

Eignung von CORONA-Fernerkundungsdaten zur Analyse der Landschaftsentwicklung

ULRICH WALZ, STEFAN WAGENKNECHT, ELMAR CSAPLOVICS, Dresden,
GEORG LISKOWSKY, Leipzig & LARS PRANGE, Düsseldorf

Keywords: remote sensing, CORONA space photography, analysis of landscape change

Zusammenfassung: Im Mittelpunkt dieses Beitrages steht die Frage, inwieweit sich die inzwischen als historisch anzusehenden CORONA-Satellitenaufnahmen aus den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts für eine Analyse der Landschaftsentwicklung eignen. Zu diesem Zweck wurden in der Nationalparkregion Sächsisch-Böhmische Schweiz CORONA-Daten digital aufbereitet, georeferenziert und ausgewertet. Für die anschließende Landschaftsanalyse standen Topographische Karten aus dem Jahr 1939 sowie eine IKONOS-Satellitenaufnahme aus dem Jahr 2000 zur Verfügung. Methoden der Geoinformatik wurden genutzt, um die verschiedenen Daten nicht nur visuell, sondern auch quantitativ auszuwerten. Im Ergebnis wird festgestellt, dass die CORONA-Daten durchaus eine wichtige historische Quelle zur Dokumentation von Landschaftszuständen im Zeitraum von 1960 bis 1972 darstellen. Die Genauigkeit der Interpretation kann durch Integration geeigneter Zusatzdaten wesentlich verbessert werden.

Summary: *Suitability of CORONA space photography for the analysis of landscape change.* The focus of this paper is an investigation on the reliability of imagery of the historical CORONA satellite system acquired during the 60ties of the last century for the analysis of structural changes of landscapes. For this purpose CORONA data of the National Park Region Saxon-Bohemian Switzerland were digitally processed, georeferenced and interpreted. Additionally topographic maps of 1939 and an IKONOS satellite image of 2000 were available. Methods of geoinformatics like statistical analysis and landscape metrics were used for analysing the data not only visually but also quantitatively. It is stated that CORONA-data are an important historical source for the documentation and analysis of landscape conditions during the years 1960 to 1972. Accuracies of interpretation can be increased by integrating specific ancillary information.

1 Hintergrund und Zielstellung

Das CORONA-Satellitensystem als erstes satellitengestütztes militärisches Aufklärungsprogramm der USA war von 1960 bis 1972 im Einsatz, um in diesem Zeitraum mehr als 800.000 Bilder der Erdoberfläche vor allem von Gebieten des damaligen Ostblocks aufzunehmen. Dafür verwendete man Panoramakameras, die einen Öffnungswinkel von ca. 6° in und 70° quer zur Flugrichtung hatten. In den ersten Missionen noch als Einzelkameras eingesetzt, war dann ab 1962 mit einer dualen, konvergen-

ten Anordnung der Panoramakameras eine stereoskopische Erfassung der Erdoberfläche möglich. Die geometrische Auflösung variierte in Abhängigkeit von Kameramodell, Flughöhe, Filmauflösung, Blickwinkel, Objektcontrast und Atmosphärenverhältnissen zwischen 2 m und 10 m (KAUFMANN & SULZER 1997, FAS 1997). Im Jahre 1995 gestattete die amerikanische Regierung die öffentliche Nutzung von Daten dieser ehemaligen Aufklärungs-Satelliten. Das Archiv an Bilddaten bietet heute die Möglichkeit, Entwicklungen der Kulturlandschaften mittels Satellitenaufnahmen seit 1960 zu verfolgen.

In diesem Beitrag soll gezeigt werden, welche Möglichkeiten CORONA- und IKONOS-Daten zur Analyse der Landschaftsentwicklung bieten, aber auch, welche Probleme auftreten. Die Aufbereitung und Auswertung von CORONA-Daten erfolgte im Rahmen eines Projektes zum Aufbau eines Nationalparkinformationssystemes (CSAPLOVICS et al. 2000, WALZ et al. 2003) für das Gebiet der grenzüberschreitenden Nationalparkregion Sächsisch-Böhmische Schweiz, welches sowohl land- und forstwirtschaftlich als auch dörflich und urban geprägte Räume umfasst. Der sensible Landschaftsraum, der rund 40 Kilometer von Dresden und 90 Kilometer von Prag entfernt liegt, ist seit rund zweihundert Jahren vielfältigen Belastungen ausgesetzt, die vor allem aus dem Tourismus, dem Sandsteinabbau, der Landwirtschaft und der Siedlungsentwicklung am Rande des Ballungsraumes Dresden resultieren und bis heute andauern (WALZ & LEIBENATH 2003).

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurden CORONA-Satellitenaufnahmen vom 3. Mai 1965 gescannt und georeferenziert (Tab. 1). Das Scannen der CORONA-Streifen erfolgte mit einer Auflösung von 2540 dpi bzw. 10 µm. Dies entspricht einer Pixelgröße von 3 m.

Für die multitemporale Landschaftsanalyse fand ein panchromatisches und multispektrales IKONOS-Satellitenbild Verwen-

dung. Diese Aufnahme vom 1. August 2000 mit einer geometrischen Auflösung von 1 m im panchromatischen und 4 m im multispektralen Bereich deckt einen Ausschnitt der Sächsischen Schweiz ab. Die genutzten IKONOS-Daten lagen bereits als orthorektifiziertes Bild vor. Die Geokodierung war mit Hilfe eines Laserscanner-DHM (1 m Rasterweite (verdichtet), 0,5 m Höhengenauigkeit) und eines Orthophotomosaiks (0,4 m Rasterweite, 0,5 m Lagetreue) vorgenommen worden.

2 Orthorektifizierung der CORONA-Bilddaten

2.1 Methodisches Vorgehen

Zur Erzeugung des Orthobildmosaiks war wegen der relativ großen Höhenunterschiede im Untersuchungsgebiet die Verwendung eines digitalen Höhenmodells notwendig. Ansätze zur Berechnung grenzüberschreitend-konsistenter Daten in Lage und Höhe sind durch TROMMLER & CSAPLOVICS (2001) aufgezeigt worden. Für einen Teil der Nationalparkregion lag ein aus Flugzeug-Laserscannermessungen abgeleitetes DHM mit einer Rasterweite von 2 m vor (CSAPLOVICS et al. 2003). Aufgrund des Fehlens eines genauen DHM mussten die Höheninformationen auf tschechischem Staatsgebiet durch einen aus der relevanten topographischen

Tab. 1: Parameter des Aufnahmesystems, des verwendeten Bildstreifens und der Wetterlage zum Zeitpunkt der Aufnahme

Missions- bzw. Bildnummer	1019-1/057 024D und 1019-1/057 025D
Bildformat	29,8 inch * 2,18 inch (ca. 76 cm * 5,5 cm)
beste Auflösung des verwendeten Filmmaterials	120 Linien pro mm
Objektivbrennweite	24 inch (ca. 61 cm)
beste Auflösung am Boden	ca. 9 Fuß (ca. 2,75 m)
Bildmaßstab	ca. 1:305.000
Abdeckung	230 km * 17 km
Wetterlage um 7.00 MEZ	Bewölkung 0/10; Sicht 20km; sonnig
Scanparameter	2540 dpi entspr. 3,05 m räuml. Auflösung

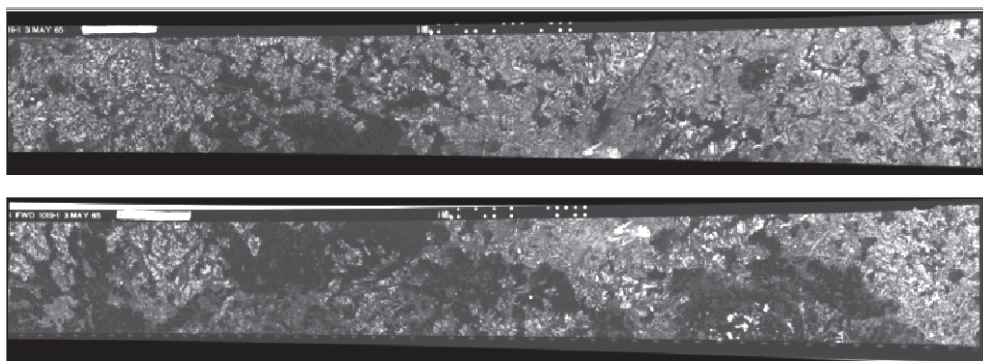


Abb. 1: CORONA-Bildstreifen nach der Panoramaentzerrung.

Karte 1:25.000 abgeleiteten Höhenliniendatensatz und Einzelpunktmessungen gewonnen werden. Nach der geometrischen Homogenisierung der Höheninformationen konnte ein digitales Höhenmodell, welches beide Nationalparkteile auf deutscher und tschechischer Seite umfasst, berechnet werden. Wegen der geringeren Genauigkeit der tschechischen Datensätze wurde ein DHM mit einheitlicher Rasterweite von 10 m berechnet und für die Orthorektifizierung genutzt. Es steht nunmehr als Grundlage für eine Vielzahl multithematischer und multitemporaler Analysen als räumliche Referenz mit einheitlichem Bezugssystem zur Verfügung.

Grundlage der Orthorektifizierung sind die durch Kollinearitätsgleichungen beschriebenen Projektionsbeziehungen zwischen Bild- und Landeskoordinaten. Die Anwendungen dieser Gleichungen setzt die Kenntnis der Elemente der inneren und äußeren Orientierung voraus. Die Elemente der inneren Orientierung (Koordinaten des Bildhauptpunktes, Kamerakonstante) sind kameraspezifisch. Für die vorliegenden CORONA-Streifen ist die Kamerakonstante (Objektivbrennweite) aus der Literatur (USGS 2003) mit 24 Zoll (609,6 mm) bekannt. Als Bildhauptpunkt ist – aufgrund fehlender Sensorinformationen – der Bildmittelpunkt mit Hilfe der Bildmatrix festgelegt worden.

Zusätzlich zu den bekannten Verzerrungen photographischer Bilder treten in Pano-

ramabildern die Panoramaverzerrung und ein Bildversatz auf. Der Bildversatz entsteht durch die Satellitenbewegung während des Schwenkvorgangs der Panoramakamera. Die durch Änderung der Aufnahmegeometrie erreichte Bildwanderungskompensation konnte den Bewegungseffekt allerdings nicht vollständig beseitigen (Itek Laboratories 1962). Der Restfehler ist im Vergleich zu den Einflüssen der Panoramaverzerrung jedoch gering und wurde – auch aufgrund fehlender Kameradaten – nicht weiter berücksichtigt. Die Panoramaverzerrung der verfügbaren Bilddaten kann an den Streifenenden zu Versetzungen von mehr als 10000 m am Boden führen (PRANGE 2002b). Durch Polynomapproximation konnten die Bildstreifen um den Effekt der Panoramaverzerrung weitestgehend bereinigt werden. Verbleibende Resteffekte sind im Vergleich zu anderen angesprochenen Fehlereinflüssen vernachlässigbar klein. Diese Bilder bildeten schließlich das Ausgangsmaterial für die Orthobildberechnung (Abb. 1).

Die für die Bündelblocktriangulation erforderlichen Passpunktmessungen erfolgten auf Grundlage eines digitalen Kartenmosaiks, welches für die gesamte Region (deutscher und tschechischer Teil) im Bezugssystem der sächsischen Landesvermessung vorlag. Auf Basis der iterativ ermittelten Orientierungsparameter wurden die CORONA-Bilddaten unter Verwendung des digitalen Höhenmodells schließlich entzerrt.

2.2 Genauigkeit der Ergebnisse

Eine Reihe von Fehlereinflüssen wirkt sich auf die Berechnung der Orientierungselemente im Rahmen der Bündelblocktriangulation aus. Insbesondere der nicht durch die Bewegungskompensation ausgeglichene Resteinfluss der Satellitenbewegung, der zu vermutende Filmverzug sowie die näherungsweise Bestimmung der Elemente der inneren Orientierung konnten als Hauptfehlerquellen ausgemacht werden. Die als Ergebnis der Bündelblockausgleichung erhaltenen RMS-Fehler aller verwendeten Passpunkte im Landeskoordinatensystem beträgt 2,757 m in X-Richtung, 2,432 m in Y-Richtung und 1,759 m in Z-Richtung (PRANGE 2002b).

Unabhängig gemessene Kontrollpunkte bestätigten prinzipiell die Güte des Ergebnisses, zeigten aber auch verbliebene unregelmäßige Verzerrungen innerhalb des Orthobildes. Der aus 36 im Referenz-Kartenmosaik und im entzerrten CORONA-Bild gemessenen Kontrollpunkten berechnete mittlere Punktlagefehler beträgt etwa 9,3 m; der mittlere Punktlagefehler gegenüber dem rektifizierten IKONOS-Bild beträgt 4,7 m.

3 Analysen zum Wandel der Bodenbedeckung und Landnutzung

Für die anschließende Untersuchung zur Veränderung der Landnutzung und Bodenbedeckung wurde ein Teilgebiet aus der Nationalparkregion ausgewählt, welches einerseits seit jeher einer Vielzahl von Nutzungsansprüchen ausgesetzt ist und für das andererseits bereits zahlreiche Referenzdaten als Zusatzinformationen für die Interpretation der CORONA-Orthobilddaten zur Verfügung standen. Die Abgrenzung des etwa 7900 ha großen Teilgebietes erfolgte mittels Naturraumeinheiten mikrochorischen Ranges (vgl. SMU 1997). Die 12 Mikrogeochoren sind zum einen ackerbaulich geprägte Bereiche mit Dorflagen, zum anderen Wald- und Felsgebiete (Abb. 3).

Gängige Klassifikationsansätze wie unüberwachte oder überwachte Klassifizierung, zum Beispiel mit dem Maximum-

Likelihood Verfahren, brachten aufgrund der panchromatischen Eigenschaften der CORONA-Daten keine brauchbaren Ergebnisse. PRANGE (2002a) ermittelte auf diese Weise unter Einbeziehung von Texturmerkmalen maximal vier unterscheidbare Klassen (Wald, Offenland, Siedlung, Wasser). Auch Versuche zur automatischen Abgrenzung von Nutzungseinheiten mit unterschiedlichen Filtern und Segmentierungsverfahren verliefen nicht vielversprechend.

Die folgenden Analysen stützen sich daher auf die visuelle *on-screen*-Interpretation der Bildinhalte. Zur Unterscheidung verschiedener Waldarten wie Laub-, Nadel- und Mischwald erwies sich die Anwendung des Schwellwertverfahrens als teilweise erfolgreich. Dabei wurden die Grauwertebereiche, die die entsprechenden Waldarten kennzeichnen, iterativ bestimmt.

Hilfreich waren in diesem Zusammenhang – trotz entsprechender Unterschiede in den betrachteten Bildmaßstäben – Erkenntnisse einiger im gegenständlichen Zeitraum von 1960 bis 1970 durchgeführter detaillierter Analysen zur visuellen thematischen Interpretierbarkeit von panchromatischen Luftbildern zum Zwecke der Landnutzungsinterpretation, insbesondere den Entwurf und die erzielbaren Genauigkeiten eines spezifischen Interpretationsschlüssels betreffend (STEINER 1961, MEIENBERG 1966).

3.1 Interpretationsschlüssel

Für die visuelle Interpretation wurde in Folge ein Kartierschlüssel auf der Grundlage einer erweiterten CORINE Land-Cover-Nomenklatur¹ (Statistisches Bundesamt 1994) erstellt. Diese gewährleistet die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse mit vorhandenen Geodaten, da sie in vielen europäischen Projekten mittlerweile zur einheitlichen Erfassung der Bodenbedeckung bzw. Landnutzung genutzt wird. Durch den hierarchischen Aufbau der CORINE Nomenklatur ist eine generalisierende Zusam-

¹ Erweiterte Nomenklatur siehe <http://www.ioer.de/langzeitmonitoring/>

menfassung von Bodenbedeckungs- bzw. Nutzungsklassen leicht möglich, da nicht zu differenzierende Nutzungsklassen auf der nächst höheren Ebene des Kartierschlüssels eingeordnet werden können. Lassen sich Acker- und Grünland beispielsweise nicht unterscheiden, dann kann die Fläche zumindest als landwirtschaftlich genutzt ausgewiesen werden.

Die visuelle Interpretation der CORONA-Bilddaten ohne weitere Referenzdaten erlaubt eine zweifelsfreie Zuordnung von maximal 8 Klassen. Die Einbeziehung von Zusatzinformationen und die anschließende komparativ-iterative Analyse der Bildinhalte ist daher unabdingbare Voraussetzung für die erfolgreiche Auswertung der vorliegenden Bilddaten. Durch Einbindung der Topographischen Karte 1:25.000 (TK25, Aktualisierungsstand 1939), des IKONOS-Bildes und ausgewählter großmaßstäbiger CIR-Luftbilder (Aufnahmejahr 1992) konnten auf Basis des CORINE Interpretationsschlüssels insgesamt 18 Landnutzungsklassen in den verwendeten CORONA-Satellitenaufnahmen angesprochen werden (Tab. 2).

3.2 Visuelle Erkennbarkeit ausgewählter Klassen

Dem Vorgang der visuellen Interpretation liegt ein komplexes Zusammenspiel zugrunde, das von der Erkennung der Objekte im Bildmaterial bis zu deren Zuordnung und Klassifizierung reicht. Die Interpretationsgüte ist dabei neben den Kenntnissen und Erfahrungen des Interpreteten insbesondere von der Differenzierbarkeit der objektspezifischen Interpretationsmerkmale wie Grauwert, Schatten, relative Lage, Textur, Form und Größe abhängig.

In einer konkreten Untersuchung konnten Erfahrungen zur visuellen Interpretierbarkeit einzelner Nutzungsklassen und -objekte in den CORONA- und IKONOS-Bilddaten gesammelt werden (LISKOWSKY 2002). So sind *Straßen und Wege* in der CORONA-Szene durch ihre hellen Grauwerte und dem guten Kontrast zur Umgebung deutlich zu erkennen. Eine Unterscheidung in Hauptstraßen, Nebenstraßen und Fahrwege ist möglich, wobei in spezifischen Fällen trotz des zeitlichen Unterschiedes auch die Informationen der TK25 unterstützend hinzu gezogen werden konnten. Im IKONOS-Satellitenbild sind *Straßen und Wege* ebenfalls gut

Tab. 2: Interpretationsschlüssel auf Basis der erweiterten CORINE-Nomenklatur.

Bodenbedeckungs- und Landnutzungsklassen	Erweiterter CORINE-Code	Bodenbedeckungs- und Landnutzungsklassen	Erweiterter CORINE-Code
städtisch geprägte Fläche	11000	Kleingartenanlage	14221
Industrie-/Gewerbefläche	12100	Grünland	20000
Hafen	12300	Ackerland	21110
Hauptstraße	12221	Wald	30000
Nebenstraße	12222	Laubwald	31100
Fahrweg	12223	Nadelwald	31200
Gleisanlage	12240	Mischwald	31300
Abbaufäche/Baustelle	13000	Felsfläche	33210
Abbaufäche	13100	Wasserfläche	51200
Sportplatz	14212	Fließgewässer	51120

zu erkennen. In Waldgebieten wird die Kartierbarkeit jedoch durch die Dichte des Kronendaches bestimmt.

Dörfer und Städte sind im CORONA-Orthobild durch die starke, ungleichmäßige Textur von hellen und dunklen Grauwerten zu erkennen. Es ist jedoch keine Differenzierung zwischen dörflichen Strukturen (CORINE-Nomenklatur „nicht durchgängige städtische Prägung“) und urbanen Flächen (CORINE Nomenklatur „durchgängig städtische Prägung“) möglich, da einzelne Häuser und Gebäude und benachbarte Grünflächen meist nicht trennbar sind. Eine Unterscheidung ist nur durch kontrollierte Integration von Zusatzinformationen möglich. Die Auflösung der IKONOS-Bilder und insbesondere des panchromatischen Datensatzes ist dagegen so hoch, dass Häuser ansprechbar und somit abgrenzbar sind. Dagegen sind *Industrie-/Gewerbeflächen* mit ihren großen Werk- und Produktionshallen von den städtisch geprägten Flächen auch im entzerrten CORONA-Bild unterscheidbar. Ebenfalls in dieser Klasse befinden sich Gebäude und Stallanlagen der ehemaligen Landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften (LPG).

Kleingartenanlagen sind im CORONA-Bild durch die kleingliedrige Struktur, die durch einzelne Gartenparzellen gebildet wird, erkennbar. In der Regel benötigt man jedoch zur Klassifizierung die Hilfe von Zusatzdaten, bei bereits seit den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts bestehenden Anlagen z. B. der TK25 mit Aktualisierungsstand 1939. In dem durch Fusion des panchromatischen Kanals mit den drei Kanälen im sichtbaren Bereich entstandenen IKONOS-Bildes mit einer Auflösung von 1 m ist die Detailerkennung so groß, dass sogar Lauben und Gartenhäuschen sichtbar sind.

Aufgrund der vorherrschenden topographischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet sind die Objekte *Ackerland und Grünland* einerseits sowie die Waldarten Laub-, Nadel- und Mischwald andererseits von besonderer Bedeutung. Dabei sind vegetationslose Ackerflächen auf Grund der hohen Reflexion und der damit sehr hellen Grauwerte sowie durch geradlinige Kanten von

den übrigen Flächen geometrisch klar abgegrenzt und im CORONA-Bildmaterial von allen Klassen am besten extrahierbar. Schwieriger gestaltet sich die Interpretation von schon bewachsenen Feldern im Vergleich zu Wiesen- und Grünflächen. So konnten nur jene Flächen eindeutig klassifiziert werden, die zum Zeitpunkt der Aufnahme unbestellt waren oder eine schütterte Vegetationsdecke aufwiesen. Sind dagegen Felder mit noch jungem, grünem Getreide oder Futterpflanzen bewachsen, ist eine Unterscheidung zu Wiesen und Weiden nicht möglich. Das IKONOS-Sensorsystem bietet im Gegensatz zu CORONA die Möglichkeit, auch die spektrale Reflexion im nahen Infrarot aufzuzeichnen, wodurch sich eine wesentlich bessere Eignung für Vegetationsuntersuchungen ergibt. Trotzdem lassen sich auch hier beispielsweise Felder mit unreifem Getreide von den übrigen Weiden und Wiesen nicht unterscheiden.

Um die einzelnen *Waldarten* im CORONA-Orthobild zu klassifizieren, wurde das Schwellwertverfahren genutzt. Die Übergänge von einer Waldart zur anderen sind fließend, der Grenzverlauf einzelner Klassen kann daher von mehreren Bearbeitern unterschiedlich ausgelegt werden. Junge Nadelbäume besitzen hellgrüne Nadeln und erscheinen im Bild in hellen Grauwerten, weswegen sie fälschlicherweise als Laubwald interpretiert werden könnten. Der Kanal des nahen Infrarot des IKONOS-Aufnahmesystems ist besonders gut zur Differenzierung und Kartierung der verschiedenen Waldarten geeignet. Dennoch existieren Probleme bei der Erkennung der Übergänge der verschiedenen Waldarten, da auch in diesem Falle meistens keine eindeutige Grenze festgelegt werden kann. Die angelegten Fichtenforste sind dagegen gut an den geradlinigen Begrenzungen auszumachen. Weiterhin ergeben sich Überschneidungen mit Grauwerten anderer Klassen, beispielsweise zwischen Laubwald, Wasserflächen und Grünland. Im Gegensatz zur CORONA-Szene sind in der IKONOS-Aufnahme Schonungen kartierbar, unterschiedliche Baumarten innerhalb dieser Flächen jedoch nicht differenzierbar.

Sowohl im CORONA- als auch im IKONOS-Bild konnten *Felsen und Felsformationen* sowie Sandsteinbrüche klassifiziert werden, sofern diese unbewachsen waren. Im CORONA-Bild ist die helle, gekörnte Textur dieser Objekte jedoch im Falle angrenzender Siedlungsgebiete leicht mit diesen zu verwechseln, weswegen in Einzelfällen die TK25 als Zusatzinformation herangezogen werden konnte.

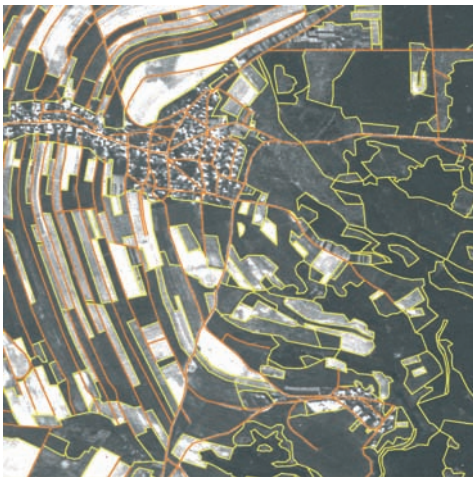
In der Klasse *Fließ- und Stillgewässer* sind im CORONA-Bild nur größere Gewässer wie beispielsweise die Elbe gut sichtbar. Als

schwierig erwies sich in manchen Bereichen die Erkennung der Grenze zwischen Wasserflächen und angrenzenden Wiesen. Die Erkennbarkeit von kleineren Fließgewässern und stehenden Gewässern wie Teichen und Tümpeln ist im CORONA-Bild sehr schwierig bzw. überhaupt nicht möglich. Die Grauwerte von stehenden Gewässern unterscheiden sich nicht wesentlich von jenen für Grünland. Für die Klassifizierung von Wasserflächen erwies sich die Farbinfrarot-Aufnahme des IKONOS-Satellitenbildes als sehr effizient. So sind auch Tümpel und Tei-

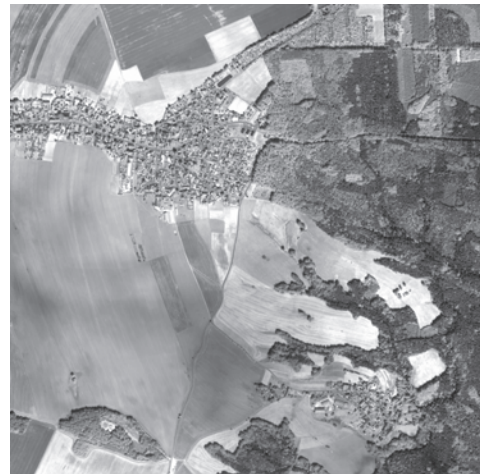
CORONA – Aufnahme 1965



Wegenetz und Nutzungsgrenzen 1965



IKONOS – Aufnahme 2000



Wegenetz und Nutzungsgrenzen 2000

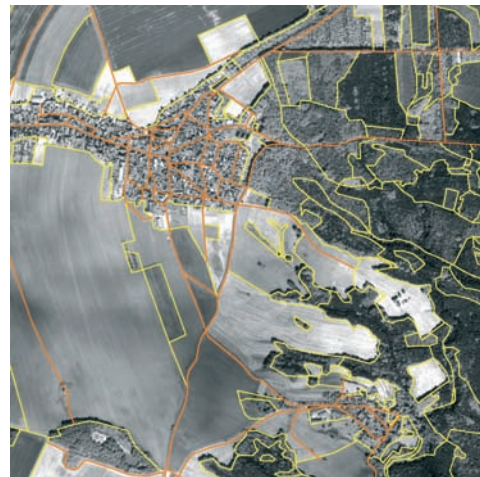


Abb. 2: Wegenetz und Nutzungsgrenzen um die Ortschaft Lohmen 1965 und 2000.

che mit geringem Flächenausmaß sowie die Elbe gut erkennbar.

3.3 Ergebnisse der multitemporalen Klassifikation

Als Ergebnis der visuellen Interpretation lagen Vektor-Datensätze zu den beiden Zeitschnitten 1965 (auf Basis der CORONA-Daten) und 2000 (auf Basis der IKONOS-Daten) vor. Diese entstanden durch manuelles Digitalisieren am Bildschirm auf der Grundlage der georeferenzierten Satelliten-daten (Abb. 2). Anhand dieser digitalen räumlichen Daten konnten quantitative Analysen der Landschaftsentwicklung durchgeführt werden. Deren Ergebnisse bestätigten den ersten Eindruck. Die Landschaft war im Jahr 1965 wesentlich kleingliedriger strukturiert als im Jahr 2000. So besaßen die Ackerflächen im Jahr 1965 nur eine durchschnittliche Größe von 1,69 ha. Demgegenüber beträgt im Jahr 2000 die Durchschnittgröße des Ackerlandes 8,34 ha.

Für den Zeitraum 1965 bis 2000 wurde insgesamt eine Flächenabnahme des Ackerlandes von 20 ha ermittelt.

Im Zeitschnitt 1965 (Abb. 3) wurden über 300 km Wege und 279 km Straßen kartiert. Ursache für die stattliche Länge des Wegenetzes waren die vielen kleinen Ackerflächen, die zu ihrer Erreichbarkeit viele Feldwege erfordern. Dies wird besonders im Bereich Lohmen und Dorf Wehlen deutlich (Abb. 2), wo die Flächen besonders klein und schmal sind. Ausgehend von den an der Straße stehenden Gehöften erstrecken sie sich streifenförmig ins Hinterland. Infolge der Kollektivierung der DDR-Landwirtschaft in den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts verschwand jedoch durch Flächenvergrößerungen eine Vielzahl der Feldwege. Die Längen der Fahrwege und Nebenstraßen haben sich bis zum Jahr 2000 deutlich verringert. Dies wird im Vergleich der beiden Satellitenbilder klar sichtbar. Für den Zeitschnitt 2000 ermittelte LISKOWSKY (2002) die Länge der Haupt- und Nebenstra-

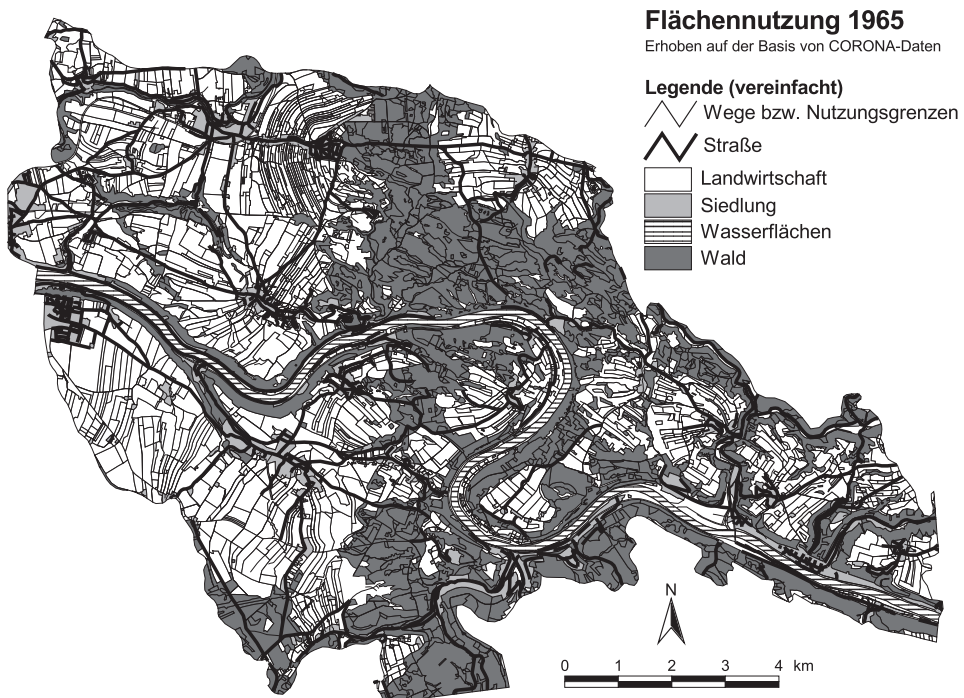


Abb. 3: Karte der Flächennutzung 1965 auf Basis der Auswertung des CORONA-Satellitenbildes.

Ben mit 168,7 km und die der Fahrwege mit 124,4 km.

Bei den *Siedlungsflächen*, die Dörfer, Städte, Einzelhäuser und Gehöfte beinhalten, konnte eine Flächenzunahme um 62,4 ha ermittelt werden. Im Falle der *Industrie- und Gewerbeflächen* ist ebenfalls ein Flächenzuwachs von 31,4 ha dokumentierbar, welcher insbesondere auf den Ausbau und die Errichtung von Industriegebäuden und Förderanlagen der Wismut AG in der Nähe von Leupoldishain zurückzuführen ist.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Dokumentation und Analyse historischer und aktueller Landnutzung bzw. Landbedeckung durch Methoden der Fernerkundung zur sowohl qualitativen als auch quantitativen Erfassung der Landschaftsentwicklung erfordert hinreichend genaue räumliche Bezugsdaten. Vor dem Hintergrund der in der Praxis nach wie vor beschränkten Datenverfügbarkeit mussten bei der Entzerrung und Georeferenzierung der CORONA-Daten zugunsten praktikabler Lösungswege Abstriche bei den theoretischen Anforderungen an die Lagegenauigkeit gemacht werden. Die Orthobilderzeugung wurde mit Standard-Bildverarbeitungssoftware durchgeführt, die eigentlich nicht für die Verarbeitung von Panoramabildern vorgesehen ist. Restfehler aufgrund des Filmverzuges, der näherungsweise Bestimmung der inneren Orientierung sowie der ungünstigen Strahlenschnittgeometrie (schleifende Schnitte) im Rahmen der Bündelblockausgleichung beeinträchtigen die Genauigkeit des entzerrten CORONA-Bildes.

Mittels visueller Analyse auf der Grundlage der CORONA-Orthobilddaten konnten im Untersuchungsgebiet insgesamt 18 Landnutzungsklassen ermittelt werden. Dieses detaillierte Ergebnis wurde jedoch nur unter Zuhilfenahme von ausgewählten Zusatzinformationen aus topographischen Karten sowie durch spezielle Ortskenntnisse und Geländebegehungen möglich. Probleme bereitete u. a. auch das Fehlen entsprechender Referenzdaten aus dem Aufnahmezeitraum. So stammte die zeitlich am nächs-

ten liegende Topographische Karte aus dem Jahr 1939. Eine ausschließlich auf Grundlage des nur für sichtbares Licht sensibilisierten panchromatischen Filmmaterials und eines aus den Film- und Orbitparametern folgenden maximal erzielbaren geometrischen Auflösungsvermögens des CORONA-Bildes von ca. 3 m durchgeführte visuelle Interpretation gestattet hingegen nur die Trennung in 8 Landnutzungsklassen. Die fehlende multispektrale Auflösung insbesondere im nahen Infrarot wirkt sich besonders bei der Kartierung von Gewässerläufen und Gewässerflächen negativ aus und verhindert auch eine tiefgründigere Untersuchung der Vegetationsklassen sowie der naturräumlichen Feingliederung. Weiterhin müssen bei der Bewertung der Ergebnisse die unterschiedlichen saisonalen Aufnahmezeitpunkte (Mai *versus* August) der verwendeten Satellitenbilder berücksichtigt werden, wodurch das Auswertergebnis beeinflusst wird (LISKOWSKY 2002).

Die Einbeziehung des IKONOS-Satellitenbildes vom August 2000 ermöglichte dennoch eine aussagekräftige Analyse der Landschaftsentwicklung über einen Zeitraum von 35 Jahren. Im Untersuchungsgebiet waren dabei die größten landschaftlichen Veränderungen im Bereich der landwirtschaftlichen Flächen infolge der Zusammenlegung kleiner Schläge im Zuge der Kollektivierung der DDR-Landwirtschaft auszumachen. In der Forstwirtschaft sind Tendenzen weg von den Fichtenmonokulturen hin zu Mischwäldern zu beobachten. Bezüglich der Entwicklung der Flächenausdehnung von Ortschaften und Industriegebieten ist die zu erwartende Zunahme festzustellen.

Die gewonnenen Ergebnisse für das Untersuchungsgebiet Vordere und Hintere Sächsische Schweiz lassen den Schluss zu, dass Orthobilder aus CORONA-Daten als wirklichkeitstreue Abbildungen für Aufgabenstellungen wie die Analyse von Landbedeckungen und Strukturgefügen durchaus geeignet sind. Zum Zwecke der Vegetationskartierung und für die Ermittlung detaillierter Flächenversiegelungen sind jedoch alternative Raum bezogene Daten wie historische topographische Karten und Forstkar-

ten, Luftbilder sowie weitere ergänzende Informationsquellen heranzuziehen.

Insgesamt ist festzuhalten, dass photographische Satellitenbilder der CORONA-Missionen bei allen Einschränkungen eine nicht zu unterschätzende Bedeutung als wirklichkeitsgetreue historische Quelle zur Dokumentation des Landschaftszustandes im Zeitraum 1960 bis 1972 besitzen. Ihre Verfügbarkeit für viele unterschiedliche geographische Räume weltweit und die große Flächenüberdeckung der einzelnen Aufnahmen ermöglichen weitreichende Analysen sowohl des Ist-Zustandes als auch der Veränderungen von Landschaften über den Zeitraum der letzten 40 Jahre. Darüber hinaus enthalten CORONA-Satellitenbilder wertvolle spezifische Informationen zur Landnutzungsstruktur, die in analogen historischen Karten in der Regel nicht enthalten sind, wie z. B. die Größe und Anordnung von Ackerschlägen.

5 Literatur

- CSAPLOVICS, E., KAUTZ, A., WAGENKNECHT, S. & TROMMLER, M., 2000: Aufbau eines raumbezogenen Informationssystems zur nachhaltigen Entwicklung der grenzüberschreitenden Nationalparkregion Sächsisch-Böhmische Schweiz. – *Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden*, 2000 (6): 99–103.
- CSAPLOVICS, E., NAUMANN, K. & WAGENKNECHT, S., 2003: Beiträge zur Extraktion von Felskanten aus Airborne Laser Scanner Daten am Beispiel der Elbsandsteinformation im Nationalpark Sächsische Schweiz. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, 2003 (2): 105–114.
- [FAS] Federation of American Scientists, 1997: Military Space Program: Corona. <http://www.fas.org/spp/military/program/imint/corona.htm>.
- KAUFMANN, V. & SULZER, W., 1997: Über die Nutzungsmöglichkeiten hochauflösender Spionage-Satellitenbilder (1960-1972). – *Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation*, 1997 (3): 166–174.
- LISKOWSKY, G., 2002: Untersuchung der Eignung von Fernerkundungsdaten zur Analyse der Landschaftsentwicklung. – 112 S. + Anhang, Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Dresden.
- PRANGE, L., 2002a: Eignung von CORONA-Bildern als Grundlage für eine multitemporale Landnutzungsanalyse. – 54 S., Studienarbeit am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Dresden.
- PRANGE, L., 2002b: Aufbau eines historischen Orthobild Datensatzes für die grenzüberschreitende Schutzgebietsregion Sächsisch-Böhmische Schweiz aus photographischen Satellitenbildern der CORONA-Missionen. – 154 S., Diplomarbeit TU Dresden.
- TROMMLER, M. & CSAPLOVICS, E., 2001: Raumbezogene Informationssysteme für grenzüberschreitende Nationalparkregionen im zentraleuropäischen Raum – Ein Pilotprojekt mit den Modellregionen Sächsisch-Böhmische Schweiz (Tschechien, Deutschland) und Neusiedler See-Fertő/Hanság (Ungarn, Österreich). – In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIII*, S. 499–505, Wichmann-Verlag, Heidelberg.
- [USGS] United States Geological Survey, 2003: Declassified Satellite Imagery – 1 (1996) <http://edc.usgs.gov/guides/disp1.html>
- WALZ, U., LEIBENATH, M. & CSAPLOVICS, E., 2003: Der Aufwand lohnt sich. Erfahrungen mit grenzüberschreitenden Geoinformationssystemen in der Nationalparkregion Sächsisch-Böhmische Schweiz. – *GeoBit* 7 (8): 25–27, Heidelberg.
- WALZ, U. & LEIBENATH, M., 2003: GIS als Instrument zur Entwicklung grenzüberschreitender Großschutzgebietsregionen in Mittel- und Osteuropa. Ergebnisse eines Modellvorhabens in der Sächsisch-Böhmischen Schweiz. – *Naturschutz und Landschaftsplanung*, Jg. 35, H. 5: 137–142.

Anschriften der Verfasser:

Dr. rer. nat. ULRICH WALZ

Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.,
Weberplatz 1, D-01217 Dresden, u.walz@ioer.de

Dipl.-Ing. GEORG LISKOWSKY

aphos Leipzig AG, infos@aphos.de
Prager Straße 17, D-04103 Leipzig

Dipl.-Ing. LARS PRANGE

Mintropstraße 14, D-40215 Düsseldorf
e-mail: unita@gmx.de

Prof. Dr. techn. habil. ELMAR CSAPLOVICS und

Dipl.-Ing. STEFAN WAGENKNECHT, MSc

TU Dresden, Institut für Photogrammetrie und
Fernerkundung

Stefan.Wagenknecht@mailbox.tu-dresden.de

Manuskript eingereicht: Januar 2004

Angenommen: April 2004