzwarte im Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt).
- Fiedler, W. (2004). “Auswirkungen veränderter Klimafaktoren auf Verbreitung, Zug- und Brutverhalten von Vögeln.” *Naturschutz-Info* 2: 50-51.
- Fielitz, U. (2003). “Satellite Telemetry in wildlife research - Yesterday-Today-Tomorrow.” *Methoden Feldökologischer Säugetierforschung*: 45-54.
- Fishpool, L. D. & M. Evans (2001). „Important Bird Areas in Africa and associated islands - Priority sites for conservation.“ Pisces Publications and BirdLife International Newbury and Camebridge, UK.
- Folland, C. K., T. R. Karl, J. R. Christy, R. A. Clarke, G. V. Gruza, J. Jouzel, M. E. Mann, J. Oerlemans, M. J. Salinger & S.-W. Wang (2001). „Observed Climate Variability and Change.“ In: J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van derLinden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds): *Climate Change 2001: The scientific basis*. Cambridge University Press, New York.
- Forsman, D. (1991). “Die Bestimmung von Schell- (*Aquila clanga*), Schrei- (*A. pomarina*) und Steppenadler (*A. nipalensis*).” *Limicola* 5(4): 145-185.
- Frederiksen, M. (2002). „The use of data from bird ringing schemes as indicators of environmental change: a feasibility study.“ Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d’Oiseaux, MNHN. European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity.
- Frumkin, R., B. Pinshow & S. Kleinhaus (1995). “A review of bird migration over Israel.” *Journal für Ornithologie* 136: 127-147.
- Fuller, M., W. Seegar & L. Schueck (1998). “Routes and travel rates of migrating Peregrine Falcons *Falco peregrinus* and Swainson’s Hawks *Buteo swainsoni* in the Western Hemisphere.” *Journal of Avian Biology* 29: 433-440.

- Furness, R., J. Greenwood & P. Jarvis (1993). „Can birds be used to monitor the environment?“ In: R. Furness and J. Greenwood (eds): *Birds as monitors of environmental change*. London, Chapman & Hall: 1-35.
- Gauthreaux, S. A. (1996). „Historical perspectives - Bird migration: methodologies and major research trajectories (1945-1995).“ *The Condor* 98: 442-453.
- Gerkmann, B., M. Kaatz, K. Riede & R. van den Elzen (submitted). „The Luangwa Valley, Eastern Zambia, as flyway and stop over site for White Storks (*Ciconia ciconia* Linn., 1758).“.
- Gerkmann, B. & K. Riede (2005). „Use of Satellite Telemetry and Remote Sensing Data to Identify Important Habitats of Migratory Birds (*Ciconia ciconia* (Linnaeus 1758))“. In: B. Huber, B. Sinclair & K.-H. Lampe (eds): *African Biodiversity: Molecules, Organisms, Ecosystems*, Springer Verlag, Bonn.
- Gichuki, N. & W. Busienei (2003). „Report on monitoring and conservation of White Storks in Kenya - Building partnership for monitoring and conservation of migratory White Storks in Kenya.“ *The Ramsar Convention on Wetlands*.
- Giles, J. (2006). „Tide of censure for african dams.“ *Nature* 440: 393-394.
- Giri, C., Z. Zhu & B. Reed (2005). „A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets.“ *Remote Sensing of Environment* 94(1): 123-132.
- Gordo, O., L. Brotons, X. Ferrer & P. Comas (2005). „Do changes in climate patterns in wintering areas affect the timing of the spring arrival of trans-Saharan migrant birds ?“ *Global Change Biology* 11: 12-21.
- Goriup, P. & H. Schulz (1990). „Conservation management of the White Stork: an international opportunity.“ ICBP Study Report. Cambridge, UK.
- Gottschalk, T. (2002). „A remote sensing and GIS-based model of avian species habitat and its potential as a part of an environmental monitoring programme.“ IUW - Institute for Environmental Sciences, University of Vechta.
- Gottschalk, T., F. Huettmann & M. Ehlers (2005). „Thirty years of analysing and modelling avian habitat relationship using satellite imagery data: a review.“ *International Journal of Remote Sensing* 26(12): 2631-2656.
- Goudie, A. (1996). „Climate: Past and Present.“ In: W. Adams, A. Goudie & A. Orme (eds): *The physical geography of Africa*. Oxford, Oxford University Press: 34-59.
- Haas, D., M. Nipkow, G. Fiedler, R. Scheider, W. Haas & B. Schürenberg (2005). „Protecting birds from powerlines.“ Council of Europe Publishing.
- Hake, M., N. Kjellén & T. Alerstam (2001). „Satellite tracking of Swedish Ospreys *Pandion haliaetus*: autumn migration routes and orientation.“ *Journal of Avian Biology* 32: 47-56.
- Hake, M., N. Kjellén & T. Alerstam (2003). „Age-dependent migration strategy in honey buzzard

- Pernis apivorus* tracked by satellite.“ *Oikos* 103: 385-396.
- Haller, R. (1996). „Homerange- und Habitatanalysen - Entwicklung von Methoden zur Nutzung in Geografischen Informationssystemen in der Wildforschung.“ Geografisches Institut. Zürich, Universität Zürich.
- Hancock, J. A., J. A. Kushlan & M. P. Kahl (1992). „Storks, Ibises and Spoonbills of the world.“ Academic Press. London.
- Harris, R. (1987). „Satellite Remote Sensing“. Routledge & Kegan Paul. London, New York.
- Hartley, R., K. Hustler & P. Mundy (1996). „The impact of man on raptors in Zimbabwe. In: D. Bird, D. Varland & J. Negro (eds): Raptors in Human Landscapes - Adaptations to Built and Cultivated Environments.“. London, Academic Press: 337-353.
- Hayne, D. (1949). “Calculation of size of home range.” *Journal of Mammalogy* 30(1): 1-18.
- Hays, G., S. Akesson, B. Godley, P. Luschi & P. Santidrian (2001). “The implications of location accuracy for the interpretation of satellite-tracking data.” *Animal Behaviour* 61: 1035-1040.
- Herremans, M. & Herremans-Tonnoeyr (2000). “Land use and the conservation status of raptors on Botswana.” *Biological Conservation* 94: 31-41.
- Hiernaux, P. (1995). „Trends in biodiversity changes resulting from drought and desertification in the Sahel.“ In: International Panel of Experts Subgroup on Biodiversity (IPED) (ed): Biological Diversity in the Drylands of the world, United Nations. 145-154.
- Higuchi, H., M. Nagendran, A. Sorokin & M. Ueta (1994). “Satellite tracking of common Cranes (*Grus grus*) migrating north from Keoladeo National Park, India.” *The Future of Cranes and Wetlands*: 26-31.
- Hijmans, R., S. Cameron, J. Parra, P. Jones & A. Jarvis (2005). “Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas.” *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- Hobbs, R., J. Wallace & N. Campbell (1989). “Classification of vegetation in the Western Australian wheatbelt using Landsat MSS data.” *Vegetatio* 80: 91-105.
- Hogg, P., P. Dare & J. Rintoul (1984). “Palaeartic migrants in the central Sudan.” *Ibis* 126: 307-331.
- Holben, B. (1986). “Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data.” *International Journal of Remote Sensing* 7: 1417-1434.
- Hooge, P. N. (1998). „Movement - Animal Movement Analysis ArcView Extension.“ USGS - BRD, Alasca Biological Science Center.
- Hooge, P. N. & B. Eichenlaub (1997). „Animal Movement Extension to ArcView.“ Anchorage, AK, USA, Alasca Biological Science Center, U.S. Geological Service.
- Ichii, K., A. Kawabata & Y. Yamaguchi (2002). “Global correlation analysis for NDVI and climate

- variables and NDVI trends: 1982-1990." *International Journal of Remote Sensing* 23(18): 3873-3878.
- IUCN (1994). „Guidelines for Protected Area Management Categories.“ Gland, Cambridge.
- Jedicke, E. (1997). „Die Roten Listen: gefährdete Pflanzen, Tiere, Pflanzengesellschaften und Biotope in Bund und Ländern.“ Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
- Johst, K., R. Brandl & R. Pfeiffer (2001). „Foraging in a patchy and dynamic landscape: human land use and the White Stork.“ *Ecological Applications* 11(1): 60-69.
- Jones, P. (1995). „Migration strategies of palaeartic passerines in Africa.“ *Israel Journal of Zoology* 41(3): 393-406.
- Kaatz, C. (2006). „Mitteilungsblatt der BAG Weißstorchschutz.“ NABU e.V..
- Kaatz, M. (1999). „Studie zur Neubewertung von ARGOS-Satellitenkoordinaten.“ *unveröffentlicht*.
- Kaatz, M. (2004). „Der Zug des Weißstorchs *Ciconia ciconia* auf der europäischen Ostroute über den Nahen Osten nach Afrika.“ Halle/Wittenberg, Martin-Luther-Universität.
- Kafando, P. (1994). „Situation de la Cigogne blanche dans les quartiers d’hivernage (cas du Burkina Faso).“ *Proceedings of the International Symposium on the White Stork (Western Population)*, Basel.
- Kanyamibwa, S., A. Schierer, R. Pradel & J. Lebreton (1990). „Changes in adult annual survival rates in a western European population of the White Stork *Ciconia ciconia*.“ *Ibis* 132: 27-35.
- Kappas, M. (1994). „Fernerkundung nah gebracht.“ Ferd. Dümmler Verlag. Bonn.
- Keil, M., R. Kiefl & G. Strunz (2005). „CORINE Land Cover 2000 – Germany.“ German Aerospace Center, German Remote Sensing Data Center Oberpfaffenhofe.
- Kemp, A. (2001). „Concentrations of non-breeding Lesser Spotted Eagles *Aquila pomarina* at abundant food: a breeding colony of Red-billed Quelea *Quelea quelea* in the Kruger National Park, South Africa.“ *Acta Ornithologica* 4: 325-329.
- Kress, W., W. Heyer, P. Acevedo, J. Coddington, D. Cole, T. Erwin, B. Meggers, M. Pogue, R. Thorington, R. Vari, M. Weitzman & S. Weitzman (1998). „Amazonian biodiversity: assessing conservation priorities with taxonomic data.“ *Biodiversity Conservation* 7(12): 1577-1587.
- Lehner, B. & P. Döll (2004). „Development and validation of a global database of lakes, reservoirs, and wetlands.“ *Journal of Hydrology* 296: 1-22.
- Lehner, B. & P. Döll (2004). „Global Lakes and Wetlands Database GLWD.“ GLWD Documentation.
- Leonard, P. (2001). „Zambia“. In: L. D. Fishpool & M. Evans (eds): *Important Bird Areas in Africa and associated islands - Priority sites for conservation*. Newbury and Cambridge, UK, Pisces Publications and BirdLife International. 11: 1005-1024.



- Leonard, P. (2005). „Important Bird Areas in Zambia - Priority sites for conservation.“ *Zambian Ornithological Society*. Lusaka.
- Leshem, Y. & Y. Yom-Tov (1996). “The magnitude and timing of migration by soaring raptors, pelicans and storks over Israel.” *Ibis* 140: 188-203.
- Leshem, Y. & Y. Yom-Tov (1998). “Routes of migrating soaring birds.” *Ibis* 140: 41-52.
- Liversidge, R. (1989). „Factors influencing migration of wintering raptors in Southern Africa.“ In: B.-U. Meyburg & R. Chancellor (eds): *Raptors in the Modern World*. Berlin, London & Paris, WWGBP: 151-158.
- Lo Seen Chong, D., E. Mougin & J. Gastellu-Etchegorry (1993). “Relating the Global Vegetation Index to net primary productivity and actual evapotranspiration over Africa.” *International Journal of Remote Sensing* 14(8): 1517-1546.
- Loveland, T., B. Reed, J. Brown, D. Ohlen, Z. Zhu, L. Yang & J. Merchant (2000). “Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data.” *International Journal of Remote Sensing* 21(6 & 7): 1303-1330.
- Lynes, H. (1925). “On the birds of north and central Darfur, with notes on the west-central Kardofan and north Nuba provinces of British Sudan.” *Ibis* 1(3): 541-590.
- Matthes, J. & M. Neubauer (1989). „Schutzstrategien und Bestandsentwicklung beim Schreiadler (*Aquila pomarina*) in der DDR.“ *Greifvogelschutz*. Laufen/Salzach, Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL). 1: 60-64.
- Mauritzen, M., A. E. Derocher, Ø. Wiig, S. E. Belikov, A. N. Boltunov, E. Hansen & G. W. Garner (2002). “Using satellite telemetry to define spatial population structure in polar bears in the Norwegian and western Russian Arctic.” *Journal of Applied Ecology* 39(1): 79.
- Mayaux, P., E. Bartholomé, S. Fritz & A. Belward (2004). “A new land-cover map of Africa for the year 2000.” *Journal of Biogeography* 31: 861-877.
- Mayaux, P., W. Bartholomé, A. Cabral, M. Cherlet, P. Defourny, A. Di Gregorio, O. Diallo, M. Massart, A. Nonguierma, J.-F. Pekel, C. Pretorius, C. Vanctusem & M. Vasconcelos (2003). „A Land Cover Map of Africa in the Year 2000.“ European Commission Joint Research Centre.
- McWilliam, A. & R. Cheke (2004). “A review of the impacts of control operations against the red-billed quelea (*Quelea quelea*) on non-target organisms.” *Environmental Conservation* 31(2): 130-137.
- Meadows, M. (1996). „Biogeography“. In: W. Adams, A. Goudie & A. Orme (eds): *The physical geography of Africa*. Oxford, Oxford University Press: 161-172.
- Menz, G. (1993). „Niederschlag und Biomasse in den wechselfeuchten Tropen Ostafrikas. Neuere Methoden zur quantitativen Erfassung klimaökologischer Raumparameter aus digitalen Satellitendaten (METEOSAT und NOAA).“ *Habil.-Schr. Rheinische Friedrich-Wilhelms*

Universität. Bonn.

- Menz, G. & M. Bethke (2000). „Regionalization of the IGBP Global Land Cover Map for Western Africa (Ghana, Togo and Benin).“ 20th EARSeL-Symposium, Dresden.
- Meyburg, B., D. Ellis, C. Meyburg, J. Mendelsohn & W. Scheller (2001). “Satellite tracking of two Lesser Spotted Eagles, *Aquila pomarina*, migration from Namibia.” *Ostrich* 72: 35-40.
- Meyburg, B., J. Matthes & C. Meyburg (2002). “Satellite-tracked lesser spotted eagle avoids crossing water at the Gulf of Suez.” *British Birds* 95: 372-376.
- Meyburg, B. & C. Meyburg (1997). “Satelliten-Telemetrie - ein neues Hilfsmittel in der Erforschung von Vogelwanderungen.” *Ornithologen Kalender, Jahrbuch für Vogelkunde und Vogelschutz* 10.
- Meyburg, B. & C. Meyburg (1998). “Satellite tracking of Eurasian raptors.” *Torgos* 28: 33-48.
- Meyburg, B. & C. Meyburg (1999). „The study of raptor migration in the old world using satellite telemetry.“ 22 Int. Ornithol. Congress, Durban, BirdLife South Africa.
- Meyburg, B. & C. Meyburg (2002). „Monitoring raptors by means of satellite telemetry.“ In: R. Yosef, M. Miller & D. Pepler (eds): Raptors in the new millenium. Eilat, International Birding & Research Center: 22-32.
- Meyburg, B., W. Scheller & C. Meyburg (1993). “Satelliten-Telemetrie bei einem juvenilen Schreiadler *Aquila pomarina* auf dem Herbstzug.” *Journal of Ornithology* 134: 173-179.
- Meyburg, B., W. Scheller & C. Meyburg (1995). “Zug und Überwinterung der Schreiadlers *Aquila pomarina*: Satellitentelemetrische Untersuchungen.” *Journal für Ornithologie* 136: 401-422.
- Meyburg, B., W. Scheller & C. Meyburg (2000). “Migration and wintering of the Lesser Spotted Eagle *Aquila pomarina*: A study by means of satellite telemetry.” *Global Environment Research* 4: 183-193.
- Meyburg, B.-U., M. Gallardo, C. Meyburg & E. Dimitrova (2004). “Migrations and sojourn in Africa of Egyptian vultures (*Neophron percnopterus*) tracked by satellite.” *Journal für Ornithologie* 145: 273-280.
- Meyburg, B.-U., L. Haraszthy, M. Strazds & N. Schäffer (1999). European Species Action Plan Lesser Spotted Eagle (*Aquila pomarina*) - Final Draft, BirdLife International on behalf of the European Comission.
- Meyburg, B.-U., C. Meyburg, T. Belka, O. Sreibr & J. Vrana (2004). “Migration, wintering and breeding of a Lesser Spotted Eagle (*Aquila pomarina*) from Slovakia tracked by Satellite.” *Journal für Ornithologie* 145: 1-7.
- Meyburg, B.-U., C. Meyburg, J. Matthes & H. Matthes (2006). “GPS-Satelliten-Telemetrie beim Schreiadler *Aquila pomarina*: Aktionsraum und Territorialverhalten im Brutgebiet.” *Vogelwelt* 127: 127-144.

- Milstein, P. (1964). "Preliminary observations of White Storks feeding on poisoned Brown Locusts." *Ostrich Suppl.* 6: 197-215.
- Minton, J., J. Halls & H. Higuchi (2003). "Integration of satellite telemetry data and land cover imagery: a study of migratory cranes in Northeast Asia." *Transactions in GIS* 7(4): 505-528.
- Moreau, R. E. (1928). "Some further notes from the Egyptian deserts." *Ibis* 12. series 4: 453-475.
- Moreau, R. E. (1972). „The palaeartic-african bird migration system.“ Academic Press. London, New York.
- Morel, G. (1972). "The Sahel zone as an environment for palaeartic migrants." *Ibis* 115: 413-417.
- Müller-Helmbrecht, A. & S. al-Janabi (1999). „Die Konvention zur Erhaltung der wandernden wildlebenden Tierarten (Bonner Konvention) (Stand: Dezember 1998).“ In: H. Schulz (ed): Weißstorch im Aufwind? - White Storks on the up? - Proceedings, Internat. Symp. on the White Stork.. Hamburg, NABU Bonn: 559-584.
- Mullié, W., J. Brouwer & P. Scholte (1995). „Numbers, distribution and habitat of wintering White Storks in the east-central Sahel in relation to rainfall, food and anthropogenic influences.“ In: O. Biber, P. Enggist & C. Marti (eds): Proceedings of the International Symposium on the White Stork (Western Population), Basel 1994 (Switzerland), Schweizerische Vogelwarte Sempach (Switzerland). 219-240.
- Mullié, W. & J. Keith (1993). "Locusticide impact on birds in northern Senegal." *Annales Musée Royal de l'Afrique Centrale (Zoologie)* 268: 617-620.
- Mutke, J., G. Kier, G. Braun, C. Schultz & W. Barthlott (2001). "Patterns of African vascular plant diversity – a GIS based analysis." *Systematics and Geography of Plants* 71: 1125-1136.
- Naso, B., D. Perrone, M. Ferrante, A. Zaccaroni & A. Lucisano (2003). "Persistent Organochlorine Pollutants in liver of birds of different trophic levels from coastal areas of Campania, Italy." *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 45: 407-414.
- Nicholson, S. (1996). „Environmental change within the historical period.“ The physical geography of Africa. W. Adams, A. Goudie and A. Orme. Oxford, Oxford University Press: 61-87.
- Nicholson, S., M. Davenport & A. Malo (1990). "A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA AVHRR." *Climate Change* 17: 209-241.
- Nikolaus, G. (1981). "Large numbers of birds killed by electric powerline." *Scopus* 8: 42.
- Nikolaus, G. (1989). „Die Situation des Weißstorchs im Sudan.“ in: G. Rheinwald, J. Ogden & H. Schulz (eds): Weißstorch - White Stork - Proc. I Int. Stork Conserv. Symp., Schriftenreihe des DDA. 10: 337-340.
- Nowak, E. (1995). „Monitoring des Weißstorchzuges - Beitrag der Satelliten-Telemetrie.“ In: O. Biber, P. Enggist & C. Marti (eds): Proceedings of the International Symposium on the White

- Stork (Western Population), Basel 1994 (Switzerland), Schweizerische Vogelwarte Sempach (Switzerland). 329-336.
- Nuttall, R. (1995). "Lesser Spotted Eagle (*Aquila pomarina*) at Zastron, Southeastern Free State Province, South Africa." *Journal of African raptor biology* 10(1): 35-36.
- Oatley, T. & A. Rammesmayer (1988). "Review of recoveries of ringed White Storks *Ciconia ciconia* in southern Africa." *Ostrich* 59: 97-104.
- Øien, I. & T. Aarvak (2001). „Conservation of the Lesser White-fronted Goose: New results from satellite telemetry.“ K.Riede (ed): New Perspectives for monitoring migratory animals - Improving knowledge for conservation. Federal Agency for Nature Conservation (BfN) Bonn.
- Olson, D., E. Dinerstein, E. Wikramanayake, N. Burgess, G. Powell, E. Underwood, J. D'Amico, I. Itoua, H. Strand, J. Morrison, C. Loucks, T. Allnut, T. Ricketts, Y. Kura, J. Lamoreux, W. Wettengel, P. Hedao & K. Kassem (2001). "Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on earth." *BioScience* 51(11): 933-938.
- Parasharya, B. M. (1998). "Foraging Association of White Stork *Ciconia ciconia* with blackbuck *Antilope cervicapra*." *Journal of the Bombay Natural History Society* 95(1): 112.
- Parry, S., W. Clark & V. Prakash (2002). "On the taxonomic status of the Indian Spotted Eagle *Aquila hastata*." *Ibis* 144(4): 665.
- Pearson, D. & B. Meadows (1979). "Lesser Spotted Eagles *Aquila pomarina* in Kenya during 1978/79 with comments on the identification of the species." *Scopus* 3: 48-53.
- Pennycuik, C. (1972). "Soaring behaviour and performance of some east african birds, observed from a motor-glider." *Ibis* 114: 178-218.
- Peske, L., F. Pojer & M. Bobek (1996). "White Storks observed in Chad." *Zprávy CSO* 43(7): 7.
- Picker, M., C. Griffiths & A. Weaving (2004). „Field Guide to Insects of South Africa.“ Struik Publishers.
- Pott, R. (1996). Biotoptypen - Schützenswerte Lebensräume Deutschlands und angrenzender Regionen. Ulmer. Stuttgart.
- Prince, S. (1991). "Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grasslands 1981-1988." *International Journal of Remote Sensing* 12(6): 1301-1311.
- Ramsar Convention on Wetlands (2000). „List of Wetlands of International Importance, Annotated Version.“ Gland, Switzerland, Ramsar Convention Bureau.
- Ravan, S. A. & P. Roy (1997). "Satellite remote sensing for ecological analysis of forested landscape." *Plant Ecology* 131: 129-141.
- Read, A. J. & A. J. Westgate (1997). "Monitoring the movements of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) with satellite telemetry." *Marine Biology* 130(2): 315-322.

- Rekasi, J. (1989). „Nahrungsbiologische Untersuchungen am Weißstorch.“ In: G. Rheinwald, J. Ogden and H. Schulz (eds): Weißstorch - White Stork - Proc. I Int. Stork Conserv. Symp., Schriftenreihe des DDA. 10: 397-401.
- Riede, K. (2001). „Global Register of Migratory Species - Weltregister wandernder Tierarten.“ Bundesamt für Naturschutz (BfN). Bonn.
- Riede, K. (2004a). „The "Global Register of Migratory Species" - First results of global GIS analysis. Biological Resources and Migration.“ D. Werner. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag.
- Riede, K. (2004b). „Global Register of Migratory Species - from global to regional scales.“ Bundesamt für Naturschutz (BfN). Bonn.
- Roberts (2005). „White Storks - *Ciconia ciconia*.“ Roberts Birds of Southern Africa. P. Hockey, W. Dean and P. Ryan. Cape Town, John Voelcker Bird Book Fund.
- Robertson, P. A. (2001). „Sudan.“ In: L. D. Fishpool & M. Evans (eds): Important Bird Areas in Africa and associated islands - Priority sites for conservation. Newbury and Cambridge, UK, Pisces Publications and BirdLife International. 11: 877-890.
- Rose, D., C. Dewhurst & W. Page (1995). “The bionomics of the African armyworm *Spodoptera exempta* in relation to its status as a migrant pest.” *Integrated Pest Management Reviews* 1: 49-64.
- Sackl, P. (1987). “Über saisonale und regionale Unterschiede in der Ernährung und Nahrungswechsel des Weißstorchs (*Ciconia c. ciconia*) im Verlauf der Brutperiode.” *Egretta* 30(2): 49-80.
- Sader, S., G. Powell & J. Rapolle (1991). “Migratory bird habitat monitoring through remote sensing.” *International Journal of Remote Sensing* 12(3): 363-372.
- Saether, B., V. Grotan, P. Tryjanowski, C. Barbraud, S. Engen & M. Fulin (2006). “Climate and spatio-temporal variation in the population dynamics of a long distance migrant, the White Stork.” *Journal of Animal Ecology* 75: 80-90.
- Saint, G. (1994). „Vegetation onboard SPOT 4“ - Mission Specifications.
- Salomonsen, F. (1967). „Vogelzug.“ *Moderne Biologie*. Munksgaard. Kopenhagen.
- Sanderson, E., M. Jaiteh, M. Levy, K. Redford, A. Wannebo & G. Woolmer (2002). “The Human Footprint and the Last of the Wild.” *BioScience* 52(10): 891-904.
- Sannier, C., J. Taylor & W. Du Plessis (2002). “Real-time monitoring of vegetation biomass with NOAA-AVHRR in Etosha National Park, Namibia, for fire risk assessment.” *International Journal of Remote Sensing* 23(1): 71-89.
- Schäffer, N., B. Walther, K. Gutteridge & C. Rahbeck (2006). “The african migration and wintering grounds of the Aquatic Warbler *Acrocephalus paludicola*.“ *Bird Conservation International* 16: 33-56.

- Schaub, M., W. Kania & U. Köppen (2005). "Environmental stochastic variation during winter induces synchrony in survival rates in migratory white storks *Ciconia ciconia*." *Journal of Animal Ecology* 74(4): 656-666.
- Scheller, W., E. Franke, J. Matthes, M. Neubauer & C. Scharnweber (2001). "Verbreitung, Bestandsentwicklung und Lebensraumsituation des Schreiadlers *Aquila pomarina* in Mecklenburg-Vorpommern." *Vogelwelt* 122: 233-246.
- Schmidl (1982). „The birds of the Serengeti National Park Tanzania. An annotated check-list.“ British Ornithologist's Union, Checklist Series (5): 132.
- Scholte, P. & P. A. Robertson (2001). Chad.“ In: L. D. Fishpool & M. Evans (eds): Important Bird Areas in Africa and associated islands - Priority sites for conservation.. Newbury and Camebridge, UK, Pisces Publications and BirdLife International. 11: 177-184.
- Schultz, J. (2002). „Die Ökozonen der Erde.“ Ulmer UTB.
- Schulz, H. (1988). „Weißstorchzug - Ökologie, Gefährdung und Schutz des Weißstorchs in Afrika und Nahost.“ Verlag Josef Markgraf. Weikersheim.
- Schulz, H. (1995). „Zur Situation des Weißstorchs auf den Zugrouten und in den Überwinterungsgebieten.“ In: O. Biber, P. Enggist & C. Marti (eds): Proceedings of the International Symposium on the White Stork (Western Population), Basel 1994 (Switzerland), Schweizerische Vogelwarte Sempach (Switzerland). 27-48.
- Schulz, H. (1999). „Der Weltbestand des Weißstorchs (*Ciconia ciconia*) - Ergebnisse des 5. Internationalen Weißstorchszensus 1994/95.“ In: H. Schulz (ed): Weißstorch im Aufwind? - White Storks on the up? - Proceedings, Internat. Symp. on the White Stork.. Hamburg, NABU Bonn: 335-350.
- Schulz, H. (2001). „Das Projekt "SOS Storch" - Phase I (Jahr 2000) Vorläufige Ergebnisse und Erkenntnisse.“ In: C. Kaatz & M. Kaatz (eds): 2. Jubiläumsband Weißstorch - 2. Jubilee Edition White Stork, 8. u. 9. Storchentag 1999/2000. Storchenhof Loburg (Staatliche Vogelschutzwarte): 269-280.
- Schüz, E. (1960). "Die Verteilung des Weißstorchs im südafrikanischen Ruheziel." *Die Vogelwarte* 20(3): 205-222.
- Scott, D. & P. Rose (1996). „Atlas of Anatidae Populations in Africa and Western Eurasia.“ Wetlands International. Wageningen.
- Seaman, D., J. Millsbaugh, B. Kernohan, G. Brundige, K. Raedeke & R. Gitzen (1999). "Effects of sample size on kernel home range estimates." *The Journal of wildlife management* 63(2): 739-747.
- Shamoun-Baranes, J., A. Baharat, O. Alpert, P. Berthold, Y. Yom-Tov, Y. Dvir & Y. Leshem (2003). "The effect of wind, season and latitude on the migration speed of white storks *Ciconia ciconia*, along the eastern migration route." *Journal of Avian Biology* 34: 97-104.

- Sibley, C. & J. Ahlquist (1990). „Phylogeny and classification in birds.“ Yale University Press. New Haven, London.
- Sibley, C. & B. Monroe (1990). „Distribution and taxonomy of birds of the world.“ Yale University Press. New Haven, London.
- Silverman, B. W. (1986). „Density estimation for statistics and data analysis.“ Chapman and Hall, London.
- Sinclair, A. (1978). “Factors affecting the food supply and breeding season of resident birds and movements of palaeartic migrants in a tropical african savannah.” *Ibis* 120: 480-497.
- Sinclair, A., S. Mduma & P. Arcese (2002). “Protected areas as biodiversity benchmarks for human impact: agriculture and the Serengeti avifauna.” *Proceedings of the Royal Society of London* 269: 2401-2405.
- Skov, H. (1995). „The ecology of the White Stork in Denmark.“ In: O. Biber, P. Enggist & C. Marti (eds): Proceedings of the International Symposium on the White Stork (Western Population), Basel 1994 (Switzerland), Schweizerische Vogelwarte Sempach (Switzerland). 117-120.
- Sokal, R. & F. Rohlf (1995). „Biometry - The principles and practices of statistics in biological research.“ W.H. Freeman and Company. New York.
- Steyn, P. (1982). „Birds of Prey in Southern Africa.“ Kapstadt, Johannesburg.
- Stoney, W. E. (1997). „Land Sensing Satellites in the Year 2000.“ International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Singapore.
- Stott, P. (1991). “Recent trends in the ecology and management of the world’s savanna formations.” *Progress in Physical Geography* 15(1): 18-28.
- Szjij, J. & L. Szjij (1955). “Contributions to the food-biology of the White Stork (*Ciconia ciconia* L.).” *Aquila* 59-62: 83-94.
- The Bureau of the Convention on Wetlands (2003). „The List of Wetlands of International Importance“. Ramsar, Iran, The Bureau of the Convention on Wetlands.
- Thiollay, J.-M. (1989). „Distribution and ecology of palearctic birds of prey wintering in West and Central Africa.“ In: B.-U. Meyburg & R. Chancellor (eds): Raptors in the Modern World. Berlin, London & Paris, WWGBP: 95-107.
- Thomsen, K.-M. (1995). „Auswirkungen moderner Landwirtschaft auf die Nahrungsökologie des Weißstorchs.“ In: O. Biber, P. Enggist & C. Marti (eds): Proceedings of the International Symposium on the White Stork (Western Population), Basel 1994 (Switzerland), Schweizerische Vogelwarte Sempach (Switzerland). 121-134.
- Thomsen, K.-M. (2006). „Informationen zum VI. Internationalen Weißstorchzensus 2004/2005.“ Zensus Nachrichten 3.
- Tsachalidis, E. P. & V. Goutner (2002). “Diet of the White Stork in Greece in relation to habitat.”

*Waterbirds* 25(4): 417-423.

- Tucker, C. J., J. E. Pinzon, M. E. Brown, D. Slayback, E. W. Pak, R. Mahoney, E. Vermote & N. El Saleous (2005). "An extended AVHRR 8-km NDVI data set compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI data." *International Journal of Remote Sensing* 26(20): 4485-4498.
- Tufto, J., R. Andersen & J. Linnell (1996). "Habitat use and ecological correlates of home range size in a small cervid: the Roe Deer." *Journal of Animal Ecology* 65(6): 715-724.
- Tyler, S. & D. Bishop (2001). „Botswana.“ In: L. D. Fishpool & M. Evans (eds): Important Bird Areas in Africa and associated islands - Priority sites for conservation. Newbury and Cambridge, UK, Pisces Publications and BirdLife International.
- Uvarov, B. (1977). „Grasshoppers and Locusts: a handbook of general acridology.“ Centre for Overseas Pest Research. London.
- van den Bossche, W., P. Berthold, U. Querner, M. Kaatz & E. Nowack (2002). „Eastern European White Stork Populations: Migration Studies and Elaboration of Conservation Measures.“ Bonn, Bundesamt für Naturschutz: 197.
- van Jaarsveld, A. S., S. Freitag, S. L. Chown, C. Muller, S. Koch, H. Hull, C. Bellamy, M. Krüger, S. Endrödy-Younga, M. W. Mansell & C. H. Scholtz (1998). „Biodiversity Assessment and Conservation Strategies.“ *Science* 279: 2106-2108.
- Venkataraman, A. B., R. Saandeeep, N. Baskaran, M. Roy, A. Madhivanan & R. Sukumar (2005). "Using satellite telemetry to mitigate elephant-human conflict: An experiment in northern West Bengal, India." *Current Science* 88(11): 1827-1831.
- Verheyen, R. (1951). "La cigogne blanche dans son quartier d'hiver." *Die Vogelwarte* 16(1): 28.
- Walter, H. & S.-W. Breckle (1999). „Vegetation und Klimazonen.“ Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- Walther, B. & C. Rahbeck (2002). "Where do Palaearctic migratory birds overwinter in Africa?" *Dansk Ornitologisk Forenings Tidsskrift* 96: 4-8.
- Watkinson, A., J. Gill & M. Hulme (2004). "Flying in the face of climate change: a review of climate change, past, present and future." *Ibis* 146(1): 4-10.
- Weimerskirch, H., M. Salamolard, F. Sarrazin & P. Jouventin (1993). "Foraging strategy of wandering albatrosses through the breeding season: A study using satellite telemetry." *Auk* 110(21): 325-342.
- Wendland, V. (1958). "Der Schreiadler." *Der Falke* 5: 6-13.
- Wichmann, M., W. Dean & F. Jeltsch (2004). "Global change challenges the Tawny Eagle (*Aquila rapax*): modelling extinction with respect to predicted climate and land use changes." *Ostrich* 75(4): 204-210.
- Wickens, G. & F. Collier (1971). "Some vegetation patterns in the republic of the Sudan."



*Geoderma* 6(1): 43-59.

Williams, P., D. Gibbons, C. Margules, A. Rebelo, C. Humphries & R. Pressey (1996). "A comparison of richness hotspots, rarity hotspots, and complementary areas for conserving diversity of British birds." *Conservation Biology* 10(1): 155-174.

Wink, M. (1995). "Zur Bestandsentwicklung der Brutvogelarten im Rheinland zwischen 1976 und 1991." *Charadrius* 31: 72-81.

Winterbottom, J. (1977). "The White Stork in South Africa, 1974-75." *Ostrich* 48: 116-118.

Worton, B. (1989). "Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies." *Ecology* 70(1): 164-168.

Zalles, J. & K. L. Bildstein (2000). „Raptor Watch: A global directory of raptor migration sites.“ BirdLife International. Cambridge/ Hawk Mountain Sanctuary. Kempton.

Zar, J. (1999). „Biostatistical Analysis.“ Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.

## 8 Danksagung

Für die Idee zu dieser Arbeit und seine Betreuung möchte ich mich herzlich bei Herrn PD Dr. Klaus Riede (GROMS) bedanken. Seine Ideen, Denkanstöße und Hilfe auch bei Zweifeln haben mir geholfen, die Arbeit zu Ende zu führen.

Ebenso bedanke ich mich herzlich bei meinem Betreuer Prof. Gunter Menz (Geografisches Institut, Uni Bonn), sowie den Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Fernerkundung, allen voran Jan Richters. Ihre Begeisterung für mein Thema hat mich immer wieder ermutigt und mir über die Schwierigkeiten einer interdisziplinären Arbeit hinweggeholfen.

Herrn Prof. Wolfgang Wägele danke ich sehr für seine spontane Bereitschaft, die Aufgabe des 2. Gutachters zu übernehmen.

Durch ihre finanzielle Unterstützung mit einem dreijährigen Stipendium bin ich der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) zu großem Dank verpflichtet. Erst hierdurch war die Arbeit überhaupt durchführbar. Darüber hinaus ermöglichte die Stiftung mir in Seminaren Einblicke in zahlreiche andere Bereiche des Natur- und Umweltschutzes und nicht zuletzt den Kontakt und die Freundschaft mit anderen „Gleichgesinnten“.

Für zusätzliche finanzielle Unterstützung bedanke ich mich ebenfalls bei den Freunden und Förderern des Museum Koenig sowie bei dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD), mit deren Hilfe ich meine Reisen finanzieren konnte.

Auch ohne die folgenden Personen wäre diese Arbeit niemals möglich gewesen: Dr. Michael Kaatz (Vogelschutzwarte Storchenhof Loburg), Prof. Peter Berthold (MPI Vogelwarte Radolfzell) und das Ehepaar Prof. Bernd-Ulrich und Christiane Meyburg (WWGBP) haben mir ihre in langjähriger Arbeit erhobenen Telemetriedaten zur Verfügung gestellt und mir mit ihrem Vertrauen die Weiterarbeit an diesen Daten ermöglicht. Dies ist keinesfalls eine Selbstverständlichkeit und dafür bin ich zu großem Dank verpflichtet, in der Hoffnung, dass meine hier gewonnen Erkenntnisse auch diesen Personen und ihren Institutionen zu Gute kommen. Dabei geht mein größtes Dankeschön an Dr. Michael Kaatz, der mich nicht nur in zahlreichen Stunden in die Geheimnisse der Satellitentelemetrie eingeweiht hat, sondern zudem bei jeglichen Fragen und Problemen hilfsbereit war und sich Zeit für mich genommen hat, selbst wenn keine da war. Seine Begleitung bei meinen Feldstudien in Botswana war unersetzlich. Die erwachsene Freundschaft aus drei Jahren Zusammenarbeit hält hoffentlich über diese Arbeit hinaus.

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei Muriel Mannert für die spontane Abenteuerlust und ihre „Feldassistenz“ in Botswana und Südafrika bedanken. Als Rettung in letzter Not war sie mir eine angenehme Reisebegleiterin, die auch in brenzligen Situationen immer das Steuer in der Hand behielt!

Mein Dank gilt auch Klaus Tümmler, der mich zusammen mit Michael Kaatz auf seine Filmreise mitgenommen hat und mir damit erste Erlebnisse mit Prinzesschen im afrikanischen Busch ermöglichte. Die gemeinsamen Abende mit Michael und Klaus am Lagerfeuer mitsamt gebratenem Steak sind unvergesslich!

Viele weitere Personen haben mir in Botswana und Südafrika geholfen: Michael Heinel danke ich für wichtige Tipps und Karten zu Botswana (auch wenn wir uns nie getroffen haben), Stephanie Taylor

und Pete Hancock (BirdLife) für die ornithologische Unterstützung in Botswana. In Maun bekamen wir zudem sehr freundliche Unterstützung des Harry Oppenheimer Okavango Research Centre, insbesondere von Herrn Thoralf Meyer, für die ich mich ebenfalls bedanken möchte. Der Familie Gäbler danke ich sehr herzlich für die Aufnahme in ihrem Haus, ihre grenzenlose Gastfreundschaft und Hilfsbereitschaft mit der wir uns sorgenfreier ins Abenteuer stürzen konnten.

Sehr herzlich bedanke ich auch bei Dr. Thomas Wagner für Bestimmung der Gewölle-Inhalte, sowie bei Dr. Thomas Gottschalk für die Beratung und Hilfe bei statistischen Problemen.

Für Korrekturen jeglicher Art möchte ich mich an dieser Stelle bei Dr. Renate van den Elzen, Dr. Carlos Sanchez und Paul Flemons bedanken.

Mein Dank gilt auch dem Museum Koenig und seinen Mitarbeitern, insbesondere Herrn Lampe, die mir eine angenehme Arbeitsatmosphäre mit netten Kollegen boten. Besonders möchte ich mich hier auch bei meinen KollegInnen Eva Gerstner, Michaela Kreft, Marcell Peters und Dirk Rohwedder bedanken, die mir bei verschiedensten Problemen weitergeholfen haben.

Letztlich gilt mein größtes Dankeschön den Menschen, denen ich alles andere Wichtige im Leben verdanke, meinen Eltern und Geschwistern und schließlich Roland Martau als mein Fels in der Brandung.

## Anhang I – Zugrouten der telemetrierten Vögel

Der folgende Anhang enthält Karten aller in der Arbeit verwendeten Weißstorch- und Schreiadler-Telemetriedaten. Eine Karte zeigt – soweit vorhanden – eine vollständige Zugperiode, die aus einem Weg- (Herbstzug) und einen Heimzug (Frühjahrszug) besteht. Die Telemetriedaten werden nach der Berechnung des Index  $I_{dist}$  in Rastdaten (rote Punkte), Zugdaten (blaue Punkte) und nicht klassifizierbare Daten (grüne Punkte) unterschieden. Gestrichelte Linien wurden bei einem Mangel an Zwischenpositionen verwendet.

Die Datengrundlage der Karten 1-49 ist der „Tagesbeste“-Datensatz und zeigt Weißstorch-Zugrouten, die bis auf den afrikanischen Kontinent führen. Die Karten 50-58 basieren ebenfalls auf dem „Tagesbeste“-Datensatz, Lokalisationen aus Afrika sind allerdings nicht vorhanden, so dass die Darstellung auf Europa beschränkt wurde.

Die Karten 59-68 stellen Zugrouten des Weißstorchs auf Basis des „Täglich“-Datensatzes dar. Es handelt sich dabei um ausgewählte Individuen, deren Datenlage auf Basis von „Tagesbeste“ zu spärlich für eine entsprechende Darstellung und Auswertung war.

Die Karten 69-72 stellen Zugrouten des Schreiadlers auf Basis des „Tagesbeste“-Datensatzes dar.

Die Legende enthält die jeweilige Ringnummer (Weißstorch) bzw. Sendernummer (Schreiadler) des Vogels und den Zeitraum des dargestellten Datensatzes.

Weißstorch Zugrouten nach „Tagesbeste“

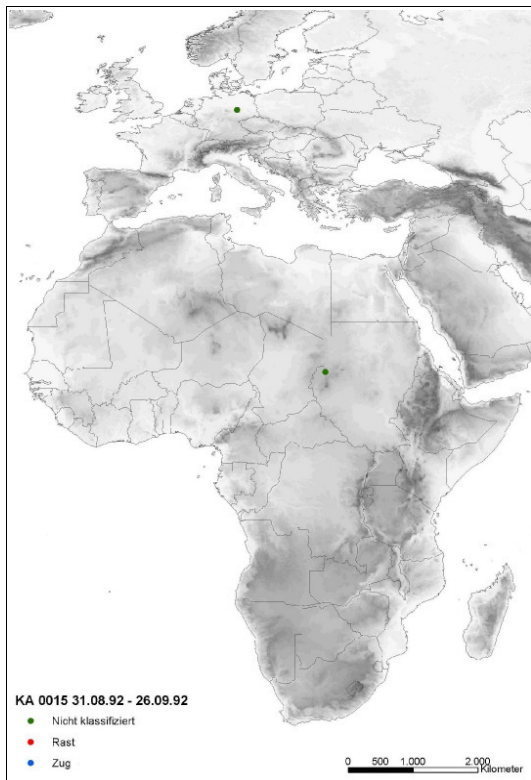


Abbildung 1: KA 0015

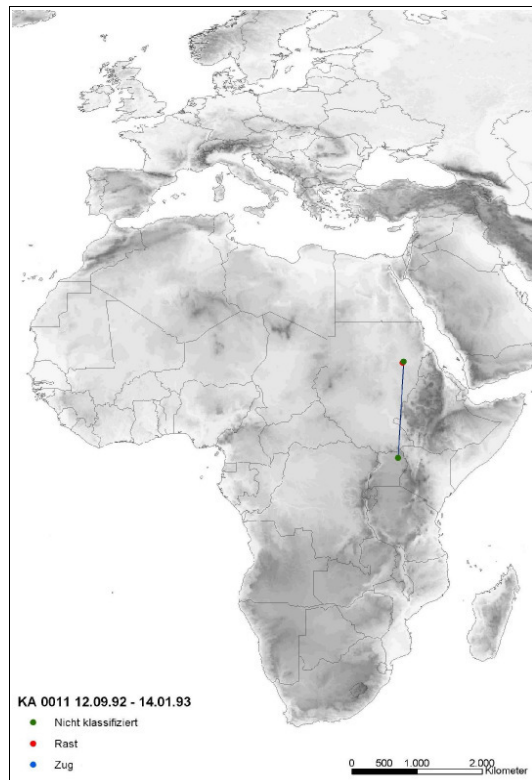


Abbildung 2: KA 0011

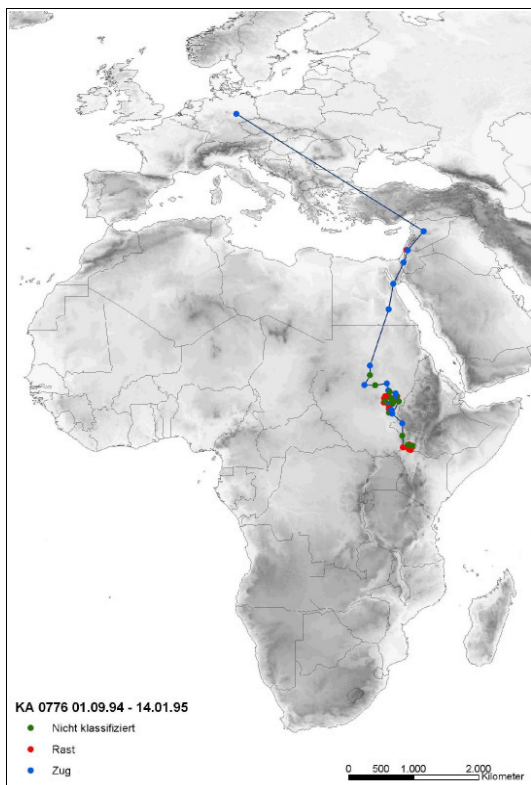


Abbildung 3: KA 0776

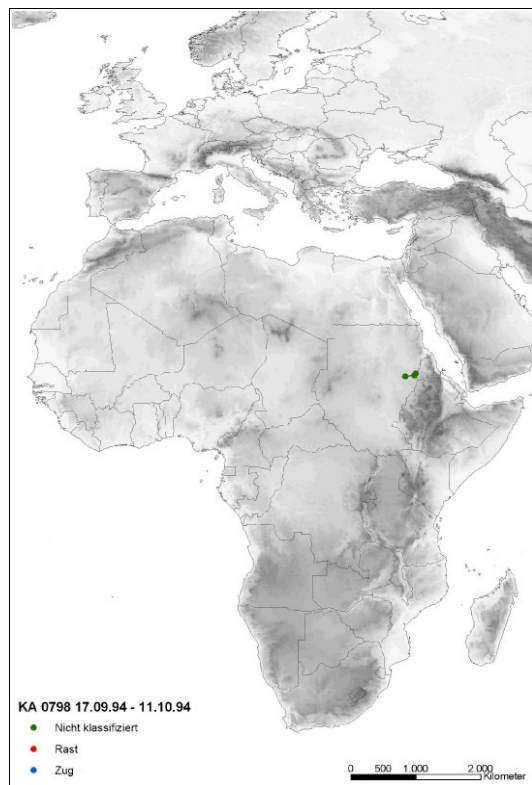


Abbildung 4: KA 0798

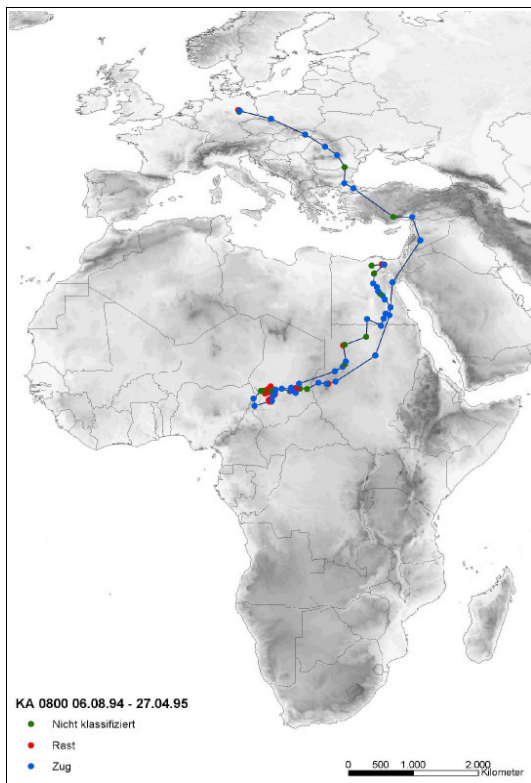


Abbildung 5: KA 0800

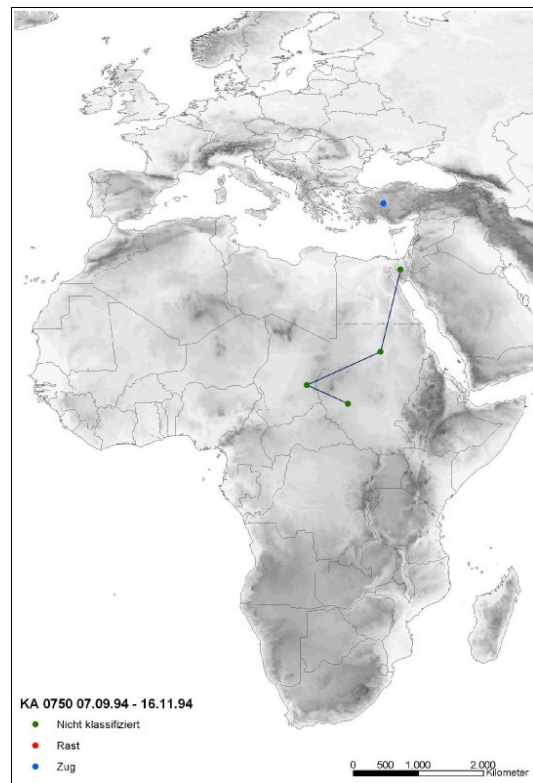


Abbildung 6: KA 0750 (1994)

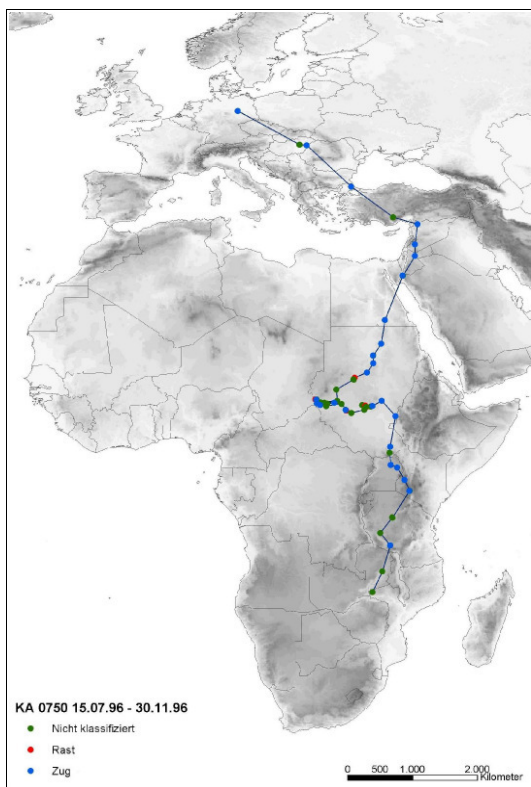


Abbildung 7: KA 0750 (1996)

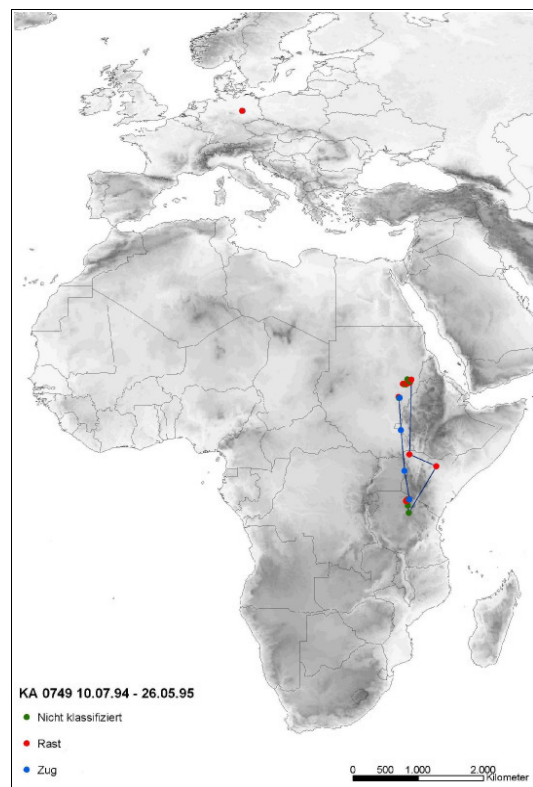


Abbildung 8: KA 0749 (1994/ 95)

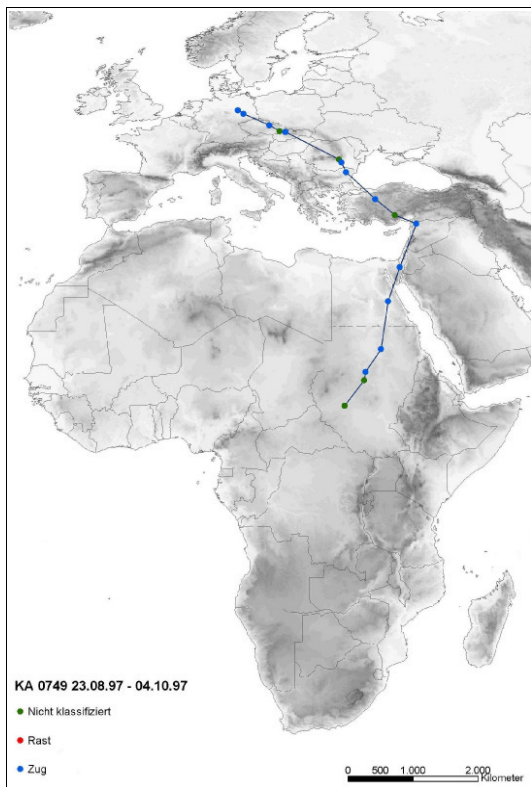


Abbildung 9: KA 0749 (1997)

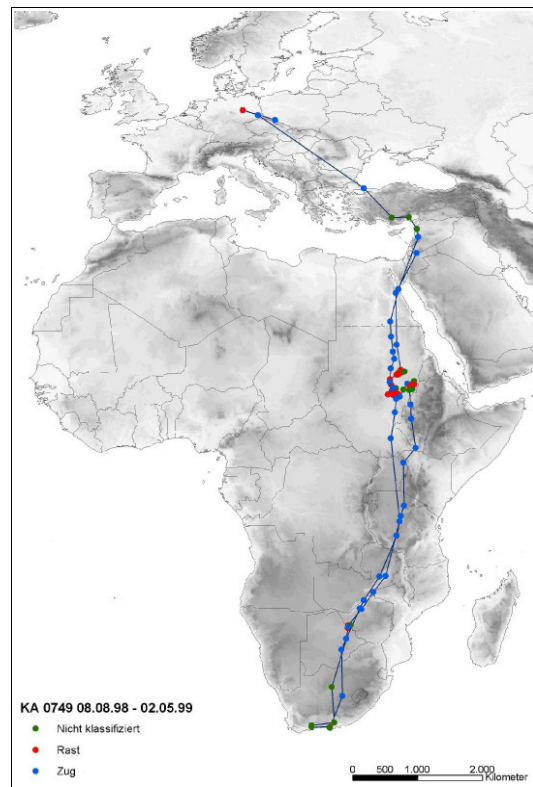


Abbildung 10: KA 0749 (1998/99)

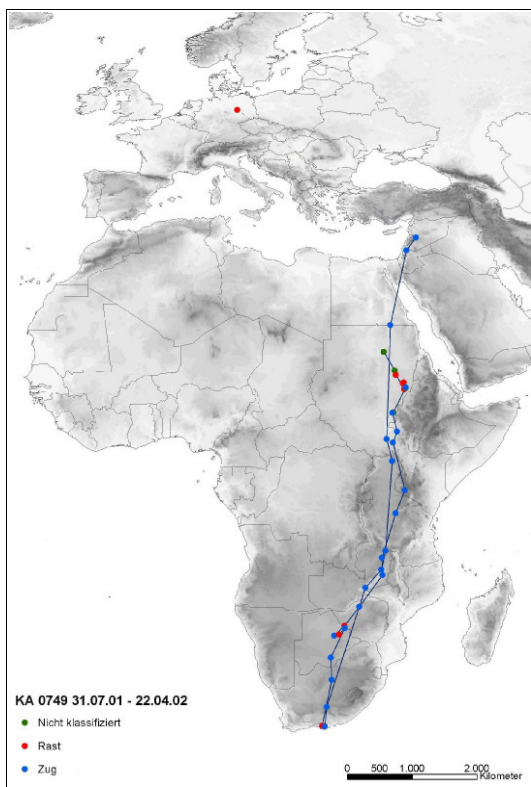


Abbildung 11: KA 0749 (2001/02)

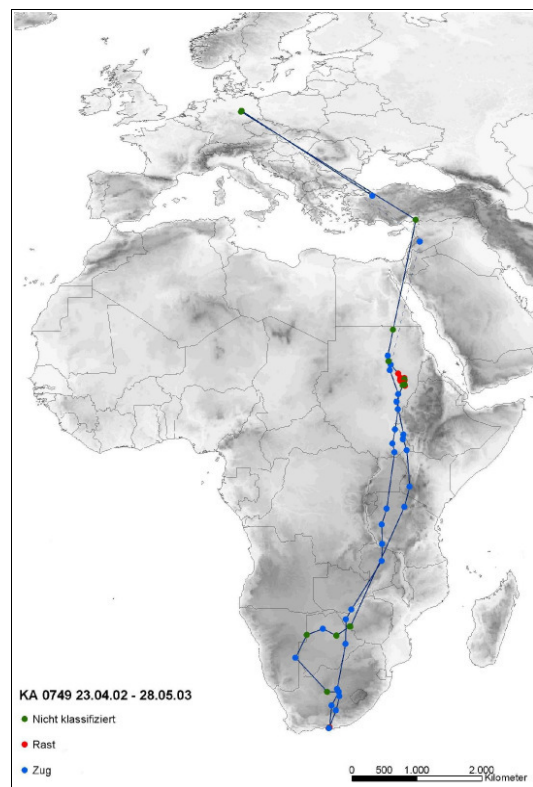


Abbildung 12: KA 0749 (2002/03)

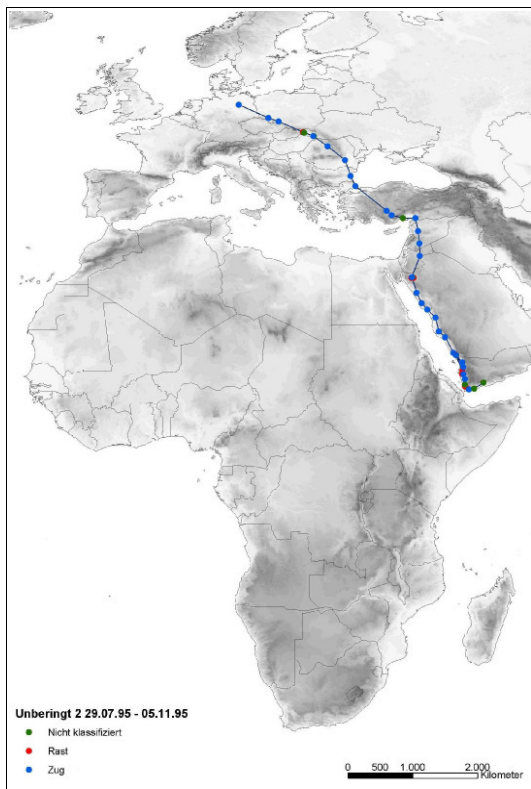


Abbildung 13: Unberingt 2

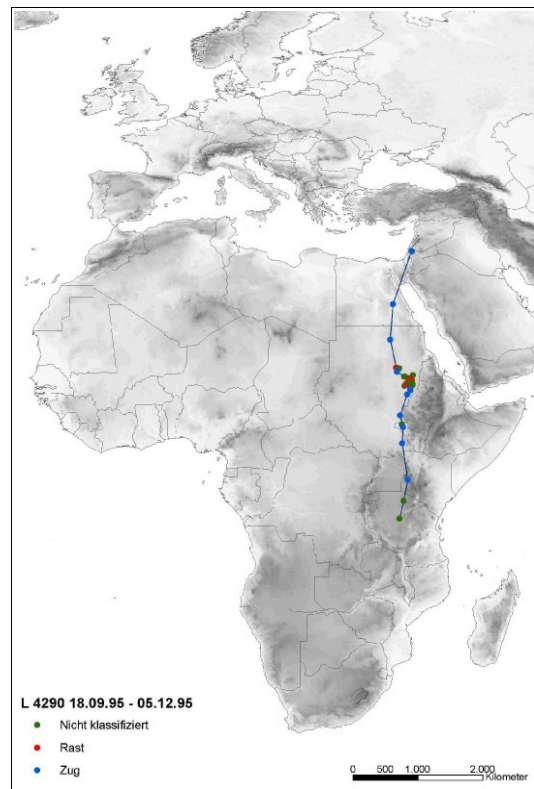


Abbildung 14: L 4290

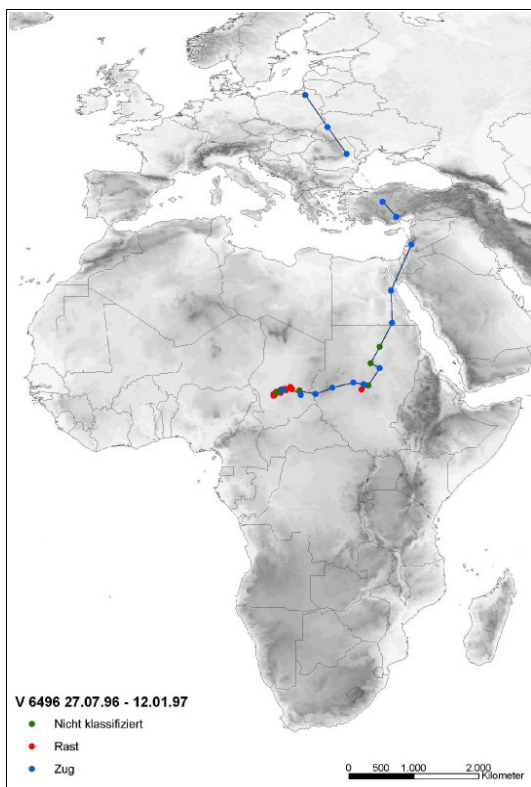


Abbildung 15: V 6496

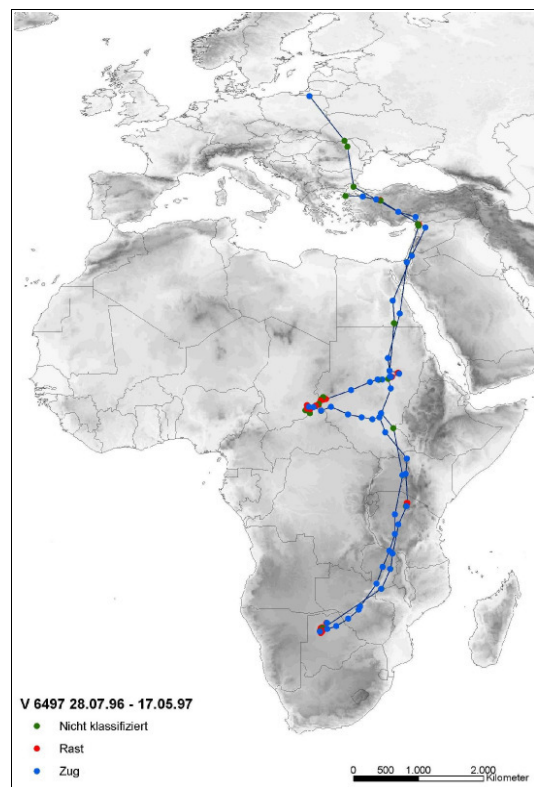


Abbildung 16: V 6497



Anhang I – Zugrouten der telemetrierten Vögel

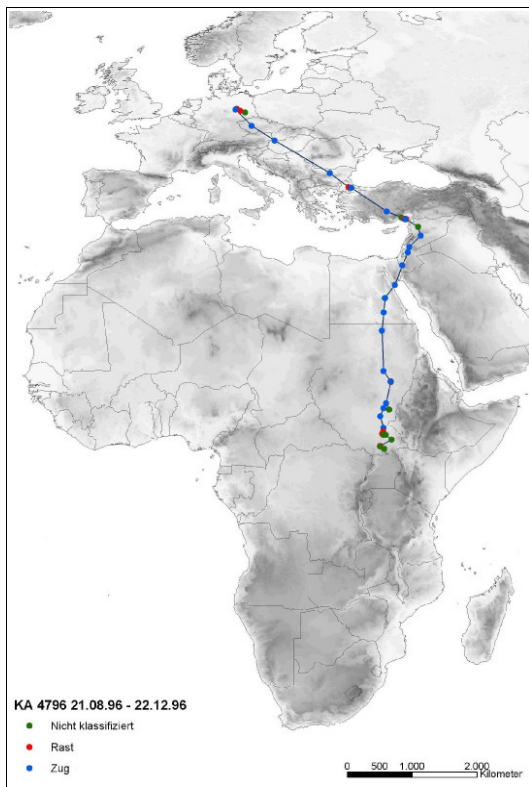


Abbildung 17: KA 4796

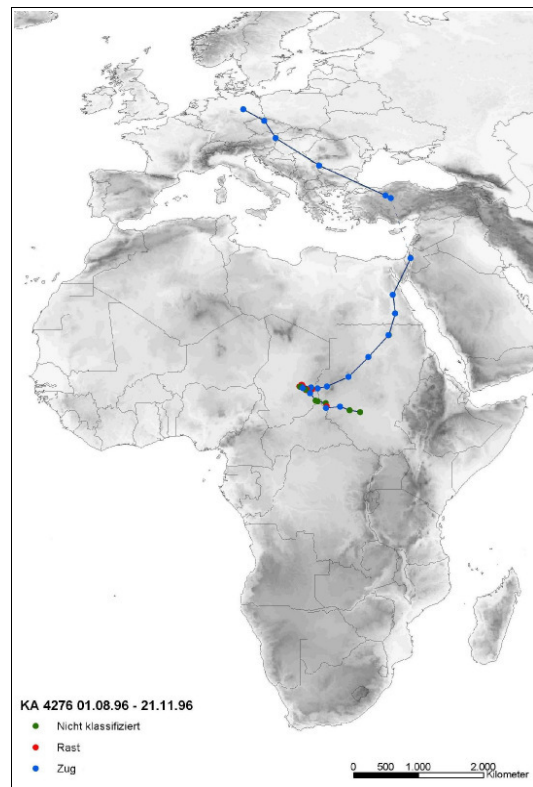


Abbildung 18: KA 4276

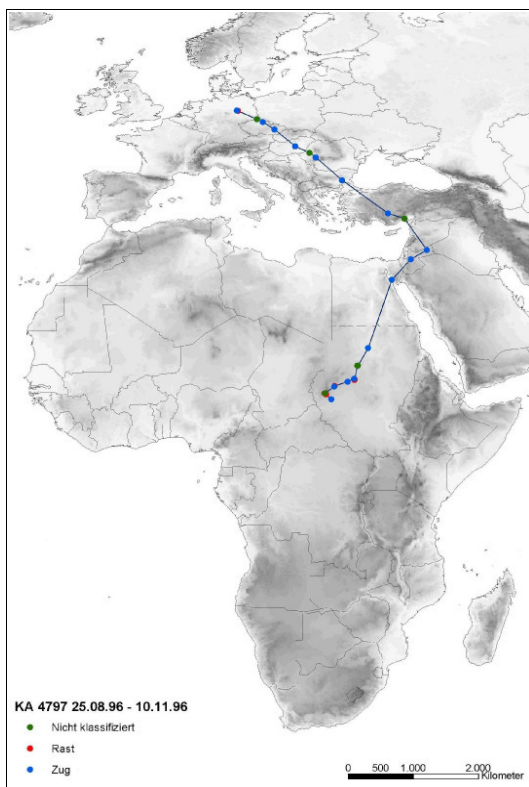


Abbildung 19: KA 4797

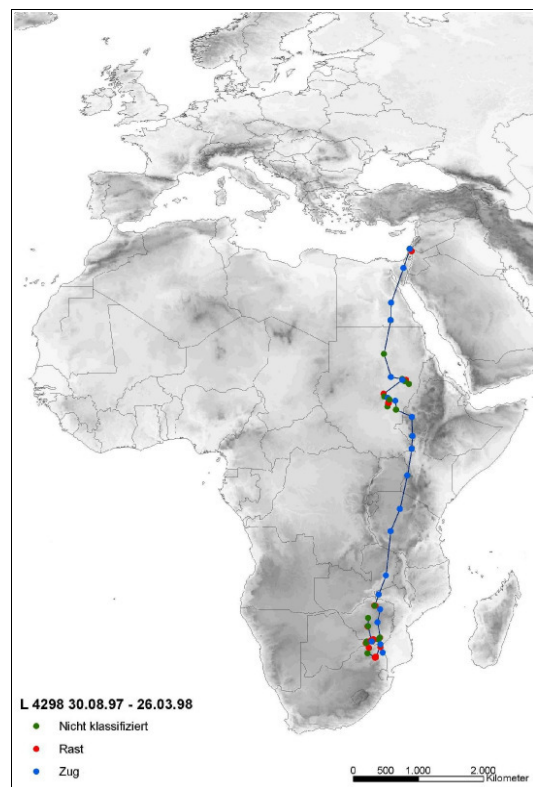


Abbildung 20: L 4298

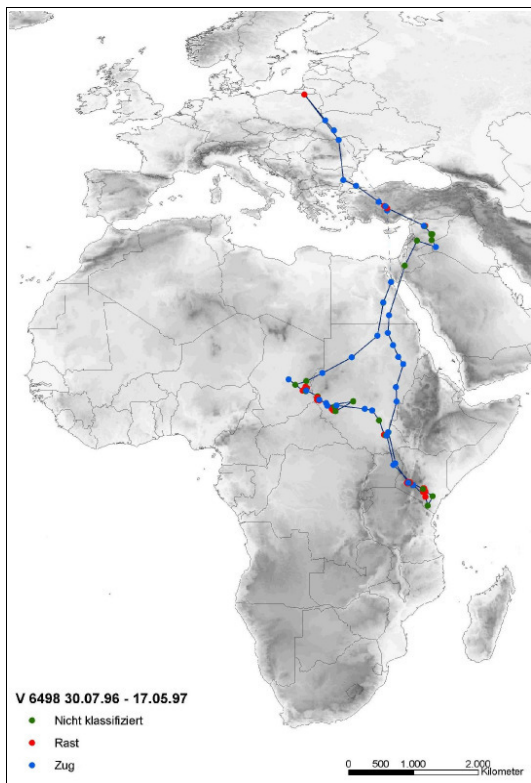


Abbildung 21: V 6498 (1996/97)

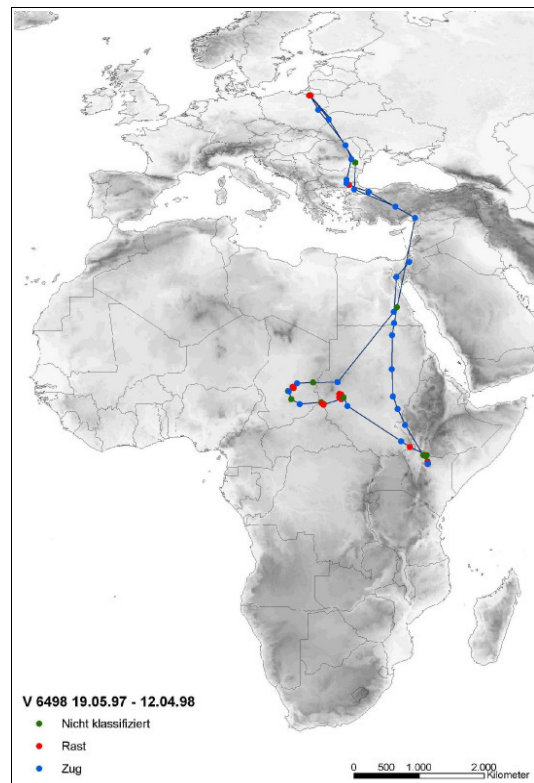


Abbildung 22: V 6498 (1997/98)

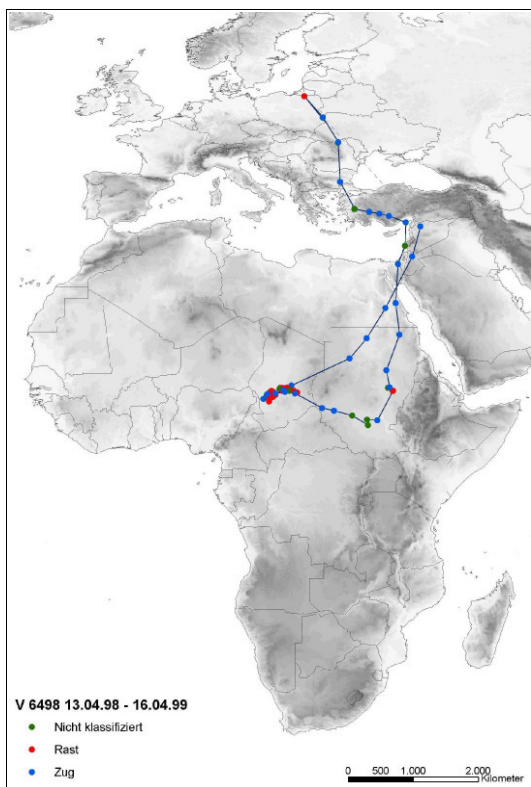


Abbildung 23: V 6498 (1998/99)

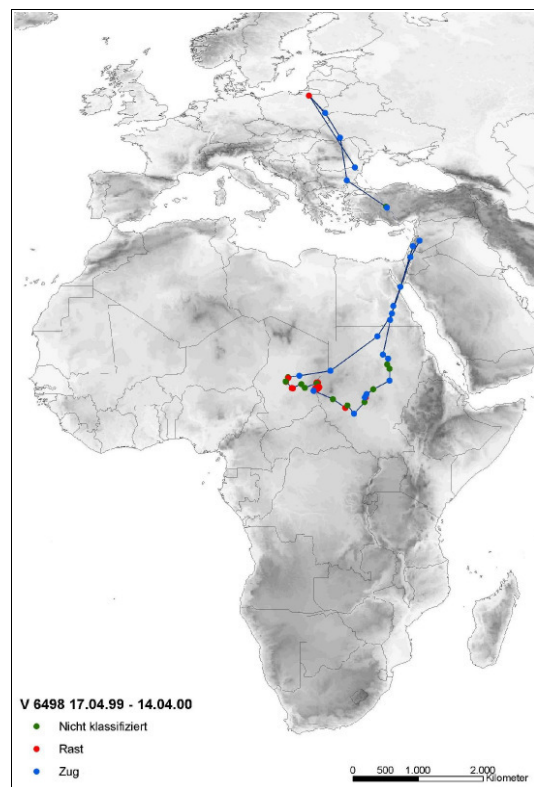


Abbildung 24: V 6498 (1999/00)

Anhang I – Zugrouten der telemetrierten Vögel

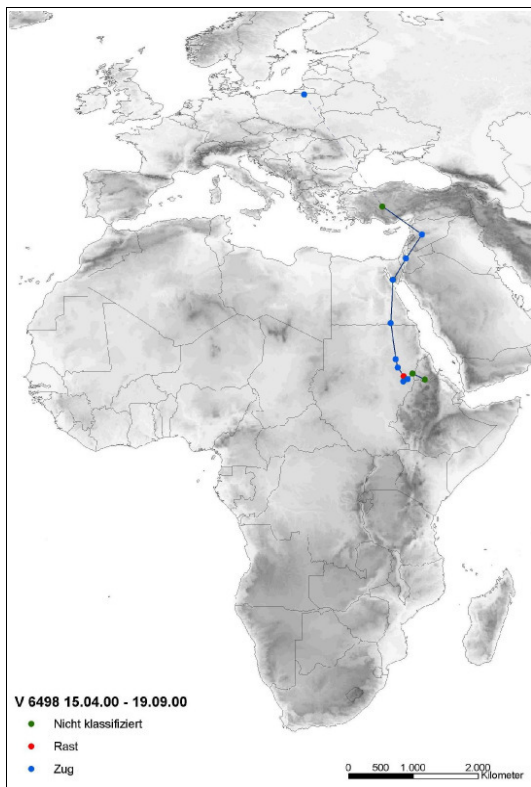


Abbildung 25: V 6498 (2000)

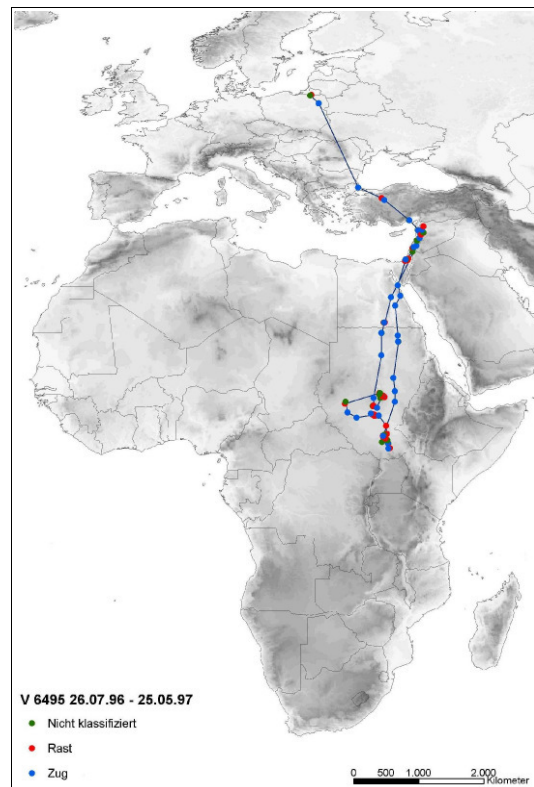


Abbildung 26: V 6495 (1996/97)

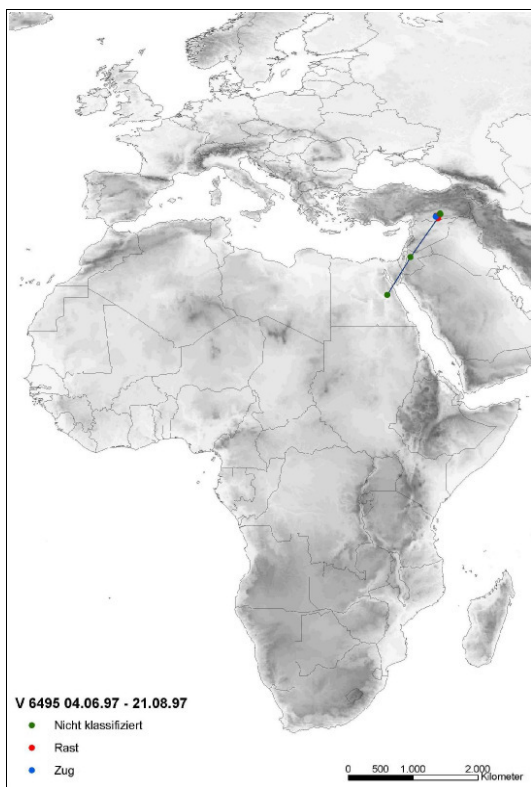


Abbildung 27: V 6495 (1997)

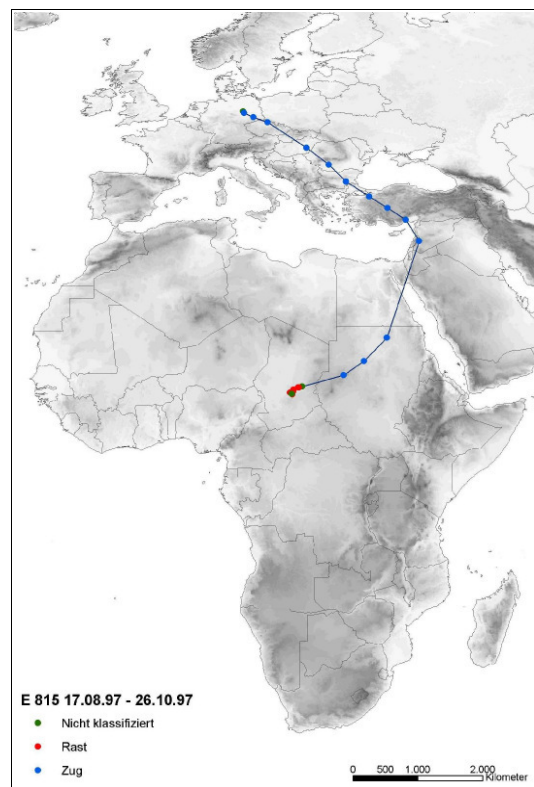


Abbildung 28: E 815

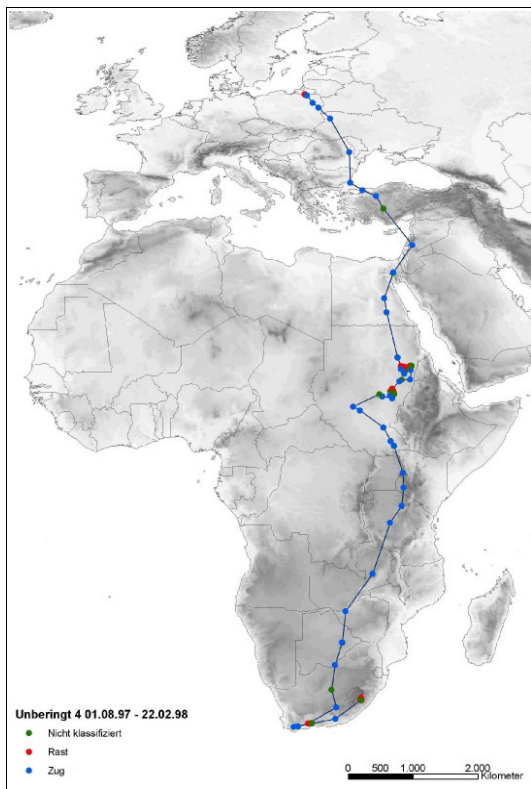


Abbildung 29: Unberingt 4

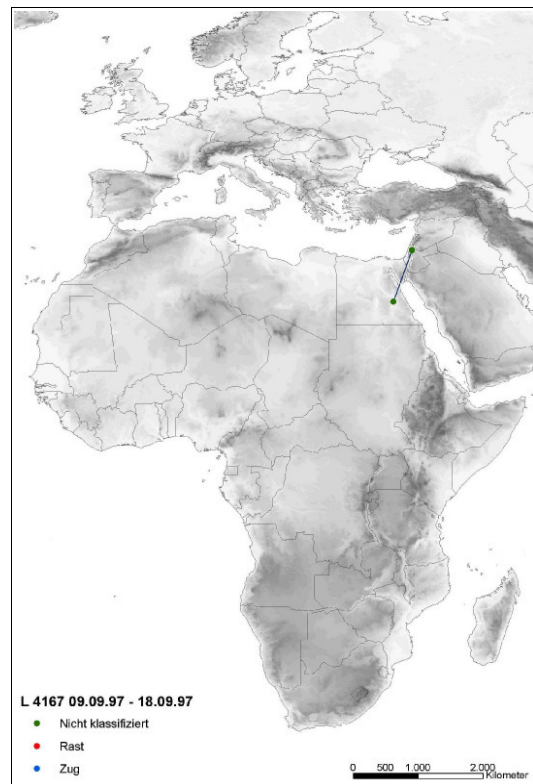


Abbildung 30: L 4167

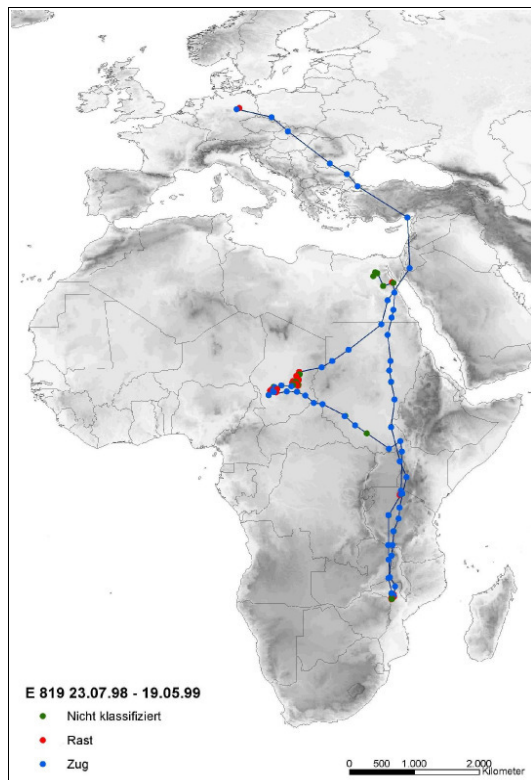


Abbildung 31: E 819

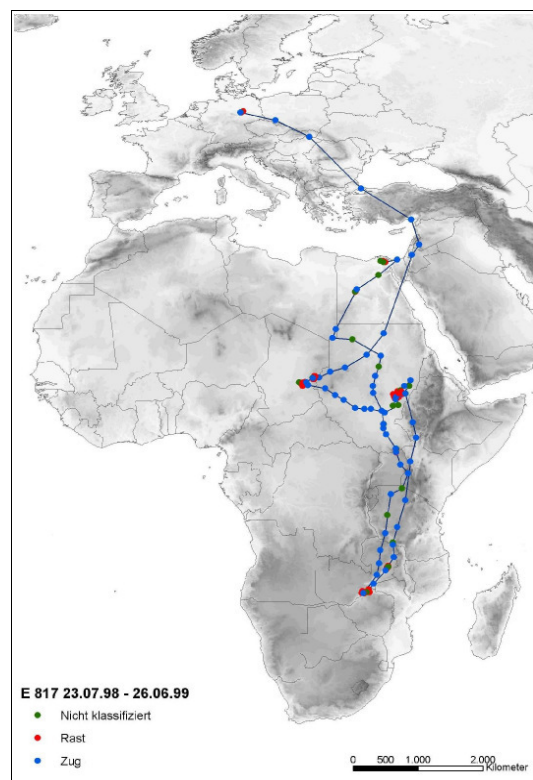


Abbildung 32: E 817

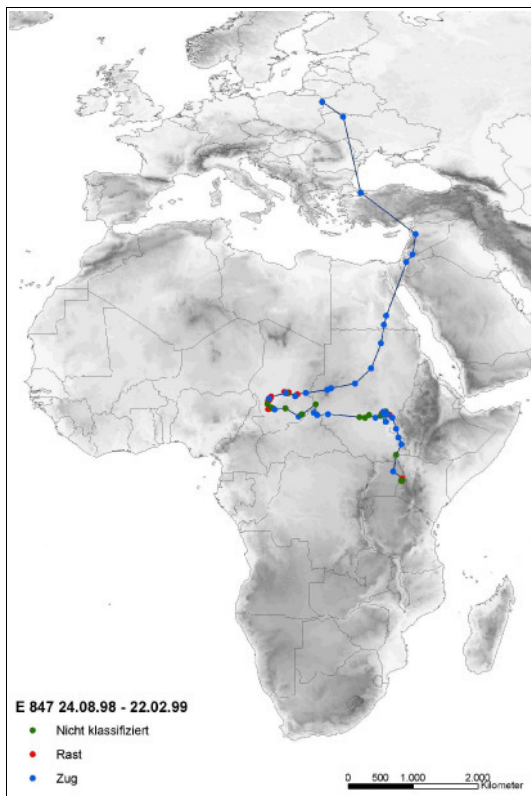


Abbildung 33: E 847

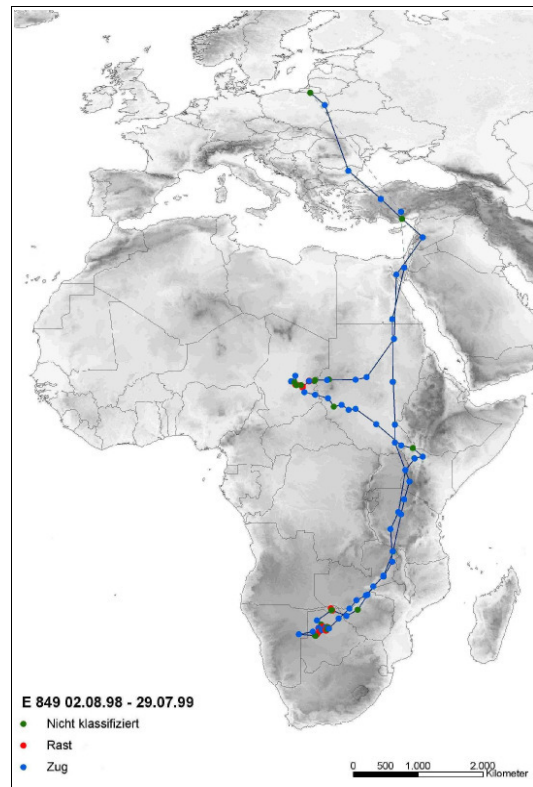


Abbildung 34: E 849

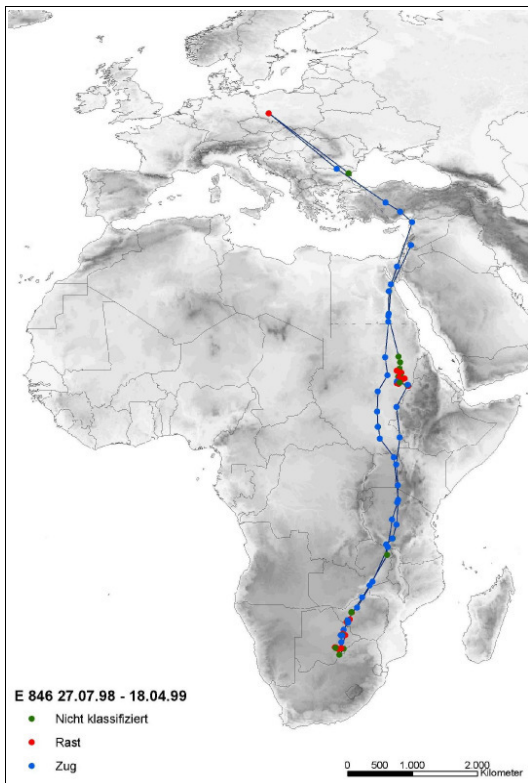


Abbildung 35: E 846 (1998-99)

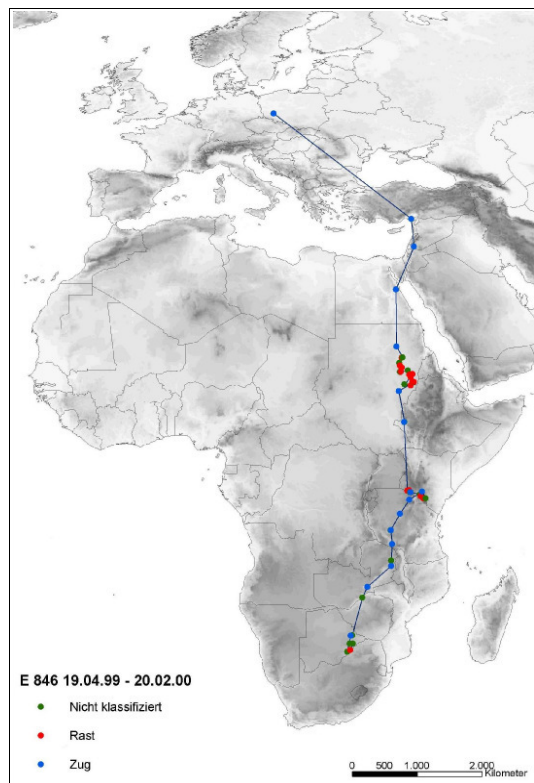


Abbildung 36: E 846 (1999-00)

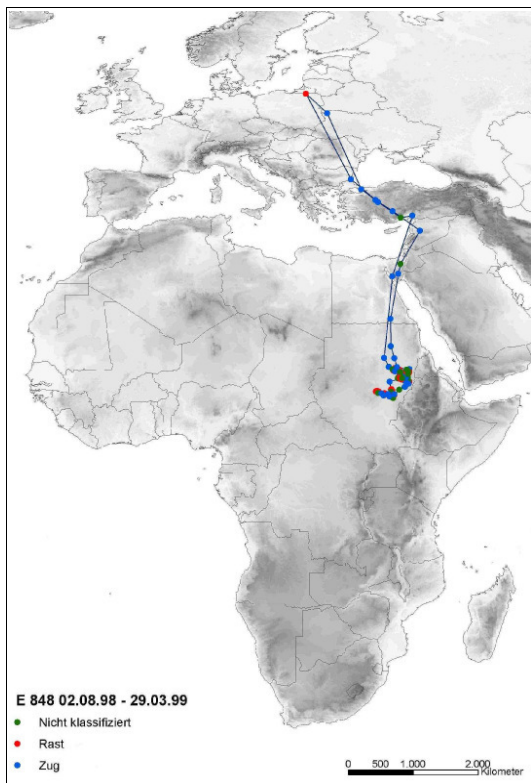


Abbildung 37: E 848 (1998-99)

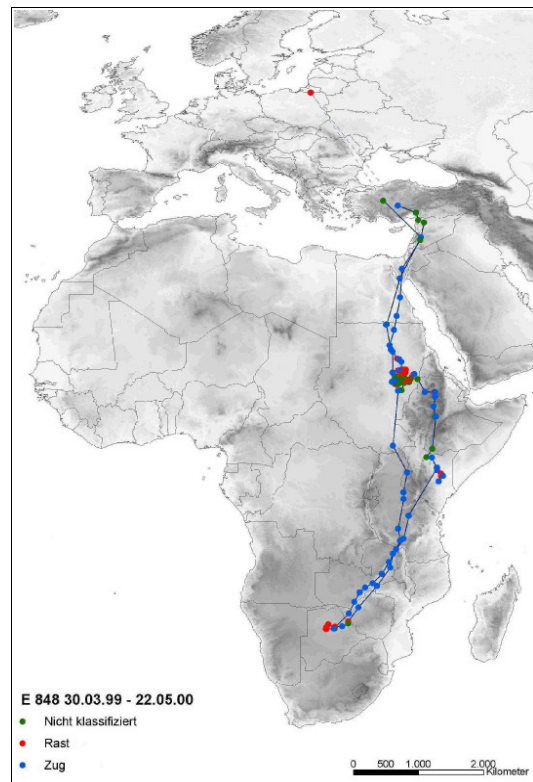


Abbildung 38: E 848 (1999-00)

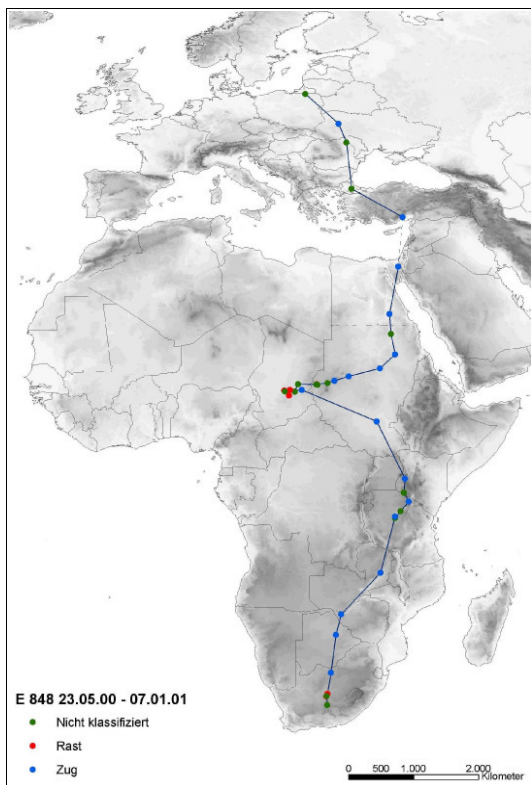


Abbildung 39: E 848 (2000-01)

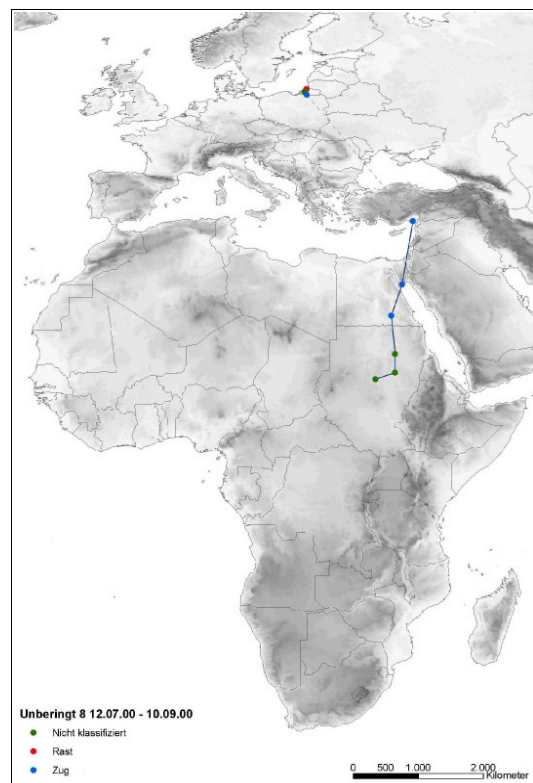


Abbildung 40: Unberingt 8

Anhang I – Zugrouten der telemetrierten Vögel

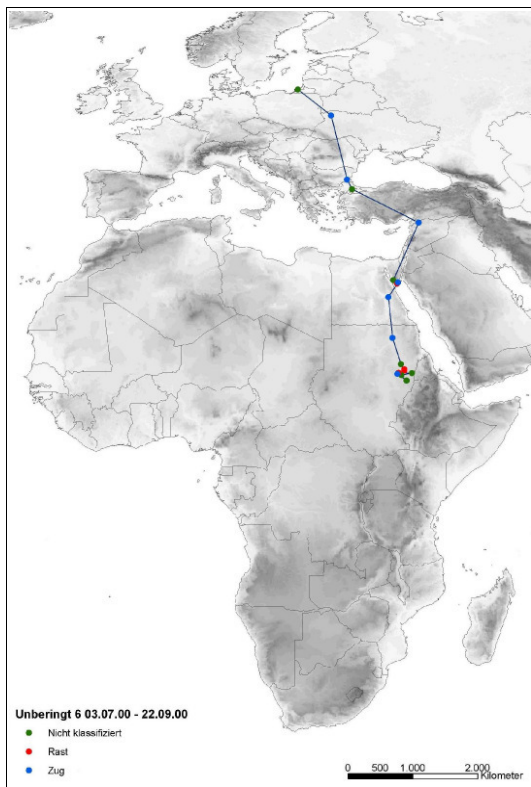


Abbildung 41: Unberingt 6

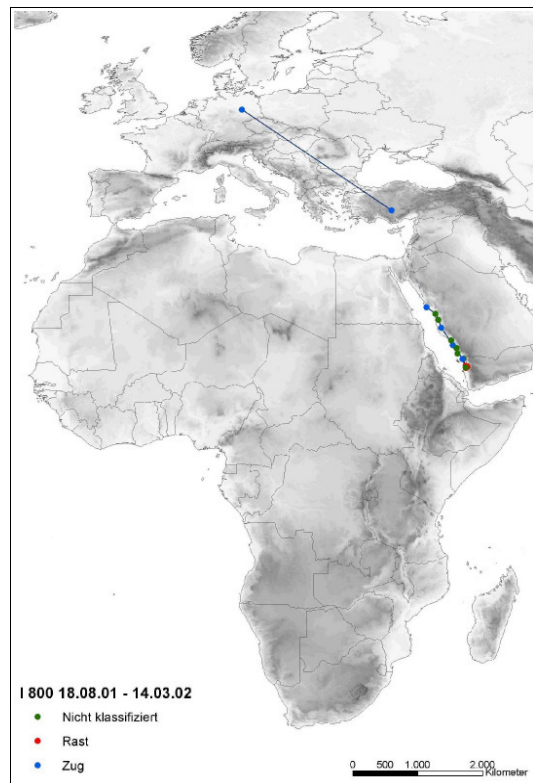


Abbildung 42: I 800

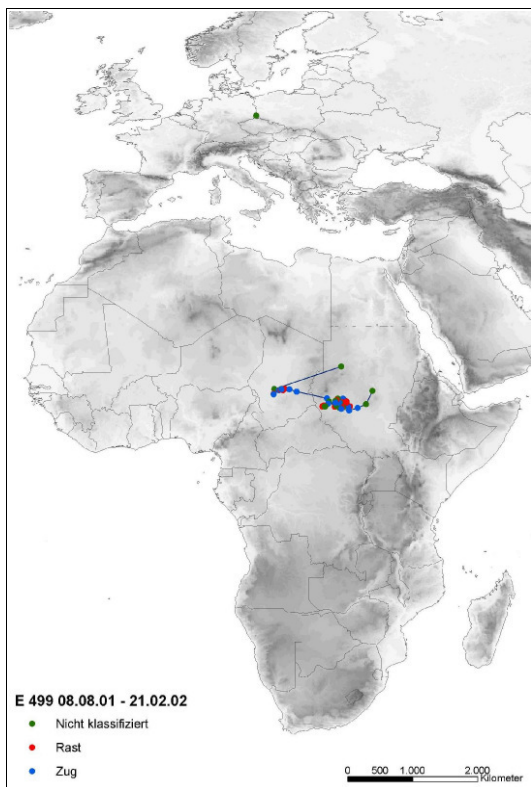


Abbildung 43: E 499

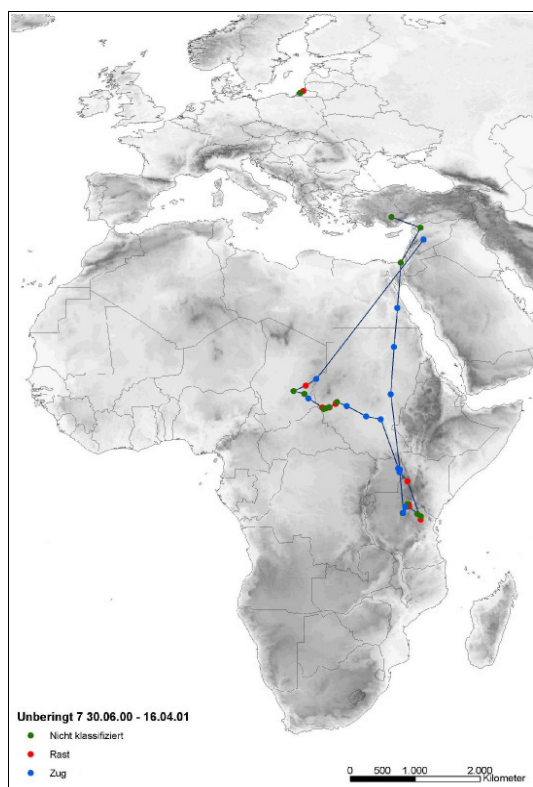


Abbildung 44: Unberingt 7

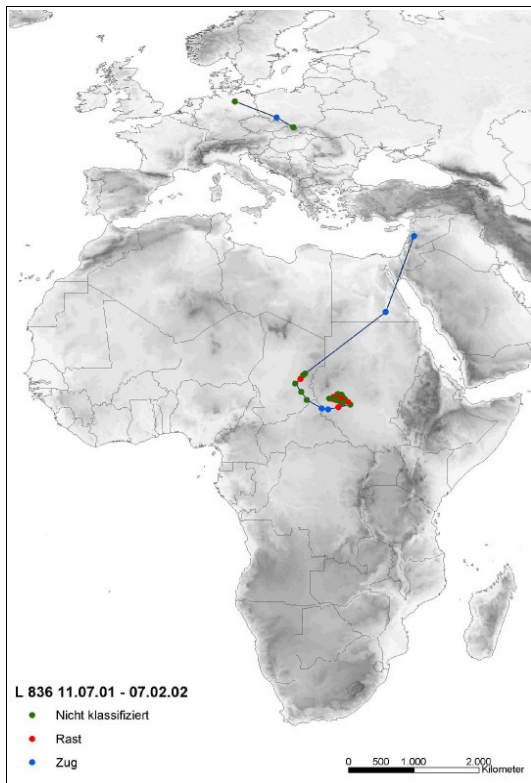


Abbildung 45: L 836

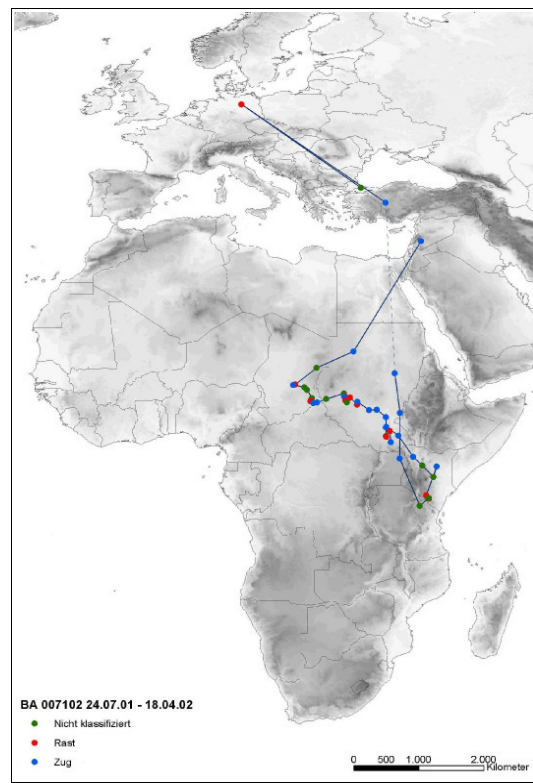


Abbildung 46: BA 007102 (2001-02)

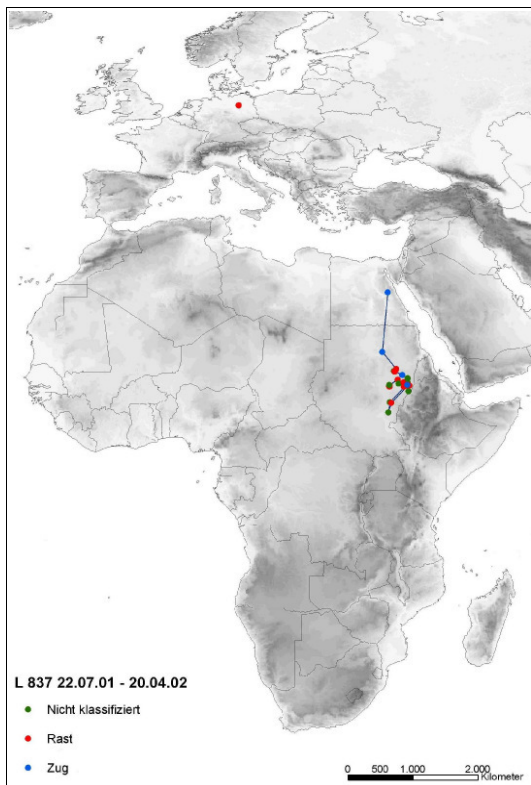


Abbildung 47: L 837 (2001-02)

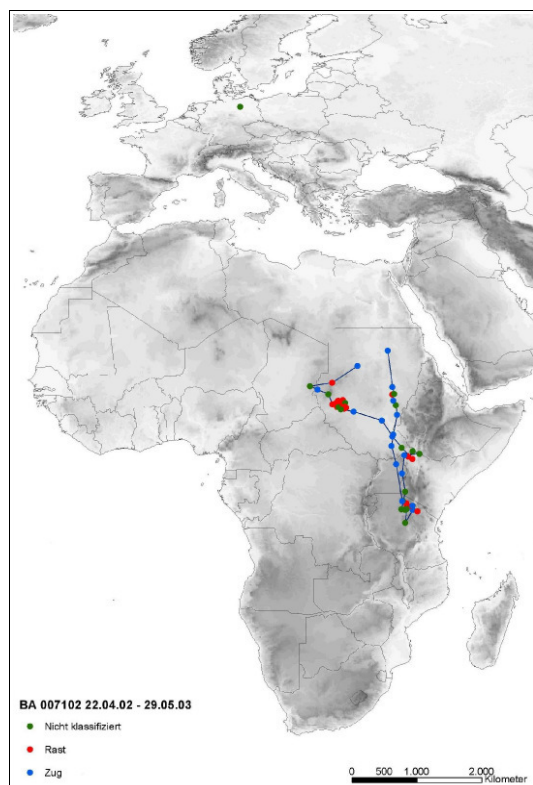


Abbildung 48: BA 007102 (2002-03)



Anhang I – Zugrouten der telemetrierten Vögel

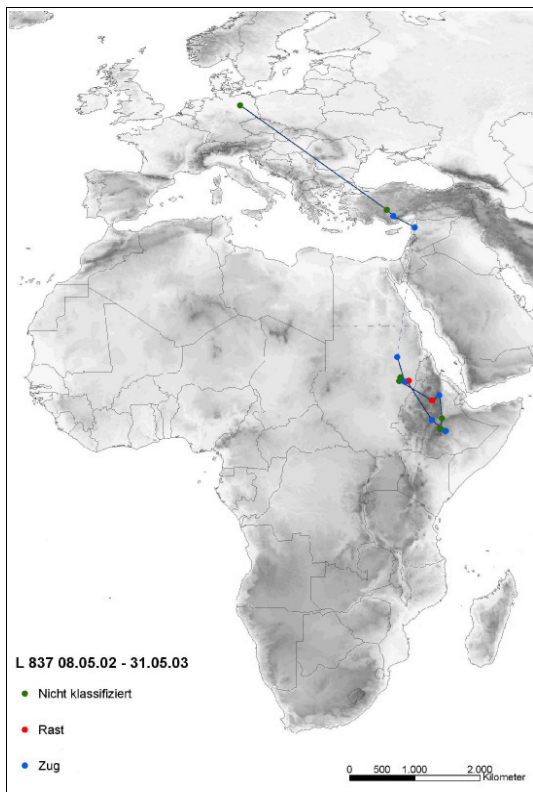


Abbildung 49: L 837 (2002-03)

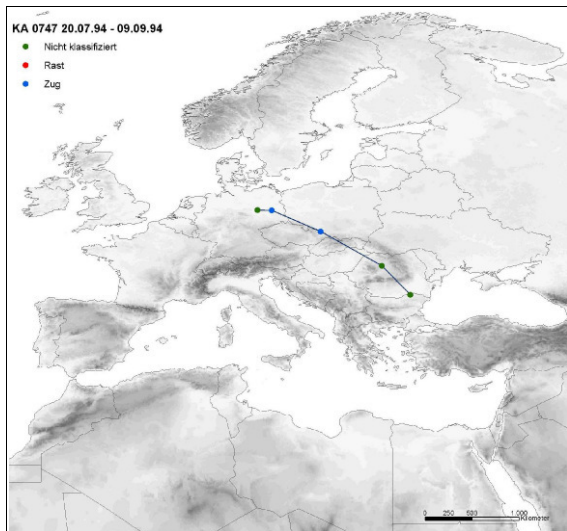


Abbildung 50: KA 0747

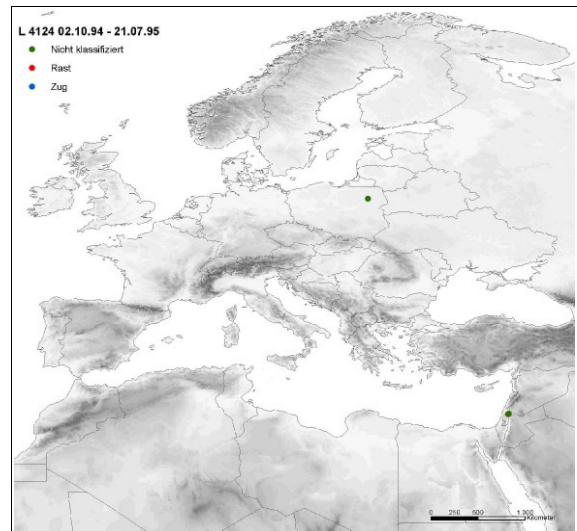


Abbildung 51: L 4124

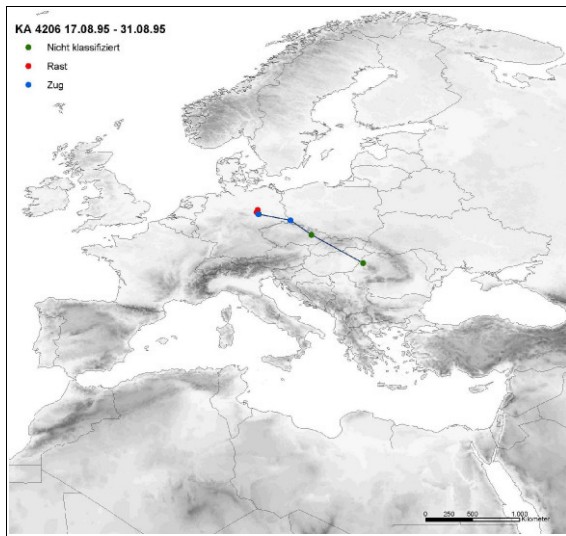


Abbildung 52: KA 4206

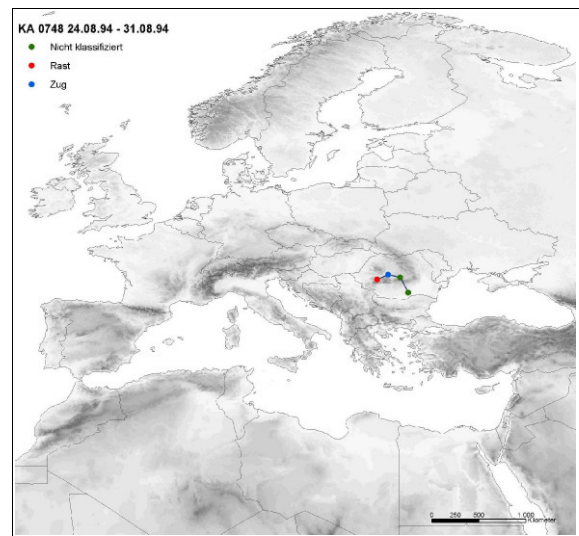


Abbildung 53: KA 0748

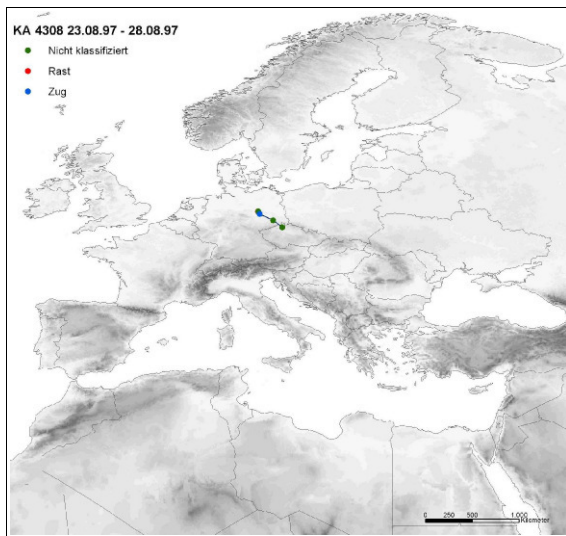


Abbildung 54: KA 4308

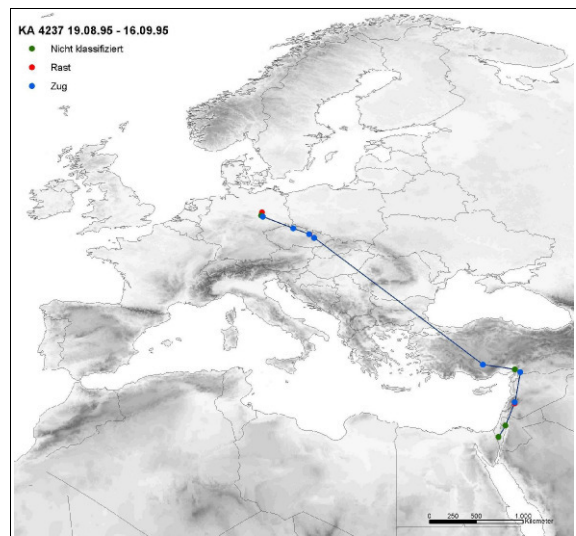
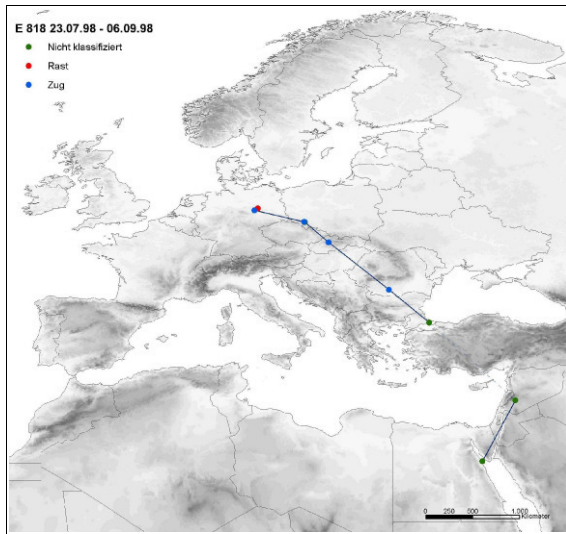
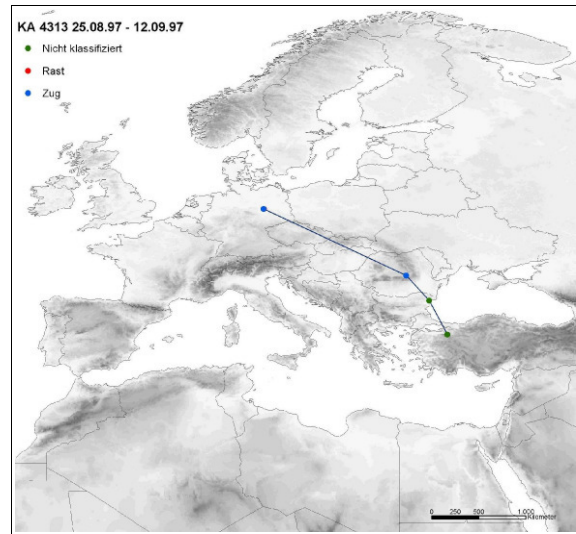


Abbildung 55: KA 4237

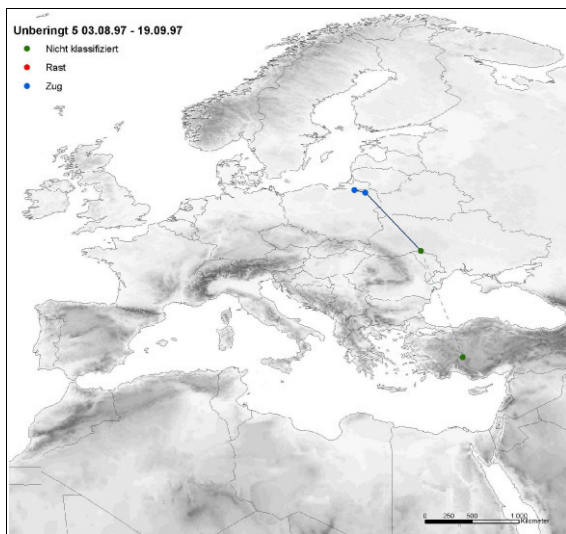
# Anhang I – Zugrouten der telemetrierten Vögel



**Abbildung 56: E 818**



**Abbildung 57: KA 4313**



**Abbildung 58: Unberingt 5**

Weißstorchzugrouten nach „Täglich“

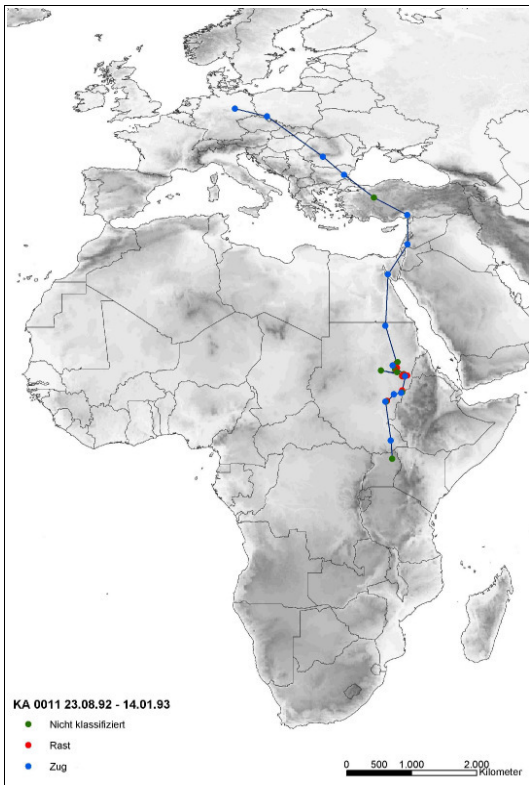


Abbildung 59: KA 0011

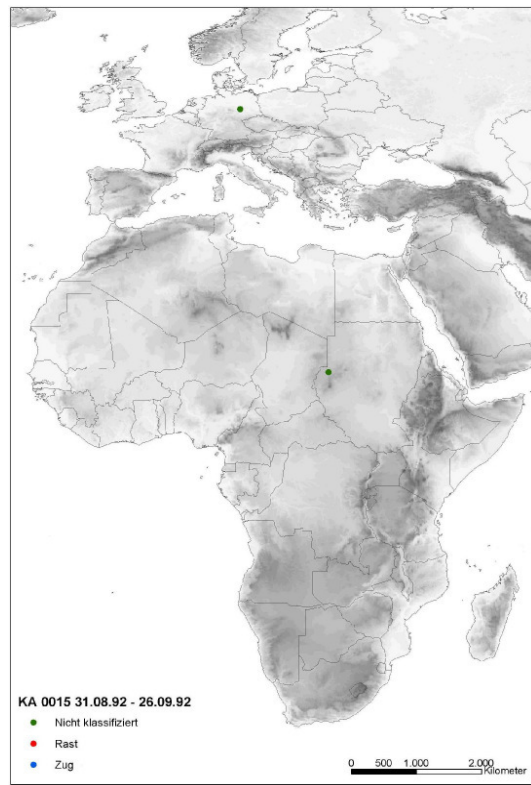


Abbildung 60: KA 0015

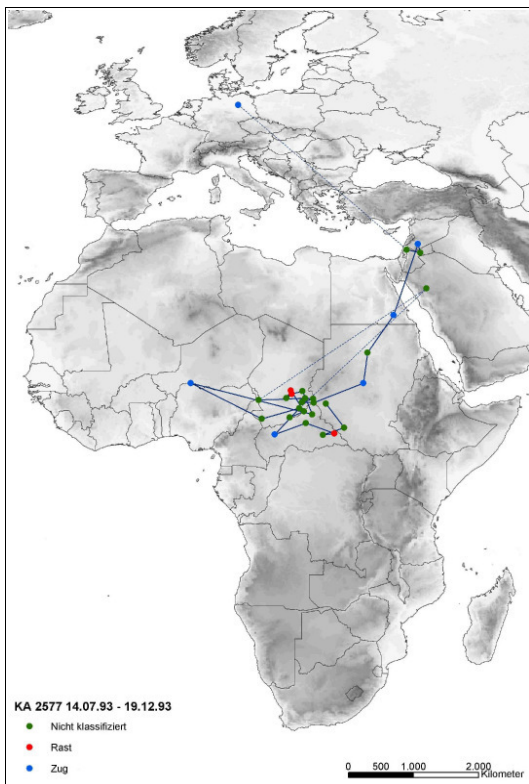


Abbildung 61: KA 2577

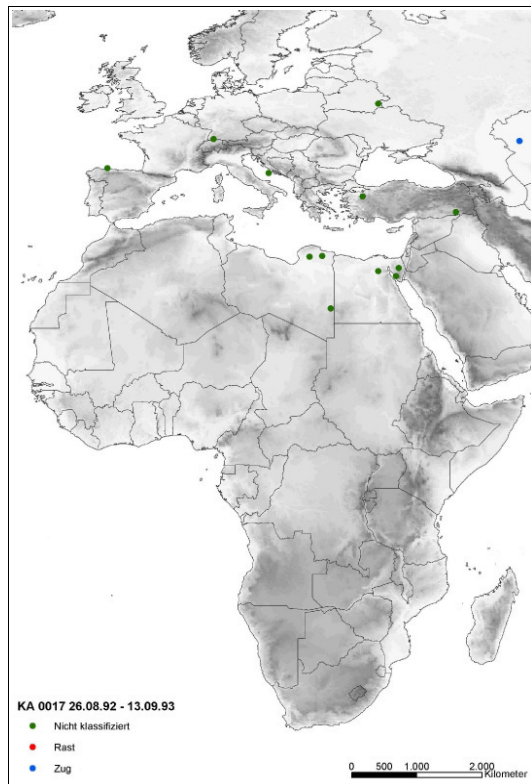


Abbildung 62: KA 0017

Anhang I – Zugrouten der telemetrierten Vögel

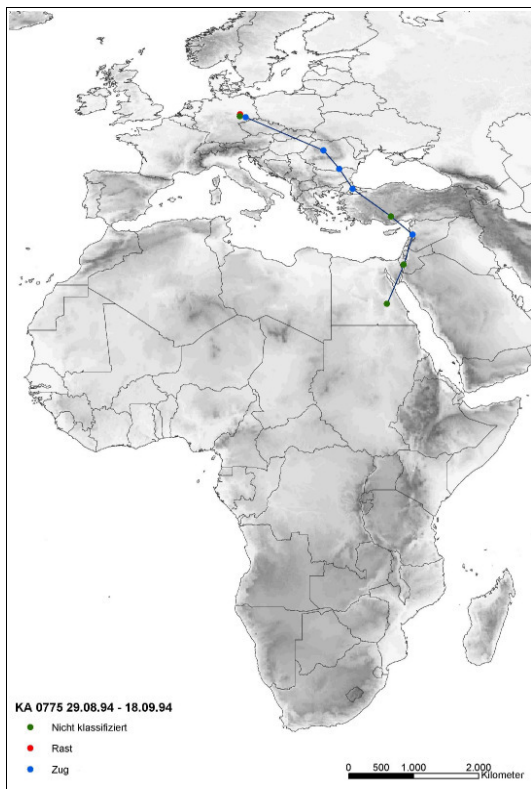


Abbildung 63: KA 0775

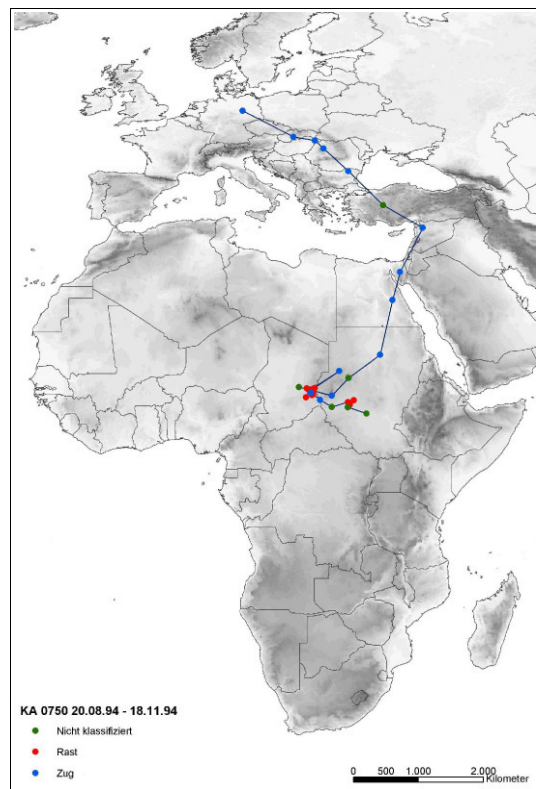


Abbildung 64: KA 0750

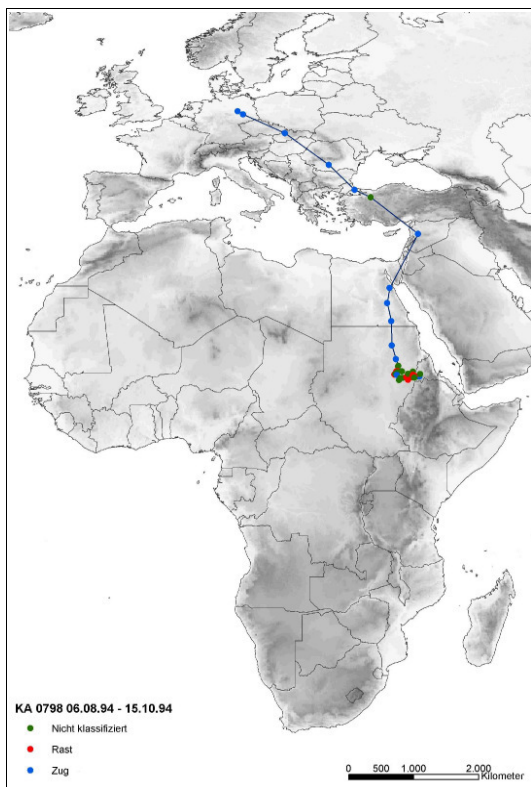


Abbildung 65: KA 0798

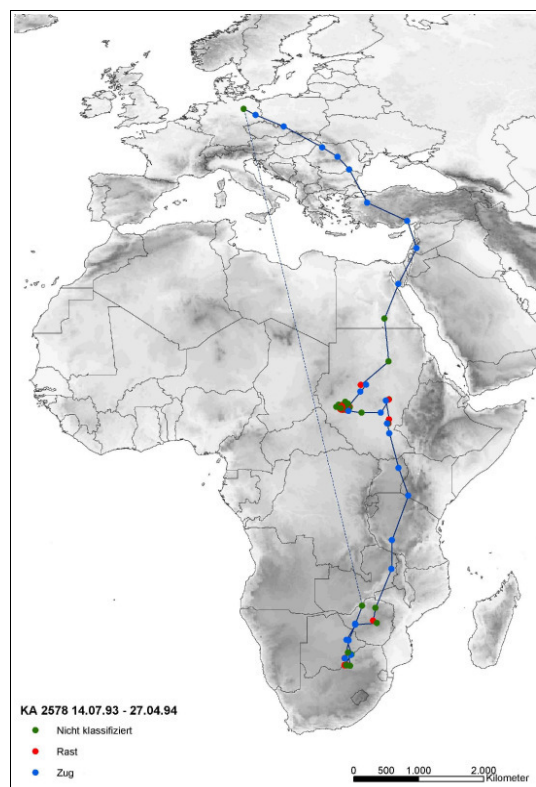


Abbildung 66: KA 2578

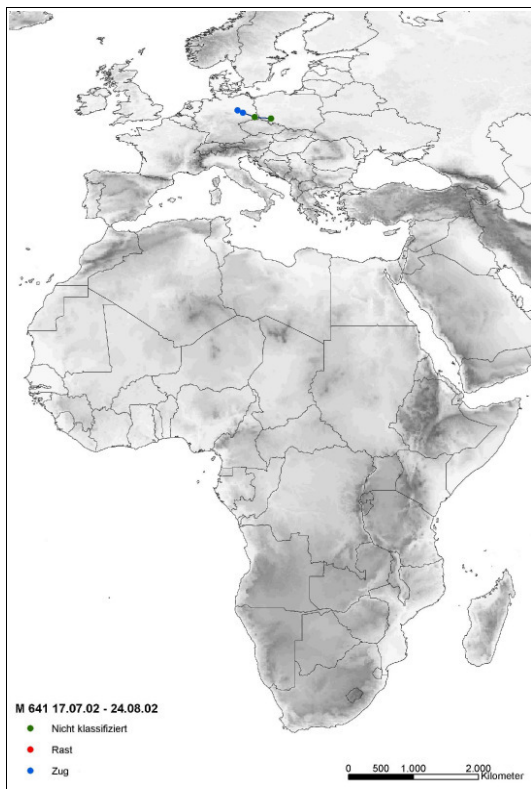


Abbildung 67: M 641

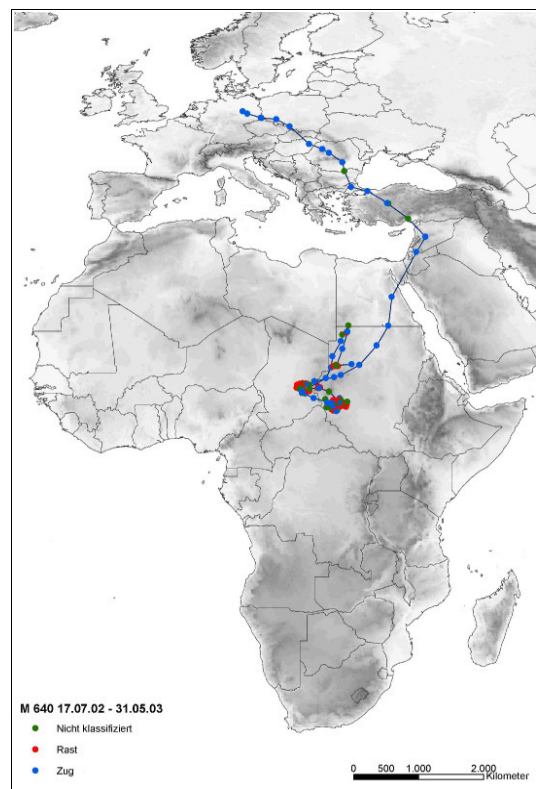


Abbildung 68: M 640

Schreiadlerzugrouten nach „Tagesbeste“

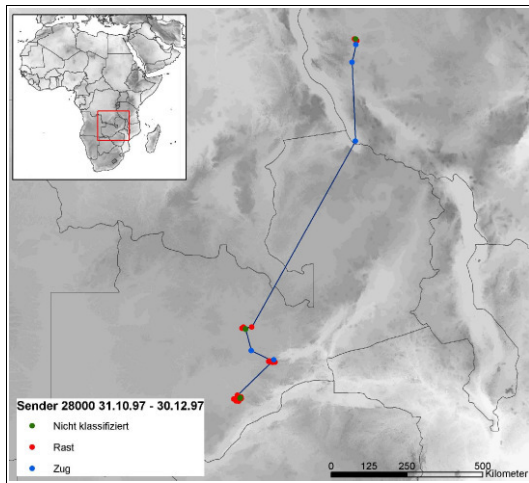


Abbildung 69: 28000

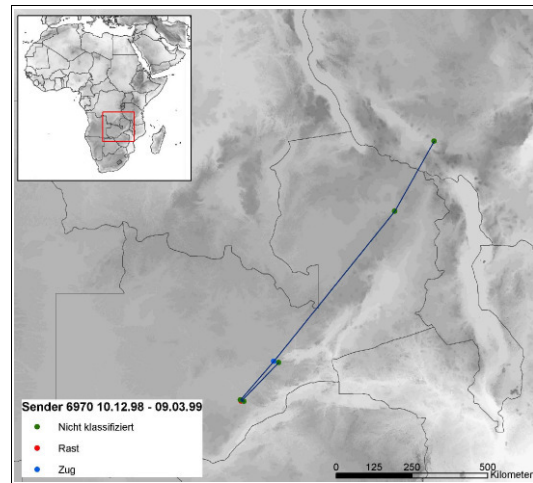


Abbildung 70: 6970

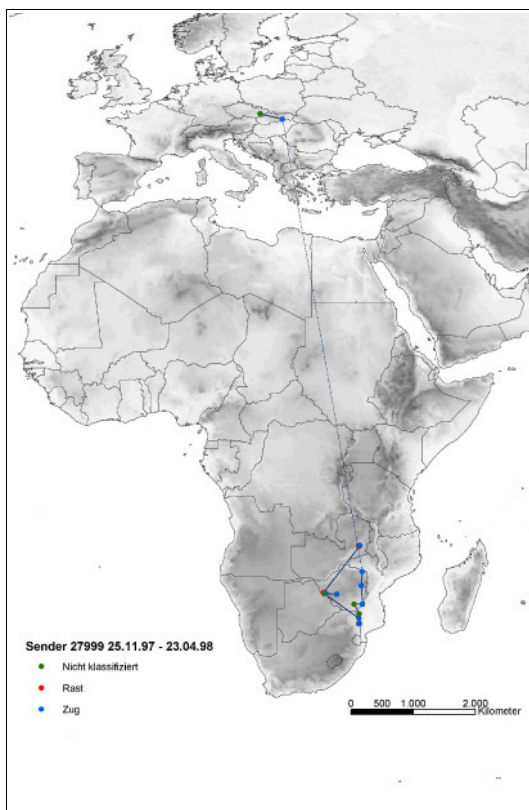


Abbildung 71: 27999 (1997-98)

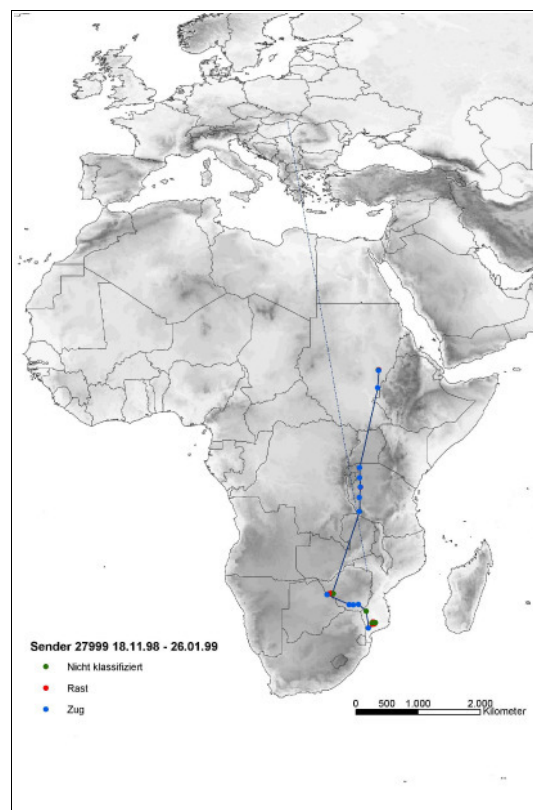


Abbildung 72: 27999 (1998-99)

**Anhang II - Übersicht der Weißstorch-Telemetriedaten je Individuum**

<i>RNr</i>	<i>SNr</i>	<i>Beginn</i>	<i>Ende</i>	<i>Tod</i>	<i>Ge</i>	<i>Alter</i>	<i>Tages- beste</i>	<i>Täglich</i>
B 6773	14554	23.08.91	02.10.91	19.09.91	?	juv	ja	
B 7006	14555	22.08.91	08.10.91	04.09.91	?	juv	ja	
B 6772	14557	23.08.91	07.10.91	17.09.91	?	juv		ja
KA 0015	14542	22.08.92	27.09.92		?	juv	ja	ja
KA 0017	14544	22.08.92	13.09.92		?	juv		ja
KA 0190	14545	22.08.92	08.09.92	07.09.92	?	juv		
KA 0013	14548	22.08.92	26.10.92	16.09.92	?	juv	ja	
KA 0014	14549	22.08.92	23.11.92	08.09.92	?	juv	ja	
KA 0011	14550	22.08.92	14.01.93		?	juv	ja	ja
Unberingt	14554	24.09.93	27.04.94		?	ad	ja	
KA 2577	14555	12.07.93	19.12.93		?	ad		ja
KA 2578	14556	13.07.93	27.02.94		m	ad		ja
KA 0697	14557	24.08.93	13.09.93	14.09.93	m	ad		
KA 0736	14559	29.08.93	16.01.94	08.09.93	?	juv		
KA 0747	14548	08.07.94	10.09.94		?	juv	ja	
KA 0776	14549	28.08.94	04.03.95		m	ad	ja	
KA 0750	14550	20.08.94	18.11.94		m	ad	ja	ja
	16991	15.07.96	03.12.96	01.12.96				
KA 0775	14551	28.08.94	18.09.94		f	ad		
KA 0749	14552	09.07.94	21.06.95		f	ad	ja	
	14543	23.08.97	27.04.98					
	14544	02.08.98	20.05.99					
	16906	31.07.01	31.05.03					
KA 0800	14555	06.08.94	04.05.95	01.05.95	m	ad	ja	
L 4124	14557	01.10.94	21.07.95		m	ad	ja	
KA 0798	14559	06.08.94	16.10.94		?	juv	ja	ja
L 4290	14542	18.09.95	26.01.96	06.12.95	?	ad	ja	
KA 4206	14543	17.08.95	08.10.95	02.09.95	?	juv	ja	
KA 4230	14545	17.08.95	09.09.95	27.08.95	?	juv	ja	
KA 4237	14549	19.08.95	21.12.95	17.09.95	?	juv	ja	



Anhang II - Übersicht der Weißstorch-Telemetriedaten je Individuum

<i>RNr</i>	<i>SNr</i>	<i>Beginn</i>	<i>Ende</i>	<i>Tod</i>	<i>Ge</i>	<i>Alter</i>	<i>Tages- beste</i>	<i>Täglich</i>
KA 0748	14553	08.07.94	12.09.94	01.09.94	?	juv	ja	
Unberingt 2	14550	28.07.95	06.11.95	06.11.95	f	ad	ja	
KA 4233	14558	19.08.95	07.11.95	09.09.95	?	juv	ja	
V 6498	14551	29.07.96	23.09.00	23.09.00	m	ad	ja	
V 6497	14552	27.07.96	23.05.97	18.05.97	?	ad	ja	
KA 4796	14554	21.08.96	23.12.96	23.12.96	?	juv	ja	
KA 4276	14555	01.08.96	20.06.97	21.11.96	m	ad	ja	
KA 4797	16994	25.08.96	16.11.96	10.11.96	?	juv	ja	
V 6495	16992	26.07.96	22.08.97	23.08.97	?	ad	ja	
L 4298	16994	28.08.96	17.04.97	27.03.97	?	ad	ja	
V 6496	16995	26.07.96	09.07.98	13.01.97	?	ad	ja	
KA 4313	8883	23.07.97	14.10.97		?	juv	ja	
KA 4308	8885	23.08.97	26.10.97	28.08.97	?	juv	ja	
L 4167	14542	08.09.97	06.11.98	19.09.97	?	ad	ja	ja
E 814	14544	16.08.97	25.08.97		?	juv	ja	
Unberingt 3	14546	02.08.97	07.09.97		?	ad	ja	
Unberingt 4	14548	31.07.97	22.02.98	22.02.98	?	ad	ja	
Unberingt 5	14549	01.08.97	13.10.97		m	ad	ja	
E 815	14553	17.08.97	26.10.97		m	ad	ja	
E 818	1980	23.07.98	18.10.98	07.09.98	?	juv	ja	
E 848	1979	31.07.98	22.04.01	11.01.01	?	ad	ja	
E 819	1981	23.07.98	28.10.99	22.05.99	?	juv	ja	
E 817	1982	23.07.98	26.06.99	26.06.99	?	juv	ja	
E 847	14546	30.07.98	22.02.99	22.02.99	?	ad	ja	
E 846	14552	27.07.98	29.02.00	01.03.00	?	ad	ja	
E 849	14555	01.08.98	29.04.02		?	ad	ja	
E 942	14543	07.07.99	17.08.99	18.08.99	?	juv	ja	
E 876	14545	07.07.99	03.08.99	03.08.99	?	juv	ja	
KA 4343	14545	12.08.99	30.08.99	30.08.99	?	juv		
E 877	16993	07.07.99	01.09.99		?	juv	ja	
Unberingt 6	14544	30.06.00	30.09.00	24.09.00	?	juv	ja	
Unberingt 7	14545	30.06.00	04.06.02		?	juv	ja	
Unberingt 8	14546	12.07.00	13.09.00	13.09.00	?	juv	ja	

Anhang II - Übersicht der Weißstorch-Telemetriedaten je Individuum

<i>RNr</i>	<i>SNr</i>	<i>Beginn</i>	<i>Ende</i>	<i>Tod</i>	<i>Ge</i>	<i>Alter</i>	<i>Tages- beste</i>	<i>Täglich</i>
L 836	16893	11.07.01	09.03.02	10.02.02	?	ad	ja	
BA 007102	16895	17.07.01	31.05.03		m	ad	ja	
L 837	16896	20.07.01	31.05.03		f	ad	ja	
E 499	16904	25.07.01	20.11.02	24.02.02	?	ad	ja	
I 800	14549	18.08.01	28.05.02	20.03.02	?	ad	ja	
M 640	36148	17.07.02	31.05.03		?	juv	ja	ja
M 641	36151	17.07.02	31.08.02	25.08.02	?	juv	ja	ja

**RNr** Ringnummer des Storchs

**SNr** Sendernummer

**Beginn** Beginn der Besenderung nach KAATZ (2004)

**Ende** Letztes Signal der hier verwendeten Daten, längstens bis 31.05.2003

**Tod** vermutlicher Todeszeitpunkt des Storchs (nur wenn anhand der Telemetriedaten bestimmbar)

**Ge** Geschlecht (falls bestimmbar) m= maskulin, f= feminin

**Alter** juv = juvenil, Besenderung im ersten Lebensjahr, ad = adult, Besenderung nach dem ersten Lebensjahr

**Tagesbeste** Telemetriedaten des Storchs sind im Standarddatensatz („Tagesbeste“) enthalten (nur Positionen mit einer maximalen Fehllokalisierung von 5 km, Bodenkoordinaten und je eine Position pro Tag)

**Täglich** Telemetriedaten des Storchs wurden zusätzlich auf Basis des „Täglich“-Datensatzes ausgewertet (wenn vorhanden pro Tag eine Position, möglichst nach den obigen Kriterien)

## Anhang III – Lage der Rast- und Zugdaten nach Idist

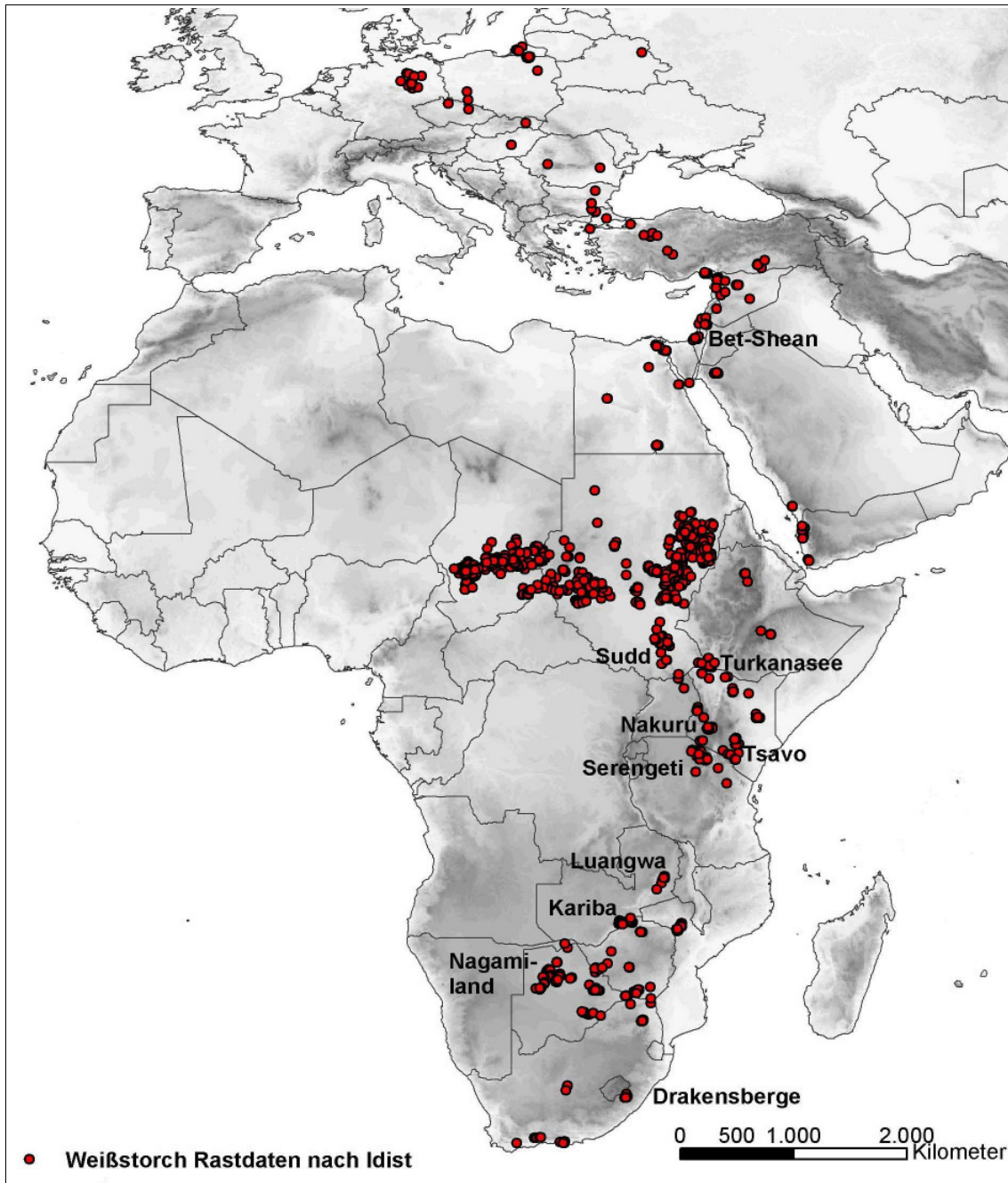


Abbildung 1: Rastdaten des Weißstorchs nach  $I_{dist}$

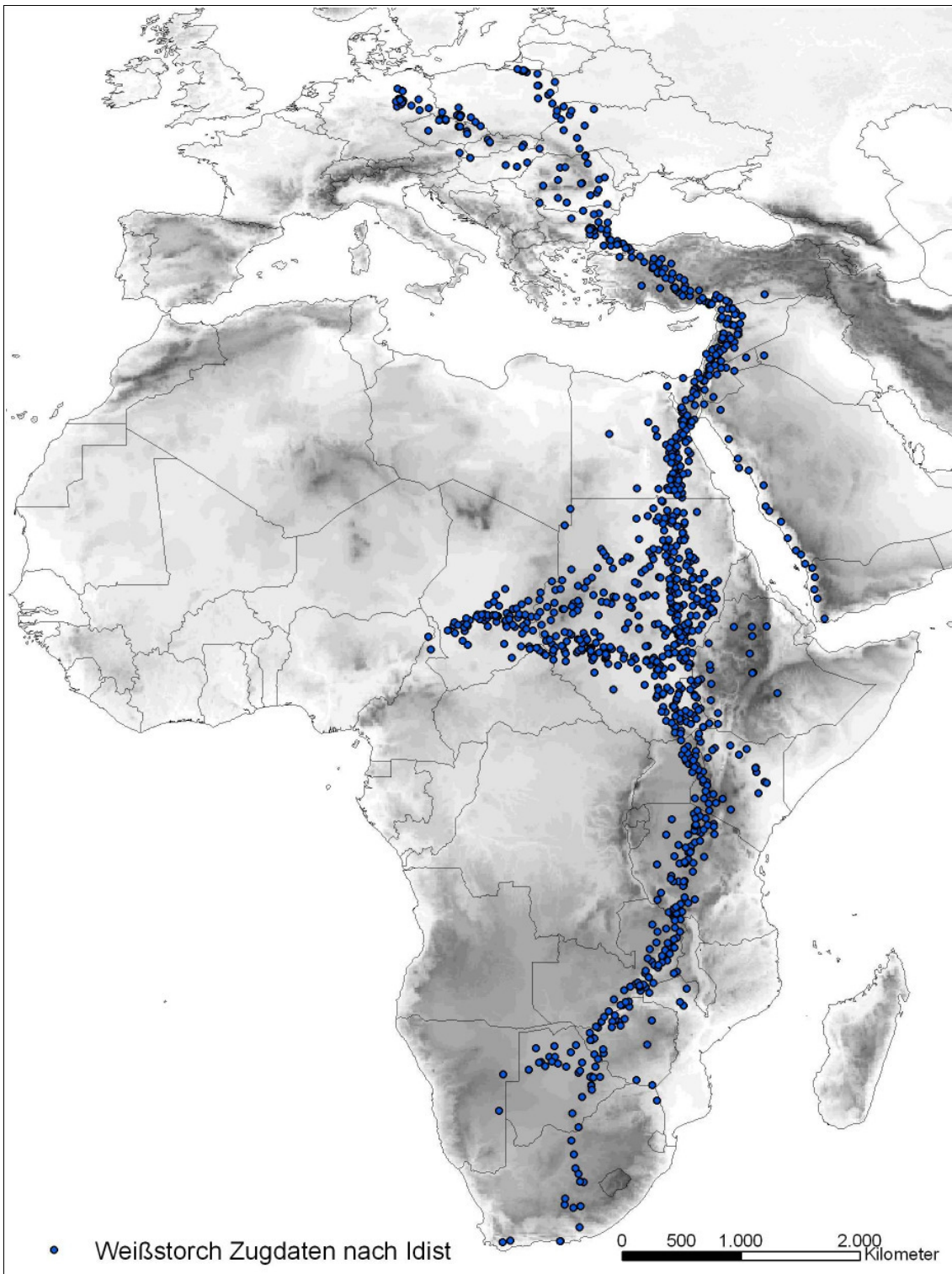


Abbildung 2: Zugdaten des Weißstorchs nach Idist

## Anhang IV – NDVI in den Rastregionen der Störche

Die hier dargestellten Grafiken zeigen zu den Erläuterungen in den Kapiteln 3.2.5 a-b die Dynamik des NDVI in den jeweiligen Rastregionen der Weißstörche (Sahel, Ost- und Südafrika).

Die Abbildungen 1-4 zeigen dabei die NDVI-Unterschiede im Jahresverlauf, beispielhaft für die Jahre 1998 und 1999. Die Abbildungen 5-8 zeigen die Unterschiede im NDVI zwischen den Jahren, beispielhaft für die Monate September und Dezember.

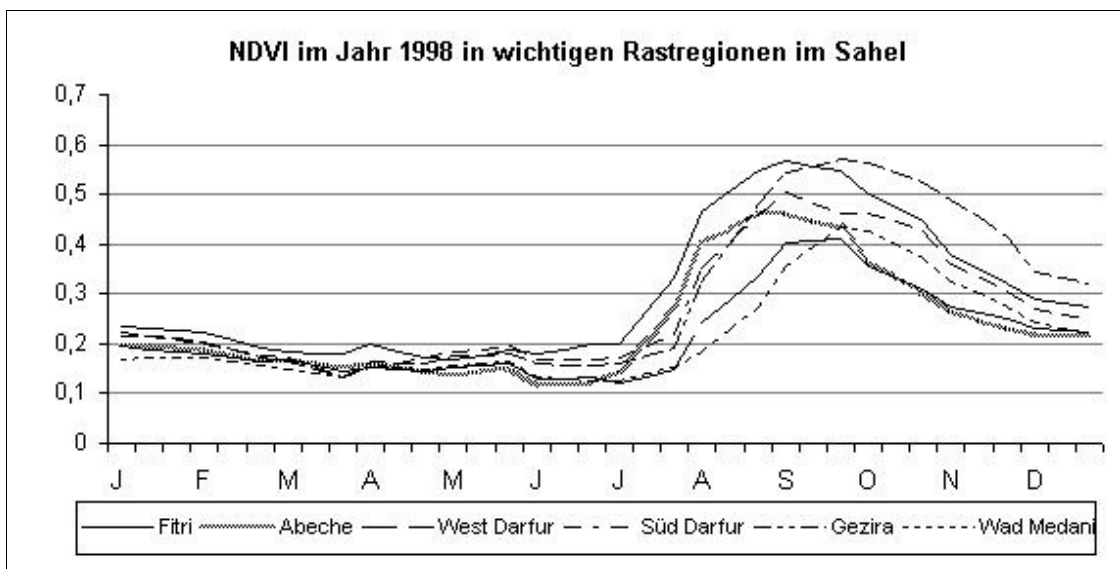


Abbildung 1: NDVI im Jahr 1998 in den wichtigen Rastregionen des Weißstorchs im Sahel

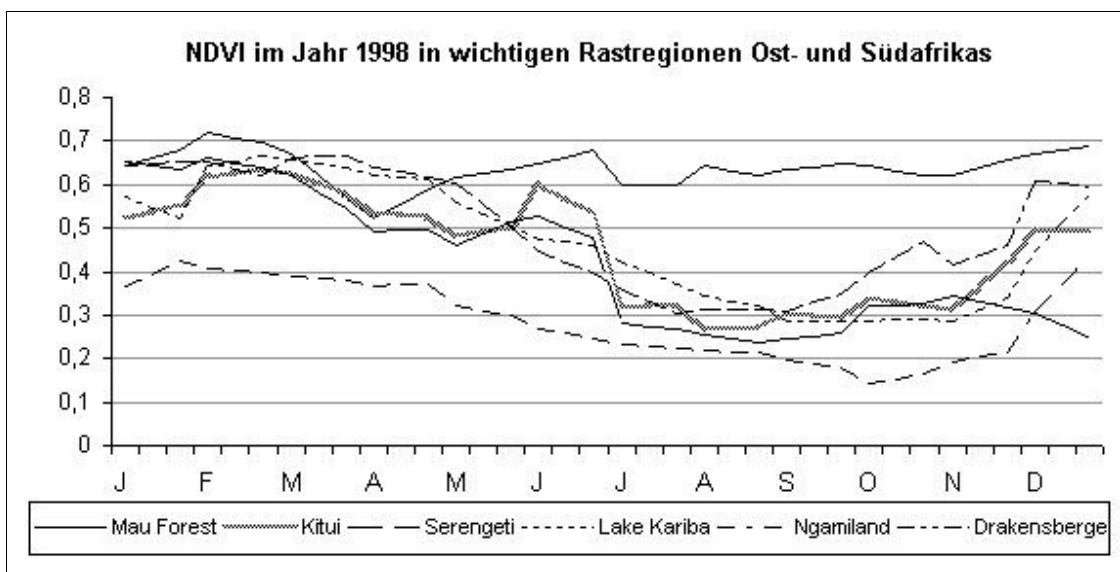


Abbildung 2: NDVI im Jahr 1998 in den wichtigen Rastregionen des Weißstorchs in Ost- und Südafrika

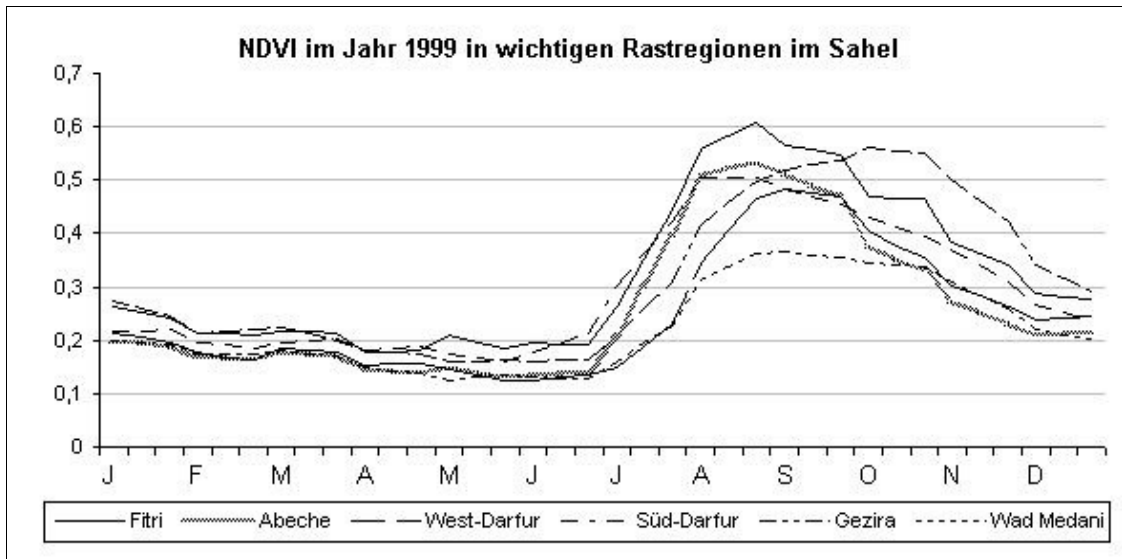


Abbildung 3: NDVI im Jahr 1999 in den wichtigen Rastregionen des Weißstorchs im Sahel

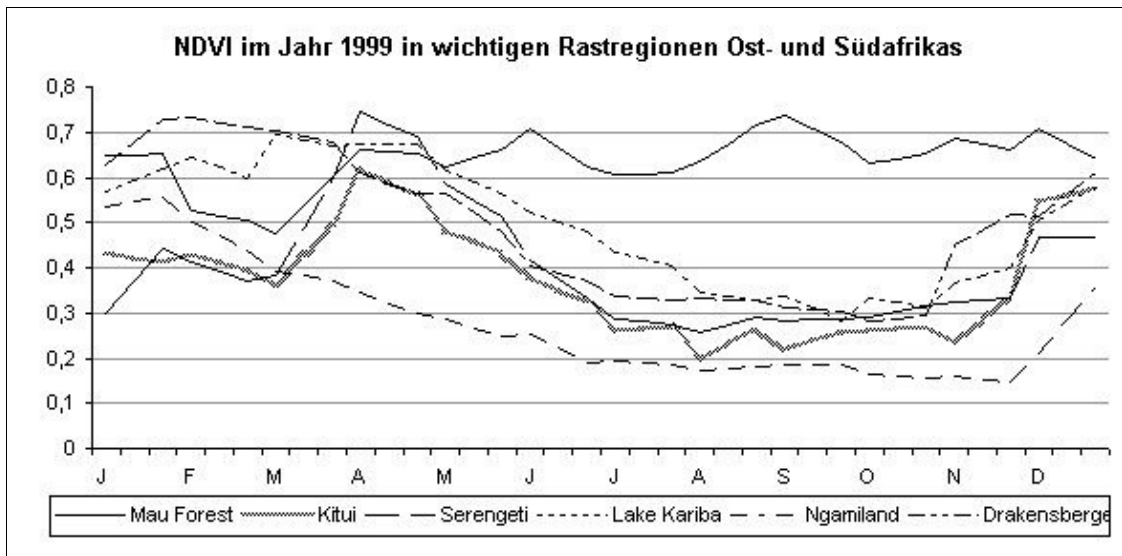


Abbildung 4: NDVI im Jahr 1999 in den wichtigen Rastregionen des Weißstorchs in Ost- und Südafrika

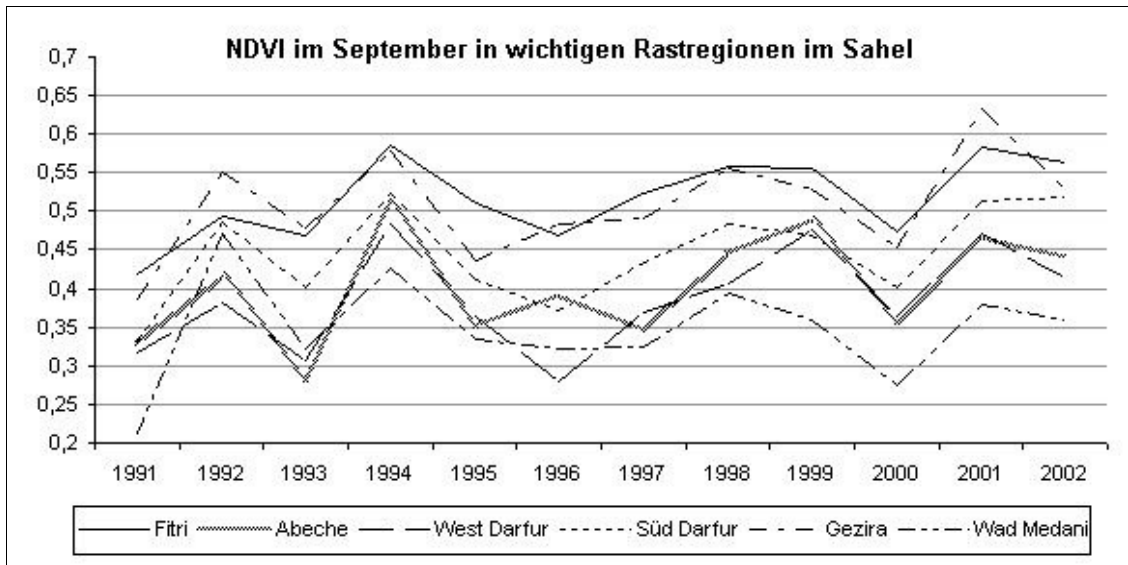


Abbildung 5: NDVI im September in den wichtigen Rastregionen des Weißstorchs im Sahel

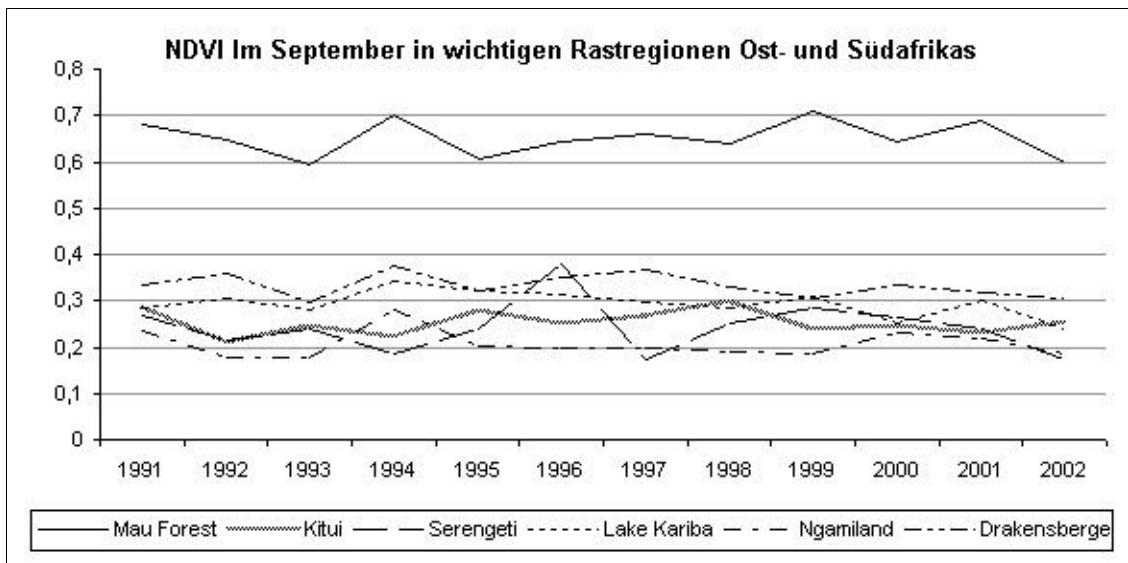


Abbildung 6: NDVI im September in den wichtigen Rastregionen des Weißstorchs in Ost- und Südafrika

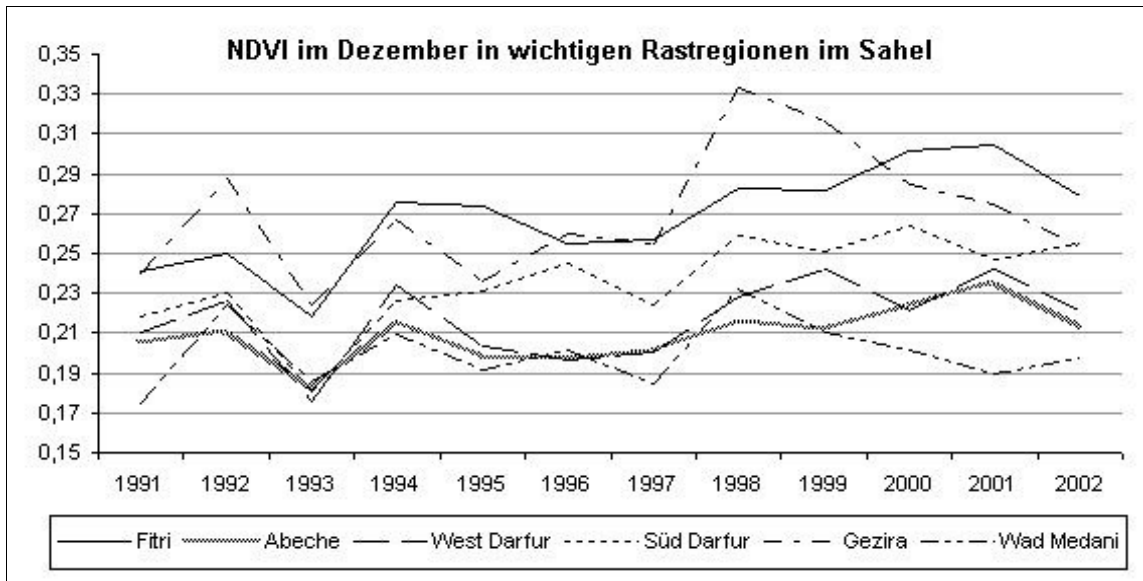


Abbildung 7: NDVI im Dezember in den wichtigen Rastregionen des Weißstorchs im Sahel

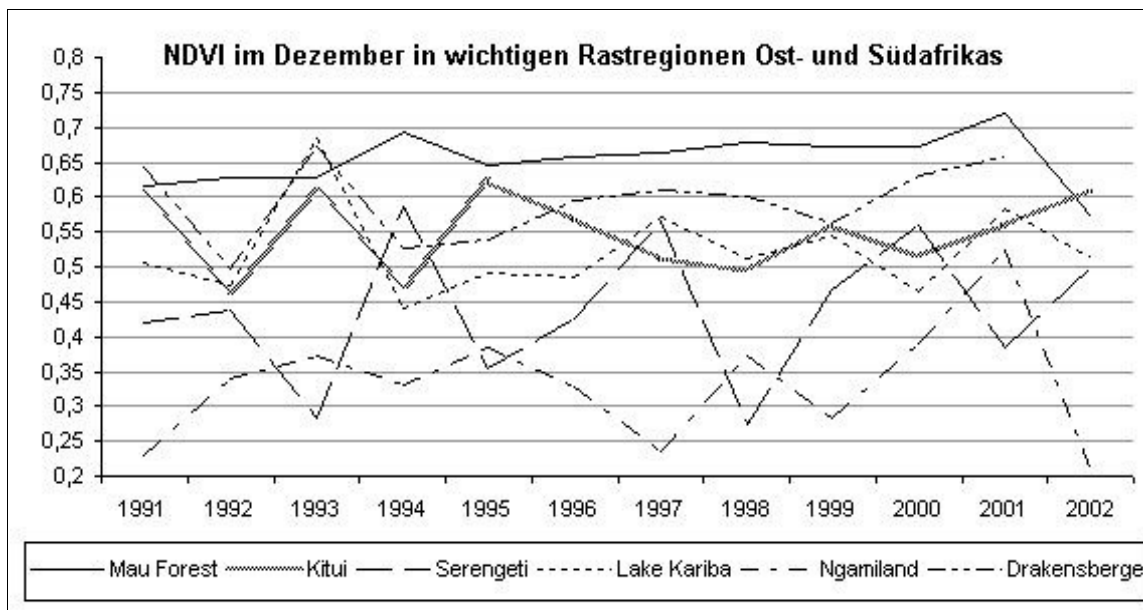


Abbildung 8: NDVI im Dezember in den wichtigen Rastregionen des Weißstorchs in Ost- und Südafrika



## Anhang V – NDVI im Sahel und Präsenz der Störche

In diesem Anhang sind weitere Grafiken zu Kap 3.2.5.c enthalten. Dargestellt ist der mittlere NDVI einer Region im Verlauf der Jahre von August 1994 bis einschließlich April 2003. Aus Gründen der Übersicht wurden die Monate, in denen sich die Weißstörche im Brutgebiet aufhalten, übersprungen, so dass jeweils eine Zugperiode von August bis April dargestellt wird.

Die grauen Balken markieren die Präsenz von Weißstörchen im Gebiet. Diese wird als prozentualer Anteil an allen Störchen, die sich zu diesem Zeitpunkt in Afrika befinden, dargestellt.

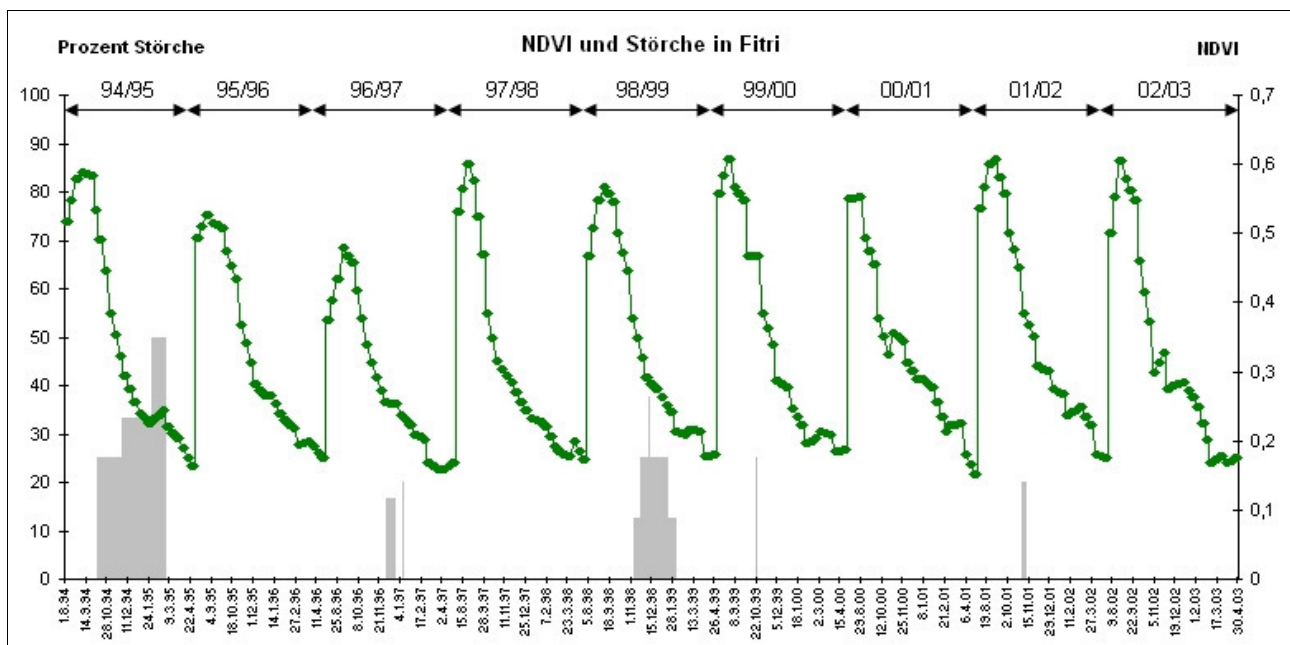


Abbildung 1: NDVI-Verlauf und Präsenz von Weißstörchen in der Rastregion Fitr

Anhang V – NDVI im Sahel und Präsenz der Störche

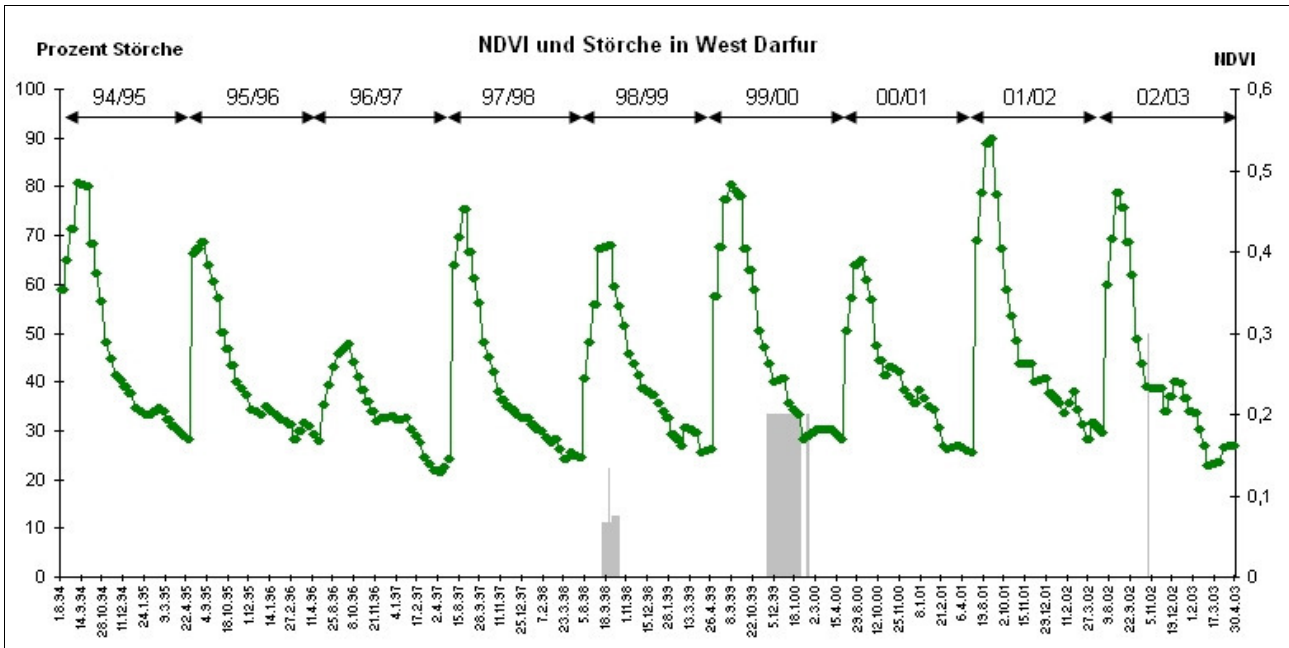


Abbildung 2: NDVI-Verlauf und Präsenz von Weißstörchen in der Rastregion West-Darfur

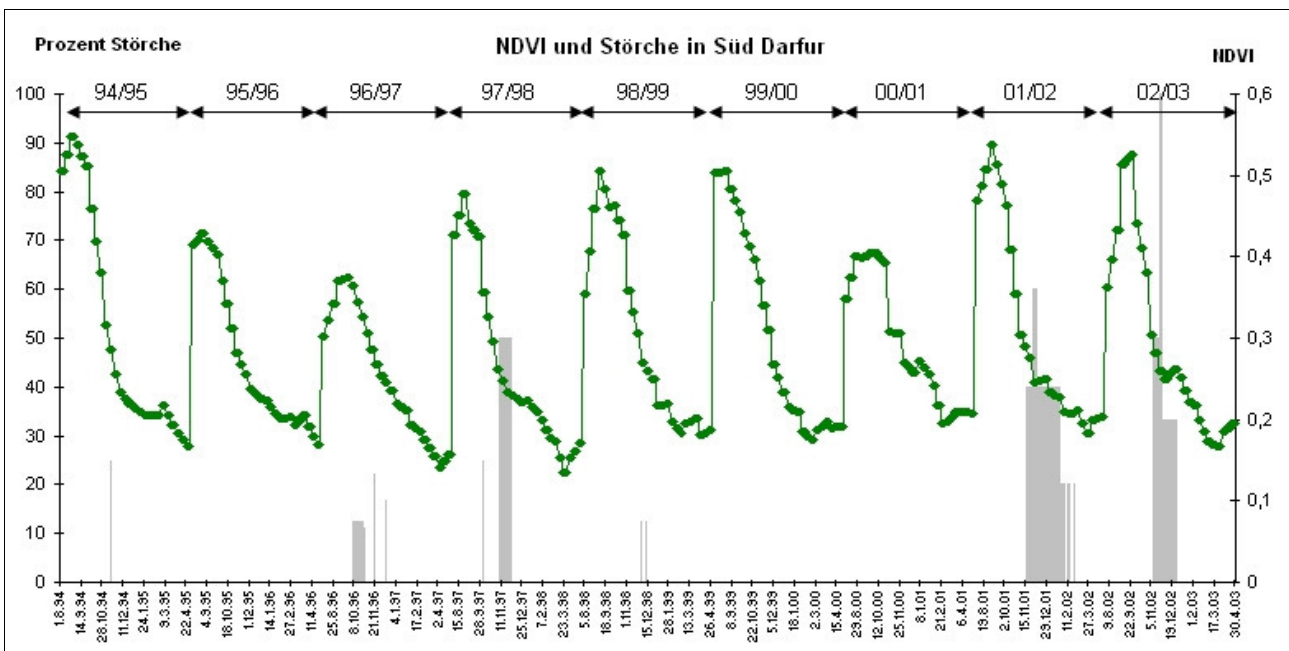


Abbildung 3: NDVI-Verlauf und Präsenz von Weißstörchen in der Rastregion Süd-Darfur

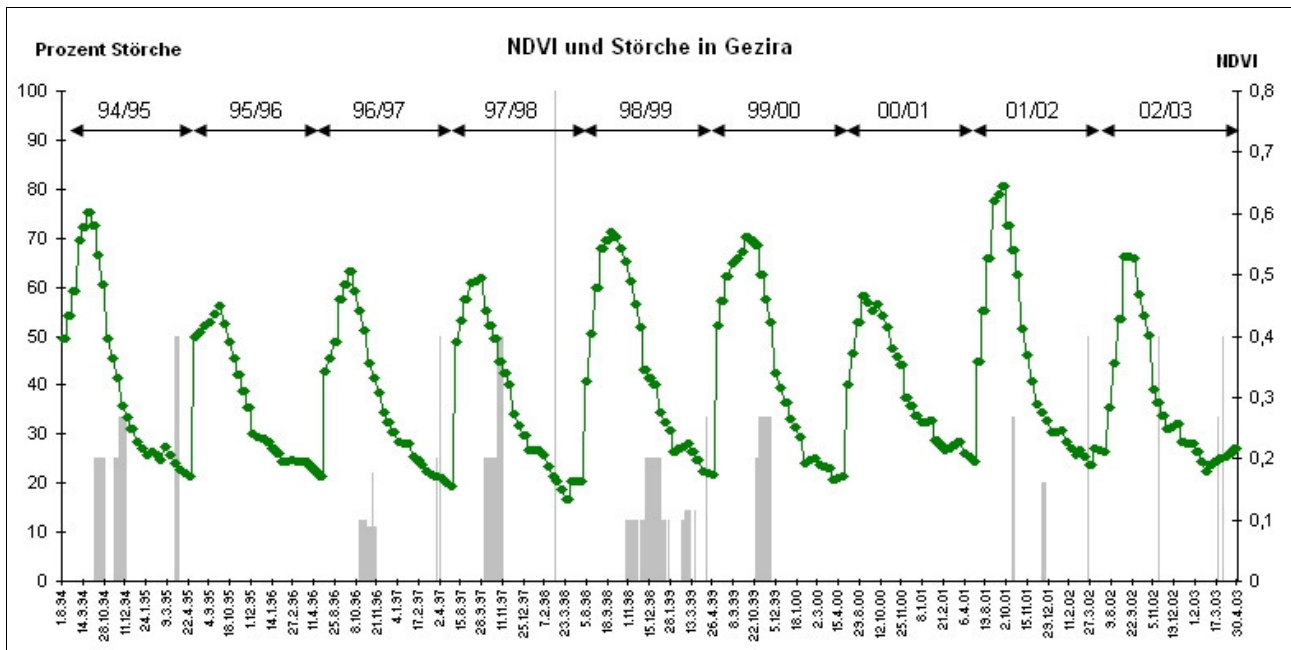


Abbildung 4: NDVI-Verlauf und Präsenz von Weißstörchen in der Rastregion Gezira

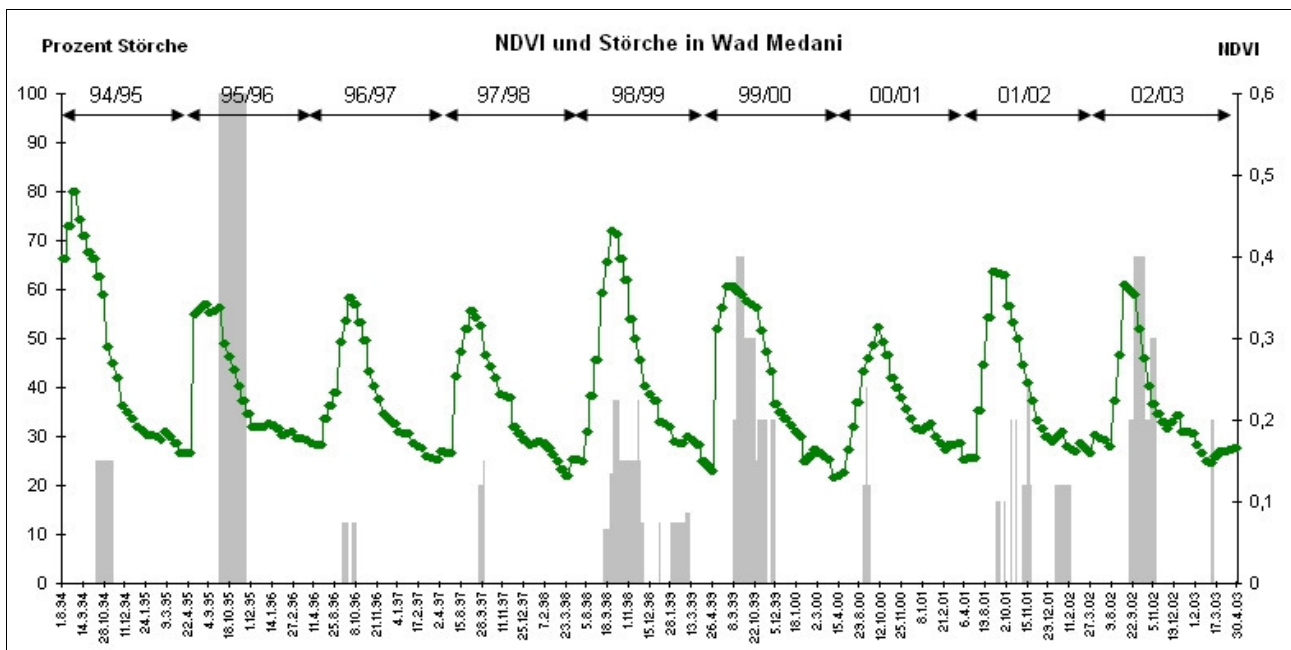


Abbildung 5: NDVI-Verlauf und Präsenz von Weißstörchen in der Rastregion Wad Medani

Anhang V – NDVI im Sahel und Präsenz der Störche

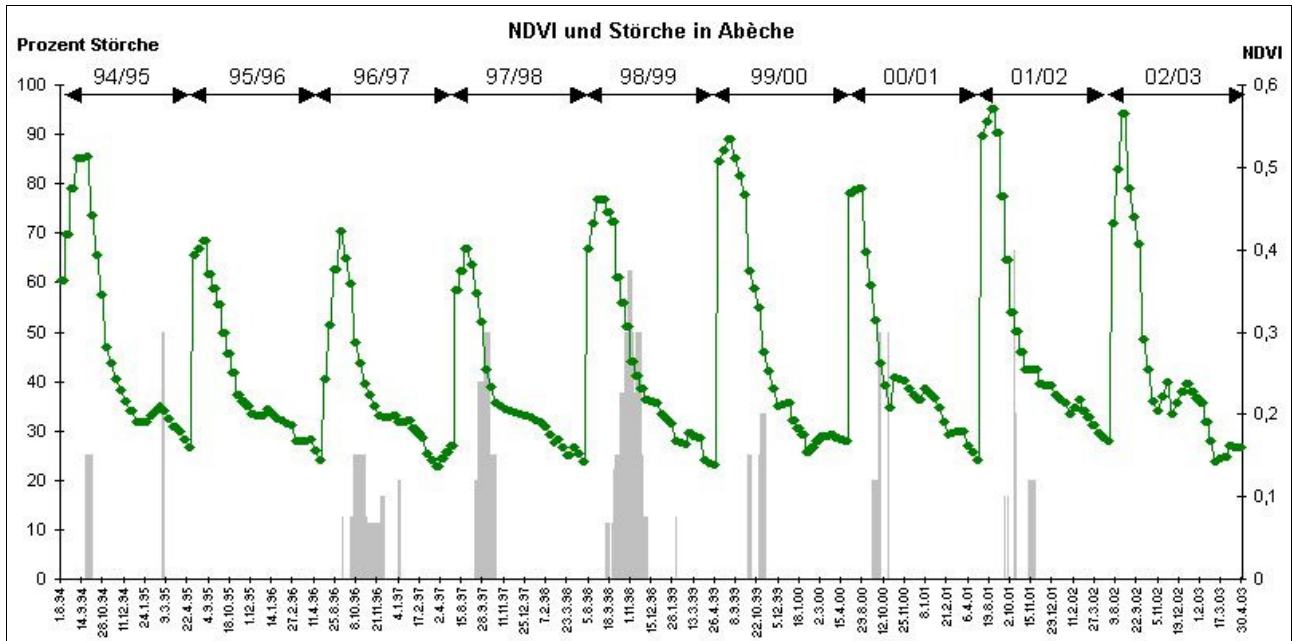


Abbildung 6: NDVI-Verlauf und Präsenz von Weißstörchen in der Rastregion Abèche

## Anhang VI - Habitatklassen in Botswana und Südafrika

### F-Klasse: Felder, landwirtschaftliche Nutzung, strukturarm

**F1 Maisfelder**

**F2 Erdnussfelder**

Felder sind meist über 1 km<sup>2</sup> groß, zum Teil stehen an den Rändern kleine (einreihige) Baumgruppen, insgesamt ist dieser Habitattyp nur in intensiven Landwirtschaftsregionen zu finden



**F3 Verschiedene Anbautypen**

**F4 Brachen, Äcker**

Hier ist meist der Untergrund zu sehen, die Äcker befinden sich in der Bearbeitung und es ist noch keine Feldfrucht sichtbar



**F5 Gemisch aus Grasflächen, Weiden und Äckern**

Kann eine reicher strukturierte Landschaft sein; z.T. ist nicht erkennbar, ob es sich bei den Grasflächen um beweidete Flächen handelt, jedoch ist eine Nutzung sichtbar (Heu, Mahd) zwischen den Flächen auch einzelne Baumreihen möglich



**G-Klasse: Grasland, offene Habitate**

**G1 Grasflächen**

Hauptbedeckung natürliche  
Grasflächen; höchstens sehr vereinzelt  
Bäume o. Büsche; statt Gras kann der  
Boden auch mit bodendeckenden  
Polsterpflanzen bedeckt sein (Foto 2)



**G2 Feuchtbiotope**

Tümpel oder Flussläufe

Periodisch oder stetig mit Wasser gefüllt, zum Zeitpunkt der Datenaufnahme mindestens erkennbar feucht, oft mit dichterem, höherem Galeriewald umgeben



**B-Klasse: Busch- oder Waldhabitats, strukturreicher**

**B1 Bebuschung/Bewaldung niedrig, <5m**

z.T. niedriger Trockenwald

Baumbedeckung mindestens 80 %



**B2      Bebuschung/Bewaldung höher,  
            >5m**

Baumbedeckung mindestens  
80 %

Zumeist Mopane-Wälder des  
Okawangodeltas, aber auch  
Akazienbusch



**B3      Kiefernwald, Hartlaubwald**

Dieses Habitat ist meist mit anderen  
Habitaten kombiniert (im Bild mit G2  
und F5)



**S-Klasse: Savannenlandschaften, strukturreich**

**S1      Savanne, offene Busch- oder  
            Baumlandschaft**

Weder Bäume noch Grasland  
dominant, es handelt sich insgesamt  
um eine offene Landschaft, die Bäume  
können hoch oder niedriger sein, ihr  
Bestand ist jedoch stets aufgelichtet





**M-Klasse: Mosaikflächen, Siedlungen, verschiedene Nutzung**

**M1 Landwirtschaft/ Buschland**

Gemischte Flächen mit landwirtschaftlicher Bewirtschaftung und größeren Anteilen Buschland



**M2 Siedlungsbereich und nähere Umgebung**

Siedlungen jeglicher Art: Hüttenansammlungen, kleine Dörfer oder Städte, meist verschiedene Habitattypen wie Buschland, Felder und Weiden auf kleinem Raum zusammen



**M3 Grasland/ Buschland**

(offene Grasflächen in sonst geschlossenem Busch)

geschlossene Busch-/Waldflächen wechseln mit offenen Grasflächen ab



**O-Klasse: Offene Flächen ohne Vegetation (Salzpfannen)**

**O1 Kaum Vegetation**

Meist handelt es sich um Salzpfannen oder ausgetrocknete Seen, deren Boden nun versalzt ist



## Anhang VII - Beschreibung der Landbedeckungsklassen

in der Global Landcover-Karte Afrikas (GLC 2000) nach MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. (2003)

<i>GLC Klasse (Nummer im Grid)</i>	<i>Beschreibung in MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. 2003</i>
Immergrüner Tieflandwald (1)	Wald in Höhen bis zu 1000 m über NN mit einer Bestandsdichte über 70 % und einer Baumhöhe über 5 m, keine Saisonalität Hauptsächlich in Zentralafrika und Westafrika
Immergrüner Tieflandwald, degradiert (2)	Wald in Höhen bis zu 1000 m mit einer Bestandsdichte zwischen 40 % und 70 %, Baumhöhe über 5 m
Submontaner Bergwald (3)	Wald in einer Höhe >900 m über NN
Montaner Bergwald (4)	Wald in einer Höhe >1500 m über NN
Auwald (5)	Immergrüner Wald, der periodisch oder permanent unter dem Einfluss von Frischwasser steht Kongobecken
Mangroven (6)	Waldformation unter permanentem Einfluss von Salzwasser Atlantikküste Afrikas
Mosaik Wald/ Kulturflächen (7)	Sekundärwaldformationen, Gemisch aus Sekundärwald, Gärten und Anpflanzungen entlang von Straßen Zentralafrika
Mosaik Wald/ Savanne (8)	Wald- und Savannenelemente, auch Galeriewälder
Geschlossener laubwerfender Wald (9)	Bestandsdichte über 40 % und Baumhöhe über 5 m, typisch sind die Miombo-Wälder im Südkongo, in Sambia, Angola und Simbabwe
Offener laubwerfender Wald (10)	Bestandsdichte zwischen 15 % und 40 %, Baumhöhe über 5 m Grenzen im Norden an die humiden Wälder, z.B. im Sudan
Laubwerfendes Buschland mit vereinzelt Bäumen (11)	Buschbestand über 15 %, Höhe unter 5 m mit spärlichem Baumbestand unter 15 % Sahel-Zone des Sudan
Offenes laubwerfendes Buschland (12)	Buschbestand über 15 %, Höhe unter 5 m ohne Baumbestand
Geschlossenes Grasland (13)	Kraut-/Grasbedeckung über 40 %, weniger als 20 % Baum- oder Buschbestand, Gras bildet durchgehendes Stratum, diese Formationen sind meist Boden- oder anthropogen bedingt Batéké-Plateau

Anhang VII - Beschreibung der Landbedeckungsklassen

<i>GLC Klasse (Nummer im Grid)</i>	<i>Beschreibung in MAYAUX, BARTHOLOMÉ et al. 2003</i>
Grasland mit vereinzelt Bäumen (14)	Kraut-/Grasbedeckung zwischen 15 % und 40 %, weniger als 20 % Baum- oder Buschbestand, unter trockenen Bedingungen (<200 mm Niederschlag)
Grasland (15)	Kraut-/Grasbedeckung zwischen 5 % und 15 %, unter extrem trockenen Bedingungen (50-100 mm Niederschlag)
Offenes Grasland (16)	Kraut-/Grasbedeckung unter 5 %, am Rande der Wüste
Sumpfiges Busch- und Grasland (17)	Typische Vegetationsformation flacher Flussdeltas oder Niederungen, wo sich Wasser ansammelt, durch die Ebene ist Baum-/Strauchwachstum möglich  Okavango-Delta in Botswana, Nil im Sudan
Kulturflächen (>50%) (18)	Intensive Landwirtschaft oder Weidewirtschaft (>50 %)
Kulturflächen mit Baumbestand (19)	Mosaik aus Kulturflächen und natürlicher Vegetation Südlicher Sahel
Bewässerte Kulturflächen (20)	Landwirtschaft in Abhängigkeit von künstlicher Bewässerung
Baumkultur (21)	Obstplantagen des Nildeltas
Sandwüste (22)	Durch Wind geformte Sanddünen (Erg), bis zu einer Höhe von 400 m  Ténéré-Wüste im Niger und Tschad
Steinwüste (23)	Arid und steinig (Reg und Hamada)
Felsen (24)	Felsige Wüstenformationen  Tibesti-Gebirge (Tschad), Hoggar (Algerien) und Air (Niger)
Salzpfannen (25)	Salzwüste, Wasser findet sich nur in Wasserlöchern, welche die Pfanne umgeben  Makgadikgadi Pfanne in Botswana
Wasser (26)	Wasserflächen
Städte (27)	Städte