4 Aufnahmesysteme und Datengrundlage

Für die vorliegende Arbeit standen neben den klassischen Fernerkundungsdaten, wie panchromatische und CIR-Luftbilder, multispektrale ASTER- und Landsat-TM-Daten auch Laser-Scann- sowie multifrequente und multipolarimetrische Radardaten zur Verfügung. Zudem konnten aktuelle und historische Kartenwerke sowie Geländebefunde zur Verifikation der Fernerkundungsdaten herangezogen werden.

Die wichtigsten Charakteristika der Fernerkundungssysteme und ihrer Daten sowie die zur Verifikation der E-SAR-Daten herangezogenen Zusatzdaten sollen im Folgenden kurz skizziert werden.

4.1 E-SAR

Das **E**xperimentelle **SAR**-System des DLR (E-SAR) ist eines der momentan modernsten Flugzeug getragenen SAR-Systeme weltweit und wurde am Institut für Hochfrequenztechnik in Oberpfaffenhofen spezifiziert. Es dient zur SAR-Verfahrenserprobung sowie für grundsätzliche Signaturmessungen. Das E-SAR arbeitet zur Zeit im P-, L-, S-, C- und X-Band einschließlich Polarimetrie und Interferometrie.

Abb. 4.1: E-SAR Trägerplattform DO 228 des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (Foto: DLR).

Als Trägerplattform dient eine zweimotorige Turboprop-Maschine mit STOL-Eigenschaften (**s**hort **t**ake-**o**ff and **l**anding) vom Typ Dornier DO 228. Die Einsatzdauer beträgt durchschnittlich drei Stunden und kann unter günstigen Bedingungen bis zu fünf Stunden

ausgedehnt werden. Für SAR-Aufnahmen liegt die Fluggeschwindigkeit zwischen 70 m/s und 95 m/s bei Flughöhen zwischen 1000 m und 6000 m. Die Antennen befindet sich an der Nase und im hinteren Bereich des Flugzeuges (Abb. 4.1). Die P-Band-Antenne ist in dem zigarrenartigen Behälter an der Nase der Trägerplattform angebracht. In der Nähe der Frachttür sind die C- und X-Band-Antennen angebracht. Die L-Band-Antenne ist für jede Polarisation in zwei Arrays unterteilt und befindet sich auf Höhe der Flugzeug-Kennung im Heckbereich.

Die empfangenen SAR-Rohdaten werden auf sogenannte HDDT (**h**igh **d**ensity **d**igital **t**ape) mit einer Datenrate von 28 Mbit/s auf 14 parallelen Spuren aufgezeichnet. Die Datenrate ermöglicht eine Aufnahmezeit von 15 Minuten, wobei die Bandgeschwindigkeit an die PRF (**p**ulse **r**epetition **f**requency) angepasst wird. Der Sensor operiert mit einer konstanten PRF-Einstellung, die abhängig ist von der Wellenlänge und dem Antennenöffnungswinkel (Azimut). Typische PRF-Werte sind 670 Hz für P- und L-Band, 952 Hz für das C-Band und 1200 Hz für das X-Band. In Tabelle 4.1 sind die wichtigsten Systemparameter des E-SAR-Systems aufgelistet.

Tab. 4.1: Systemparameter des E-SAR (Stand 1997).

RF-Band	**X**	**C**	**S**	**L**	**P**
RF - centre frequency [GHz]	9.6	5.3	3.3	1.3	0.450
TRANSMIT power [W]	2500	50	2000	360	180
RECEIVER Noise figure [dB]	3.5	5.0	-tbd-	8.0	4.5
ANTENNA gain [dB]	17.5	17	-tbd-	17	12
AZIMUTH beamwidth [°]	17	19	20	18	30
ELEVATION beamwidth [°]	30	33	35	35	ca. 60
ANTENNA polarization	H and V	H and V	H and V	H and V	H and V
SYSTEM bandwidth [MHz]	120	120	120	100	25 (60)

4.1.1 Charakteristika der E-SAR-Daten

Die verwendeten E-SAR-Daten stammen aus vier Radarüberflügen mit dem Flugzeug getragenen E-SAR des DLR. Die Frühjahrsbefliegungen fanden im April 2001 und 2002 statt, die Spätsommerbefliegungen im August 2001 und 2002. Somit stehen SAR-Daten für Perioden unterschiedlicher Vegetationsentwicklung sowie verschiedener Niederschlagsmengen zur Verfügung. Es kamen das kurzwellige X-Band in horizontaler Polarisation sowie die langwelligen multipolarimetrischen L- und P-Bänder zum Einsatz (Tab 4.2).

Der Flugstreifen des SAR-Sensors hat eine Ausdehnung von 3 x 10,5 km und deckt den zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes bei Golzow ab (Kap. 5.1). Für die absolute Lagebestimmung und Kalibrierung der Radarbilder wurden sogenannte Corner-Reflektoren positioniert (Abb. 4.2). Die Corner-Reflektoren wurden mit Hilfe eines DGPS (**D**ifferenzielles **G**lobales **P**ositions **S**ystem) eingemessen. Der Corner-Reflektor ermöglicht eine nahezu ideale Rückstreuung des Radarsignals zum Sensor.

Aufgrund der hohen Datenrate während des Überfluges konnte nur jeweils ein Frequenzbereich aufgezeichnet werden, so dass mehrfache Überfliegungen des Testgebietes erforderlich waren.

Tab. 4.2: Erhobene E-SAR-Datensätze während der Befliegungskampagnen in 2001 und 2002.

	E-SAR Befliegungskampagnen			
Aufnahmedatum	10.04.2001	22.08.2001	04.04.2002	27.08.2002
Geometrische Auflösung (Pixelgröße)	1 m			
Größe der Gesamtszene (Zeilen x Spalten; km x km)	8411 x 9261 (8,4 x 9,2 km)		9651 x 10511 (9,6 x 10,5 km)	
ULX (upper left X)	^{34}63970		^{34}63570	
ULY (upper left Y)	^{58}27780		^{58}28030	
LRX (lower right X)	^{34}72170		^{34}73220	
LRY (lower right Y)	^{58}18520		^{58}17520	
Georeferenzierung	UTM Zone 33, ETRS89			
Datentiefe (radiometrische Auflösung)	8bit (256 Graustufen) 16bit (65.536 Graustufen) 32bit (4.294.967.295 Graustufen) Complex 64bit (2 x 4.294.967.295 Graustufen)			
Band / Polarisation	verwendete Daten			
X_{HH}	x	x	x	x
L_{HH}	x	x	x	x
L_{HV}	x	x	x	x
L_{VH}	x	x	x	x
L_{VV}	x	x	x	x
P_{HH}	x	x	x	x
P_{HV}	x	x	x	x
P_{VH}	x	x	x	x
P_{VV}	x	x	x	x

Die multifrequenten und multipolarimetrischen Radar-Daten des E-SAR wurden hinsichtlich ihres Potentials zur Rekonstruktion von ehemaligen Gewässerstrukturen in Auengebieten analysiert und bewertet (Kap. 6.4).

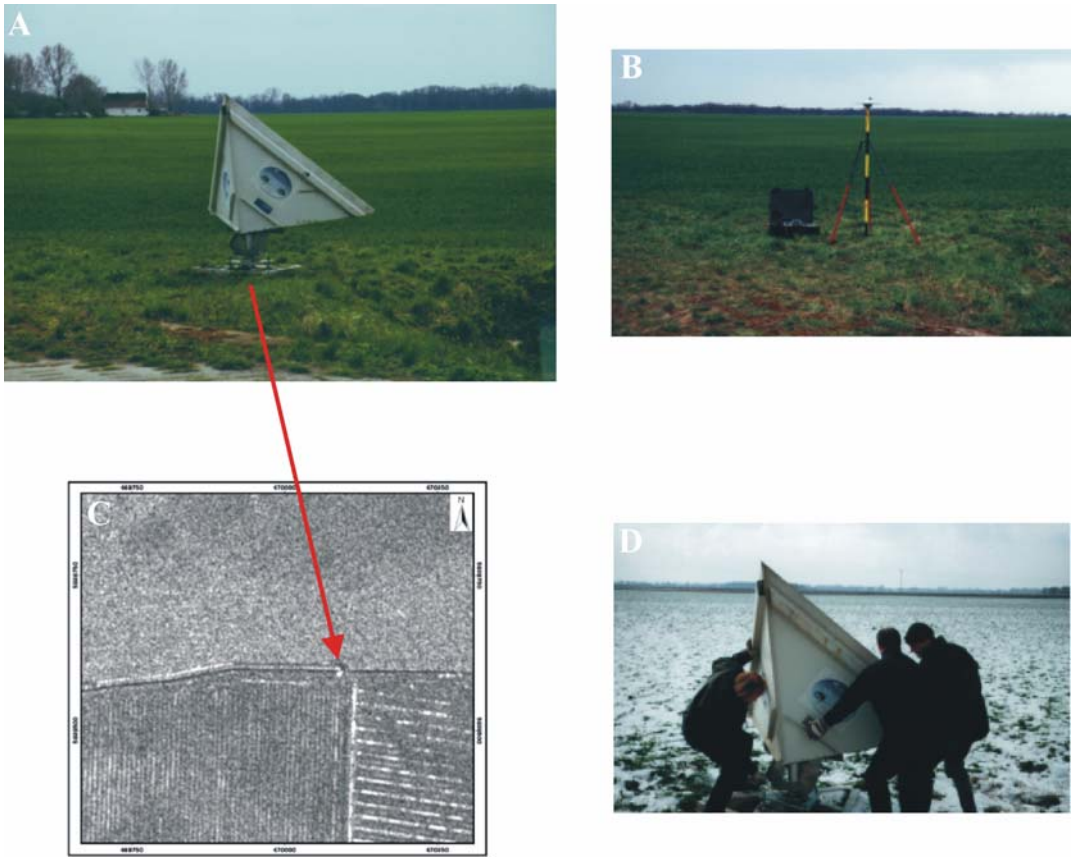

Abb. 4.2: Positionierung eines Corner-Reflektors nordöstlich von Golzow. A) Corner-Reflektor im einsatzbereiten Zustand. B) Einmessung des Corner-Reflektor-Standorts mit Hilfe eines DGPS. C) Identifikation des Corner-Reflektors im SAR-Bild (roter Pfeil). D) Demontage eines Corner-Reflektors nach der Befliegungskampagne April 2001.

4.2 Laser-Scann

Seit Anfang der 1990er Jahre werden Flugzeug getragene Laser zur Erfassung topographischer Daten eingesetzt. Die Weiterentwicklung der Laser-Profil-Messung auf abtastende Laser quer zur Flugrichtung, die nur entlang der Flugbahn funktioniert, brachte den Durchbruch dieser Methode für die Erfassung digitaler Geländemodelle (DGM).

Das Laser-Scanning ist ein aktives System. Es sendet einen Laser-Impuls aus und empfängt zeitlich versetzt einen Teil dieses Impulses. Das Laser-Scanning funktioniert unabhängig vom Tageslicht, wird aber durch Bewölkung behindert. Laser-Scanning-Systeme arbeiten in Wellenlängenbereichen zwischen 800 nm und 1535 nm (WEHR & LOHR 1999).

Während des Fluges tastet der Laserstrahl die Erdoberfläche ab. Die Entfernung zu den Geländepunkten wird meist mittels Laufzeitmessung vom ausgesandten und empfangenen Impuls bestimmt (Abb. 4.3).

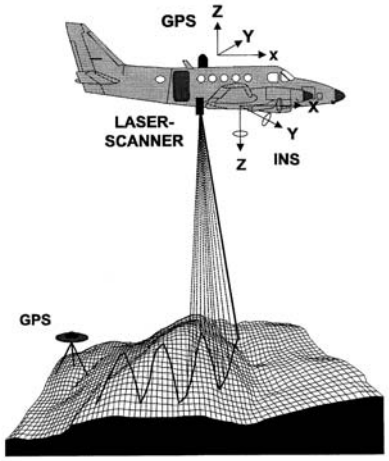

Abb. 4.3: Abtastender Laser im Flugzeug (nach KRAUS 2000).

Zur Bestimmung des sich fortbewegenden Ursprungs wird ein differentielles GPS (Global Positioning System) eingesetzt. Um die sich laufend ändernde Orientierung der Trägerplattform zu bestimmen, kommt INS (*Inertial Navigation System*) zum Einsatz. Beim Laser-Scanning werden Polarkoordinaten, also Strecke und Richtung in einem Aufnahmestandpunkt, gemessen. Der Geländepunkt muss deshalb im Gegensatz zur Photogrammetrie nur von einem Aufnahmeort aus sichtbar sein. GPS, INS und Laser-Scanner müssen für die Auswertung synchronisiert werden, dabei sind die Exzentrizitäten, die gegenseitigen Versetzungen auf der Trägerplattform zu berücksichtigen.

Bei der Generierung eines DGM aus Laser-Scanner-Daten ist zu beachten, dass die Reflexion des Laserstrahls in vielen Fällen nicht am Boden, sondern an Bäumen und Sträuchern sowie an Bauwerken erfolgt. Im Wald schwankt die sogenannte Durchdringungsrate zwischen 15% und 70% (KRAUS 2000). Die Durchdringungsrate gibt den Anteil der Laserpunkte an, die durch Reflexion des Laserstrahls am Boden entstehen. Die Durchdringungsrate im Laubwald, besonders in den Wintermonaten ist höher als im Nadelwald. Für die DGM-Generierung ist der Einfluss der Vegetationspunkte weitgehend zu eliminieren. Dafür eignet sich die Interpolation nach kleinsten Quadraten mit schiefer Fehlerverteilung bzw. die entsprechend angepasste Interpolation mit finiten Elementen (KRAUS 2000).

Die Höhengenauigkeit des Laser-Scanning nimmt mit zunehmender Geländeneigung ab. Die Abhängigkeit der Höhengenauigkeit von der Geländeneigung liegt zum einen an der Definitionsunsicherheit der topographischen Oberfläche. Sie wird in der Regel größer mit zunehmender Reliefenergie. Die Ausdehnung des Abtastflecks, der bis zu 20 cm betragen kann (Flughöhe 1000 m), ist nur im ebenen Gelände vernachlässigbar. Des Weiteren wirken sich Lagefehler der GPS-Positionierung und der INS-Orientierung im steilen Gelände deutlicher aus als in der Ebene. Durch die Minimierung der oben erwähnten systematischen Fehler lässt sich die Höhengenauigkeit besonders für Bereiche mit geringer Reliefenergie steigern.

Große Probleme bereiten in bewaldeten Gebieten eingelagerte Felsformationen, die zum Teil wie Bäume in der Regel herausgefiltert werden. Die Verwendung des registrierten ersten und letzten Impulses einer Laser-Scann-Befliegung kann dieses Problem lösen. Beide Impulse

variieren in bewaldeten Gebieten stark, jedoch nicht auf Felsformationen.

4.2.1 Digitales Geländemodell (DGM)

Die Laser-Scann-Daten des Landesvermessungsamtes Brandenburg lagen als Szenen entsprechend der TK10-Kartenblätter vor. Das aus diesen Daten generierte rasterbasierte digitale Geländemodell (DGM) besitzt eine Auflösung von 5m/Pixel. Aus dem DGM wurden im GIS primäre und sekundäre Reliefparameter des Untersuchungsgebietes abgeleitet (Kap. 5.2.6.3), die für die Verifikation der E-SAR-Daten herangezogen werden konnten (Kap. 6.3.4).

4.3 Photographische Aufnahme-Systeme

Die photographische Aufnahme von Luftbildern beruht auf dem allgemein bekannten Prinzip der Photographie (SOLF 1986). Durch ein Objektiv wird das aufzunehmende Objekt für meist nur kurze Zeit auf eine lichtempfindliche photographische Schicht projiziert. Diese wird dadurch so verändert, dass durch den photographischen Prozess ein dauerhaftes Bild entsteht. Die Photographie ist ein passives Verfahren, das die elektromagnetische Strahlung (EMS) im sichtbaren Licht und im nahen Infrarot (von etwa 0,4–1,0 µm) aufnimmt. Die radiometrische Kalibrierung solcher Systeme ist aufwändig. Des Weiteren ist der photographisch erfassbare Spektralbereich begrenzt.

4.3.1 Charakteristika der analogen CIR-Luftbilder

Aufgrund der schlechten Wetterbedingungen (dichte Wolkendecke) konnten vom DLR zeitgleich zu den Frühjahrsbefliegungen in 2001 und 2002 keine CIR-Luftbilder (***c****lose* ***i****nfra****r****ed*) aufgenommen werden. Für die Befliegungskampagne im August 2001 stehen einzelne CIR-Luftbilder zur Verfügung, doch auch zu diesem Termin machte eine teilweise Wolkenbedeckung eine vollständige Abdeckung des Untersuchungsgebiet mit CIR-Luftbildern unmöglich. Lediglich die Spätsommerbefliegung in 2002 war begünstigt durch einen nahezu wolkenlosen Himmel, so dass für diese Kampagne flächendeckend CIR-Luftbilder im Maßstab 1 : 20.000 zur Verfügung stehen. Die Schwierigkeiten, wolkenfreie CIR-Luftbilder vom Untersuchungsgebiet zu bekommen, spiegelt die generelle Problematik beim Einsatz optischer Sensoren in Mitteleuropa wider (Kap. 1).

Die CIR-Luftbilder dienen zur Bestimmung der Landnutzung während der E-SAR Befliegung und ermöglichen eine Korrelation des normalisierten Radar-Rückstreuquerschnitts (σ^0) mit verschiedenen Oberflächenobjekten (Kap. 6.3.1).

4.3.2 Charakteristika der panchromatischen Luftbilder

Für das Untersuchungsgebiet liegen digitale panchromatische Luftbilder aus der sog.

Landesbefliegung Brandenburg im Maßstab 1:10.000 (DOP10 – Digitales Orthophoto) vor. Die Datensätze sind auf Grundlage der UTM-Projektion im amtlichen Lagebezugssystem ETRS 89 georeferenziert. Jeweils neun Luftbilder aus dem Jahre 1997 und 2001 decken den Untersuchungsraum ab. Sie besitzen eine geometrische Auflösung von 0,65 m (DOP1) für 1997 und 1,0 m (DOP2) für 2001.

Die hoch aufgelösten panchromatischen Luftbilder dienten dem Vergleich mit den multifrequenten und multipolarimetrischen E-SAR-Daten. Mit ihrer Hilfe konnten die Vor- und Nachteile der SAR-Systeme gegenüber optischen Aufnahmesystemen bei der Detektion von Relikten ehemaliger Flussläufe abgeschätzt werden (Kap. 6.3.1). Zudem dienten die Luftbilder der Orientierung während der Vor-Ort-Untersuchungen.

4.4 Der ASTER-Sensor

Der Erdbeobachtungssatellit Terra wurde am 18. Dezember 1999 in die Erdumlaufbahn gebracht und stellt zur Zeit das bedeutendste Instrument im Erdbeobachtungssystem der NASA dar. Auf der Terraplattform sind zur Erdbeobachtung die fünf Sensoren ASTER, CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System), MISR (Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer), MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) und MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere) installiert. Seit dem 24. Februar 2000 stehen die Sensoren operationell zur Verfügung. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden multispektrale Daten des ASTER-Sensors (**A**dvanced **S**paceborne **T**hermal **E**mission and **R**eflection Radiometer) verwendet.

Der Satellit fliegt auf einem sonnensynchronen Polarorbit in einer Höhe von 705 km. Für einen Umlauf benötigt der Terra-Satellit 98 Minuten. Er fliegt 30 Minuten versetzt zu Landsat-TM 7 und nimmt die Erdoberfläche diskontinuierlich auf. Durchschnittlich acht Prozent der Orbitzeit werden für die Datenaufzeichnung genutzt, dabei werden ca. 650 Szenen aufgenommen. So wird es etwa fünf Jahre dauern, bis die Sensoren des Terra-Satelliten ein komplett erdumspannendes Datennetz aufgebaut haben. Alle ASTER-Daten werden im HDF-Format (Hierarchical Data Format - HDF-EOS) abgelegt.

Der ASTER-Sensor zeichnet sich durch eine für Satelliten-Systeme einzigartige spektrale Auflösung aus. Die hohe räumliche Bodenauflösung im VNIR (*visual-near infrared*) von 15 m sowie im SWIR (*short-wavelength infrared*) von 30 m und im TIR (*thermal infrared*) von 90 m heben den Sensor ebenfalls von vergleichbaren Systemen ab. Ein zusätzlicher rückwärtsgerichteter Kanal (3B) kann für die stereoskopische Auswertung herangezogen werden.

Der ASTER-Sensor ist darauf ausgerichtet, Gefahrenmonitoring zu ermöglichen sowie globale Veränderungen (*global change*) wie Vegetations- und Ökosystemdynamik zu detektieren. Des Weiteren ermöglichen die Daten Analysen im Bereich Geologie, Bodenkunde, Landoberflächenklimatologie, Hydrologie und Landbedeckungsänderungen (*land cover*).

Der ASTER-Sensor bildet seine Images in drei Hauptspektralgruppen mit insgesamt 14 Bändern

ab (Tab. 4.3). Die Bänder teilen sich auf in drei Kanäle aus dem visuellen bis nahen Infrarotbereich (VNIR) zwischen 0.5 und 0.9 µm, sechs Kanälen aus dem kurzwelligen Infrarotbereich (SWIR) zwischen 1.6 und 2.43 µm sowie fünf Kanälen aus dem thermalen Infrarotbereich (TIR) zwischen 8 und 12 µm. Eine Szene hat die Ausmaße 60 x 60 km. Jedes Gebiet der Erde kann in einem Turnus von 16 Tagen aufgenommen werden.

Mit der hohen räumlichen und spektralen Auflösung sowie den Stereoeigenschaften durch den rückwärtsgerichteten Kanal zielen die ASTER-Daten darauf ab, die Erdoberfläche wie auch die Wolken zu beobachten. ASTER-Daten erlauben durch die unterschiedlichsten Kanalkombinationen von VNIR, SWIR und TIR umfangreiche Wolkenstudien, Oberflächendarstellungen, Boden- und Geologiestudien, Vulkanmonitoring und Oberflächentemperaturmessungen. Dabei werden die VNIR und SWIR Kanäle hauptsächlich zur Untersuchung von Landnutzungsmustern und Vegetation herangezogen, während VNIR und TIR Kanäle in Kombination für die Beobachtung und Analyse von Korallenriffen und Gletschern zur Anwendung kommen. Zur Generierung von digitalen Geländemodellen (DGM) werden die VNIR Kanäle zusammen mit dem rückwärtsgerichteten Kanal herangezogen. Der TIR Kanal wird für die Messung der Evapotranspiration sowie der Land- und Ozeantemperaturmessung verwendet. Die ASTER-Daten liefern essentielle Messwerte zur Wolkenmenge, zum Wolkentyp, der räumlichen Verbreitung von Wolken, der Morphologie von Wolken und ihrer Strahlungseigenschaften.

Tab. 4.3: Darstellung der spektralen Bänder sowie weitere technische Details zum ASTER-Sensor (nach KLUG 2002).

Details	VNIR	SWIR	TIR
Spektrale Auflösung	Kanal 1: 0.52 – 0.60µm Nadir looking	Kanal 4: 1.600 – 1.700 µm	Kanal 10: 8.125 – 8.475 µm
	Kanal 2: 0.63 – 0.69µm Nadir looking	Kanal 5: 2.145 – 2.185 µm	Kanal 11: 8.475 – 8.825 µm
	Kanal 3: 0.76 – 0.86µm Nadir looking	Kanal 6: 2.185 – 2.225 µm	Kanal 12: 8.925 – 9.275 µm
	Kanal 3B: 0.76 – 0.86µm Backward looking	Kanal 7: 2.235 – 2.285 µm	Kanal 13: 10.25 – 10.95 µm
	-	Kanal 8: 2.295 – 2.365 µm	Kanal 14: 10.95 – 11.65 µm
	-	Kanal 9: 2.360 – 2.430 µm	-
Bodenauflösung	15 m	30 m	90 m
Datenrate [Mbits/sec]	62	23	
Cross-track Pointing [°]	± 24	± 8.55	± 8.55
Cross-track Pointing [km]	± 318	± 116	± 116
Swath width [km]	60	60	60
Detector Typ	Si	PtSi-Si	HgCdTe
Datenformat [bits]	8	8	12

4.4.1 Charakteristika der ASTER-Daten

Die Daten des ASTER-Sensors bestehen aus 14 einzelnen Kanälen, in denen die Reflexion der Erdoberfläche in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen aufgezeichnet ist (Tab. 4.3). Die ASTER-Daten des Oderbruchs wurden am 18.07.2001 aufgezeichnet. Die Archivdaten stehen für Forschungsinstitutionen kostenlos über das Earth Observing System Data Gateway (EOS DG - http://redhook.gsfc.nasa.gov/~imswww/pub/imswelcome/plain.html) der US-Weltraumbehörde NASA zur Verfügung. Da das Untersuchungsgebiet je zur Hälfte auf zwei Vollszenen verteilt liegt, wurden die benötigten Vollszenen ebenfalls über das EOS GD bestellt.

Tab. 4.4: Datencharakteristika der ASTER-Subszenen AST-OS (ASTER Oderbruch Süd) bzw. AST-ON (ASTER Oderbruch Nord).

	ASTER Oderbruch-Süd		**ASTER Oderbruch-Nord**	
Row / Path (WRS)	192 / 23		192 / 23	
Aufnahmedatum	18.07.2001		18.07.2001	
Geometrische Auflösung (Pixelgröße)	15 m		15 m	
Größe der Gesamtszene (Zeilen x Spalten; km x km)	4200 x 4980 (87 x 78 km)		4200 x 4100 (79 x 75 km)	
Größe der Subszene (Zeilen x Spalten; km x km)	934 x 1104 (14 x 16,5 km)			
UTM-Eckkoordinaten der Subszene	ULX (upper left X)		^{34}62590	
	ULY (upper left Y)		^{58}30510	
	LRX (lower right X)		^{34}76585	
	LRY (lower right Y)		^{58}13965	
Georeferenzierung	UTM Zone 33, ETRS89			
Datentiefe (radiometrische Auflösung)	8bit (256 Graustufen)		8bit (256 Graustufen)	
Spektrale Auflösung (µm)	verwendete Daten			
	AST-OS-1	0.52 – 0.60	AST-ON-1	0.52 – 0.60
	AST-OS-2	0.63 – 0.69	AST-ON-2	0.63 – 0.69
	AST-OS-3N	0.76 – 0.86	AST-ON-3N	0.76 – 0.86

Um die statistische Analyse und weitere Bildverarbeitungsschritte auf das Untersuchungsgebiet zu konzentrieren, wurden aus den zwei Vollszenen die beiden benötigten Subszenen, die das Untersuchungsgebiet abdecken, generiert. Anschließend konnten die beiden Subszenen zu einer Szene von 14 x 16,5 km Größe (934 Zeilen x 1104 Spalten) zusammengefügt werden. Die ASTER-Daten wurden zur Lokalisierung von Gewässerstrukturen im Untersuchungsgebiet und damit zur Verifikation der E-SAR-Daten herangezogen (Kap. 6.3.2).

Die wichtigsten Parameter der verwendeten Daten sind in Tab. 4.4 aufgelistet. Die Kanäle im SWIR und TIR wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht verwendet.

4.5 Landsat-5-TM (Thematic Mapper)

Im März 1984 startete die US-Weltraumbehörde NASA die Landsat-Mission 5, die wegen des neu konzipierten Aufnahmesystems mit verbesserter spektraler und radiometrischer Auflösung

zu der zweiten Generation von Fernerkundungssatelliten zählt. Tab. 4.5 zeigt die wichtigsten Kenngrößen sowie den Aufbau und die Bahnparameter des Landsat-5-TM. Vom TM-Scanner des Landsat-5 stammen die multispektralen Informationen, die in der vorliegenden Arbeit bearbeitet wurden.

Tab. 4.5: Spektrale, geometrische und radiometrische Auflösung der Einzelkanäle des Landsat-5-TM (nach KAPPAS 1994).

Kanal	Spektralbereich (Abkürzung)	Wellenlängenbereich (µm)	Pixelgröße (m)	Radiometrische Auflösung
1	Blau-Grün (VIS)	0.45-0.52	28.5	8bit
2	Grün-Gelb (VIS)	0.52-0.60	28.5	8bit
3	Rot (VIS)	0.63-0.69	28.5	8bit
4	Nahes Infrarot (NIR)	0.76-0.90	28.5	8bit
5	Kurzwelliges mittleres Infrarot (SWIR)	1.55-1.75	28.5	8bit
7	Kurzwelliges mittleres Infrarot (SWIR)	2.08-2.35	28.5	8bit
6	Thermales Infrarot (TIR)	10.40-12.50	114	8bit
Orbittyp		sonnensynchron, polarnah		
Inklination		98.2°		
Flughöhe		705 km		
Abtastbreite		185 km		
Umlaufdauer		99 min		
Wiederholungsrate/ Äquatordurchquerung		16 Tage / 9:45 a.m.		

Der Thematic Mapper ist ein optisch-mechanisches Rotations-Abtastsystem (engl. *whiskbroom*), bei dem ein Spiegelsystem die Erdoberfläche während des Überfliegens senkrecht zur Flugrichtung zeilenweise abtastet. Die Reflexionswerte der Erdoberfläche werden beim TM in sieben spektralen Kanälen aufgezeichnet. Die gemessene Reflexion pro Pixel wird nach der Aufzeichnung mit einer Datentiefe von 8bit digitalisiert. Dies entspricht einer Abstufung jedes Einzelkanals in 256 Grautönen, die von 0 (schwarz) bis 255 (weiß) reichen. Die geometrische Auflösung liegt bei 28,5 m x 28,5 m pro Pixel. Nur Kanal sechs (thermales Infrarot - TIR) besitzt eine wesentlich gröbere geometrische Auflösung von 114 m x 114 m pro Pixel.

Die Bestimmung einzelner Szenen wird durch ein weltweit einheitliches Referenzsystem (WRS) gewährleistet. Die Flugstreifen des TM-Scanners werden so in 185 km x 172 km große Vollszenen geschnitten und nummeriert (Path- bzw. Row-Nummer), wobei eine digitale Vollszene aus insgesamt 5760 Linien mit jeweils 6928 Pixeln besteht und somit eine zu verarbeitende Datenmenge von ca. 246 Mbyte besitzt.

4.5.1 Charakteristika der Landsat-5-TM-Daten

Die sieben einzelnen Kanäle des Landsat-5-TM für das Oderbruch wurden am 06.07.1991

aufgenommen und stehen als kostenlose Archivdaten zur Verfügung. Mit Hilfe des Earth Science Data Interface (ESDI) des Global Land Cover Facility (http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/glcf/) wurde nach passenden Datensätzen recherchiert. Die für das Untersuchungsgebiet relevante Vollszene ist über die WRS Kennung Path 192 / Row 23 definiert.

Um weitere Bildverarbeitungsschritte auf das Untersuchungsgebiet zu beschränken, wurde eine Subszene von 88 x 86 km Größe (2740 Zeilen x 2678 Spalten) geschnitten. Die aufbereiteten Bilddaten dienten primär der Übersicht über das gesamte Oderbruch (Kap. 5.4).

Die wichtigsten Parameter der verwendeten TM-Daten sind in Tab. 4.6 aufgelistet. Die TM-Kanäle 4 bis 7 wurden für die weitere Verarbeitung nicht berücksichtigt.

Tab. 4.6: Datencharakteristika der Landsat-5-TM-Subszenen TM-O (Landsat-5-TM Oderbruch).

	TM-Daten Oderbruch	
Path / Row (WRS)	192 / 23	
Aufnahmedatum	06.07.1991	
Geometrische Auflösung (Pixelgröße)	28,5 m	
Größe der Gesamtszene (Zeilen x Spalten; km x km)	5760 Zeilen x 6928 Spalten (185 x 172 km)	
Größe der Subszene (Zeilen x Spalten; km x km)	2740 Zeilen x 2678 Spalten (88 x 86 km)	
UTM-Eckkoordinaten der Subszene	ULX (upper left X)	^{34}07940
	ULY (upper left Y)	^{58}78380
	LRX (lower right X)	^{34}96347
	LRY (lower right Y)	^{57}91768
Georeferenzierung	UTM Zone 33, ETRS89	
Datentiefe (radiometrische Auflösung)	8bit (256 Graustufen)	
Spektrale Auflösung (µm)	verwendete Daten	
	TM-O-1	0.45 – 0.52
	TM-O-2	0.52 – 0.60
	TM-O-3	0.63 – 0.69

4.6 Gravimetrische Bestimmung des Bodenwassergehaltes

Zur Bestimmung des Bodenwassergehaltes wurde zeitgleich zu den Befliegungen eine Testfläche innerhalb des E-SAR-Flugstreifens und eine Testfläche außerhalb des E-SAR-Flugstreifens mit Stechzylindern beprobt (Abb. 4.4).

Die klassische Methode zur Bestimmung des Bodenwassergehalts stellt die 48-stündige Trocknung bei 105° [C] dar. Der hierbei auftretende Gewichtsverlust gibt die ausgetriebene Wassermenge an. Durch das anschließende Wägen wird das Wasservolumen der Bodenprobe bestimmt, welches der Methode seinen Namen verlieh (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989). Die Probe wird im feuchten Zustand gewogen und danach bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend werden die Proben auf Raumtemperatur abgekühlt und erneut gewogen, um so die Gewichtsdifferenz zu ermitteln. Die Gewichtsdifferenz zwischen feuchter und trockener Probe ergibt den Bodenwassergehalt in kg/m^2.

Abb. 4.4: Beprobung der Testflächen nordwestlich von Rathstock mit Stechzylindern während der Befliegungskampagnen.

Die Bodenfeuchte wurde nach FUNDINGER et al. (1997) wie folgt definiert und umgerechnet:

$$m_v = \frac{V_W}{V_{ges}} \times 100 \qquad \text{(Gl. 4.1)}$$

mit m_v = Volumetrische Feuchte der Probe in [%]

V_W = Volumen des in der Probe enthaltenen Wassers

V_{ges} = Volumen der gesamten Probe

Mit Hilfe eines Stechzylinders der Höhe 4 cm, bei einem Volumen von 100 cm^3, wurde in einem Umkreis von 1 m^2 ein definiertes Bodenvolumen entnommen. Die Entnahme der Bodenproben fand auf landwirtschaftlich genutzten Flächen statt. Auf den Testflächen wurden in 2001 an sechs und in 2002 an zehn unterschiedlichen Stellen je Befliegungskampagne jeweils acht Bodenproben in zwei Bodenschichten, von 0 – 4 cm und von 4 – 8 cm, entnommen. Pro Testfläche wurden so 48 Bodenproben in 2001 und 80 Bodenproben in 2002 gewonnen und daraus der Mittelwert für die jeweilige Bodenschicht und Bodenbeschaffenheit berechnet. Insgesamt erfolgten 128 Messungen, die die Auswirkung der Bodenfeuchte auf den normalisierten Radar-Rückstreuquerschnitt (σ^0) darlegen (Kap. 6.2.4).

4.7 Klimadaten

Von der Wetterstation Manschnow/Oderbruch des Deutschen Wetter Dienstes (DWD) liegen Klimadaten für die Jahre 2000, 2001 und 2002 vor. Die Klimastation befindet sich mitten im Untersuchungsgebiet (UTM ^{34}69181 / ^{58}21984) und ist somit außerordentlich gut als Referenzstation geeignet.

Besonders die Niederschlagsmessungen vor und während der E-SAR Befliegungskampagnen wurden dazu genutzt, die Auswirkung von Niederschlägen auf den normalisierten Radar-

Rückstreuquerschnitt (σ^0) aufzuzeigen (Kap. 6.2.5). Die Klimadaten dienten somit der Bestimmung der Rahmenparameter des Untersuchungsgebietes während der Befliegungskampagnen (Kap. 6.2.1).

4.8 Grundwasserstände

Innerhalb des Untersuchungsgebietes befinden sich 25 Grundwasser-Messstellen (GW) des Landesumweltamts Brandenburg (LUA). Neun dieser GW-Messstellen liegen innerhalb des E-SAR-Flugstreifens. Die Lage der GW-Messstellen ist in Abb. 6.12 aufgeführt. Für diese Pegel liegen die GW-Messungen für die Befliegungszeiträume in 2001 und 2002 vor. Lediglich der GW-Pegel (2517) wurde im Zuge der Deichsanierung zerstört, so dass für diesen Pegel nur GW-Stände für die April 2001 Befliegung erfasst werden konnten.

Die Daten der GW-Messungen dienten der Bestimmung des Grundwassereinflusses auf die Bodenfeuchte im Untersuchungsgebiet während der Befliegungskampagnen (Kap. 6.2.2).

4.9 Pegelstände der Oder

Für die Bestimmung der Rahmenparameter des Untersuchungsgebietes während der Befliegungskampagnen wurde der Wasserstand der Oder im Abflussjahr 2001 und 2002 ausgewertet. Dabei standen die Daten der Messstellen Frankfurt (Messstellen-Nr. 603030), Kietz (Messstellen-Nr. 603040) und Kienitz (Messstellen-Nr. 603050) zur Verfügung. Betreiber der Messstellen ist das Wasser- und Schifffahrtsamt Eberswalde (WSA).

Da der obere Grundwasserleiter im Oderbruch maßgeblich vom Drängewasserzustrom der Oder und auf diese Weise vom Wasserstand der Oder beeinflusst wird (Kap. 2.2.4 u. 6.2.3), kam der Korrelation der Pegelstände mit den Bodenfeuchtemessungen eine besondere Bedeutung zu.

4.10 Reichsbodenschätzung

Für die pedologische Interpretation des Untersuchungsraumes stand die Reichsbodenschätzung im Maßstab 1:25.000 aus dem Jahre 1900 des Landes Brandenburg zur Verfügung (Abb. 6.25). Die analogen Reichsbodenschätzungen decken die Kartenblätter Küstrin-Kietz (3453), Seelow (3452), Genschmar (3353) und Letschin (3352) ab.

4.11 Historisches Kartenmaterial

Historische Unterlagen aus Archiven dokumentieren eine Vielzahl von Informationen zu Gewässern vor deren systematischer Regulierung und repräsentieren Zustände, die nicht oder nur unerheblich anthropogen beeinflusst waren (Kap. 6.3.3).

Im Staatsarchiv zu Berlin konnte Einsicht in historisches Kartenmaterial des Oderbruchs genommen werden. Folgendes Kartenmaterial wurde als Referenz für das Untersuchungsgebiet zur weiteren Verarbeitung ausgewählt:

- Die „Generalkarte der Oder“ aus dem Jahre 1743 (Maßstab: ~ 1:330.000).
- Die „Situationskarte der Oder“ aus dem Jahre 1745 (Maßstab: ~ 1:150.000).
- Die „Carte des Oderstroms“ aus dem Jahre 1747 (Maßstab: ~ 1:160.000).
- Die „Karte von dem Thale der Oder“ aus den Jahren 1828/29 (Maßstab: ~ 1:110.000).
- Die Urmesstischblätter (URMTB) aus dem Jahre 1843 und 1844 (Maßstab: ~ 1:50.000).