

Landesvermessung im Wandel (1852 – 2002): Wohin geht der Weg?

1 Vorbemerkung

Das Jubiläum des Geodätischen Instituts der TU Dresden bietet einen aktuellen Anlass, über die Zukunft der deutschen Landesvermessung nachzudenken. War doch der Institutsgründer, Prof. Ch. August NAGEL, der Schöpfer der Sächsischen Landesvermessung und auch Mitglied der damaligen Kommission für die Mitteleuropäische Gradmessung. Sie gilt als Vorläuferorganisation für die heutige Internationale Assoziation für Geodäsie (IAG), die sich wiederum mit anderen Geowissenschaften zur Internationalen Union für Geodäsie (IUGG) zusammengeschlossen hat und heutzutage die internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit um den „globalen“ Anteil der modernen Landesvermessung abdeckt.

Die Landesvermessung wird in diesem Beitrag in doppelter Weise verkürzt. So sollen nur Aspekte behandelt werden, die früher als Grundlagenvermessung und heute als Raumbezug bezeichnet werden. Außerdem möchte ich mich auf technische Aspekte konzentrieren und weniger auf das organisatorische Umfeld, wohl wissend, dass man beides nicht von einander trennen kann. Auch gilt es, den Dienstleistungsaspekt und die Art der staatlichen Aufgabenerledigung zu überdenken.

2 Der klassische Ansatz 1852/ 1875

Welche technischen Möglichkeiten und Erkenntnisse lagen zum Zeitpunkt der Gründung des Geodätischen Instituts an der damaligen Kgl. Sächsischen Polytechnischen Schule vor? Sie war eingerichtet worden, um den steigenden Bedarf der Wirtschaft an technisch ausgebildeten Absolventen z.B. im Eisenbahnbau zu befriedigen, der von den klassischen Universitäten nicht abgedeckt wurde. So wurden für die Aufgabe „Aufnahme und Darstellung der Liegenschaften für ein Steuerkataster“ lediglich Feldmesser ausgebildet. Über einen akademischen Studiengang Vermessungswesen verfügt Dresden erst ab 1875 .

Kommen wir auf die technischen Möglichkeiten der damaligen Landesvermessung zurück. BESSEL hatte 1841 die Parameter eines Ellipsoides aus vorliegenden Gradmessungen abgeleitet, astronomische Observatorien für ihren Standort Länge und Breite bestimmt. Für Feldarbeiten standen von der feinmechanischen Industrie hochpräzise Theodolite zur Verfügung. Werkzeug der Rechentechnik war die Logarithmentafel. Methodisch lag für die Auswertung der Beobachtungen die von GAUß entwickelte Methode der kleinsten Quadrate vor, die sich aber wegen des manuellen Rechenaufwandes vorzugsweise für Einzelpunktausgleichungen eignete und nur in Ausnahmefällen für 20-30 Stationen gleichzeitig zur Anwendung kam. Regionale Realisierungen eines Raumbezuges wie z.B. durch GAUß im Rahmen der Hannoverschen Landesvermessung lagen vor (1821 – 1844). Sie erreichten Genauigkeiten im Meterbereich, die für die topographische Landesaufnahme ausreichten. Sie konnten jedoch in den Bereichen Punktdichte und Dauerhaftigkeit der Vermarkung noch nicht befriedigen .

Ein großer methodischer Schritt vorwärts wurde seinerzeit von O. SCHREIBER geleistet, der ab 1875 die Preußische Landesaufnahme auf der Basis der vorliegenden Erfahrungen und der

eben beschriebenen technischen Möglichkeiten neu organisierte und dabei eine wirtschaftliche und technische Optimierung erreichte. Die Vorgehensweise ist stichwortartig in Tab. 1 zusammengefasst worden. Hauptnutzer war weiterhin die topographische Landesaufnahme

Anlass (Hauptnutzer)	→ Top. Landesaufnahme 1:25000
Geodätisches Datum	→ Fundamentalpunktmethode (national)
Punktdichte	→ 1 TP pro 5 km ²
Vermarkung	→ dauerhaft mit Granitpfeiler und Platte
Messverfahren Genauigkeit (1940)	→ Triangulation 1.-3. Ordnung , A,B < 10 cm
Nachweis	→ Punktbeschreibung, Koordinatenliste, Übersichtskarte, Messwerte

Tabelle 1: Ansatz der Preußischen Landesaufnahme 1875

(in Preußen: Messtischblätter 1:25000) mit einer Punktdichte von 1 TP pro 5 km². Diese relativ geringe Punktdichte reichte für den Raumbezug aus, da die Belange des Liegenschaftskatasters nicht berücksichtigt wurden. Obwohl die schon von GAUß realisierte Submetergenauigkeit für den topographischen Raumbezug im Maßstab 1:25000 ausgereicht hätte, eröffneten die von entwickelten Messverfahren der Triangulation 1.-3. Ordnung lokale Nachbarschaftsgenauigkeiten von wenigen Zentimetern und deckten damit auch die Genauigkeitsbelange des Liegenschaftskatasters mit ab. Hier wurde erst im FP-Erlass von 1940 ein Grenzwert für die große Halbachse der Fehlerellipse von 10 cm festgesetzt. Einen Fortschritt gegenüber früheren Versuchen stellte auch die dauerhafte Vermarkung mit Granitpfeilern und -platten dar. Die häufige Benutzung von Bauwerken war an sich kein Nachteil. Leider wurden aber aus Wirtschaftlichkeitsaspekten für Boden- und Hochpunkte keine Sicherungen eingebracht. Den größten Kompromiss musste SCHREIBER aufgrund der damaligen Rechentechnik eingehen, die nur Einzelpunktausgleichungen wirtschaftlich zuließ. Außer den Netzteilen 1. Ordnung mit 20-30 Punkten (Konzept der Ketten- und Füllnetze) wurde der Netzaufbau so gesteuert, dass hinterher nur Folgen von Einzelpunktausgleichungen zu berechnen waren. Die nationale Datumsfestsetzung mittels der Fundamentalpunktmethode, bei der das Hauptnetz in einem Punkt astronomisch gelagert sowie mit einer Richtung orientiert und der Bezug zwischen der Rechenfläche Ellipsoid und der realen Welt des Geoides durch Gleichsetzen der natürlichen Lotrichtung mit der Ellipsoidnormalen vorgenommen wird, reichte für die Aufgabenstellung ebenfalls aus.

Auch wenn im nächsten Abschnitt eine Reihe von Weiterentwicklungen aufgezeigt werden können, war dieses Konzept in Deutschland und Europa bis vor wenigen Jahrzehnten im Gebrauch.

3 Technischer Fortschritt schafft neue Anforderungen

Die zweite Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts brachte einen ungeheuren technischen Fortschritt, der sich nachhaltig auf die Anforderungen der Nutzer und die technische Gestaltung der Ergebnisse der Landesvermessung auswirkte. In der Tabelle 2 sind die neuen Techniken und ihre Auswirkungen auf das Vermessungswesen exemplarisch zusammengefasst worden. Auch wenn diese Entwicklung nicht als abgeschlossen betrachtet werden kann, so lässt sich doch allgemein festhalten, dass sich das technische Spektrum

EDV	→ Völlige Freiheit in Netzgestaltung, Modellierung, Nachweisgestaltung und Datenintegration
Elektronik	→ Zusätzliche Sensorik, neue Aufnahmeverfahren (Von der Messkunst zur automatisierten Erfassung)
Weltraumtechnik	→ Globale Geodäsie und Aufnahmeverfahren, Positionierung für Massenmarkt
Kommunikation	→ Datentransfer an jeden Punkt der Erde
Internet	→ Globaler Informationsaustausch

Tabelle 2: Neue technische Entwicklungen und ihre Auswirkungen auf das Vermessungswesen

des Vermessungswesens ungemein erweitert hat. Daraus ein tragfähiges Konzept für ein künftiges Leit- und Berufsbild abzuleiten, fällt jedoch schwer und ist meines Erachtens nach auch noch nicht abschließend gelungen (BÄHR 2001, KUMMER 2001). Im Bereich der Landesvermessung (Raumbezug) kam es zu den in Tabelle 3 zusammengefassten Entwicklungen in den Leistungsparametern. Damit haben sich umfassende Integrationsmöglichkeiten ergeben, die

Geodätisches Datum	– vom lokalen zum nationalen und über das kontinentale zum global definierten Datum. Von dort jedoch Transformationsparameter in alle zuvor genannten Ansätze (Ein Basisbezugssystem® beliebige Ausfertigungen)
Genauigkeit	– 1 cm-Genauigkeit im Lokalen (Orthogonalaufnahme bis 20m) – im 1-2 km-Bereich (Elektronische Tachymetrie) – 10–100 km-Bereich (Geodätische Netze) – beliebig (Globale Messverfahren)
Punktdichte	– 1 TP/ 5 km ² (Pr. LA 1875), Hilfspunkte im Liegenschaftskataster bis zum 20/ km ² für die Orthogonalaufnahme – 4 AP/km ² (Polaraufnahme mit elektronischer Tachymetrie) – ein 3D – Bezugspunkt pro 2-3 km (RTK-Konzept)
Vermarkung und Sicherung	– Kosten- und Erhaltungsproblematik
Nachweis	vom analogen zum digitalen Nachweis, Integration der raumbezogenen Nachweise (Buch/ Karte/ Topographie/ Recht usw.)

Tabelle 3: Entwicklung der geodätischen Festpunktfelder

sowohl das Vermessungswesen intern als auch die Beziehung zu Nachbardisziplinen umfassen (vgl. Tab. 4), aber heutzutage nicht zwangsläufig von der amtlichen Landesvermessung übernommen werden müssen.

Bereich	Beiträge der Landesvermessung	Auswirkungen auf LV
Integration der Sensoren GNSS, LORAN-C, u.a.	Positionierung mit hoher Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit	Erweiterung der Referenzstationssensorik
Geodynamik	Beiträge zu den Erdwissenschaften, Dienste wie IGS und SAPOS/GHPS	kinematische Netze der LV
Navigation	Geodätische Grundlagen (ITRS/ITRF.xx) Positionierung und Geobasisdaten Dienste wie SAPOS/EPG	Zugang zu Systemen des Massenmarktes (GNSS), zusätzliche Leistungsparameter
Liegenschaftskataster	Positionierungsdienste für präzisen Raumbezug wie SAPOS/GPPS, bzw. HEPS	Intensives Qualitätsmanagement
Ingenieurvermessung	Positionierungsdienste für Raumbezug wie ASCOS	
Integration der raumbezogenen Datenquellen (Nachweise)	Raumbezug	Standard
Wettervorhersage	Aktuelle Troposphärenparameter	Meteorologische Sensoren

Tabelle 4: Interaktionen aus technischen Entwicklungen

4 Das aktuelle Modell: Vom Festpunktfeld zum Positionierungsservice

Mit dem Aufbau des Satellitenpositionierungsservice SAPOS hat die deutsche Landesvermessung einen völlig neuen Weg eingeschlagen (ROSENTHAL 2001), auch wenn es ihr zu Beginn in allen Konsequenzen nicht so bewusst war. Ausgangsüberlegung war einerseits der Umstand, dass das erneuerte Lagefestpunktfeld zwar eine technisch optimale, aber langfristig im Bereich Erhaltung und Benutzung zu teure Lösung darstellte (AUGATH 2001b). Durch den seit 1983 praktizierten GPS-Einsatz in TP-Netzen war das Potential dieses Verfahrens in den Bereichen **Wirtschaftlichkeit, Flexibilität und Genauigkeit** bekannt. Der Schritt, einen Positionierungsdienst mit einem Netz von GPS-Referenzstationen als Ersatz für vermarktete Festpunktfelder aufzubauen, hatte für die Landesvermessung einen hohen wirtschaftlichen Reiz. Er setzte jedoch eine technisch sehr komplexe Verfahrenslösung voraus, die GPS-seitig eine flächenhafte Fehlermodellierung (Vernetzung) in regionalen Referenzstationsnetzen beinhaltete, bezahlbare und verfügbare Kommunikation zwischen den Stationen und zum Nutzer im Feld benötigte, ebenso wie international abgesprochene Datenformate und möglichst mit der Tachymetersensorik verknüpfte Endgeräte. Auch musste gut durchdacht werden, wie der Anschluss an das Raumbezugssystem und sogar die Einzelaufnahme mit diesen Hilfsmitteln neu organisiert werden kann.

Der wichtigste Schritt liegt nach meiner Einschätzung in dem Ziel, einen **multifunktionalen Service** aufzubauen. Der multifunktionale Anspruch basiert auf der in den letzten Jahrzehnten erworbenen Fähigkeit, nicht nur im Kernbereich der Landesvermessung (topographische Landesaufnahme, Liegenschaftsvermessung, vgl. Abschnitt 3) tätig sein zu wollen, sondern

die aufwendige Infrastruktur mit über 200 Referenzstationen allein in Deutschland auch für andere zur Verfügung zu stellen, z.B. auch für die Navigation. Das bewusst gewählte Wort „Service“ dagegen soll deutlich machen, dass ein höheres Anspruchsniveau angestrebt werden soll. Ohne dieses höhere Niveau wären auch keine Navigationskunden zu gewinnen. Das klassische Angebotsniveau der Landesvermessung (die gelieferten Koordinaten der Festpunkte gelten nur für den Zeitpunkt der Bestimmung, keine Garantie für das örtliche Vorhandensein der Marken) war nicht mehr zu halten. Im Land-, See- und insbesondere im Luftverkehr gelten jedoch strenge Regeln (BMVBW 1999), die durch andere Leistungsparameter als bei der statischen Positionierung beschrieben werden (vgl. Tab.5).

Genauigkeit:	Abweichung vom wahren Wert, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % nicht überschritten wird ($= 2\sigma$)
Verfügbarkeit:	Wahrscheinlichkeit, ein System im funktionsfähigen Zustand vorzufinden (→ Systemverfügbarkeit) aber auch: „ lokale Verfügbarkeit “ beachten (Abschattungen, Störungen)
Kontinuität:	Wahrscheinlichkeit, dass ein System an einem Ort während einer vorgesehenen Nutzungsdauer nicht ausfällt.
Integrität (hier als integrity risk):	Wahrscheinlichkeit, dass eine Überschreitung des maximal zulässigen Fehlers nicht bemerkt wird.
Time to Alarm:	Zeitdauer zwischen dem Auftreten einer Grenzwertüberschreitung und der Bekanntgabe an den Nutzer

Tab.5: Leistungsparameter in der Navigation nach DNFP (1999)

Dabei ist generell zu beachten, dass die Genauigkeitsangaben in der Navigation sich auf das Wahrscheinlichkeitsniveau von 95 % beziehen. Bei der Verfügbarkeit erreicht GPS nur etwa 99 % (MÜLLER 2000). Höhere Anforderungen sind nur durch Systemkombinationen zu befriedigen (z.B. GPS und GLONASS oder künftig GALILEO). Da weltraumgestützte Verfahren Sichtbarkeit der Satelliten voraussetzen, sind in bestimmten Gebieten (Gebäude, Tunnel, topographische Restriktionen) zusätzliche bodengestützte Systeme wie LORAN-C einzusetzen, die hier komplementäre Eigenschaften besitzen. Insgesamt beschreiben die Leistungsparameter der Tab. 5 die Anforderungen seitens der Navigation und sind durch technische Vorkehrungen sicherzustellen. Es fehlt jedoch für die Landesvermessung noch ein Parameter für die Anforderungen der kurzzeitigen statischen Positionierung .

	Betreiber	Raumsegment	SBAS	Monitoring	Nutzerwarnung	Kommunikation
EGNOS	ESA	GPS/ GLONASS	ja	GBAS	ja	Mikro
EUROFIX	NELS	GPS/ GLONASS	--	ja	autonom	LW
AMDS		GPS	--	--	autonom	LW
EPS (ALF)	LVA	GPS	--	ja	ja	LW (Telekom)
EPS (RASANT)	LVA	GPS	--	ja	--	UKW (ARD)
HEPS (LVA)	LVA	GPS	--	tlw.	--	GSM
ASCOS	Ruhrgas	GPS/GLONASS	--	--	--	GSM

Tabelle 6: Positionierungsdienste in Deutschland und Europa (Auszug)

Die in Tab. 6 zusammengetragene Liste von Positionierungsdiensten zeigt, dass im Bereich des „Massenmarktes“ mit Genauigkeiten im Meterbereich eine ganze Reihe von Diensten besteht oder sich im Aufbau befindet. Als Musterbeispiel darf hier der European Geostationary Overlay Service (EGNOS) gelten (AUGATH 2001a). Es wird als Wide Area Argumentation System (WAAS) im großen Wirtschaftsraum Europas einheitlich realisiert und mit anspruchsvollen Spezifikationen im Bereich der Integrität ausgestattet. Das Gesamtfinanzierungskonzept umfasst auch die Förderung der Endgeräteindustrie und stellt auf diese Weise sicher, dass alle Komponenten des Dienstes nach Ablauf des Testbetriebes zur Verfügung stehen werden.

In Deutschland hat es sehr viel Mühe und Zeit gekostet, den UKW-gestützten RASANT-Dienst vertraglich mit allen Landesrundfunkanstalten abzusichern (Elsner 2001) und auf diese Weise eine flächendeckende Versorgung sicherzustellen. Das Konzept wurde auch von Spanien übernommen. Es ist aber kein europäisch realisierter Dienst und müsste auch im Bereich der Integrität noch nachgerüstet werden.

Die weiteren Dienste wie HEPS, GPPS, GHPS, die eine höhere Genauigkeit erreichen, bedienen jeweils einen sehr anspruchsvollen aber begrenzten Nutzerkreis. Hier muss der Qualitätssicherung des Messsignals und der Datenveredlung einschließlich der Validierung auf hohem Niveau noch viel Aufmerksamkeit gewidmet werden (Augath et al. 2002).

5 Ausblick

Vergleicht man abschließend die Verhältnisse von 1852 mit den heutigen, so ist die Aufgabe der Landesvermessung, einen Raumbezug für Wirtschaft und Verwaltung zu gewährleisten, geblieben. Geändert haben sich auf fundamentale Weise die Methoden und die vielfältigen Angebote zur optimalen Realisierung dieser Aufgabe. Auch wenn das Vermessungswesen sich schon immer für Wirtschaftlichkeit interessiert hat, besteht heute im öffentlichen wie im privaten Sektor der verstärkte Zwang, die Instrumente der Betriebswirtschaft, wie **Qualitätsmanagement, Controlling, Kosten- und Leistungsrechnung, Investitions-**

rechnung aber auch die **Grundregeln des Marketing** und das **Eingehen strategischer Partnerschaften** offensiv zu nutzen.

Das Vermessungswesen und mit ihm die Landesvermessung nimmt in doppelter Hinsicht an den Vorgängen der **Globalisierung** teil. Globale Messverfahren, die meist weltraumgestützt sind, erlauben die hochpräzise und detaillierte Erfassung des „Systems Erde“ mit allen Facetten, wie **Geodynamik, Erdschwerefeld, Wetter- und Klimaerfassung**. Sie bringen es mit sich, dass die immer präziser ausmessbare Wirklichkeit nur mit Hilfe sehr komplexer geophysikalischer Modelle in das geodätische Modell der „Erde“ überführt werden kann. Der in AUGATH (1991) beschriebene Prozess der Übernahme der Methoden und Modelle der Erdmessung in die Praxis der Landesvermessung und darüber hinaus auch in die Einzelaufnahme setzt sich dramatisch fort. Vorteilhaft wirkt sich hierbei der globale Wettbewerb der Anbieter von Hard- und Software aus, auch wenn der präzise geodätische Sektor als Spezialnutzer immer noch sehr hohe Preise bezahlen muss.

Die Landesvermessung muss sich aber ihrerseits dem globalen Wettbewerb um die besten Systemlösungen stellen und sich auch als Wettbewerber verstehen. Das Bestehen auf landesspezifischen oder nationalen Besonderheiten wird gnadenlos mit hohen Preisen oder mittelfristig mit dem Absinken in sektorale Bedeutungslosigkeit abgestraft. Es wäre für das deutsche Vermessungswesen hilfreicher, zu versuchen, jedes tragende Konzept europäisch oder weltweit zu vermarkten. Die Entwicklung der letzten Jahre hat gezeigt, dass das Verweisen auf einen gesetzlichen Auftrag nicht als dauerhaftes Ruhekitzen gesehen werden kann, da heutzutage jedermann einen Satellitenpositionierungsdienst aufzubauen vermag. Auch ist es aus betriebswirtschaftlichen Gründen unverzichtbar, für jede Aufgabenstellung optimale Einheiten zu schaffen. Die Rechtsform erscheint dabei zweitrangig und darf nur dienende Funktion haben.

Die in Tab. 6 aufgeführten Dienste zeigen, dass schon jetzt ein breites fachspezifisches Angebot besteht, das von der Geodynamik über die präzise Punktbestimmung einschließlich der Echtzeitvarianten für Liegenschaftsvermessungen bis zu den ingenieurgeodätischen Anwendungen der Leitungsbetreiber reicht, das die vielen Facetten des modernen Raumbezuges abzudecken vermag. Wer welche Einzelaufgabe übernimmt erscheint dabei sekundär, entscheidend ist die Qualität/ Zuverlässigkeit und die Wirtschaftlichkeit unter Beachtung der Sicherstellung einer Basisinfrastruktur. Die große Kompetenz der Geodäsie muss hierbei erhalten und nachhaltig weiterentwickelt werden.

6 Literatur

AUGATH, W. (1991): Entwicklungstendenzen beim Einsatz von Verfahren und Methoden der Erdmessung in der Landesvermessung von heute. Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Torge, S. 15-24, Hannover, 1991.

AUGATH, W. (2001a): Europäische DGPS-Dienste. Proceedings zum DGON-Symposium POSNAV 2001, S. 67-75, Bonn, 2001.

AUGATH, W. (2001b): Geodätische Bezugssysteme für Wirtschaft und Verwaltung, - Sachstand, Perspektiven, Zielmodelle im Lagefestpunktfeld -. Nachrichten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, Heft 2, S.4-14, Hannover, 2001.

AUGATH,W.,BLUMENBACH,TH.,WILDT,ST. (2002): Qualitätssicherung bei Referenzstationen und in Referenzstationsnetzen. SAPOS-Symposium Hannover, 2002 (im Druck).

BÄHR. H.-P. (2001): BACHELOR als relative Katastrophe MASTER als absolute Chance. FORUM, Zeitschrift des BDVI, Heft 4, S. 204-205, Köln, 2001.

BMVBW(1999): Deutscher Funknavigationsplan 1999.

ELSNER, Chr. (2001): Positive Beispiele und vielversprechende Anwendungen eines flächendeckenden DGPS-Services in Deutschland – Eine kritische Bilanz zu „RASANT“en Verfahren. Proceedings zum DGON-Symposium POSNAV 2001, S. 199 –209 , Bonn, 2001.

KUMMER, K. (2001): Quo Vadis Landesvermessung, Flächenmanagement und Bodenordnung, Heft 5/2001, S. 164 -174 , Neuwied ,2001.

MÜLLER,A.(2000): Persönliche Mitteilung (unveröffentlicht).

ROSENTHAL, G. (2002): Der Satellitenpositionierungsdienst SAPOS der deutschen Landesvermessung. Proceedings zum DGON-Symposium POSNAV 2001, S. 77 -86, Bonn, 2001.