

Zur Erfassung langjähriger Landschaftsveränderungen aus historischen und aktuellen Luftbildern und Karten

RALF KALKE, HARTMUT KENNEWEG, Berlin & ECKHARDT SEYFERT, Potsdam

Zusammenfassung: Für historische Landschaftsanalysen liegt in Deutschland ein reichhaltiges und qualitativ hochwertiges Angebot an Luftbildern und Karten vor. Vermessungsämter und Archive bergen Material in einem Umfang, der selbst auf Landesebene schwer vollständig zusammenzufassen ist. Eine typische Nutzergruppe, die sich sowohl dem aktuellen als auch dem historischen Material widmet, ist im weitesten Sinne der Raumplanung zuzuordnen.

Im folgenden Beitrag wird geschildert, welche Daten das Landesvermessungsamt Brandenburg einem Projekt der TU Berlin zur Verfügung stellen konnte, das langjährige Veränderungen auf einem Truppenübungsplatz zu erfassen und zu diagnostizieren hatte, welche Bedeutung Veränderungsnachweisen in der Landschaftsplanung beigemessen wird und schließlich, wie die Luftbilder und Karten mit einem nicht photogrammetrischen Verfahren ausgewertet wurden.

Summary: *The documentation of long-time changes in landscape with historical and present aerial photographs and maps.* In German Survey Offices and archives exist a large and high-quality fund of aerial photographs and maps for historical landscape analysis. A typical user with a high interest in current and historical material is related to landscape planning and geography.

The following article describes the kind of data offered from the Survey Office of Brandenburg to a project of the Technical University of Berlin. In the project the long-time changes on a military training area had to be acquired and to evaluated. An explanation about the importance of change detection in the field of landscape planning will follow.

Finally a non-photogrammetric procedure is described to assess actual and historical aerial photographs in a simple digital manner.

1 Datenmaterial des Landes Brandenburg

Das Landesvermessungsamt Brandenburg übernahm bei seiner Gründung im März 1991 die Originale der Topographischen Kartenwerke 1:10000, 1:25000, 1:50000 und 1:100000 sowie die Original Luftbildfilme von den bis dahin zuständigen Stellen und Einrichtungen.

1.1 Topographische Kartenwerke

Bei den Unterlagen für die Topographischen Kartenwerke handelte es sich um die Originale der vorhergehenden Laufendhaltungsperiode, also Unterlagen aus dem Zeitraum von 1985–1990. Entsprechend den in der

DDR gültigen Vorschriften zur Geheimhaltung militärischer Objekte existierten die Topographischen Kartenwerke ab dem Maßstab 1:25000 flächendeckend in den zwei Formen „Ausgabe Staat“ (AS) und „Ausgabe für die Volkswirtschaft“ (AV). Die Kartenwerke im Maßstab 1:10000 lagen nicht flächendeckend vor. AS und AV ergänzten sich so, dass eine annähernde Flächendeckung erreicht wurde. Von den durch die GUS genutzten Truppenübungsplätzen lagen keine Topographischen Karten in diesem Maßstab vor.

Es ist darauf hinzuweisen, dass sich die beiden Kartenwerke nicht nur in ihrem Inhalt unterschieden, sondern auch unterschiedliche geodätische Bezugssysteme zur Grundlage hatten. Die Topographischen

Karten der Ausgaben AS bezog sich auf das Ellipsoid von Krassowski mit dem Zentralpunkt Pulkovo. Die Abbildung ist eine konforme querachsige Zylinderprojektion (Gauß-Krüger-Abbildung) im 6°-Meridian-Streifensystem mit einem längentreuen Mittelmeridian. Für die Topographischen Karten der Ausgabe AV hatte man den geodätischen Bezug (Referenzellipsoid von Bessel mit Zentralpunkt Rauenberg, auch als „Potsdam Datum“ bekannt, mit einer Gauß-Krüger-Abbildung im 3°-Meridian-Streifensystem) der „Messtischblätter“ von vor 1945 beibehalten. Allerdings wurde ein neuer Kartenblattschnitt und ein anderer Zeichenschlüssel eingeführt (KRAKAU 1994).

Beide Kartenwerke unterlagen einem fünfjährigen Laufendhaltungszyklus, der so organisiert war, dass alle in den Topographischen Karten 1:10 000 darzustellenden topographischen Veränderungen in den topographischen Originalen dieses Maßstabes erfasst wurden und anschließend der kartographischen Bearbeitung, entweder der Ausgabe AS bzw. AV im Basismaßstab und den Folgemaßstäben übergeben wurden.

Mit der Gründung des Landesvermessungsamtes Brandenburg wurde die Umstellung der Kartenwerke auf den Duktus und den Blattschnitt der Bundesrepublik Deutschland für die gesamte Maßstabsreihe begonnen. Eine genaue Beschreibung dieser Kartenwerke ist in den Musterblättern (z. B. LVermA 1996) der Topographischen Karten zu finden.

Den Musterblättern ist auch eine Gegenüberstellung der alten und neuen Kartenzeichen zu entnehmen (Kartenzeichen-Nr.). Das hat sich insbesondere für Auswertungen, die sich über mehrere „kartographische Epochen“ erstrecken, zur Erstellung der Interpretationsschlüssel als hilfreich erwiesen.

Auf der Grundlage der aktualisierten und umgestellten Topographischen Karten TK10-Normalausgabe und von Luftbildkarten TK10L begann man 1992 mit den Digitalisierungsarbeiten für das Digitale Landschaftsmodell (DLM) zur Umsetzung des Projektes ATKIS. Digitalisiert wurden alle die im Objektartenkatalog ausgewähl-

ten Objekte der ersten Erfassungsstufe. Die Kriterien für die Erfassung orientierten sich am Inhalt der TK25.

Bedingt durch die mangelnde Genauigkeit der verwendeten TK10N und der TK10L als Digitalisieruvorlage, konnte die für das Projekt ATKIS angegebene Genauigkeitsanforderung von $< \pm 3$ m (für Verkehrswege) nicht erfüllt werden. Durch einen aufwändigen Bearbeitungsschritt, der so genannten „Lageverbesserung“, wurden die Daten der ersten Erfassungsstufe (DLM25/1) mit neu berechneten digitalen Orthophotos verschnitten und deren Lage mit den lagerichtigeren Konturen der Orthophotos in Übereinstimmung gebracht. Bei den Arbeiten zur zweiten Ausbaustufe des DLM sollen neben der Aktualisierung des DLM25/1, der Erfassung neuer Objektarten und Attribute auch noch die Erfassungskriterien (Mindestflächen, -breiten und -längen) verfeinert werden, so dass die digitale Ableitung einer TK10 bereits aus diesem Datenbestand möglich wird (SEYFERT 1997).

1.2 Luftbildunterlagen

Noch vor der Gründung des Landesvermessungsamtes begann man mit der Übernahme der Luftbilder, die für die Laufendhaltung der topographischen Karten angefertigt worden waren. Das betraf für Brandenburg hauptsächlich die Befliegungen ab 1981. Die Bildmaßstäbe dieser zyklischen Befliegungen waren 1:12 500, 1:18 000, 1:27 000 oder 1:34 000.

In den darauf folgenden Jahren wurden weitere Luftbildunterlagen übernommen oder, in Abstimmung mit anderen Landesbehörden, gezielt für das Land angekauft. So konnten 85 Kartenblätter aus dem Luftbildkartenwerk 1:25 000 des Deutschen Reiches (Entstehung zwischen 1936 und 1943) und so genannte Kriegsluftbilder der US-Luftwaffe (CARLS, GLASER & HECK 2000) einschließlich der Bildflughnachweise beschafft werden. Die Kriegsluftbilder liegen nicht flächendeckend vor, haben keinen einheitlichen Aufnahmemaßstab und sind auch hinsichtlich der Bildqualität sehr un-

terschiedlich. Aus dem Jahr 1953 liegt für den größten Teil der Landesfläche (LVermA 2001) eine Befliegung der sowjetischen Armee im Maßstab 1 : 22 000 vor. Hervorzuheben ist dabei das Bildformat von 30 cm × 30 cm. Angaben zur inneren Orientierung der Aufnahmen fehlen.

Seit 1990 wurden durch das Landesvermessungsamt Bildflüge in den Maßstäben 1 : 18 000 und 1 : 34 000 für die Aktualisierung der TK 10 oder die Herstellung der digitalen Luftbildkarte TK 10DL in Auftrag gegeben. Die TK 10DL liegt digital vor, kann aber auch als Druck abgegeben werden. Zusätzlich wurden, abgestimmt mit anderen Landesbehörden, Landesbefliegungen realisiert. So gab es in den Jahren 1991/92 eine CIR-/SW-Befliegung im Maßstab 1 : 10 000. Die Schwarz-Weiß-Befliegung wurde in den Jahren 1996 bis 1998 wiederholt.

Der landesweit in den Jahren 1992 und 1993 durchgeführte CIR-Bildflug 1 : 10 000 dient u. a. als Basis der digitalen Biotop- und Nutzungstypenkarte 1 : 10 000 und ist dem Landesvermessungsamt überstellt worden. Er dokumentiert den Landschaftszustand vor den Entwicklungen der Nachwendezeit und markiert einen Meilenstein der Landesaufnahme (Landesumweltamt 1995).

2 Zur Bedeutung historischer Landschaftsveränderungen für planerische Zwecke

Die räumliche Planung (Raumordnung, Bauleitplanung) einschließlich der meisten Fachplanungen (z. B. für Verkehrswege) ist zukunftsorientiert und berücksichtigt historische Landschaftszustände prinzipiell nur insoweit, als sie ihr Vorgaben machen bzw. Lasten und Hindernisse auferlegen. Dies geschieht auf Grund rechtlicher Verpflichtungen, die sich aus dem 13. Grundsatz (§ 2, Abs. 1 BNatSchG) ableiten, der den besonderen Schutz der Kulturlandschaften, einschließlich ihrer Vielfalt, Eigenart und Schönheit zum Gegenstand hat. Ein Beispiel für solche Vorgaben kann die i. d. R. erforderliche Beschränkung der Siedlungserweiterung auf Flächen im Anschluss an bereits bestehende Siedlungen genannt werden,

während der Außenbereich frei gehalten werden soll. Altlasten oder bergbaubedingte Bodensenkungen repräsentieren typische Fälle der Belastung von Planungsgebieten. Historische Bauwerke oder wertvolle Biotope können Hindernisse für die bautechnisch optimale Trassenführung einer neuen Straße sein. Das Planungsgebiet der Denkmalpflege kann den Hauptzielen der räumlichen Planung entgegenstehen, ist aber überschaubar und beansprucht (außer dem Umgebungsschutz für bestehende Monumente) keine Entwicklungsgebiete. Die mit dem Bundesnaturschutzgesetz von 1976 eingeführte Landschaftsplanung stellt mit ihren speziellen Instrumenten auf mehreren Planungsebenen wesentlich weitergehende Gebietsansprüche, die im nachfolgenden Abschnitt darzustellen sein werden.

2.1 Landschaftsplanung und Veränderungsnachweise

Aus dem vielfältigen Arbeitsbereich der Landschaftsplanung sollen hier nur einige Beispiele herausgegriffen werden, die auf die Analyse historischer Landschaftszustände und damit auf Veränderungsnachweise angewiesen sind.

Landschaftsplanung gliedert ihr umfangreiches und interdisziplinäres Arbeitsfeld thematisch nach „Schutzgütern“ (Boden, Wasser, Luft, Pflanzen und Tiere, Landschaftsbild), „Landschaftspotenzialen“ (z. B. Ertragspotenzial) oder „Landschaftsfunktionen“ (z. B. Abflussregulationsfunktion, GRUEHN & KENNEWEG 1998). Unabhängig vom thematischen Ansatz gehört die Beseitigung von negativen ökologischen Folgen technisch dominierter Planungen durch „Renaturierungsmaßnahmen“ zu den Standardaufgaben der Landschaftsplanung. Insbesondere verpflichtet die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung zur Vermeidung oder Kompensation von „erheblichen und nachhaltigen“ Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft. Die Entwicklungsziele sind in diesen Fällen zu einem erheblichen Teil Rekonstruktionsziele, die sich an früheren Landschaftszuständen orientieren müssen. Beispiele:

- Wiedervernässung trockengelegter Niederungen und Moore;
- Bodenschutz: Erosionsschutz; Sanierung bzw. Berücksichtigung von Altlasten;
- Wiederbewaldung unrentabel gewordener Landwirtschaftsflächen;
- Entsiegelung unnötig versiegelter Flächen;
- Rekonstruktion von Hecken als Biotopverbundstruktur;
- Ausbaggern zugeschütteter Kleingewässer.

Durch den 1980 eingeführten 13. Grundsatz im § 2 des BNatSchG, der die Erhaltung historischer Kulturlandschaften zur besonders hervorgehobenen Aufgabe der Landschaftsplanung macht, bekommt die historische Landschaftsanalyse prinzipiell erheblichen Stellenwert. In umfangreichen Arbeiten zeigen BECKER 1998 für schleswig-holsteinische Landgemeinden und BACHER 1999 für das Oderbruch, dass die ernst gemeinte Umsetzung dieser Leitidee nicht nebenbei durchführbar ist, sondern vorausgehende umfangreiche Studien an historischem Daten-, Karten- und Luftbildmaterial benötigt. Es gibt, wie auch andere Autoren vorher feststellten (z. B. WÖBSE 1994), erheblichen Forschungsbedarf und noch größere Umsetzungsdefizite auf diesem Gebiet, die im Wesentlichen auf fehlende Finanzierungsmöglichkeiten zurückgeführt werden. Die Einführung rationeller Vergleichs- und Analysemethoden für multitemporale Fernerkundungsaufzeichnungen mit Luftbildern, die teilweise bis in die 20er Jahre des letzten Jahrhunderts zurückreichen, ist daher eine wichtige Voraussetzung für Fortschritte beim umsichtigen Kulturlandschaftsschutz.

2.2 Der Sonderfall der Truppenübungsplätze

In Folge der politischen Veränderungen während der 90er Jahre wurden zahlreiche Truppenübungsplätze, auch solche, die sehr lange unter militärischer Nutzung standen, nicht mehr für diese Zwecke benötigt. Diese zusammenhängenden großen Areale setzen sich teilweise aus ehemaligen Kulturland-

schaften zusammen (abgesiedelte Dörfer oder Gehöfte sind teilweise noch vorhanden oder erkennbar), großenteils aber wurden sie in einer mit ziviler Nutzung nicht vergleichbaren Art behandelt und unterliegen seit der Aufgabe der militärischen Nutzung einer nicht weiter vom Menschen beeinflussten natürlichen Sukzession. Das gilt auch für große bebaute Teilflächen. Wegen militärischer Geheimhaltung sind im zivilen Bereich nur wenige Karten und Luftbilddokumente verfügbar, die die Entwicklung dieser Flächen nachvollziehbar machen könnten. Planerisch sind diese Flächen allein wegen ihrer Flächengröße von erheblichem Interesse. Eine bauliche und sonstige wirtschaftliche Nachnutzung im Zuge der Konversionsplanung muss sich mit der Altlastenproblematik und der Ablegenheit bzw. Unwirtlichkeit vieler dieser Standorte auseinandersetzen. Die Wiederherstellung der vormilitärischen Kulturlandschaft kann ein Leitbild für die Konversionsplanung sein bzw. Anhaltspunkte für ein solches geben (BÜSCHING 2000, THORMEYER 2000). Die Landschaftsplanung sieht in den ehemaligen Truppenübungsplätzen vornehmlich Kernzellen einer natürlichen Entwicklung, die der ungesteuerten oder teilgesteuerten Entwicklung, also dem Naturschutz-Leitgedanken des Prozessschutzes unterliegen sollten (DEMUTH u.a. 2000). Dauerbeobachtung (Monitoring), sicher vielfach mit Hilfe von Fernerkundungsmethoden, ist aus der Sicht der Landschaftsplanung dort wichtig. Die rückblickende Dauerbeobachtung, also die historische Landschaftsanalyse, ist auch für die Landschaftsplanung bedeutsam, um die standörtlichen Gegebenheiten verstehen und die Entwicklung richtig beurteilen zu können; militärische Altlasten sind natürlich auch vom Naturschutz und der Landschaftsplanung zu berücksichtigen.

2.3 Die Auswertung historischer Fernerkundungsdaten für Planungszwecke

Jede heutige Auswertung von Fernerkundungsaufzeichnungen für Zwecke einer historischen Landschaftsanalyse muss i. d. R.

davon ausgehen, mit Daten arbeiten zu müssen, die für den Auswertezweck nicht optimal sind. Vielmehr besteht die Notwendigkeit, einen möglichst vielseitigen und aussagekräftigen, multitemporalen Bild- und Kartenfundus zusammenzustellen, aus dem je nach Planungsebene, Zielsetzung und Eignung eine Auswahl vorgenommen werden kann.

Eine Militär-Aufnahme bei Schneelage wird in der Regel kaum geeignet sein für Vegetationsstudien, auf einer LANDSAT-MSS-Szene der 70er Jahre mit einer Bodenauflösung von ca. 70 m ist es hoffnungslos, Heckenstrukturen rekonstruieren zu wollen. Nur in besonderen Glücksfällen wird es beispielsweise gelingen, anhand alter Stereo-Aufnahmen zufällig abgebildete Giftfässer einzumessen, die in 6 m Tiefe unter einer heute überbauten ehemaligen Kiesgrube liegen (KENNEWEG 1996). Da für viele alte Luftbildaufnahmen die Daten der inneren Orientierung nicht bekannt sind, ist eine Auswertung nach hochgenauen Ansprüchen, wie sie mit photogrammetrischen Geräten prinzipiell möglich sind, von vornherein auszuschließen. Eine Lage(un)genauigkeit im Meterbereich muss wahrscheinlich akzeptiert werden. Die Aufbereitung mehrerer multitemporal aufgenommener Datensätze, ergänzt um Kartendarstellungen, in einer Rasterdatei mit einer Pixelgröße im Bereich von 1–3 m kann vielen Ansprüchen genügen, wie nachfolgend gezeigt wird.

3 Zur Erfassung von Landschaftsveränderungen aus Luftbild- und Kartenmaterial

Die Vielzahl der verfügbaren Materialien kann für Anwender, die nicht über eine gute Auswahl von photogrammetrischer Technik verfügen, ein Problem aufwerfen. Die bei historischem Material üblichen Luftbildformate und kartographischen Darstellungsweisen erlauben es nicht, mit nur einem, zurzeit modernen Gerät, eine umfassende und zweckmäßige Auswertung vorzunehmen; umfassend im Sinne der Sichtbarmachung aller vorhandenen Karten- und Luftbildinhalte im Ergebnisbild und zweckmäßig im

Sinne der schnellen und freien Kombination der Karten- und Luftbildinhalte.

Dem Kartieren von Landschaftszuständen sind auch noch zwei inhaltliche Mängel immanent, auf die u. a. BLASCHKE 1997 und FRITSCH et al. 1998 bereits näher eingingen.

So müssen „unscharfe“ natürliche Zustände und Objekte i. d. R. durch scharfe Grenzen repräsentiert werden. Nicht nur, dass bei der Erfassung und Umzeichnung in eine Auswertekarte geometrische Fehler in Kauf genommen werden müssen, sondern die Vektordarstellungen vermitteln beim Betrachter auch eine weder beabsichtigte, noch real vorhandene Lagegenauigkeit.

Zum Zweiten leidet das übliche Verfahren auch an einem Mangel an Nachvollziehbarkeit. Die ausgewerteten Luftbilder sind meist nicht orthorektifiziert. D. h., sie weisen je nach Aufnahmebedingungen die durch Gelände und Überflug verursachten Verzerrungen auf, die der Interpret bei der Auswertung am Gerät korrigieren muss. Die dann einmal vom Interpreten festgelegten räumlichen und inhaltlichen Merkmale sind dann bei vergleichenden Auswertungen kaum noch zu verifizieren, wenn nicht das gesamte Ausgangsmaterial nochmals zur Verfügung steht.

Diesen Defiziten steht aber der enorme Informationsgehalt besonders der Luftbilder, aber auch der Karten gegenüber. Die Diskrepanz zwischen gut zugänglichem Datenangebot einerseits und vergleichsweise zurückhaltender Nutzung andererseits ist sicher auch Folge des Aufwandes, der für eine umfassende Auswertung zu betreiben ist.

Somit kann man einen historisch-geographischen Vergleich anhand von Luftbild- und Kartenmaterial durchaus noch nicht als allgemein etabliertes, schnell verfügbares Handwerk bezeichnen. Demgegenüber werden die Verfahren der Satellitenfernerkundung mit unterschiedlichen Daten, Maßstäben und Zielstellungen immer erfolgreicher angewandt, vgl. u. a. BANZHAF/KASPERIUS 1998, KUSSEROW/HAENISCH 1999, JÜRGENS 2000. Manche Projekte sind bereits explizit auf Monitoring orientiert, z. B. CORINE, MoBio und MOMSIS.

3.1 *Ein digitales Verfahren zum Vergleich analoger Bild- und Kartenmaterialien*

Mit einem vergleichsweise einfachen und gerätetechnisch anspruchslosen Verfahren kann eine Auswertung erfolgen, die für die meisten geographischen und planerischen Anforderungen hinreichend ist, auch wenn es photogrammetrischen Ansprüchen nicht voll gerecht werden kann.

Dabei werden die analogen Daten digital aufbereitet, um visuell oder rechnergestützt zur Auswertung zu gelangen. Der Prozess umfasst:

1. Scannen und ggf. Bildkorrekturen
2. Georeferenzieren
3. Entzerren und ggf. Mosaikbildung
4. Erzeugung von Bildkompositen
5. Auswerten des Bildkomposites

Nachfolgend soll der Ablauf in wesentlichen Zügen und einige Erfahrungen näher geschildert werden.

3.1.1 *Vorüberlegungen*

Zuvor sind Überlegungen hinsichtlich der Sichtbarkeit der auszuwertenden Objekte insbesondere in den Luftbildern (radiometrische und geometrische Auflösung vs. Datenumfang) zweckmäßig. Nicht „so viel wie möglich“ sollte angestrebt werden, sondern in Erwartung der Entstehung und weiteren Verarbeitung mehrkanaliger Bilder „so viel wie nötig“.

So unterscheiden sich die notwendigen optischen Auflösungen für eine Analyse größerer Strukturen (Verteilung: Wald, Siedlung, Feld usw.) von Untersuchungen kleinerer und einzelner Objekte und Strukturen (z. B. Bodenveränderungen, Hecken, Flächennutzung innerhalb von Siedlungen). Zur Einschätzung der tatsächlichen Sichtbarkeit sind bekanntlich nicht nur die Korngröße des Films bzw. die Kantenlänge des Bodenpixels ausschlaggebend, sondern auch die Bedingungen der Wahrnehmbarkeit und Interpretierbarkeit des Objektes in seiner Umgebung (vgl. die „Bildgestalt“ in HILDEBRANDT 1996).

Die Digitalisierauflösung muss andererseits gewährleisten, dass ein relevantes Objekt durch eine ausreichende Anzahl von Pixeln erfasst wird, um den Rand des Objektes auch bei Entstehung von Mischpixeln letztendlich einem Pixel zuordnen zu können.

3.1.2 *Scannen*

Dieser Vorgang ist Büroalltag, sollte auf Grund der Bedeutung der räumlichen Position der Pixel aber durch einen Test des Gerätes vervollkommen werden. Als Testfigur bietet sich z. B. ein Siemensstern an, der auf verschiedenen Stellen des Gerätes aufgelegt auch die eine oder andere (bisher nicht vermutete) geometrische Schwäche zu Tage fördern kann.

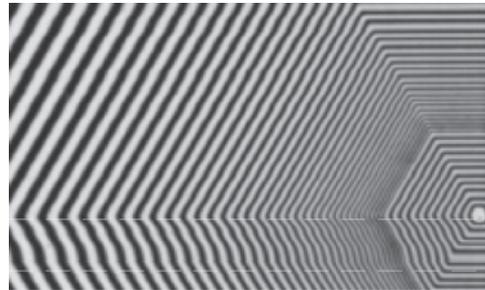


Abb. 1: Bildfehler des HP ScanJet IIcx am unteren Rand des Bildträgers (horizontaler Punktversatz im markierten Bereich).

Sollte das Material nicht vollständig auf dem Scanner Platz finden (z. B. Karten und großformatige Luftbilder), dann müssen diese in Teilen aufgenommen und einzeln behandelt werden. Dabei ist u. a. darauf zu achten, dass die Funktion des Scanners zur automatischen Anpassung von Kontrast und Helligkeit abgeschaltet wird, um Inhomogenitäten bei der späteren Mosaikbildung zu vermeiden.

3.1.3 *Georeferenzieren*

Auch dieser Vorgang ist hinreichend bekannt. Bildpunkten in Karten und Luftbildern werden mittels geeigneter Software geographische Koordinaten zugewiesen. Bei historischem Luftbildmaterial kann dies

aber schwierig und zeitaufwändig sein, da man in stark verändertem Gelände Passpunkte nur schwer lokalisieren kann. Eine Luftbildkarte kann hierbei sehr hilfreich sein, da sich in ihr u. U. alte Landschaftsstrukturen wiedererkennen und georeferenziert entnehmen lassen (Bild-auf-Bild-Entzerrung). Ist das nicht möglich, müssen Versuche unternommen werden, in denen zwischen Zuverlässigkeit des Passpunktes und resultierendem RMS-Fehler abgewogen wird. Um Entzerrungsfehler auf Grund des radialen Punktversatzes zu minimieren, sollten nur Passpunkte verwendet werden, die in einer mittleren Geländeebene liegen.

Bei Karten sollte ebenfalls, wenn möglich, mit dem bereits georeferenzierten digitalen Material der Vermessungsbehörden gearbeitet werden. Historische Karten müssen jedoch umsichtig selbst bearbeitet werden. Dabei ist über die zu wählenden Passpunkte (Gitterkreuze oder „robuste“ Kartenobjekte) für jede historische Karte spezifisch zu entscheiden.

3.1.4 Entzerren und Mosaikbildung

Luftbilder und Karten werden nun auf ein gemeinsames Koordinatensystem entzerrt. Das entspricht einem in der Fernerkundung üblichen Resampling, wobei hier nochmals an die Zusammenhänge zwischen Ausgangsmaßstab des Luftbild- und Kartenmaterials, der (physikalischen!) Auflösung des Scans und dem resultierenden Ergebnis (Pixelgröße und Entzerrungsfehler) erinnert werden soll. Die fotografischen Bedingungen historischer Luftbilder (mehrfaches Umkopieren und Papierverzug) und deren geometrische Unbestimmtheit münden schnell in unvermeidbaren RMS-Fehlern von mehreren Metern. Im Falle der Luftbildkarte des Deutschen Reichs tritt zusätzlich die Unkenntnis über die Produktion dieses entzerrten und montierten Luftbildmosaiks hinzu.

Die digitalen Karten müssen ggf. auch einer Koordinatentransformation unterzogen werden. Die Standard-Bildverarbeitungsprogramme bieten nicht immer alle notwendigen Modelle. Hilfreich können

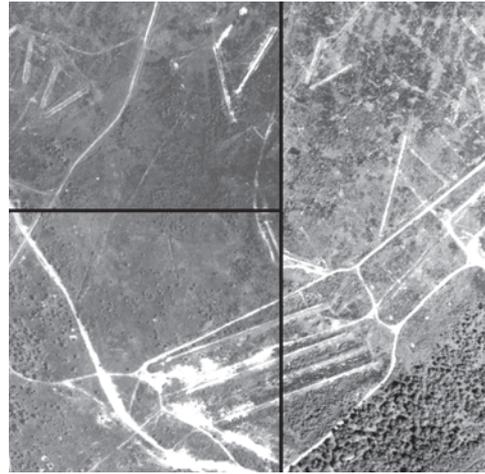


Abb. 2: Detail aus Luftbildmosaik.

hierbei z. B. Programme wie TRANSDAT oder WGEO werden.

Die Erzeugung von Bildmosaiken wird je nach räumlichem Bedarf vorgenommen. Da sich geometrische Abweichungen zwischen den Bildübergängen (Spannungen) auf Grund der nur angenäherten Entzerrung ergeben, sollten diese auch nicht verschwiegen, sondern bewusst kenntlich gemacht werden.

3.1.5 Kompositbildung und -auswertung

Die geometrisch und radiometrisch aufbereiteten Karten- und Luftbildszenen werden nun jeweils einem Bildkanal eines n-kanaligen Bildes zugewiesen. Es entsteht ein georeferenzierter und visuell optimierter Fundus, aus dem je nach Auswerteziel beliebige Ebenen (Kanäle) ausgewählt und einem Kanal eines RGB-Bildes zugeordnet werden kann. Ergebnis ist ein Bild, das am Rechner wahlweise als Farbkomposit oder einkana-

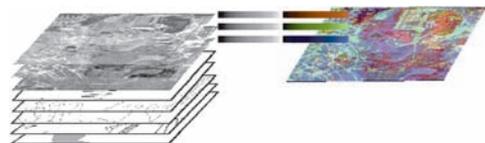


Abb. 3: Prinzip der Kompositbildung.

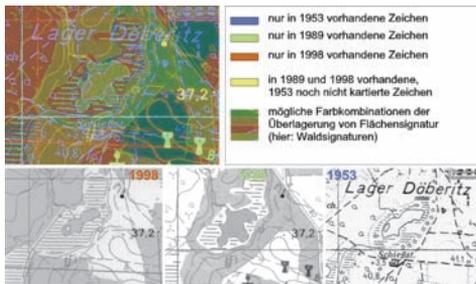


Abb. 4: Kartenkomposit.

lig als Grauwertbild betrachtet und zur Optimierung digital weiterverarbeitet werden kann.

Je nach Zusammenstellung der Komposite resultiert für den Betrachter ein anfangs mehr oder weniger verständliches Bild. Werden nur Karten kombiniert, sind die Farbstellungen leicht den Kanälen (Karten) zuzuordnen. Mischfarben resultieren aus Grautönen, lasierenden Farben, Schraffuren u. Ä.

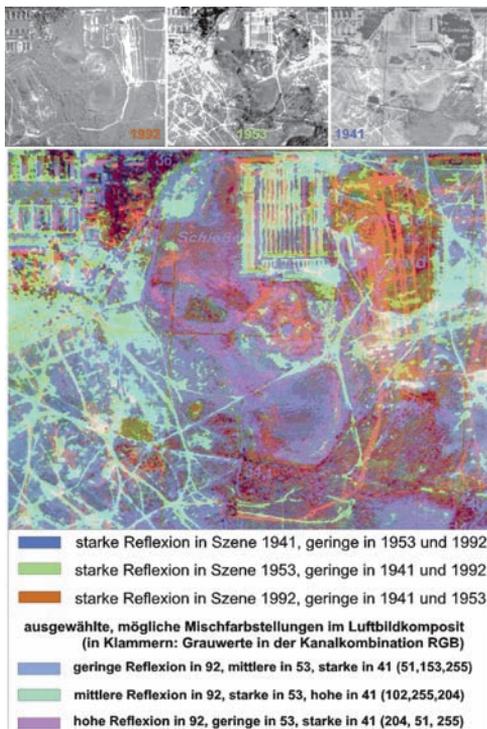


Abb. 5: Luftbildkomposit.

Schwieriger ist das Lesen eines Luftbildkomposites in dieser Form. Das eingängige RGB-Farbmodell gestattet aber auch hier ein rasches Verständnis. So ist schnell klar, dass dominant rote Bereiche resultieren, wenn im roten Kanal hohe Grauwerte (hohe Reflexion) bei deutlich geringeren Werten in den Kanälen blau und grün vorliegen. In dem Fall könnte es sich um einen Bereich handeln, der im roten Kanal offene Sandfläche zeigt, während in den anderen Szenen geringer reflektierende Vegetation vorherrscht.

Nach einem derartigen Schlüssel lassen sich auch die RGB-Mischfarben erklären und interpretieren. Dieser Vorgang sollte aber vorwiegend der visuellen Interpretation vorbehalten bleiben, da aus o. g. Gründen die radiometrischen Bedingungen der Aufnahmen nicht vergleichbar gemacht werden können, um darauf eine rechnergestützte Klassifizierung aufzubauen. Insofern ist die intelligente und erfahrene Interpretation Voraussetzung für ein solides Auswertergebnis.

Näheres zum Interpretationsvorgang: http://www.tu-berlin.de/fb7/ile/fg_natur/fprojekte/Projekt.html

Je nach Auswertezweck sind verschiedene Kombinationen der Bild- und Kartenebenen sinnvoll. Aus dem Fundus sind direkt jeweils drei Ebenen auszuwählen und den RGB-Kanälen zuzuordnen. Dieser Vorgang ist gut zu handhaben, da durchgängig nur mit Rasterdaten gearbeitet wird. Durch Vorverarbeitung der Bildkanäle sind auch Kombinationen von mehr als drei Bildebenen leicht herzustellen.

3.2 Auswertebeispiel Dallgow-Döberitz

Ehemalige Truppenübungsplätze (TÜP) der DDR waren Mittelpunkt vieler Untersuchungen, galten sie doch bis 1990 für die meisten Planer und Fernerkundler als black box, da Luftbilder dieser Bereiche ab 1958 geschwärzt und Karten nicht auf dem aktuellen Stand bzw. stark generalisiert waren. Daher rührt ein weiter bestehendes Defizit an Kenntnissen zur Genese dieser Flächen,

die sowohl Altlasten als auch Refugien bedrohter Pflanzen und Tiere bergen.

3.2.1 *Material und Verarbeitungsprozess*

Zunächst standen nur CIR-Bilder des Jahres 1992, die russische Befliegung 1953, die deutsche Luftbildkarte 1941 sowie die TK 25 (AS) vom LVA Brandenburg zur Verfügung. Später konnten zusätzlich noch historische Karten von 1903, 1939 und 1956 (Staatsbibliothek zu Berlin) als auch die vom LVA erstellten Luftbildkarten von 1993 und 1996 einbezogen werden. Bislang letztes aktuelles Fundstück (Berlin-Archiv) ist eine flächendeckende Ballon-Luftbildkarte des TÜP aus dem Jahre 1923.

Die Unterschiedlichkeit der Maßstäbe, Formate, Kontraste und kartographischen Bedingungen muss hier nicht betont und kann nicht näher erläutert werden. Jedes Material erforderte eine eigene geometrische und radiometrische Behandlung, um in ein aufschlussreiches Komposit einfließen zu können. Insofern handelt es sich nicht um ein formalisiertes und operationalisiertes Verfahren.

Die Luftbilder wurden mit 400 dpi eingelesen, was auf Grund der Bildmaßstäbe zu Pixelgrößen zwischen 0,8 m (Szene 1992) und 2,8 m (Szene 1941) führte. Die Georeferenzierung erwies sich mit den anfangs verfügbaren Materialien (ohne GPS-Einsatz) trotz einfachen und bekannten Reliefs als schwierig. Überraschenderweise haben sich einige alte Wegekrenzungen (durchaus nicht alle) und bestimmte Vegetationsgrenzen als passpunktfähig erwiesen, da sie in aktuellen Luftbildern wiederzufinden waren. Besondere Vorsicht ist offenbar beim Abgreifen von Gebäudeecken aus Karten geboten. Im Falle des TÜP Dallgow-Döberitz sind diese besonders unzuverlässig kartiert. Auch das beliebte Passpunktobjekt „einzeln stehender Baum“ kann ggf. auf Grund kartographischer Verdrängung problematisch sein.

Ungleich leichter und zuverlässiger ist die Georeferenzierung, wenn auf ein Orthobild

oder ein Produkt wie die TK-L aufgebaut werden kann.

Die Luftbilder und Karten wurden anschließend auf eine gemeinsame optische Auflösung (Pixelgröße) von 2,8 m umgerechnet, da das für die Auswertung der ca. 50 km² großen Fläche hinreichend und zur Datenreduzierung notwendig war.

3.2.2 *Ergebnisse und Interpretationsbeispiele*

Die systematische Auswertung aller Szenen ist noch nicht abgeschlossen. Zusammenfassend kann man aber davon ausgehen, dass über den Untersuchungszeitraum zwischen 1941 und 1992 ein lokal außerordentlich reger Nutzungswandel stattgefunden haben muss.

Es sind neben flächenhaften Erweiterungen beispielsweise von Schießplätzen auch „Brachfallen“ von zuvor militärisch genutzten Flächen zu erkennen, die heute selbst im aktuellen Luftbild nur noch mit Mühe erkennbar sind. Bodenuntersuchungen, besonders bei einigen dieser Flächen, sind angebracht. Auffällig ist auch eine Verlagerung von Panzertrassen um einige Meter neben die alten, besonders im Zeitraum zwischen 1953 und 1992.

Andere Flächen zeigen demgegenüber eine nahezu ungestörte natürliche Entwicklung, die sich in einem mehr oder weniger intensivem Aufwuchs von Wald oder Vorwaldstadien dokumentiert. Inwieweit die gelegentlich auf diesen Flächen tätigen Forstbetriebe Einfluss ausübten, kann nur noch vermutet werden. Hier finden sich Areale, die sich für den militärischen Übungsbetrieb wenig eignen – besonders auf Grund verminderter Tragfähigkeit des Grundes (Feuchträume). Natürlich und anthropogen verursachte schwankende Wasserstände in diesen Gebieten sind von den Sowjets z.T. reguliert worden, was bei der Bewertung der Natürlichkeit berücksichtigt werden muss.

Bereiche mit Trocken- und Magerstatus sind – so weit sich das aus den Bildern entnehmen lässt – in der Regel auch militärisch genutzt worden. D.h., sie sind durch Fahrzeuge oder Truppen häufig so intensiv

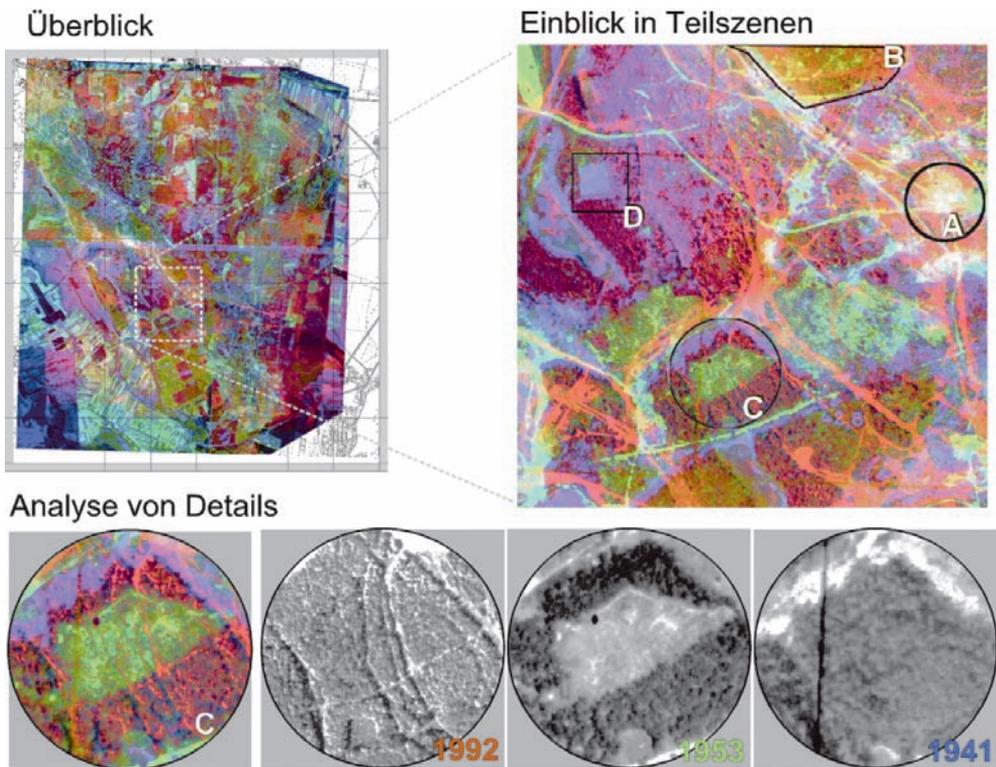


Abb. 6: Ergebnisbeispiel für Überblick – Teilszene – Detail „C“.

genutzt worden, dass hier nicht von einer natürlich offen gebliebenen Landschaft gesprochen werden kann. Die Flächen eigneten sich offensichtlich auf Grund ihrer vergleichsweise schwachen Neigung zur Verbuschung besonders gut für militärische Übungen.

Exemplarisch für die Möglichkeiten der Auswertung der Luftbildkomposite soll hier die Zusammenstellung des Überblicks (ca. 50 km²), einer Teilszene (ca. 4 km²) und eines Details (ca. 4 ha) stehen.

4 Fazit

In verschiedenen Anwendungsbereichen besteht ein vielfältiger Bedarf an vergleichenden Auswertungen von historischem und aktuellem Luftbild- und Kartenmaterial. Dieser kann zum Teil auch jenseits photogrammetrischer Genauigkeit mit einfacher

digitaler Bildentzerrung und Weiterverarbeitung befriedigt werden.

Das einfache, relativ schnell durchführbare und bereits mehrfach erprobte Verfahren (u. a. SCHMALZ 2000, NOCKER 2000, RIEPE 2001) ist geeignet, Bild- und Kartenmaterial für viele Nutzer ohne entsprechende photogrammetrische Technik mit vertretbarem Aufwand auswertbar zu machen, da Veränderungen hinreichend genau und grafisch prägnant sichtbar werden. Auch den sich rasch verändernden Entwicklungen der Datenaufnahme und Bildanalyse wird das Verfahren gerecht, da es allein auf Rasterdaten aufbaut.

Das Auswertziel sollte bestimmen, wie weit man dem „Segen“ der digitalen Bildverarbeitung weiter nachgeht (z. B. Maskieren, Schwellenwertoperationen, Kantenextraktionen usw.). In Anbetracht der Überraschungen, die bei der großflächigen und

räumlich detaillierten Auswertung möglich sind, sowie dem breiten historisch-geographischen und planerischen Anwendungsfeld erscheinen viele Methoden der Bild- und Geoinformationsverarbeitung angebracht.

Der begründeten Forderung erfahrener Interpreten nach einer „ganzheitlichen Luftbildinterpretation“ (SCHNEIDER 1989, nach TROLL 1942) – heute eher als „interdisziplinär“ bezeichnet – könnte man weiter entgegenkommen, da sowohl die Urdaten als auch fachspezifische Interpretationen mehreren Nutzern gleichzeitig zugänglich und verifizierbar gemacht werden können.

Literatur

- BACHER, S., 1999: Kulturhistorische Landschaftselemente in Brandenburg – Entwässerungssysteme am Beispiel des Oderbruchs. – Verlag für Wissenschaft und Forschung, Berlin.
- BANZHAF, E. & KASPERIUS, H. D., 1998: Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Halle-Leipzig-Bitterfeld. – UFZ-Bericht; 174 S., Umweltforschungszentrum Leipzig–Halle–Bitterfeld.
- BECKER, W., 1998: Die Eigenart der Kulturlandschaft. – Bedeutung und Strategien für die Landschaftsplanung. – Verlag für Wissenschaft und Forschung, 281 S., Berlin.
- BLASCHKE, T., 1997: Map Algebra und Fuzzy Logic in Behörden? Potenzial und Akzeptanz von GIS-Analysen bei Einbeziehung von räumlicher Unschärfe. – Geo-Informationssysteme, **10** (6): 3–12.
- BÜSCHING, J. P., 2000: Konversion der Militärflächen auf der Halbinsel Wustrow – Landschaftsplanerisches und Städtebauliches Konzept für den Kasernenkomplex. – Dipl.-Arbeit TU Berlin, FB 7, Institut für Landschaftsentwicklung, FG Landschaftsplanung/Landschaftspflege und Naturschutz, 97 S.
- CARLS, H.-G., GLASER, R. & HECK, H.-G., 2000: Luftbilder 1938–1958 zur Bundesrepublik Deutschland. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, **2000** (1): 33–48.
- DECKER, A., DEMUTH, B., FÜNKNER, R. & BAYER, C., 2001: Planerische Bewältigung der Folgen von Natura 2000 und der EU-Agrarpolitik für die Kulturlandschaft – Prozessschutzansätze als Instrument von Naturschutz und Landschaftsplanung? – Natur und Landschaft, **76** (11): 469–476.
- FRITSCH, D., GLEMSER, M., KLEIN, U., SESTER, M. & STRUNZ, G., 1998: Zur Integration von Unsicherheit bei Vektor- und Rasterdaten. – Geo-Informationssysteme, **11** (4): 26–35.
- GRUEHN, D. & KENNEWEG, H., 1998: Berücksichtigung der Belange von Naturschutz und Landschaftspflege in der Flächennutzungsplanung. – Angewandte Landschaftsökologie **17**, 516 S., Bad Godesberg.
- HAACK, E., 1996: Dokumentation über die Herstellung und Fortführung der amtlichen topographischen Kartenwerke der ehemaligen DDR (1945–1990). – Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen. R.1.(116.), 59 S., Frankfurt/ M..
- HILDEBRANDT, G., 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. – 1. Aufl., 676 S., Wichmann, Heidelberg.
- JÜRGENS, C., 2000: Change Detection – Erfahrungen bei der vergleichenden multitemporalen Satellitenbilddauswertung in Mitteleuropa. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, **2000** (1): 5–18.
- KENNEWEG, H., 1996: Methodische Beiträge der Luftbildmessung und der Luftbildinterpretation bei der Altlastensuche. – UBA-Materialiensammlung. „Möglichkeiten und Grenzen der luftbildgestützten Erfassung und Erstbewertung von Altlastverdachtsflächen“, Berlin, 66–71.
- KRAKAU, W., 1994: Die großmaßstäbigen topographischen Kartenwerke 1:10000 und 1:25000 des Landes Brandenburg. – Kartographische Nachrichten, **44** (2): 45–54.
- KUSSEROW, H. & HAENISCH, H., 1999: Monitoring the dynamics of „tiger bush“ (brousse tigrée) in the West African Sahel (Niger) by a Combination of Landsat MSS and TM, SPOT, aerial and kite photographs. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, **1999** (2): 77–94.
- Landesumweltamt Brandenburg, 1995: Biotopkartierung Brandenburg. – Kartieranleitung. – 2. Aufl.; 128 S., Potsdam.
- Landesvermessungsamt Brandenburg, 1996: Musterblatt für die Topographische Karte 1:10000. – 1. Aufl., 100 S., Potsdam.
- Landesvermessungsamt Brandenburg, 2001: Bildflugübersicht; Potsdam.
- NOCKER, U., 2000: Landnutzungsplanung in Savannengebieten, Beitrag der digitalen Fernerkundung zum Nachweis von Veränderungen und der Erfassung planungsrelevanter Daten. – Dipl.-Arbeit TU Berlin, FB 7, Institut für Landschaftsentwicklung, FG Landschaftsplanung/Landschaftspflege u. Naturschutz; 96 S.

- OSTER, M. & SPATA, M., 1999: Welche Auswirkungen auf die topographischen Landeskartenwerke Deutschlands hat die Umstellung auf ein neues Koordinatensystem und auf eine neue Abbildung? – Kartogr. Nachrichten. **49** (3): 110–115.
- RIEPE, E., 2001: Image Fusion. Verbesserte Luftbildauswertung im Rahmen der Altlastenerfassung insbesondere bei großflächigen militärischen Altlasten. – Dipl.-Arbeit BTU Cottbus, Lehrstuhl Altlasten.
- SCHMALZ, D., 2000: Auswirkungen agrarpolitischer Entscheidungen in Peru auf die Landnutzungsstrukturen im südlichen peruanischen Andenhochland. – Internet-Veröffentlichung. – in: Landschaftsplanung.NET, Ausgabe 03/2000, http://www.lapla-net.de/texte/03_00/schmalz/schmalz.pdf
- SCHNEIDER, S., 1989: Die „Geographische Methode“ in der Luftbildinterpretation – nur eine historische Reminiszenz? – Bildmessung und Luftbildwesen, **57** (4): 139–148.
- SEYFERT, E., 1994: Die Aufgaben des Landesluftbildarchivs. – Brandenburg Kommunal, Nr. **9**: 14–15.
- SEYFERT, E., 1997: Der weitere Aufbau von ATKIS im Land Brandenburg. Vermessung Brandenburg. – Sonderheft 1997, ATKIS-Workshop: 5–13.
- THORMEIER, K., 2000: Konversion der Militärflächen auf der Halbinsel Wustrow – Konzept zur Umsetzung des Arten-, Biotop- und Landschaftsschutzes. – Dipl.-Arbeit TU Berlin, FB 7, Institut für Landschaftsentwicklung, FG Landschaftsplanung/Landschaftspflege u. Naturschutz, 120 S.
- WÖBSE, H.H., 1994: Schutz historischer Kulturlandschaft. – Beiträge zur räumlichen Planung, **37**, Hannover, 124 S.

Anschriften der Verfasser:

Dr. rer. nat. RALF KALKE
 TU Berlin, Inst. für Landschafts- und Umweltplanung. Sekr. FR 2–6, Franklinstr. 28/29, D-10587 Berlin.
 Tel.: 030-314 73 215, Fax: 030-314 23 507
 e-mail: kalke@ile.tu-berlin.de
http://www.tu-berlin.de/fb7/ile/fg_natur/fprojekte/pro_kalke.htm

Prof. Dr. rer. nat. HARTMUT KENNEWEG
 TU Berlin, Inst. für Landschafts- und Umweltplanung. Sekr. FR 2–6, Franklinstr. 28/29, D-10587 Berlin.
 Tel.: 030-314 73 491, Fax: 030-314 23 507
 e-mail: kenneweg@ile.tu-berlin.de
<http://www.tu-berlin.de/~lln>

Dr.-Ing. ECKHARDT SEYFERT
 Landesvermessungsamt Brandenburg
 Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam
 Tel.: 0331-8844-113, Fax: 0331-8844-126
 e-mail: Eckhardt.Seyfert@LVERMAP.brandenburg.de, <http://www.lverma-bb.de/>

Manuskript eingereicht: November 2001
 Angenommen: November 2001