

Beiträge des Vermessungswesens zur Ortung und Navigation im Wandel

von

Wolfgang Augath, Dresden

1. Einleitung

Ein Geburtstag ist immer Anlass, Bilanz zu ziehen, ein fünfzigster allemal. Ich möchte dies an dieser Stelle für die Beziehungen zwischen dem Vermessungswesen und der Ortung und Navigation tun. Beide Bereiche haben in Anlehnung an die rasante technische Entwicklung der letzten Jahrzehnte in den Bereichen elektronische Datenverarbeitung, Sensorik, Weltraumtechnik und Kommunikation tiefgreifende Fortschritte zu verzeichnen, die die Art und Flexibilität der Aufgabenerledigung völlig umgekrempelt haben. So meinen einige geodätische Autoren, die moderne geodätische Positionierung sei nicht anders als präzise Navigation. Auch wenn dies eine verengende Sichtweise darstellt ist nicht zu übersehen, dass die Positionierungsverfahren im Vermessungswesen und in der Ortung und Navigation in Teilbereichen identisch sind.

2. Interaktionen zwischen Vermessungswesen und Ortung und Navigation

Bei den Beziehungen zwischen Vermessungswesen und Ortung und Navigation ist zwischen dem **Inhalt** und der **Intensität** zu unterscheiden. Inhaltlich lieferte das Vermessungswesen schon immer Grundlagen im Bereich der **geodätischen Bezugssysteme** (Definition und Realisierung) und der **Topographischen Kartographie / Geobasisinformationssysteme**. Bei den Positionierungsverfahren bestanden früher aufgrund unterschiedlicher Anforderungen im Bereich der Genauigkeit, Verfügbarkeit und Echtzeitfähigkeit nur geringe Gemeinsamkeiten. Die Schnittstellen bildeten die damals üblichen Standards (Koordinaten vermarkter Festpunkte als Realisierung des geodätischen Bezugssystems / Drucke amtlicher Karten). Im digitalen Zeitalter der Informationsgesellschaft sind die Möglichkeiten und die Anforderungstiefen des Datentransfers gewaltig gestiegen. Es werden teilweise dieselben Positionierungssysteme benutzt. Damit wird der Grad der Zusammenarbeit automatisch höher. Es sind möglichst global eingeführte Datenaustauschformate zu definieren und einzuhalten. Gegenüber den Betreibern globaler Positionierungssysteme bestehen gemeinsame Interessen. Viele der heutigen Navigationsverfahren weisen im Bereich der Positionierungsgenauigkeit, der Aktualität, Vollständigkeit und Richtigkeit von Geobasisdaten stark erhöhte Anforderungen auf, deren Erfüllung auch eine stärkere Beachtung der Grundlagen des Vermessungswesens erforderlich macht.

3. Geodätische Bezugssysteme im Wandel

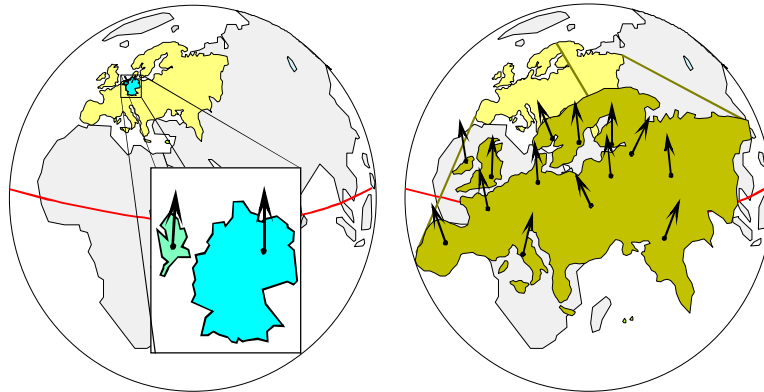
Status 1950: Vom nationalen zum kontinentalen Datum

Mit der Gründung der deutschen Gesellschaft für Ortung und Navigation fand im Bereich der geodätischen Bezugssysteme ein aus der Sicht der Navigation enormer Qualitätssprung statt, der Übergang von nationalen auf kontinental einheitlich realisierte Bezugssysteme. Die Relativgenauigkeit der dabei geschaffenen Koordinaten unterschied sich zwar nicht von der früheren nationalen Lösung, da dieselben Beobachtungen für die Rechenarbeiten genutzt wurden. Für den internationalen Verkehr wurde jedoch ein entscheidender Nachteil der nationalen Systemdefinition (**Ein** nationaler Fundamentalpunkt = Anpassung von Ellipsoid und Geoid nur in diesem Punkt, Vernachlässigung von Lotabweichungen) zumindest kontinental beseitigt. (**Viele** Fundamentalpunkte = bestanpassend für den ganzen Kontinent) So bezogen sich z. B. die nationalen Lagebezugssysteme der Niederlande und Deutschlands auf dasselbe Ellipsoid. Durch die unterschiedlichen Fundamentalpunkte (Amersfoort bzw. Rauenberg Berlin) und die bei der Berechnung per Systemdefinition zu Null gesetzten Unterschiede zwischen der astronomisch bestimmten geographischen Länge und Breite und der Ellipsoidnormalen (Lotabweichungen gleich Null, lokal bestanpassend) konnte es an den Landesgrenzen zu Abweichungen von 100 m kommen, die die lokale Relativgenauigkeit von $<0,1$ m deutlich überschritt, Moderne Nachmessungen zwischen Stationen des nationalen deutschen Lagebezugssystems haben maximale Streckendifferenzen von 2 m zwischen der Nordsee und dem Alpenrand ergeben, die immer noch zwei Größenordnungen kleiner ausfallen als die Differenzen zwischen nationalen Systemen. In Abb. 1 ist dieser Sachverhalt komprimiert worden, Abb. 2 gibt die Ausdehnung des Europäischen Datums 1950 (ED50) wieder, das u. a. auf die kriegsbedingten Aktivitäten des damaligen Reichsamtes für Landesaufnahme, Berlin zurückgreift.

Status 2000: Globale geodätische Bezugssysteme mit Zentimetergenauigkeit

Für das Jahr 2000 ist im Vergleich mit 1950 ein gewaltiger Qualitätssprung zu verzeichnen. Es stehen **globale** Bezugssysteme zur Verfügung, die inzwischen relativ und global mit Einzentimetergenauigkeit realisiert werden können. Die nationalen Bezugssysteme werden nach und nach darauf umgestellt, für die digitalen Datenbestände der heutigen Geobasisinformationssysteme ist dieser Schritt schon teilweise vollzogen worden. Die wesentlichen Fakten hierzu sind in der Abb. 3 zusammengetragen worden. Die notwendigen Arbeiten werden durch den Internationalen Erdrotationsdienst (IERS) unter dem Dach der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) koordiniert und als wissenschaftlicher Service betrieben.

Geodätische Bezugssysteme Status 1950



Nationales Datum

z.B.: Rauenberg 1875

- Ellipsoid: Bessel 1841
- **Ein** Fundamentalpunkt astronomisch (φ , λ , α),
- Gesucht: ellipsoidische Werte B, L, A, S (Lotabweichungen, Geoid)
- Genauigkeitsunterschiede (relativ/ absolut)

Kontinentales Datum

z.B.: Europäisches Datum 1950
(ED 50)

- Ellipsoid: Hayford 1924
- **viele** Fundamentalpunkte astronomisch
- wie „Nationales Datum“
- keine Koordinatensprünge an nationalen Grenzen

Abb. 1: Geodätische Bezugssysteme, Status 1950:
Der Übergang von nationalen zu kontinentalen Systemen

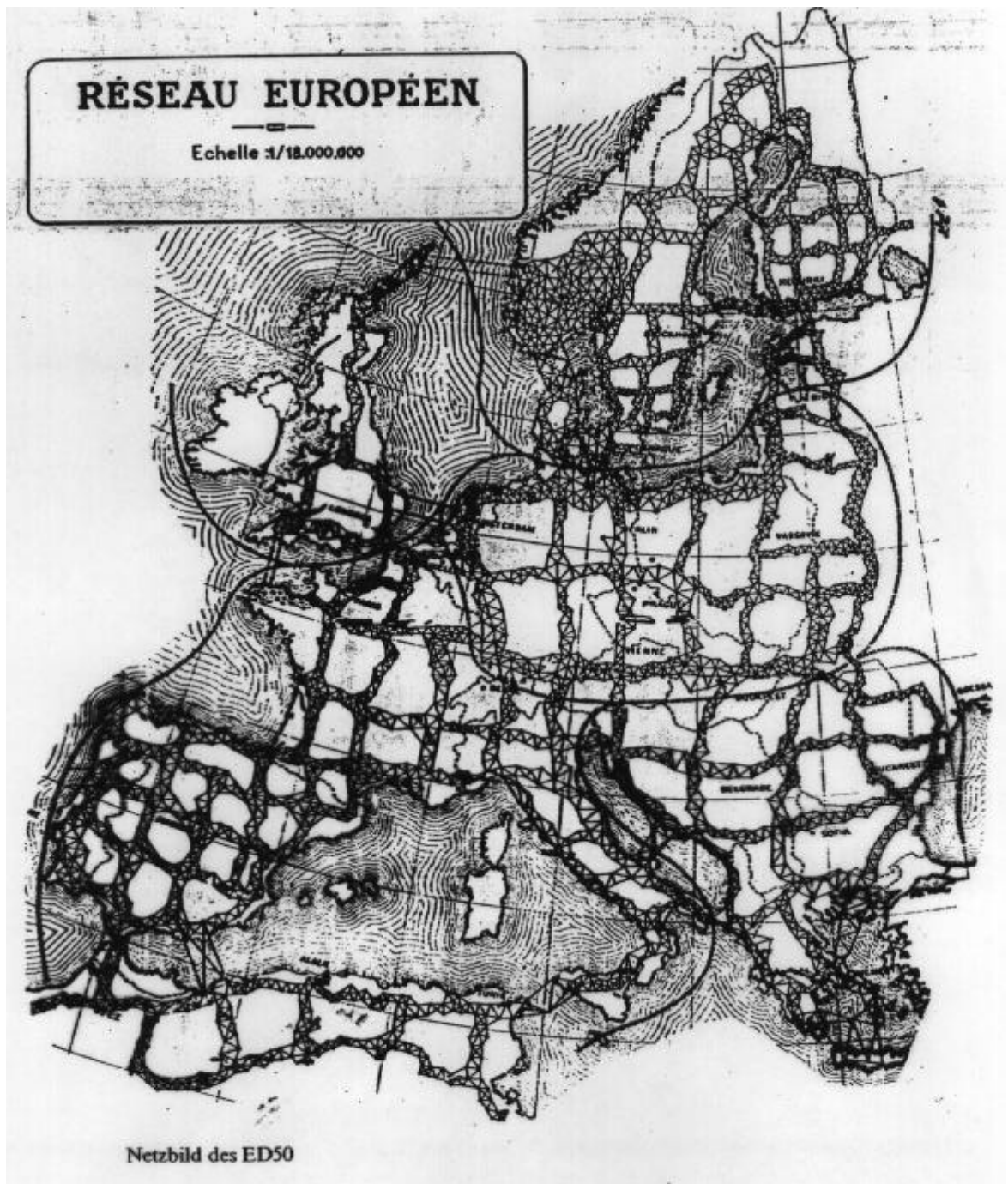
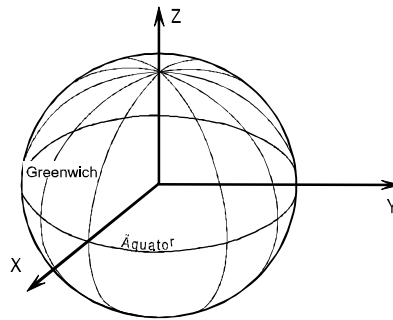


Abb. 2: Ausdehnung des Europäischen Datums 1950 (ED50)

Geodätische Bezugssysteme Status 2000

- Globale Systeme mit Einzentimetergenauigkeit



Definition (ITRS.xx)

- **3D-Koordinatensystem**
 - geozentrisch
 - Achsen
- **Parameter**
 - große Halbachse a
 - J_2 (dynamische Abplattung)
 - GM
 - ω
- **Reduktion der Beobachtungen auf Modell Erde**
 - Polschwankungen
 - Deformationen

Realisierung (ITRF.yy)

- **Messverfahren**
VLBI, SLR, GPS, u. a.
 - **Problem: Erfassen der Veränderungen**
z.B. Kontinentaldrift
- ein Koordinatensatz pro Jahr oder häufiger

Abb. 3: Status 2000 bei den geodätischen Bezugssystemen

Die hohe Realisierungsgenauigkeit hat es mit sich gebracht, dass bei der Systemdefinition Erweiterungen vorgenommen werden mussten, die der Positionierungsgenauigkeit äquivalent sind. Dabei ist streng zwischen den **Definitionen** (International Terrestrial Reference System [ITRS]) und der **Realisierung** (International Terrestrial Reference Frame [ITRF]) zu unterscheiden. Die Realisierung wird sich ständig ändern (früher: Steigerung der Genauigkeit, heute nur noch: Erfassen globaler regionaler und lokaler Punktveränderungen). Bei der Definition muss das Koordinatensystem fixiert werden, die Parameter waren auch, um das Erdschwerefeld beschreibende physikalische Größen zu ergänzen, und die Reduktion der Beobachtungen hat, auf die damit definierte Modellerde, zu erfolgen (Momentaner Pol → Modellpol, kontinuierliche Deformation der Erdkruste durch Massenanziehung von Sonne und Mond, Auflastdeformationen). Die Realisierung erfolgt über einen zeitabhängigen Satz von Koordinaten weltweit verteilter Fundamentalstationen, auf denen Messverfahren wie „Very Long Baseline Interferometry“ (VLBI) mit Hilfe von Radioteleskopen, „Satellite Laser Ranging“

(SLR) über Streckenmessungen zu speziellen mit Reflektoren ausgestatteten Satelliten und inzwischen auch durch global gut verteilte GPS-Permanentstationen. Der hohe Aufwand ist notwendig, um auf kontrollierte Weise Veränderungen der Erdkruste zu erfassen, die nicht über Reduktionen abgedeckt werden können (z. B. Koordinatenveränderungen durch die Plattentektonik, Größenordnung: 2 cm – 10 cm pro Jahr). Das so entstandene geodätische Bezugssystem ITRS.yy/ITRF.xx ist das Beste auf dem Markt, aber es muss ein kinematisches System sein, um die Erde sachgerecht zu beschreiben. Für viele Anwendungen ist dieser Umstand (jährlich oder häufiger neue Koordinaten) nicht praktikabel. So haben sich die europäischen Landesvermessungsbehörden für die Einführung des ETRS89/ETRF89 entschieden und realisieren es europaweit über vermarktete Punkte und über Positionierungsdienste. Das „E“ in der Bezeichnung verdeutlicht, dass es sich um eine europäische Entscheidung handelt, ansonsten würde nur der Zustand des Jahres 1989 festgeschrieben. Veränderungen späterer Jahre werden durch einheitliche Transformationsparameter zwischen den Epochen und 1989 (Bouchet, Altamini 1996) berücksichtigt. Da weite Teile Europas auf der in sich stabilen eurasischen Platte liegen, kann der kleinräumig arbeitende Nutzer auf diese Transformationen sogar verzichten.

Derzeitige globale Bezugssysteme: ETRS 89/ ETRF 89
<ul style="list-style-type: none"> • Bezugssystem der europäischen Landesvermessung • identisch mit ITRS 89 / ITRF 89 <ul style="list-style-type: none"> • Zustand des ITRF 89 zum 1.1.1989 wird festgehalten • Transformationsparameter für spätere Epochen vorhanden • Vorteil: Europa liegt überwiegend auf der in sich stabilen eurasischen Platte • Realisierung über vermarktete Punkte (EUREF) • Realisierung über Positionierungsdienste <ul style="list-style-type: none"> - EUREF – Permanent - in Deutschland: SAPOS

Tab. 1: Das europäische Bezugssystem ETRS 89 / ETRF 89

Die europäische Festsetzung bezieht sich auf ITRS89/ITRF89 und bleibt somit eine globale Lösung. Die praktische Bedeutung wird durch die beiden Vektorenbilder der Abb. 4 und 5 sichtbar. Während sich die Koordinaten des ITRF in Europa jährlich um ca. 2 cm verändern, gibt es im ETRF bis auf die instabilen Teile Europas keine signifikanten Veränderungen. Die Betreiber von globalen Satellitenpositionierungssystemen brauchen ebenfalls ein globales Bezugssystem. In der Tab. 2 sind die Verhältnisse für GPS zusammengestellt worden. Sie macht deutlich, dass sich das World Geodetic System 1984 (WGS84) inzwischen auch der Koordinaten des ITRF bedient, da sie nun einmal die beste verfügbare Lösung darstellen. Das Problem der jährlichen Koordinatenänderungen wird hier durch gelegentliche Anpassung an die neueste ITRF.xx-Version gelöst. Nutzer, die derartig erzeugte Koordinaten archivieren wollen, müssen deshalb bei dieser Lösung zu den Koordinaten noch das Jahr der Bestimmung hinzufügen, um spätere Verwirrungen über Koordinatendifferenzen zu vermeiden. Für das geplante europäische Satellitensystem GALILEO ist als geodätisches Bezugssystem bislang nur ITRS/ITRF festgelegt worden. Im Sinne der Dauerhaftigkeit der dort ermittelten Koordinaten wäre eine ähnliche quasi-statische Lösung mit Transformationsparametern zwischen den Epochen wie im ETRS89/ETRF89 zu empfehlen.

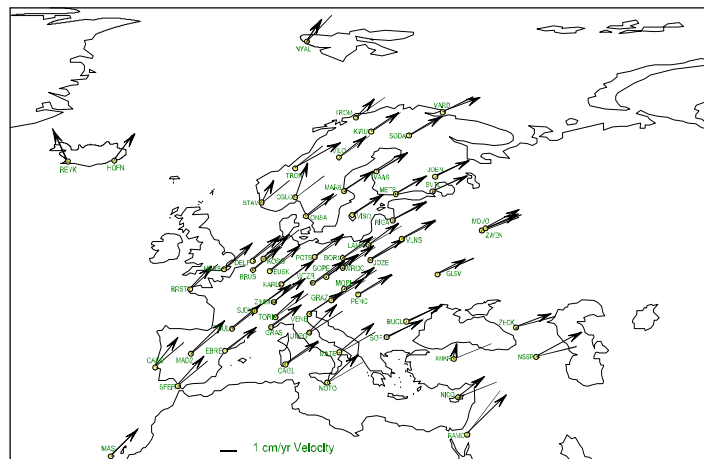


Abb. 4: Veränderungen des ITRF

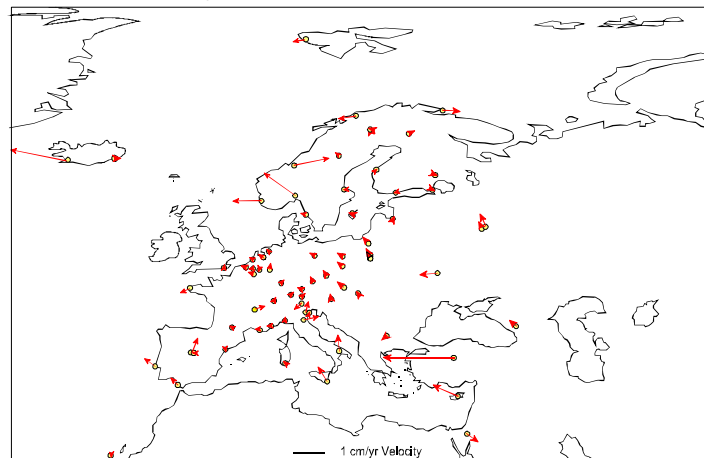


Abb. 5: Veränderungen des ETRF 89

Derzeitige globale Bezugssysteme: WGS 84

- **WGS 84 als Bezugssystem der GPS-Satelliten**
- **Bestimmung von WGS 84-Koordinaten**
 - a) Koordinaten der Tracking-Stationen
 - b) GPS-Beobachtungen + Algorithmus (einschließlich globalem Erdschwerermodell)
 - c) **e** Koordinaten der GPS-Satelliten
 - d) Absolutpositionierung mit GPS - Beobachtungen

zu a: bis 1994: (Doppler, $\pm 1-2$ m)
 ab 1994: ITRF 91
 ab 1996: ITRF 94

Weitere Anpassung an ITRF.yy vorgesehen

Tab. 2: Zusammenstellung der Verhältnisse für GPS

4. Kartographische Angebote im Wandel

Auch in der Kartographie hat sich ein gewaltiger Wandel von klassischen analogen Kartenwerken hin zu flexibel handhabbaren Geobasisinformationssystemen vollzogen.

Status 1950: Analoge topographische Karten

1950 lagen neben den großmaßstäbigen, nur lokal realisierten Katasterkarten die topographischen Kartenwerke 1:25.000 (Messtischblatt) und 1:100.000 (Generalstabskarte) vor. Sie waren einfarbig, enthielten eine durch Musterblätter fest definierte Anzahl von Objekten und unterschieden sich stark in den Bereichen Aktualität, Vollständigkeit und geometrische Richtigkeit. In den Folgejahren wurde viel auf analoge Weise getan, sei es durch geometrische Verbesserungen, Trennung der Informationen auf verschiedene Folien mit der Möglichkeit zur Mehrfarbigkeit und ein fester Fortführungszeitraum von im Mittel 5 Jahren.

Status 2000:

Aufbau von geodätischen Geobasisinformationssystemen

Seit vielen Jahren wird an der Automatisierung der Arbeitsverfahren verbunden mit dem Aufbau von digitalen Datenbeständen in Geobasisinformationssystemen gearbeitet. (siehe Abb.6)

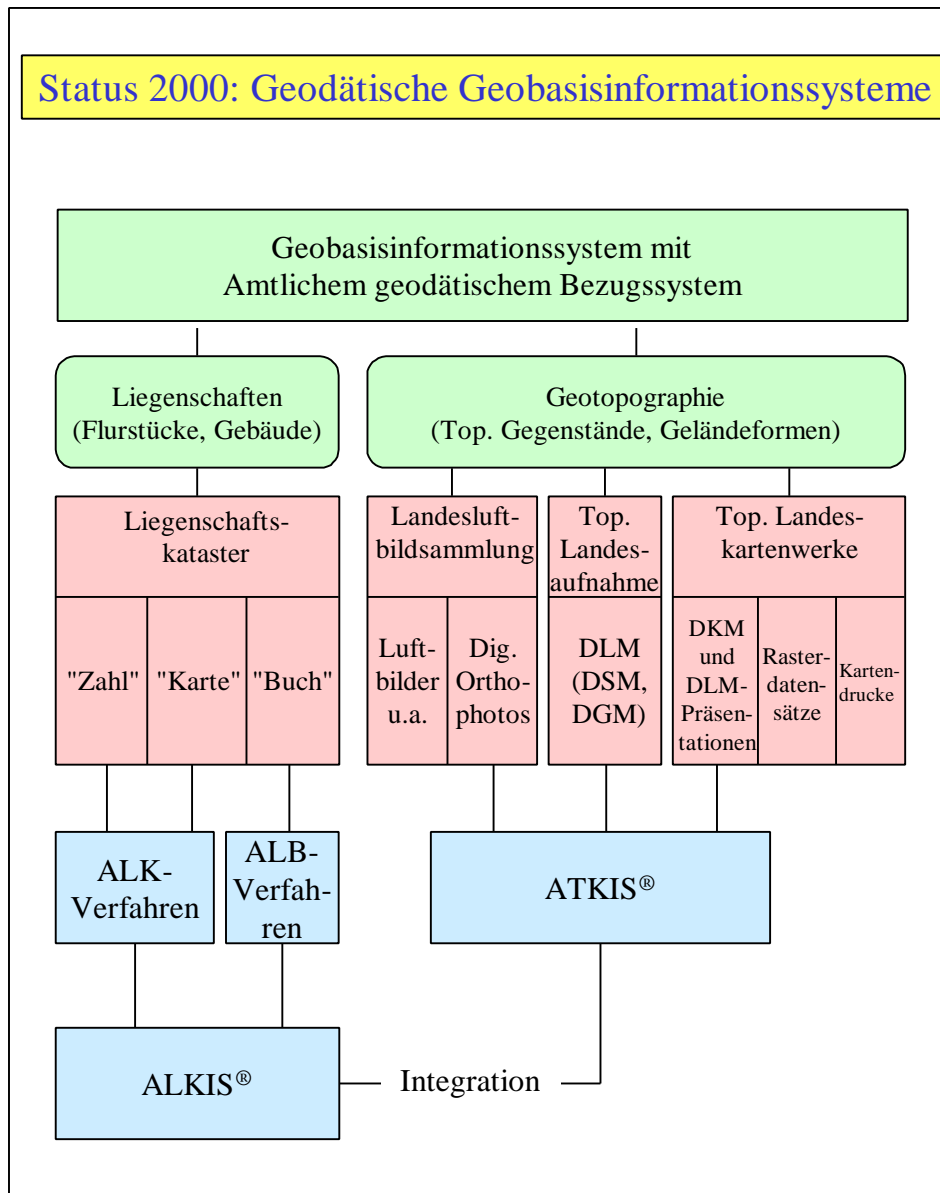


Abb. 6: Übersicht über die Geodätischen Geobasisinformationssysteme

Dabei ist zwischen Geobasisinformationssystemen, die sich primär mit den Liegenschaften beschäftigen (ALK für Automatisierte Liegenschaftskarte und ALB für Automatisiertes Liegenschaftsbuch) und solchen für die Topographie (AKTIS für Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) zu unterscheiden. Die Verfügbarkeit ist bei den Liegenschaftsdaten aufgrund der länderspezifischen Besonderheit sehr unterschiedlich.

Die Angaben der Tab. 3 wurden dem Jahresbericht 1999 der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV) entnommen. Im Bereich der topographischen Daten besteht eine große Einheitlichkeit, sicherlich hervorgerufen durch den klassischen Nutzer Bundeswehr. In den Abb. 7 - 11 sind typische Produkte und dazugehörige Informationen zusammengestellt worden. Länderspezifische Informationen sind bei den zuständigen Landesvermessungsämtern zu erhalten, bundesweit steht das Geodatenzentrum beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie zur Verfügung.

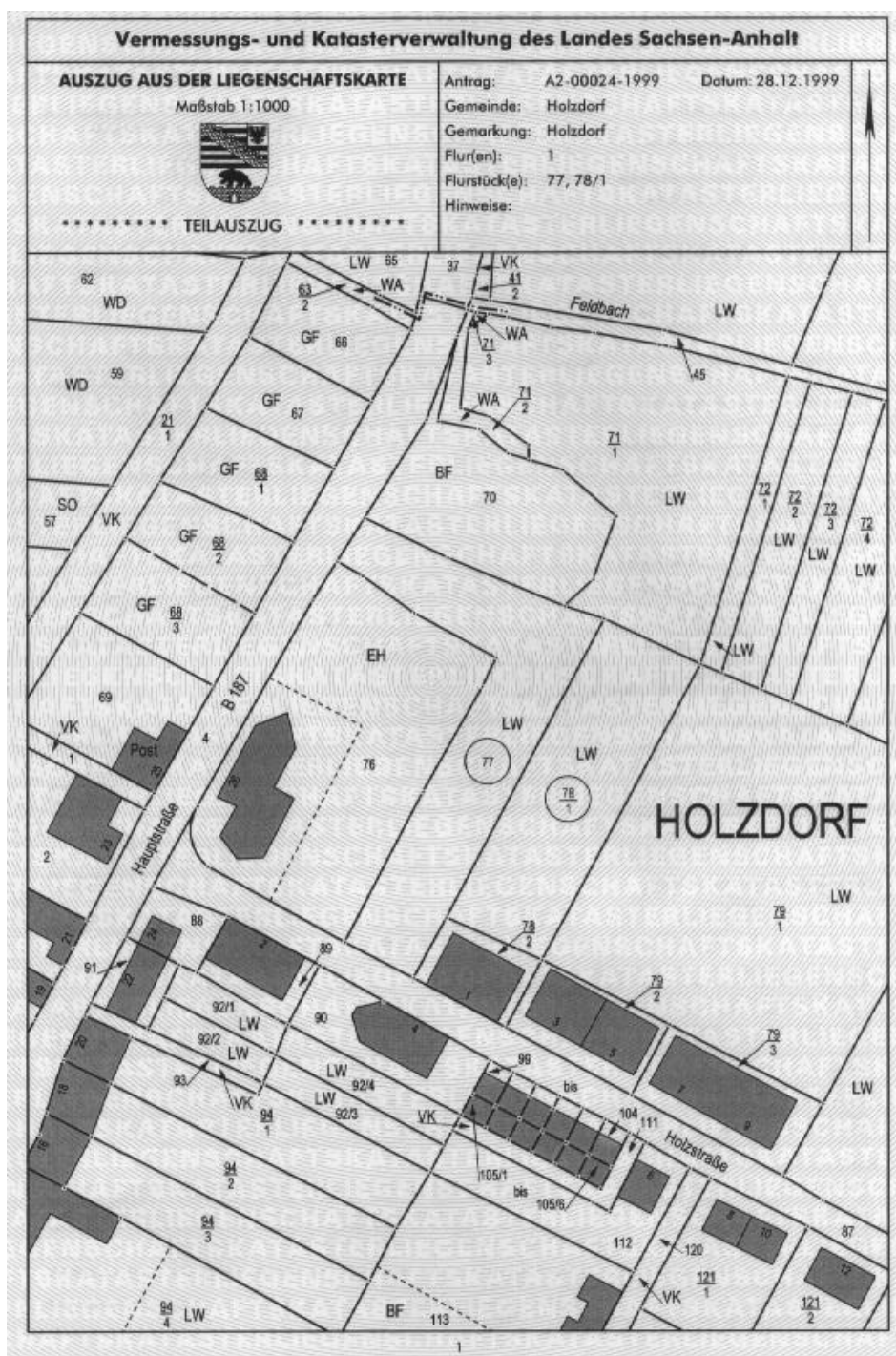


Abb. 7: Inhalt der Liegenschaftskarte

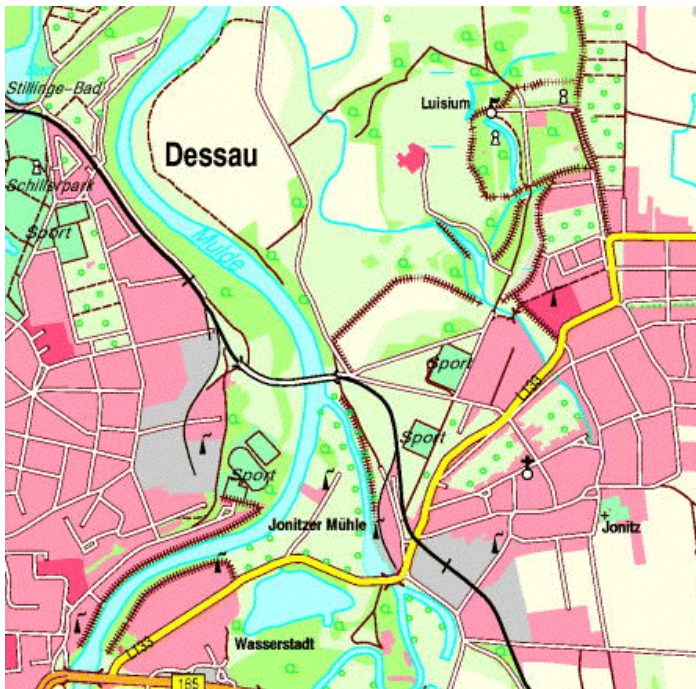
Verfügbarkeit ALK

Bundesland	Vektordaten 2000	ALK 100%
BW	86% (1999)	2005
BY	40%	2007
BE	100%	---
BB	20% (1999)	2006
HB	60%	2005
HH	100%	---
HE	83%	Nicht angegeben (n.a.)
MV	3% (1999)	n.a.
NI	60%	2005
NRW	70%	2010
RP	33% (1999)	n.a.
SL	52% (1999)	n.a.
SN	60%	2005
LSA	50%	2002
SH	70%	2005
TH	30%	2007

Tab. 3: Verfügbarkeit der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) in den einzelnen Bundesländern

Digitale Landschaftsmodelle (DLM)

- topographische Objekte (Lage, Form, Namen, Eigenschaften)
- Relief der Erdoberfläche
- geometrische Festlegung maßstabs- und abbildungsunabhängig
- BASIS-DLM in 2 Realisierungsstufen
- DLM 250
- DLM 1000

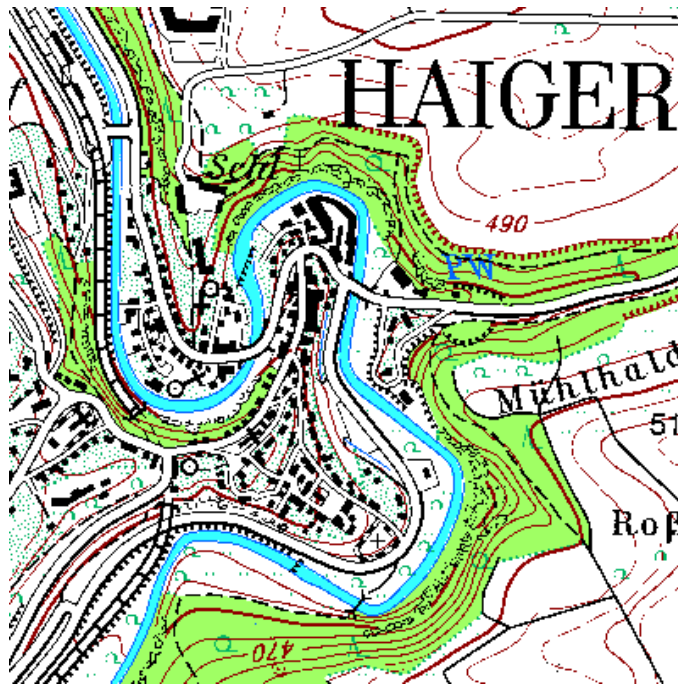


Präsentationsgraphik
eines Basis-DLM

Abb. 8: Digitale Landschaftsmodelle

Rasterdaten (1)

Digitale Topographische Karten (DTK)

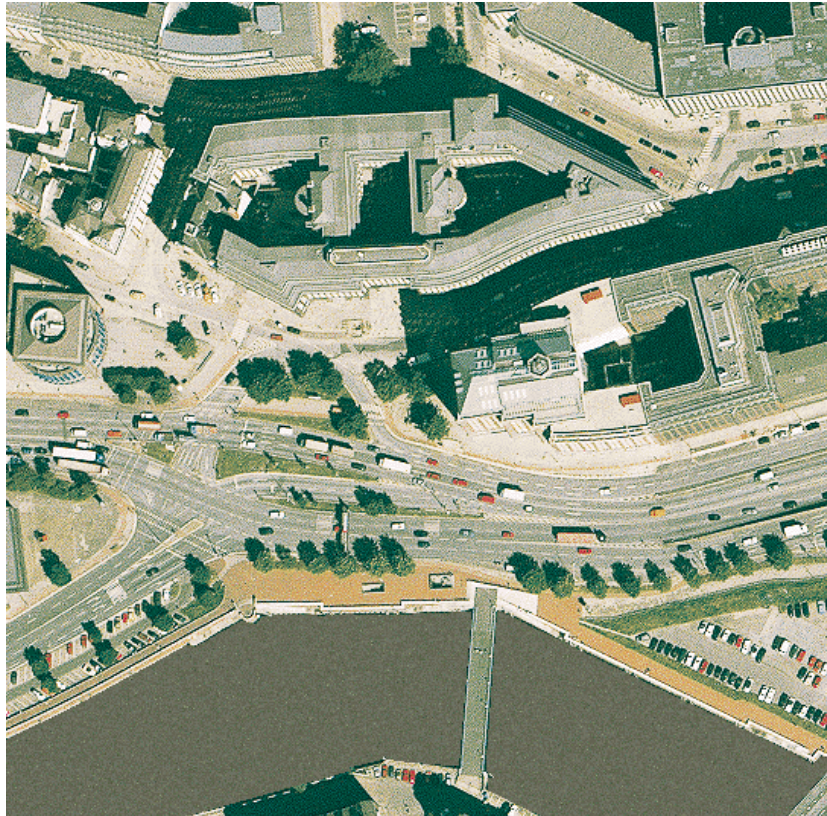


- durch scanning der herkömmlichen Topographischen Karten
- 100% Verfügbarkeit
- oder direkt rechnergestützt aus korrespondierendem ATKIS-DLM

Abb. 9: Digitale Topographische Karten als Rasterdaten

Rasterdaten (2)

Digitale Orthophotos (DOP)

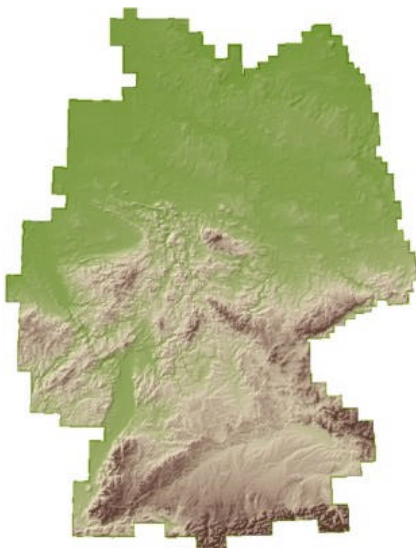


- differenziell entzerrte und geocodierte Luftbilder
- s/w oder farbig
- unterschiedliche Qualitätsstufen (Bodenauflösung)

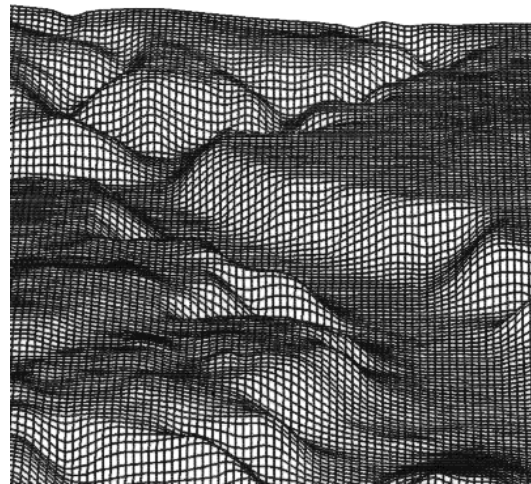
Abb. 10: Digitale Orthophotos

Digitale Geländemodelle (DGM)

- in Lage und Höhe geocodierte Punktmengen
- beschreiben die Geländeformen der Erdoberfläche
- ggf. ergänzende Angaben (Geländekanten, ...)
- in unterschiedlichen Qualitätsstufen (Genauigkeiten)



DGM 1000



DGM 25

Abb. 11: Digitale Geländemodelle

5. Ausblick

Die Angebotspalette des Vermessungswesens hat sich in den letzten 50 Jahren im Umfang, der Qualität und Flexibilität gewaltig verbreitert. Das entspricht einerseits der allgemeinen technischen Entwicklung, es spiegelt aber auch das erfolgreiche Bemühen des Vermessungswesens wider, sich für Basisinformationen als Diensteanbieter zu positionieren, in welcher Rechtsform auch immer. Die Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation hat sich dabei als sehr hilfreiche Plattform für gegenseitige Informationen und Aktionen erwiesen.

Literatur:

Boucher,D.,Altamini,Z. (1995): Specifications for Reference Frame Fixing in the Analysis of a EUREF – GPS – Campaign. Veröffentlichungen der Bayrischen Kommission für die Internationale Erdmessung (BEK) Nr. 56, S. 265-268, Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München

Anschrift des Verfassers:

Univ.- Prof. Dr.-Ing. W. Augath

Geodätisches Institut der TU Dresden

Mommsenstr. 13

D 01062 Dresden

e-mail: wolfgang. augath@mailbox.tu-dresden.de