



"Es ist ein Maß in allen Dingen"

200 Jahre

Bayerische Vermessungsverwaltung

Vorträge zum 200. Geburtstag

Bayerisches Landesvermessungsamt

Vortrag von Univ.-Prof. em. Dr. Dr. h.c. mult. Roland Bulirsch
im Cuvilliés – Theater

„Himmel und Erde messen“

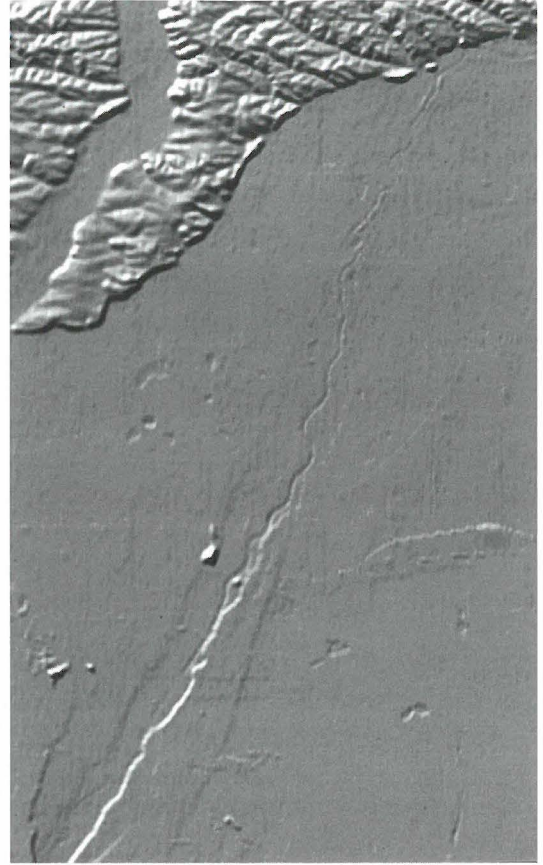


Abb. 1 München, Freising:
Apians Karte,
Digitales Geländemodell des BLVA,
neue Karte des BLVA.

Brief an den bayerischen Kanzler, Herwart von Hohenburg in München:

Prag, 24. November 1607

Edler und hochherziger Mann, hoch zu verehrender Gönner.¹

... Der Kurfürst von Köln nannte [mir] München und Freising; von den Fenstern der Schlösser könne man vom einen Ort zum anderen sehen... Wenn man die dazwischen liegende Strecke ausmessen könnte... eine Maßbestimmung [der Erde] wäre für alle Zeiten festgelegt... [Aber] die Ansicht des Franzosen Thevetus über die Eiform des Erdkörpers müßt Ihr sorgfältig beachten...

In der Steiermark habe ich zwei Berge bestiegen und den einen vom anderen aus anvisiert. Ich fand die Krümmung der Erde gleich 19 Minuten...

*Eurer Edlen Magnifizenz
höchstwilliger Mathematicus Johann Kepler*

Keplers Brief war alles andere als Zufall. Kanzler von Hohenburg, einflußreicher Chef der Regierungsverwaltung des Kurfürstentums, war brennend an den neuesten Untersuchungen und Ergebnissen über die Erdgestalt interessiert und hatte sich von *Dem Ernuesten Hoch vnd wolgelerthen Magister Johann Kepler der Römisch Kayserlichen Mayestät Mathematico meinem sonders lieben Herrn vnd Freundt* (in Prag)... hatte sich also von Kepler Instrumente und Magnete erbeten. Denn der bayerische Kanzler wollte selbst Untersuchungen auch zum Magnetfeld der Erde vornehmen. Kepler antwortete mit obigen Schreiben und schlug vor, Lote in München und Freising auszumessen und aus den Winkelabweichungen die Gestalt des Erdkörpers zu ermitteln.

Doch die Visionen des Genies Kepler waren 150 Jahre zu früh gekommen. Immerhin, Interesse an Forschung und Technik in der Regierung Bayerns gab es schon zu Anfang des 17. Jahrhunderts. „Hochtechnologie in Bayern“ hat eine ehrwürdige Tradition. *Zukunft hat eine lange Vergangenheit* – lehrt uralte rabbinische Weisheit.

1618 schreibt Kepler dem kaiserlichen Rat Wacker von Wackenfels in Prag, *er habe in Nürtingen einen Geist von höchstem Adel gefunden, einen von heißer Liebe zur Mathematik [und Astronomie] beseelten jungen Mann.²*

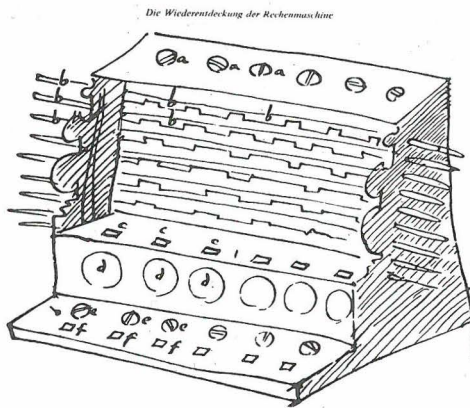


Abb. 2 Wilhelm Schickard, 1592 – 1635

¹ *Nobiles et Magnifice Vir, fautor colende*
² *matheseos amaniissimum iuuenem*

Und der daneben auch die orientalischen Sprachen pflegt. Es ist der Tübinger Gelehrte Wilhelm Schickard. Schickard ist Theologe, geweihter Diakon, an der Universität Tübingen Professor für Hebräisch – die heilige Sprache, für Martin Luther die Sprache aller Sprachen.

Im September 1623 hatte Schickard dem *berühmtesten und vortrefflichsten Herrn Kepler in Linz*³ mitgeteilt, daß er eine Maschine konstruiert habe, die Zahlen automatisch zusammenrechnet: addiert, subtrahiert, multipliziert und dividiert. *Du würdest lachen, schreibt er, wenn Du erlebtest, wie sie die Stellen, wenn es über Zehner oder Hunderter geht, von selbst erhöht.*



Die »Skizze aus Pulkowos zum Brief an Kepler vom 24. 2. 1624

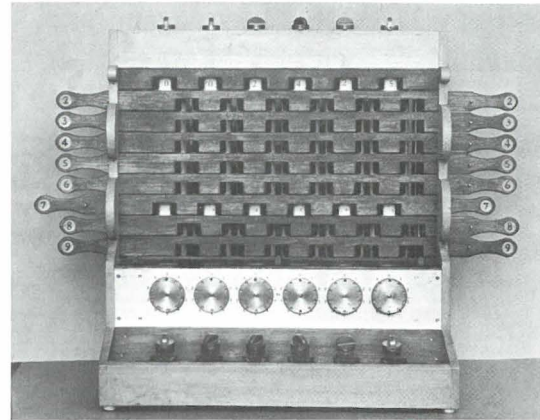


Abb. 3 Schickards Rechenmaschine, Skizze von 1624, Nachbau 1960

Die erste funktionierende Rechenmaschine der Welt, 370 Jahre ist es her. Schickards Rechenmaschine muß ein kleines Wunderwerk gewesen sein. Nichts ist davon übrig geblieben. Der Dreißigjährige Krieg hat alles vernichtet.

Schickard sucht für ein Vermessungswerk Leute, die nur ein wenig mit dem Circkel vnnnd dem Linial vmbzugehen wissen. Da paßte, was der Nürnberger Kartograph und Mathematiker Pfinzing gefordert hatte: ...Der rechte Feldmesser soll im lesen, schreiben und rechnen wol geübt und erfahren sein... nicht allein Geometriam gelernt, sondern sich auch auff die opticam legen ... können...

Zu Schickards Enttäuschung meldete sich nur ein Theologe, Daniel Hizler.



Abb. 4 Aus Daniel Schwenters Geometriebuch von 1621

³ clarissime et excellentissime domine Kepler

Mitten im Dreißigjährigen Krieg führt Schickard trigonometrische Messungen im Herzogtum Württemberg durch. Es wird die erste „richtige“ Triangulation eines größeren Territoriums im Heiligen Römischen Reich.

Die Vermessung, eine Knochenarbeit für Schickard. Regen, Kälte, Schnee; Pfinzing hatte es vorausgesehen: *Zum rechten Feldmesser, so schreibt er, gehört ein gesunder und vermöglicher Leib, ein stette unzitterende Faust, starcke gute Schenckel ...*

Für Schickard Gefahren überall, der Dreißigjährige Krieg ist voll entbrannt, menschenleere, geplünderte Dörfer, die Einwohner vor den Soldaten geflohen. Unbeeindruckt reitet Schickard von Meßpunkt zu Meßpunkt, erstellt Karten. Ein Meßblatt versieht er mit der hebräischen Inschrift: *Es gibt keine Gewißheit ohne Zweifel.*

Als seine Frau und seine drei Töchter an der Pest sterben, erlahmen seine Kräfte. Noch einmal rafft er sich auf. Dann sterben auch sein Sohn und er selbst an der Pest. Ein einziges Kartenblatt ist erhalten.

Freilich waren schon 60 Jahre früher, 1568, von Philipp Apian aus Ingolstadt Karten des Landes Bayern erstellt worden, oder was damals Baiern hieß, mit „i“ geschrieben. Und es waren gute und schöne Karten, nach „Augenschein“ erstellt. Und sollten 200 Jahre lang allen Ansprüchen genügen.

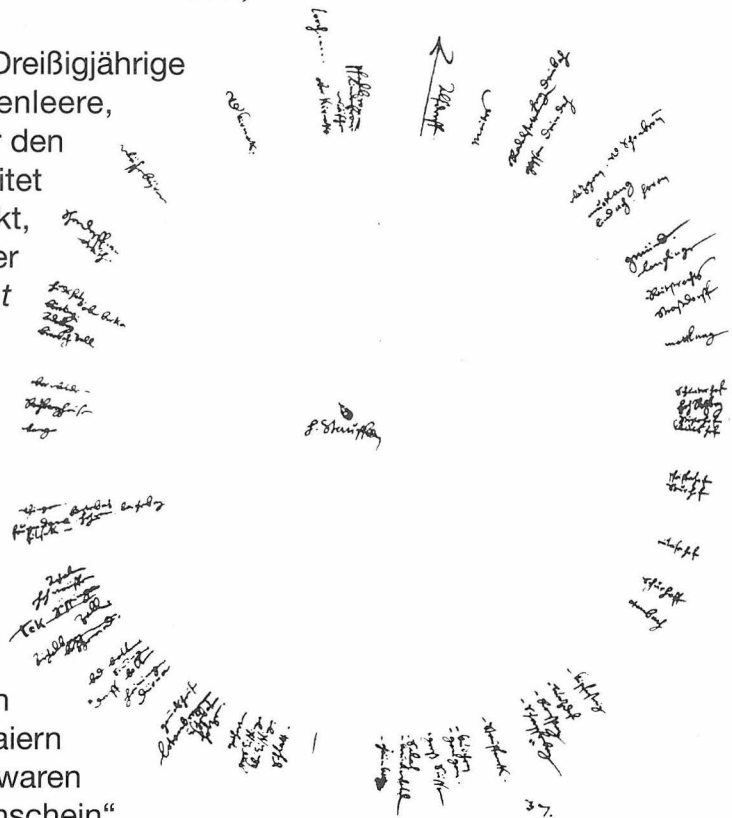
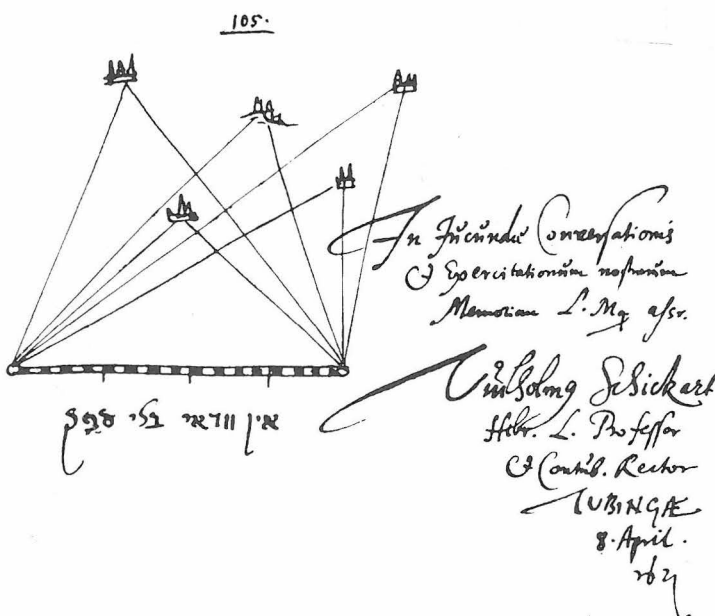


Abb. 5
Peilscheibe der Messungen vom Hohenstaufen

Der Geograph und Kartograph



Vorwärtseinschnitte (Stammbuchblatt, 8. 4. 1621). Der hebräische Spruch bedeutet »Es gibt keine Gewißheit ohne Zweifel«

Vor 200 Jahren, fast auf den Tag genau, ordnete Von Gottes Gnaden Maximilian Joseph, Pfalzgraf bei Rhein, in Ober- und Niederbairern Herzog, des Heiligen römischen Reichs Erztruchseß und Churfürst

... Kurz: Maximilian IV. Joseph ordnet die Einrichtung eines Topographischen Bureaus an. Und er befiehlt, sämtlichen über Land gehenden französischen und deutschen Ingenieuren jede Unterstützung ange-deihen zu lassen.

Abb. 6
Vorwärtseinschnitte mit hebräischer Inschrift

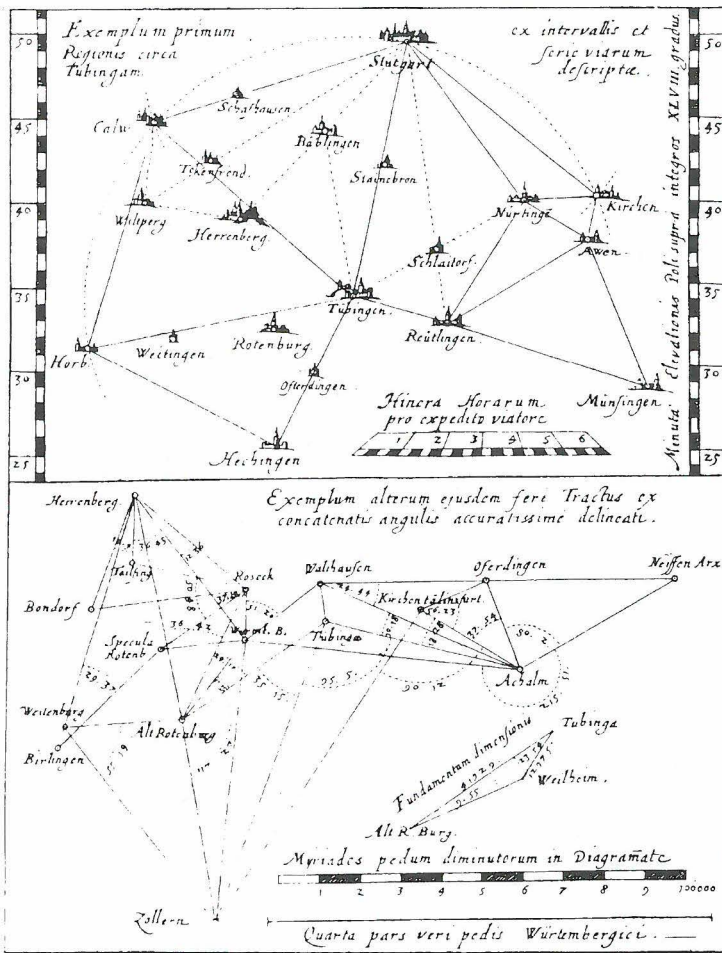
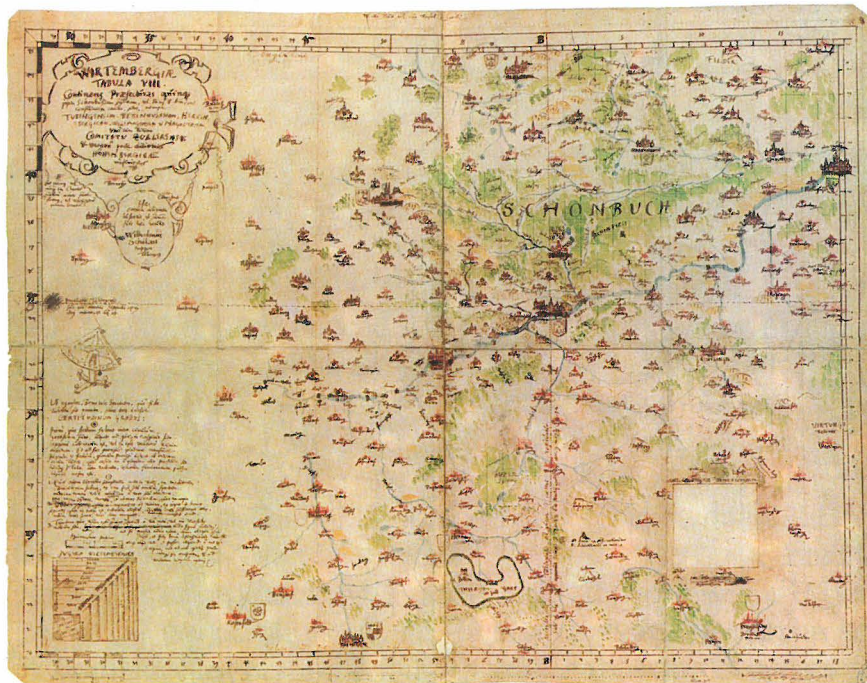


Abb. 7 Tübingen 1634: Dreiecksnetz, Karte



Württembergische Tabula VIII. Ephemeriſche Karte von Wilhelm Schickel.

Max Joseph von Zweibrücken war selbst französischer Offizier gewesen, Oberst des Fremdenregiments Royal Alsace in Straßburg, zuletzt Generalleutnant.

Im gleichen Jahr wird in nur 42 Arbeitstagen die ca. 21,6 km lange bayerische Basislinie zwischen Oberföhring und Aufkirchen bei Erding vermessen, auf der Verbindungslinie *nördlicher Turm der Münchner Frauenkirche zum Kirchturm von Aufkirchen*. Der Meßtrupp unter Leitung des französischen Obersten Bonne bestimmte die Länge der Strecke zu 21653,8 m.

Zwei Jahre zuvor, 1799, war Maximilian Joseph als neuer Kurfürst in München eingezogen, von den Münchnern freudig begrüßt. Man erzählt, der Kaltenegger-Bräu ist damals auf den neuen Kurfürsten losgestürzt und hat dessen Hand mit den Worten ergriffen „Weilst nur grad da bist, Maxi“. Sicherlich nicht aus Vorfreude auf das künftige bayerische Vermessungsbureau. Ganz ungewöhnlich für einen Kurfürsten waren die Anteilnahme und das persönliche Eingreifen Max Josephs, wenn in der Stadt Not am Mann war. 1801 stürzen in München 2 Häuser ein. Der Kurfürst eilt selbst an die Unglücksstelle und leitet die Bergungsarbeiten. Dank seiner rettet man einen schwer verletzten 14jährigen Glaserlehrling aus den Trümmern. Dieser „Glaserjunge“ sollte später ausserordentlich bedeutende optische Entdeckungen machen. Wegen seiner großen Verdienste hat ihn König Maximilian I. in den Adelsstand erhoben. Es war Joseph von Fraunhofer.

Etwa um die gleiche Zeit, 1801, (Neujahrsnacht von 1800 auf 1801), entdeckt der italienische Theatinermonch Giuseppe Piazzi einen neuen Planeten, der zweite seit der Antike entdeckte Planet. Piazzi tauft ihn Ceres und verfolgt seine Bahn. Aber der Planet geht verloren, und alle Mühen, ihn wiederzufinden, sind vergebens, auch die Rechnungen, die man anstellt, führen zu nichts. Große Aufregung herrscht unter den Astronomen, sogar in den feinen Salons Europas sprach man darüber. Da fragt der Astronom Zach einen begabten jungen Mann aus Braunschweig, 23 Jahre ist der alt, ob er vielleicht eine Methode wüßte, den Planeten wiederzufinden. Das traf sich gut, denn der junge Mann hatte gerade eine neue mathematische Methode ersonnen, die auf solche Aufgaben passen würde.

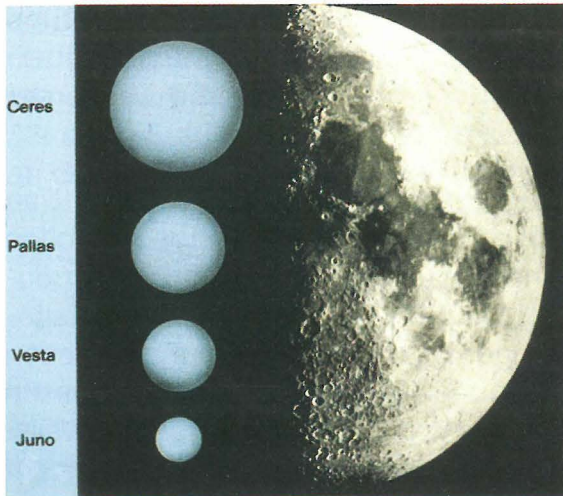


Abb. 8
Planetoid Ceres im Vergleich zum Erdmond

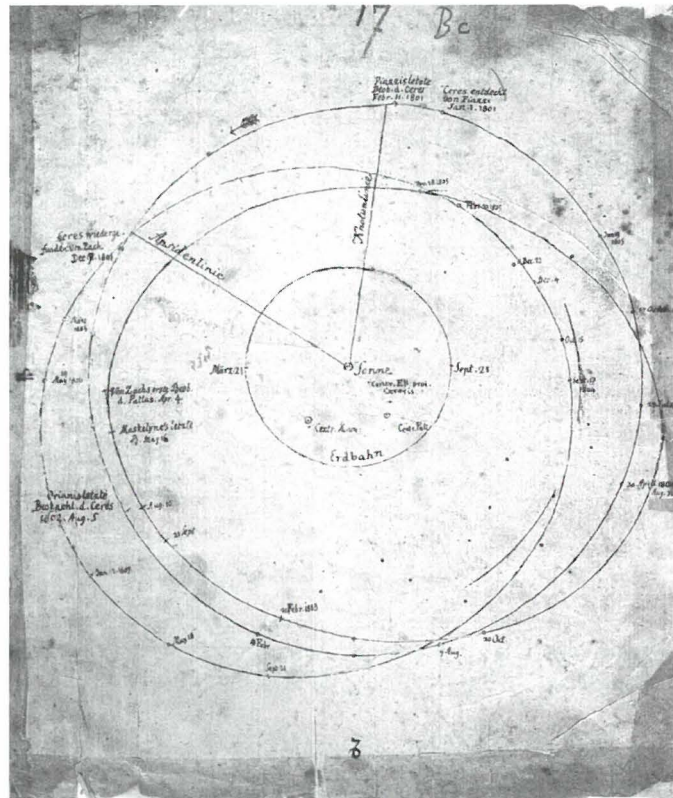


Abb. 9
Gauß: Skizze zur Berechnung der Ceres-Bahn

Er berechnet die Stelle am Himmel, wo der Planet möglicherweise sein könnte. Die neuen Resultate waren völlig anders als alles, was man bisher errechnet hatte. In der Neujahrsnacht von 1801 auf 1802 wird damit die Ceres auf Anhieb entdeckt. Neun volle Monate hatte man nach der Ceres gesucht, und jetzt war sie wieder da, fast genau an der berechneten Stelle. Die ganze wissenschaftliche Welt Europas sprach davon. Der Astronom Zach in seiner monatlichen Korrespondenz: *Ohne die scharfsinnigen Berechnungen des Dr. Gauß hätten wir die Ceres niemals wieder gefunden. Olbers über den 23jährigen Braunschweiger: Melden Sie dies dem würdigen Gelehrten unter Bezeugung meiner ganz besonderen Hochachtung. Ohne ihn hätten wir die Ceres nicht wieder gefunden.* Der Herzog von Braunschweig ist tief beeindruckt und erhöht Gaußens Stipendium auf 400 Taler jährlich.

Die neue Rechenmethode von Gauß war genau die, auf die Geodäten gewartet hatten. Jetzt war es möglich, die gemessenen Dreiecksnetze – die Triangulationen – „auszugleichen“, die sich durch Meßfehler ergebenden Widersprüche auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

Später wird dem Mathematiker Gauß, *decus aeternum* – ewige Zier – der Göttinger Universität, die Vermessung des Königreichs Hannover übertragen. Mit der Postkutsche fährt er von Göttingen ins Oberbayerische nach Benediktbeuern zu Joseph von Fraunhofer, um sich die neuesten optischen Instrumente vorführen zu lassen und zu kaufen. Bei von Reichenbach in München bestellt er Meridiankreis und Passageninstrument für die neue Göttinger Sternwarte; Reichenbachs Kreisteilungsmaschine war berühmt. Gauß selbst erfindet für seine eigenen Vermessungsarbeiten den *Heliotrop*, ein Spiegelgerät, das die anvisierten Zielpunkte ausleuchtet. Dem Astronomen Bessel vertraut Gauß an, daß er *den trigonometrischen Messungen immer eine interessante Seite abgewonnen und die täglichen Ausgleichungen liebgewonnen hat*. Dem Mathematiker Pfaff schreibt er, daß er *ein Dreiecksnetz von Bremen bis Ostfriesland, die Nordsee und Helgoland zu führen hat*. Auf der Rückseite des Zehnmarkscheins kann man dieses Netz sehen, ein halbes Jahr noch. Stolz ist Gauß auf die Anlage seiner „Durchhaue“, Schneisen, die in den Wäldern

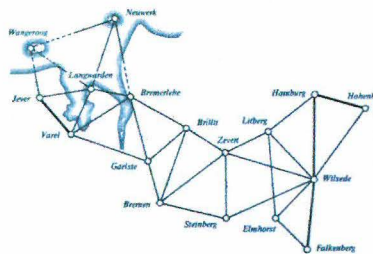


Abb. 10 Gauß: Dreiecksnetz über Ostfriesland

der Lüneburger Heide geschlagen werden mußten, um freie Sicht zwischen trigonometrischen Meßpunkten herzustellen.

Die Vermessung des Königreiches Bayern verfolgt er sehr aufmerksam. Seinem Freund Schumacher schreibt er, daß alle seine „Durchhaue“ weniger kosten als ein einziger Signalturm, die man in Bayern baut, um sich über die Waldungen zu erheben. Eine kleine Spitze gegen den Süden, und vielleicht ist sie daran schuld, daß Deutschlands größter Mathematiker noch nicht Einzug in die *Walhalla* hat halten dürfen.

*

Auch am Himmel gehen die Arbeiten weiter. Der Bonner Astronom Friedrich Argelander erstellt einen Sternatlas, vermißt dazu die Lage vieler Sterne neu, etwa 324 198 Sterne führt sein Atlas auf, die berühmte „Bonner Durchmusterung“. Sie hat für Jahrzehnte Maßstäbe gesetzt.

Im August 1845 findet in Bonn das erste Beethovenfest statt. Der preußische König Friedrich Wilhelm IV. ist auch da und besucht seinen alten Freund „Fritz“ auf der Sternwarte. Die Argelanders, eine wohlhabende, in Memel ansässige Familie, hatten in den Napoleonischen Wirren den preußischen Prinzen Unterkunft und Schutz geboten – daher die Freundschaft.

Dialog in der Bonner Sternwarte.

Der König: *Na, Argelander, was gibt es Neues am Himmel?*

Argelander: *Kennen Majestät schon das Alte?*

*

Der französische Astronom Cassini hatte im 18. Jahrhundert eine 4 km lange Basis am Nymphenburger Kanal ausgemessen und soll von der „geographischen Finsternis, die über Bayern herrscht“, gesprochen haben. Er war nicht allein. Der Bayerische Staatsminister Graf von Montgelas mokierte sich über die vom König nach München an Universität und Akademie berufenen Gelehrten aus nördlichen Ländern: ... *Die neuen Ankömmlinge hielten sich für Missionare, zur Belehrung von Wilden berufen, und ihre Anmaßung empörte die Bayern ...*

Dabei war alles ganz anders. Der große französische Mathematiker Laplace, Lehrer Napoleons und eine zeitlang französischer Innenminister, gab 1817 vor dem französischen Senat *dem bayerischen Katastral-Messungs-Systeme, als dem vorzüglichsten, seine unumwundene Zustimmung und wies auf Nachahmung dieses teutonischen Institutes hin.*

Der Urheber? Kaiserlicher Befehl aus Wien:

Schönbrunn, 15. November 1805

Das Pionierkorps wird Aufklärungsarbeiten über die Verstärkung von Passau durchführen und Vermessungsoffiziere entsprechende Arbeiten... von Linz nach Freyung und von Freyung nach Passau ausführen... Für die Aufklärungs- und Vermessungsarbeiten einen Maßstab benützen, mindestens so gut, wie der in der großen Karte (grande carte) von Cassini... Wien braucht Katasterpläne zur Erweiterung des topographischen Kabinetts...

Gezeichnet?

Napoleon. Zwei Wochen später wird Napoleon in der Schlacht von Austerlitz siegen.

1808, Bayern, inzwischen Königreich und größer. Zu der Altbayerischen Grundlinie wurden zwei weitere ausgemessen, eine im Fränkischen und eine in den linksrheinischen bayerischen Gebieten. Doch die Dreiecksnetze, die man an diese Grundlinien anhängte, lagen nicht in einer Ebene. Der Astronom und Vermessungsingenieur Soldner hatte dazu eine brillante Idee. Für die unumgänglichen Rechnungen ersetzte er das Erdellipsoid durch eine gedachte Kugel, die das Erdellipsoid längs eines Breitenkreises berührt. Soldner wählte als Breitenkreis gerade den, der durch die nördliche Turmspitze der Münchner Frauenkirche geht. Der nördliche Frauenturm: Nullpunkt des bayerischen Koordinatensystems, von hier aus wurde Bayern gemessen und gezählt. Um die Mitte des 19. Jahrhunderts, um 1850, war Bayern vermessen und vielleicht das am besten vermessene Land in Europa.

Präsident G. Bellas Greenough 1841 vor der Royal Geographical Society zu London: *...der Katasterplan von Bayern als wahrscheinlich der perfektteste überhaupt...⁴*

*

Im Oktober 1957, vor nicht einmal 50 Jahren, hatte die Sowjetunion ihren ersten Kunstmond, den Sputnik, in eine Umlaufbahn um die Erde geschossen. Und dieser einen Rakete folgten noch andere, viele, sehr viele, bis zur Stunde 5402. Vorangetrieben hatte diese Entwicklung der Transistor, damals nach dem Kriege in den Bell-Laboratorien entdeckt; später kam der integrierte Schaltkreis hinzu: Millionen und Aber-

⁴ *the Catastral map of Bavaria as probably the most perfect ever attempted*

millionen von Transistoren auf einem winzigen Stück Silizium eingätzt und so leistungsfähig, wie kurz zuvor noch mehrere Kubikmeter vollgestopft mit elektronischen Geräten. Die Raumfahrt, und nur sie, hatte die Hardware-Entwicklung der Rechner vorangetrieben: Für ihre Raumsonden hatte sie dringend miniaturisierte Rechner gebraucht. Die Entwicklungskosten dafür waren gigantisch, alles vom Steuerzahler, dem *tax payer* in USA aufgebracht. Die Ausgaben haben sich gelohnt und den USA einen uneinholbaren Vorsprung im Computer-Geschäft gesichert.

Inzwischen ist der Himmel um uns herum übersät mit künstlichen Körpern. Die Erde umkreisen 2 819 Satelliten und dazu 6 189 Raketenteile von etwa Tonnenschwere bis hinunter zur Größe eines Fußballs.⁵ Über jedes einzelne Teil wird genau Buch geführt, die Bahn verfolgt, um gefährliche Zusammenstöße mit neu startenden Raketen zu vermeiden.

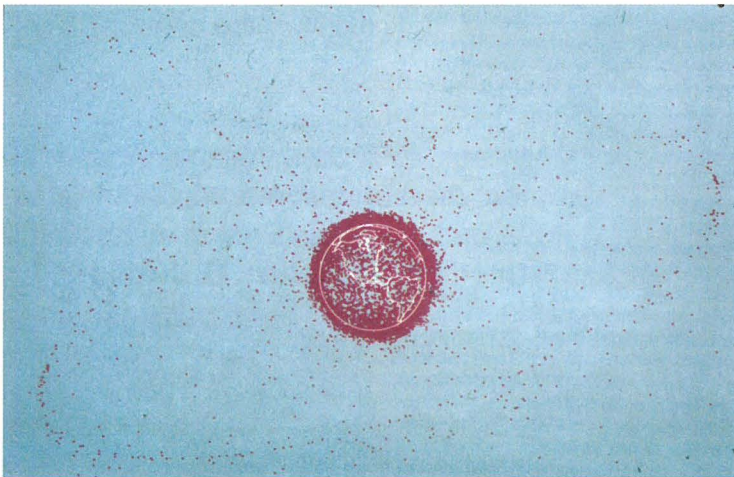


Abb. 11 Erde mit ca. 2 000 Satelliten

Eine Aufgabe der rechnenden Mathematik. 20 von diesen 2 819 Satelliten sind deutschen Ursprungs. Deutschland mit 0,75 % an der Raumfahrt beteiligt, und wahrscheinlich stammt das meiste davon aus Bayern.

Zu den 5 402 Raketen muß man noch die hinzuzählen, die Sonden zum Mond und den Planeten getragen haben. Über den Flug zum Mond konnte man schon früher lesen:

...Die Anfangsbewegung ist für den Mondfahrer die schlimmste, denn er wird so emporgeschleudert, als wenn er, durch die Kraft des Pulvers angetrieben, wie auf einer Kanonenkugel dahinflöge. Der Mondfahrer muß sorgfältig abgestützt werden, damit sich die Gewalt des Rückstoßes gleichmäßig über alle Körperteile verteilt. Sodann neue Schwierigkeiten: Die ungeheure Kälte auf der Reise... Nach dem ersten Teil der Reise geht es leichter, der Mondfahrer entrinnt der Kraft der Erde und gerät in die des Mondes, die nun die Oberhand gewinnt. ...Da nämlich die Kräfte der Erde und des Mondes den Körper anziehen und in der Schwebe halten, ist die Wirkung genau die gleiche als wenn keine Kraft den Körper anziehen würde.

Der Autor hat den Mondflug physikalisch absolut korrekt beschrieben. Aber geschrieben vor fast 400 Jahren, um 1610, von Johannes Kepler in Prag. Wie das Genie Kepler damals, 8 Jahre vor Beginn des Dreißigjährigen Krieges, zu so tiefen Erkenntnissen und Einblicken fand, ist nicht mehr nachvollziehbar.

Um den Äquator herum aufgereiht Hunderte von Kommunikationssatelliten. Die umkreisen die Erde, dicht an dicht, in 36 000 km Höhe, sie laufen mit der Erde, für uns bleiben sie am Himmel stehen. Man kann sie von der Erde aus sehen: Vom Kitt Peak-Observatorium in Arizona⁶ wurden sie mit einer ganz gewöhnlichen Kamera ohne Fernrohr fotografiert. Der Kranz der Nachrichten-Satelliten liegt dort 58° über dem Hori-

zont.

⁵ Stand: 13. Juni 2001

⁶ Der Kitt-Peak liegt 65 km südwestlich von Tucson auf 32° nördlicher Breite

zont. Das Bild umspannt ein Sechstel des Horizonts, von Houston/Texas bis San Francisco. (Von 95° West bis 125° West. Der Satellit Galaxy 5 liegt am weitesten westlich, Galaxy 3r am weitesten östlich.) SAT MEX 5 versorgt den gesamten nord- und südamerikanischen Kontinent, und einer der größten ist ANIK E2 auf 107° West mit Aberhundertern von Fernsehsendern.

Nahaufnahme der Satelliten DBS 1/2/3 auf 101° West, ihr Meridian läuft mitten durch Texas.

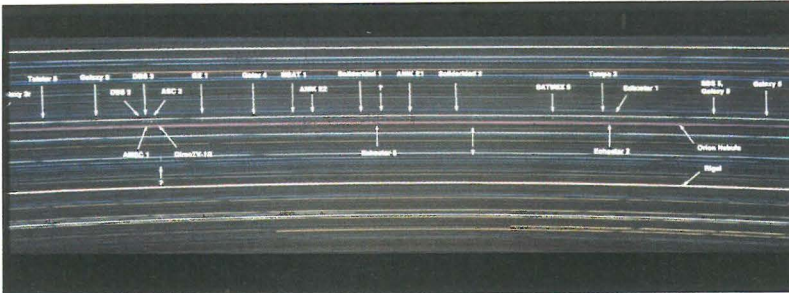
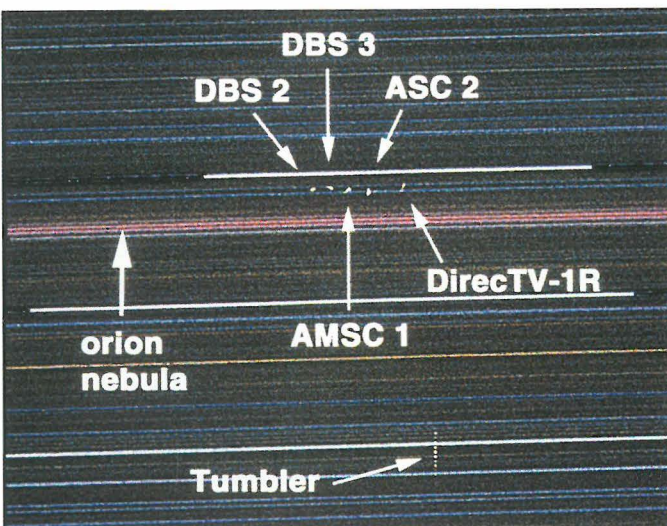


Abb. 12
Kommunikationssatelliten,
von Arizona aus gesehen



Unter den 2800 Satelliten befinden sich 24 sogenannte Meß-Satelliten. Sie umkreisen die Erde in etwa 20 200 km Höhe, brauchen 12 Stunden für einen Umlauf und sind auf 6 verschiedene Bahnellipsen verteilt. Jeweils 4 von ihnen umlaufen die Erde auf derselben Ellipse. Vor etwa 12 Jahren haben diese Meß-Satelliten von NAVSTAR⁷, die GPS-Satelliten des *Global Positioning System* der USA, ihre Arbeit aufgenommen. Es sind Meß-Baken im All. Jeder Satellit hat 4 Atomuhren an Bord. Sie senden Zeit-

signale aus und dazu sind die hochfrequenten Trägerwellen⁸ noch mit den Werten der Bahnelemente bzw. Bahnkoordinaten der Satelliten moduliert. Aus den Signalen von 4 solcher Satelliten kann ein Empfänger auf der Erde seine eigene Position auf wenige Meter genau bestimmen, und die Genauigkeit läßt sich noch steigern. Über die Erde verteilte Referenz-Stationen, deren Lage genau vermessen wurde, empfangen die GPS-Signale, berechnen die Entfernungen zu den Satelliten und ermitteln daraus Korrekturwerte. Die werden über Mobiltelefon oder über 2 m-Funk an Meßstationen im Felde weitergegeben, die damit die Genauigkeit ihrer GPS-Position auf Zentimeter (sogar Millimeter) steigern können. Noch vor wenigen Jahren eine unvorstellbare Sache. Über Bayern sind etwa 35 solcher Referenzstationen des SAPOS-Systems verteilt. Für die über 200-jährige Ära der Dreiecksnetze war damit das Ende eingeleitet. Zentimetergenauigkeit ist für Autofahrer oder Wanderer im Gebirge überflüssig. Aber unbedingt notwendig bei der Positionsfeststellung von Brückenpfeilern, Talsperrenmauern oder absturzgefährdeten Felsformationen im Gebirge.

Europa will vom amerikanischen Satelliten-Meßsystem unabhängig sein und in wenigen Jahren ein eigenes System aufbauen. Eine richtige Entscheidung. Seltsam nur die

⁷ NAVigation System with Time And Ranging, System für Zeit- und Distanz-Navigation

⁸ 1575,42 MHz und 1227,60 MHz

Namensgebung für dieses System: GALILEO. Sachlich und historisch nicht zu rechtfertigen. Gerechtfertigt wäre die Bezeichnung KEPLER für das europäische System.

1610 schreibt Kepler an Galilei nach Padua: *...baut Schiffe..., die sich für die Himmelsluft eignen, und es wird genug Menschen geben, die vor der öden Weite des Raumes nicht zurückschrecken. Inzwischen wollen wir für die tapferen Himmelsfahrer Karten der Himmelskörper anfertigen – ich die des Mondes, ihr Galilei, die des Jupiter...*

Galilei hat nie geantwortet. Er nahm Keplers Ergebenheit als selbstverständlichen Tribut an sein, Galileis Genie. Keplers Planetengesetze interessierten ihn ohnehin nicht. Er hielt sie für bedeutungslos.

Albert Einstein: *... [Kepler] war nicht einer, der an dem Kampfe mit anderen unmittelbares Vergnügen fand, wie es etwa bei Galilei offenbar der Fall war, dessen göttliche Bosheiten noch heute den verständnisvollen Leser entzücken...*

Der französische Philosoph Pierre Gassendi beobachtet 1631, ein Jahr nach Keplers Tod, den von Kepler präzise vorhergesagten Durchgang des Merkur vor der Sonnenscheibe, Gassendi ist bewegt. Gassendi, er ist auch geweihter Priester, schreibt an Wilhelm Schickard nach Tübingen: *...Männer wie Kepler dürften gar nicht sterben, oder sollten wenigstens, Halbgöttern gleich, jahrhundertlang leben...* Der Mars, Keplers

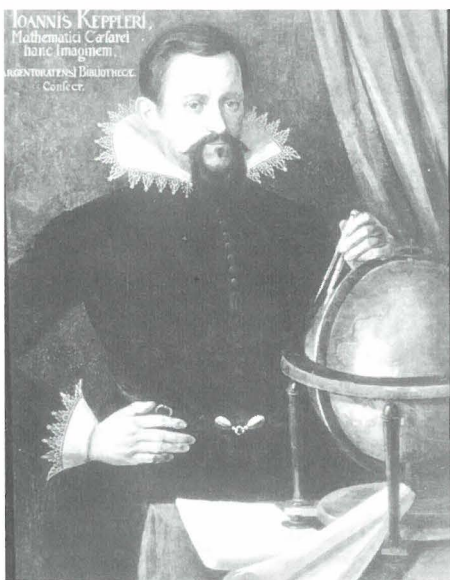


Abb. 13 Johannes Kepler, Mars mit Wolken

Planet, ist dieser Tage in Opposition. In 2 Jahren wird er der Erde näher sein, so nahe, wie seit über tausend Jahren nicht mehr. Er wird so hell leuchten, wie ihn in den vergangenen tausend Jahren niemand gesehen hat.⁹

In Referenz vor Kepler holen wir jetzt nach, was er vor 400 Jahren dem damaligen bayerischen Kanzler von Hohenburg vorgeschlagen hatte. Wir messen die Strecke Residenz München zum Domberg in Freising. Bereits vor einer Woche wurden die Koordinaten eines markanten Punktes am Domberg genau vermessen. Die andere Station

⁹ Opposition am 28.08.2003, Helligkeit -2.9 , Durchmesser $25.11''$; Periheldurchgang 30.08.2003



ist



Abb. 14 Freisinger Dom, Meßpunkt

hier auf dem Dach der Residenz, von dort hatte der Kölner Erzbischof den Dom in Freising sehen können. Die Reliefkarte (Abb. 1) zeigt, wie flach das Gelände zwischen München und Freising ist. Die Schösser mußten damals zu sehen sein.

Die Experten des Bayerischen Landesvermessungsamtes¹⁰ werden jetzt den Meßvorgang einleiten und die Koordinaten des Punktes, der Antenne auf dem Dach der Residenz, und seine Entfernung zum Freisinger Domberg in Echtzeit bestimmen.

Ergebnis: Streckenlänge: 31 087,760 Meter.

Die Messung wurde im Vortrag zweimal wiederholt; Schwankungsbreite 3 mm.

*

Unentbehrlich ist die Hilfe der Navigations-Satelliten bei einem Jahrhundertbauwerk, der Nord-Süd-Querung der gesamten Alpenkette. Ein 57 km langer Eisenbahntunnel, der in einer geschwungenen Linie unter den Alpen verläuft. An 5 Stellen wird in der Schweiz gebohrt, im Norden von Erstfeld aus nach Süden, im Süden von Bodio aus nach Norden und gleichzeitig von der Mitte, von Sedrun aus, nach Norden und Süden. Zusätzlich werden noch 2 Hilfstunnel in Amsteg und Faido gebohrt. Nach langen Jahren Bohrarbeiten muß dann alles zusammen passen, auf Zentimeter genau. Der Vermessungstrupp besteht aus einer ganzen Kompanie erfahrener Fachleute. An 5 Stellen wird mit Satelliten-Navigation, im Inneren des Tunnels mit dem Kreiselmessaß gearbeitet. Wegen der durch die mächtigen Gebirgsmassive unterschiedlichsten Gravitations-einflüsse – über dem Tunnel erhebt sich das Gebirge 2300 m hoch, im Tunnel werden 50° Hitze herrschen – ist das eine schwierige Sache, schwieriger als die Bohrung des Kanaltunnels.

Von der Eisenbahn zur Autobahn. In Pembrey, Japan, wurde eine Autorennstrecke gebaut, das Straßenprofil mit GPS genau vermessen und im Rechner gespeichert.

¹⁰ Andreas Brünner und Nikolaus Wieser

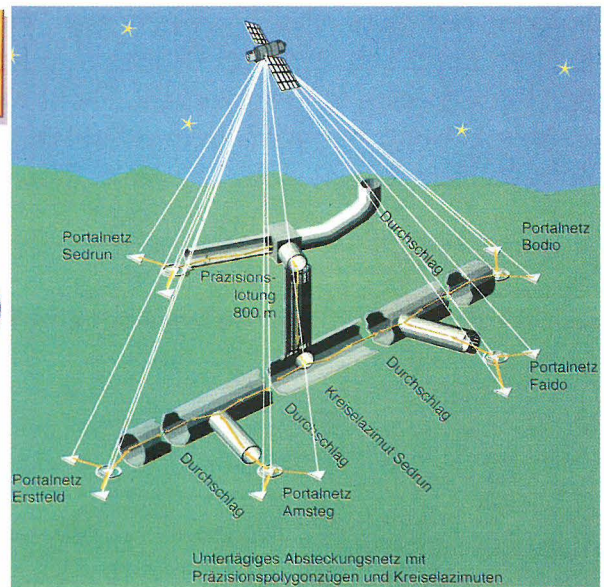
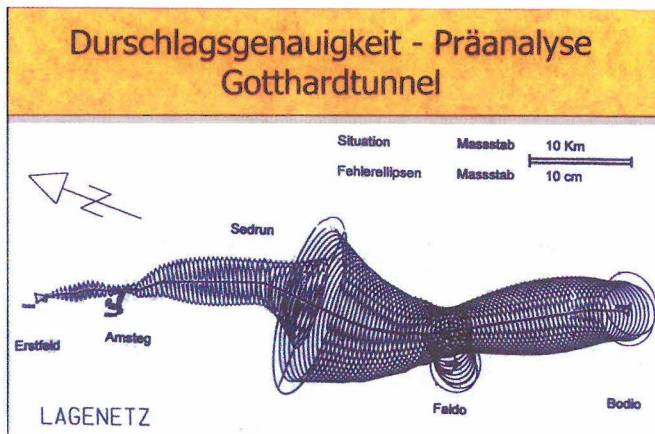


Abb. 15 Gotthardtunnel

Ein Auto wird durch ein System von Differentialgleichungen beschrieben. Löst man diese Gleichungen, dann kann man die erhaltenen Zahlen umsetzen, zu einem Auto zusammensetzen und das Auto auf dem Bildschirm „fahren lassen“: ein virtuelles Auto. Wir schicken dieses virtuelle Auto auf die japanischen Rennstrecke, sie soll optimal, also möglichst schnell durchfahren werden.¹¹ Die Rennstrecke gibt es, das Auto gibt es (noch) nicht. Man sieht nur das mathematische Bild fahren. Mit den Ergebnissen solcher virtueller Testfahrten kann das Auto dann optimal gebaut werden.

Manchmal reichen alle Präzisionsmessungen nicht mehr aus. Man braucht feste Punkte außerhalb der Erde. Solche, für uns unverrückbare Leuchtfeuer gibt es: Quasare am äußersten Rande des für uns sichtbaren Universums. Unendlich weit entfernt, 10, 11, 12 Milliarden Lichtjahre, unvorstellbare Entfernungen. Bei der Schaffung unseres Sonnensystems vor etwa 4 bis 5 Milliarden Jahren war das Licht dieser Quasare schon 7 Milliarden Jahre lang unterwegs zu uns. Quasare sind Gravitationsstrudel, „Schwarze Löcher“ mit der Mächtigkeit von Milliarden Sonnen. Unsere ganze Milchstraße mit ihren Milliarden Sonnen auf die Größe des Sonnensystems komprimiert. Das Schwerfeld eines Quasars verschlingt ganze Galaxien, Milchstraßen, zertrümmert alle Sterne in unzählige Bruchstücke und Staub, und die umkreisen den Quasar mit rasender Geschwindigkeit, erhitzen sich und beim Hineinstürzen in den Quasar wird Gravitationsenergie in Strahlungsenergie von



Abb. 16
Rand des sichtbaren Kosmos: ca. 10 000 Galaxien
in 10 Milliarden Lichtjahre Entfernung

¹¹ Film im Internet unter <http://www.-m2.ma.tum.de/~ehmann/kfz>

solcher Mächtigkeit umgesetzt, daß die Strahlung noch über Milliarden Lichtjahre Entfernung sichtbar ist, der Quasar leuchtet heller als ganze Milchstraßen. Über 600 solcher Quasare kennt man. Die Richtungen zu etwa 500 von ihnen bilden das sogenannte Inertialsystem; nach ihm richten wir uns auf der Erde aus, sie geben allen Messungen Halt.

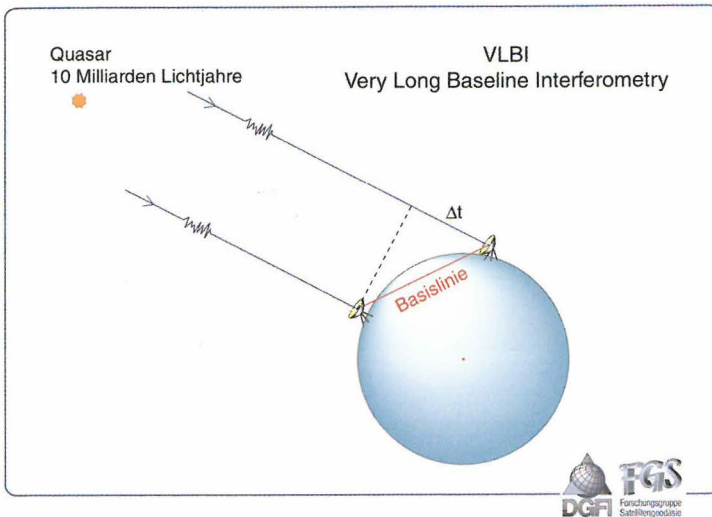


Abb. 17 Distanzmessung mit Quasaren

Oben im Bayerischen Wald in Wettzell steht eine Meßstation mit einem speziellen Radioteleskop zum Empfang der Quasarsignale, das einzige in Deutschland.

7 solcher Antennen sind über die Erde verteilt. Mit dem Licht eines Quasars, resp. mehrerer Quasare, können 2 solcher Stationen ihre direkte Distanz (durch die Erde hindurch) auf Zentimeter genau bestimmen. Sichtbares Licht wäre aus praktischen Gründen dafür wenig geeignet. Man benützt zwei Frequenzen¹² der Radiostrahlung des Quasars. Die Parabol-Antennen der Stationen müssen nach-

einander mehrere Quasare „ansteuern“, mindestens 3. In Wirklichkeit sind es viel mehr. Ausgleichsrechnung nach Gauß ergibt dann den Stationsabstand, auf Millimeter genau.

Die in ein solches Inertialsystem eingebetteten Meßsatelliten liefern Aussagen über die Erde selbst. Stündliche Schwankungen der Rotationsachse der Erde im Laufe der Jahre lassen sich genau verfolgen. Sie sind, verglichen mit der riesigen Erde, winzig klein, nur wenige Meter, aber man kann sie messen, und die Kenntnis ihrer aktuellen Lage ist für Präzisionsmessungen außerordentlich wichtig. Messungen durch Altimetrie-Satelliten haben aufgezeigt, daß die Meeresoberfläche keine „ideale“ Kugel- bzw. Ellipsoidfläche ist. Das Meer hat Dellen, beim Bermuda-Dreieck zum Beispiel eine 53 m tiefe Einbuchtung. Aber das Wasser fließt nicht hinunter, es kann gar nicht, die Wasseroberfläche folgt genau dem Schwerefeld der Erde: Die Flächen mit gleichem Schwerepotential haben dort eine 53 m tiefe Einbuchtung. Und nicht nur dort. Vor Süd-Indien sinken die Potentialflächen sogar 106 m tief ein. Nördlich von Australien erheben sie sich dagegen 86 m über die Ellipsoidfläche.¹³ Aber man sieht noch anderes. Am Äquator erheben sich die durch die hochstehende Sonne aufgewärmten Wassermassen etwa 14 cm über Normal Null und sie müssen deshalb abfließen, hier zum Golf von Mexiko und weiter als Golfstrom nach Nordosten, und sie heizen dort unseren Kontinent. Die Farben zeigen die Erhebung der Wasserfläche über Normal Null.

In Südamerika ist die Lage und Geschwindigkeit aller Fundamentalstationen exakt bestimmt worden. Ein Teil dieser Stationen wird mit automatischen GPS-Empfängern sogar permanent vermessen (Abb. 20). Das kontinentale Referenzsystem Südamerikas

¹² Frequenzbänder bei 2,3 und 8,4 GigaHertz

¹³ <http://www.dgfi.badw.de/geodis/GRAV/Geoid.html>

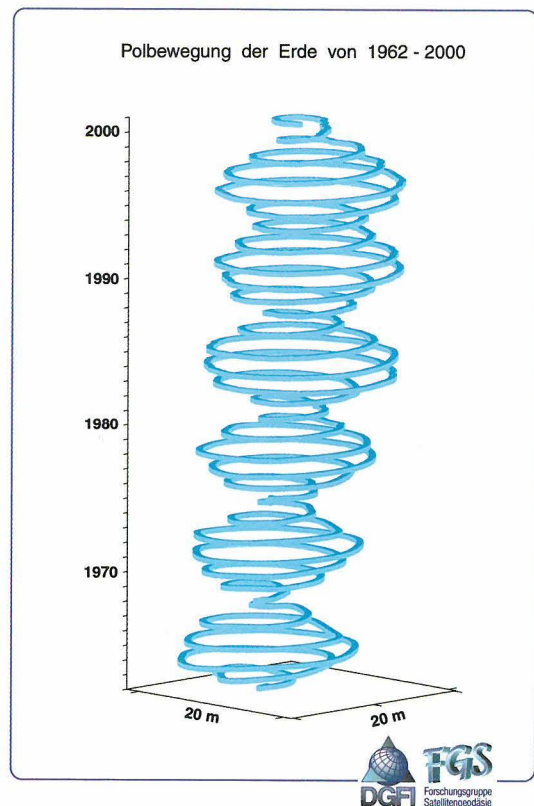
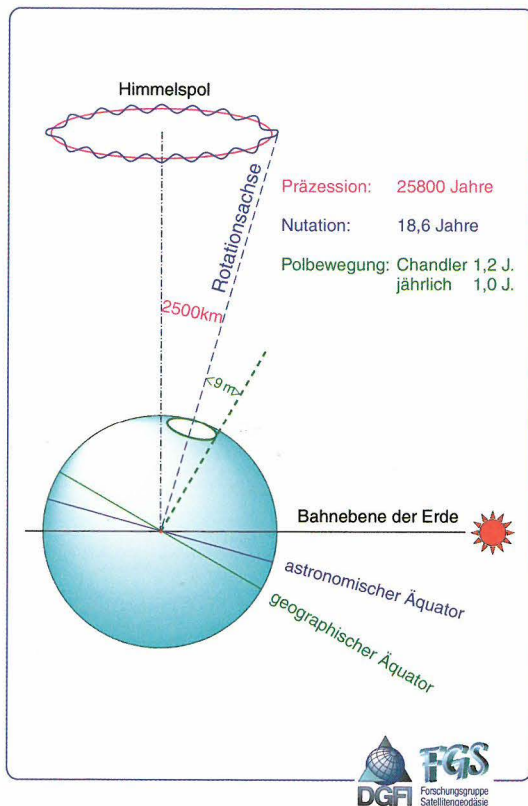


Abb. 18 Polbewegung der Erde von 1960 – 2000

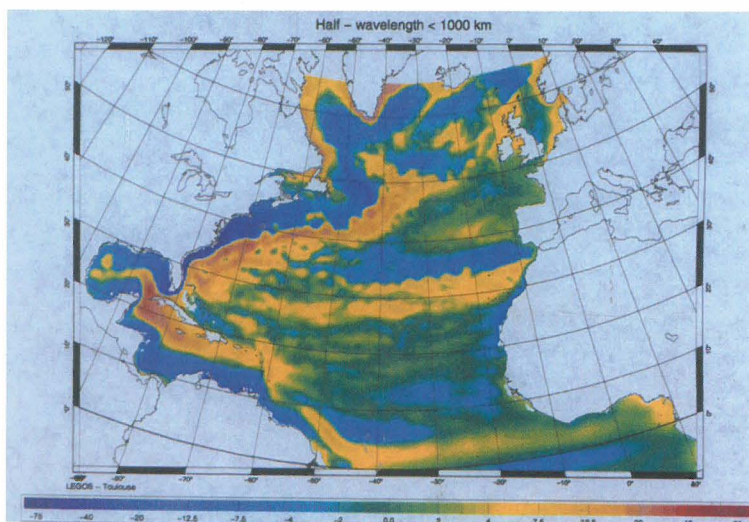


Abb. 19 Erhebung des Ozeanwassers über Normal Null

wird von den Staaten dort als Anker für ihre Landesnetze benutzt. Es erlaubt, die Entfernung des Bayerischen Landesvermessungsamtes über den Atlantischen Ozean hinweg genau anzugeben.

Für die Wissenschaft ist nicht die absolute Entfernung von Interesse, vielmehr sind es die relevanten Bewegungen der Kontinentalschollen, aus denen man über die inneren Antriebsmechanismen der Kontinentalbewegung und die Entstehung von Erdbeben lernen kann. Die Meßergebnisse stellen die Bewegung der Fundamentalstationen gegenüber dem Referenzsystem dar. Beispiel: El Salvador.

Einige Meßstationen in Südamerika werden von München aus betrieben.

Abb. 20
 Fundamentalstationen des südamerikanischen Referenzsystems (SIR-GAS) und ihre mittleren Geschwindigkeiten in der Größenordnung von 2 cm pro Jahr. Die schwarzen Linien sind die ungefähren Grenzen der Kontinentschollen.

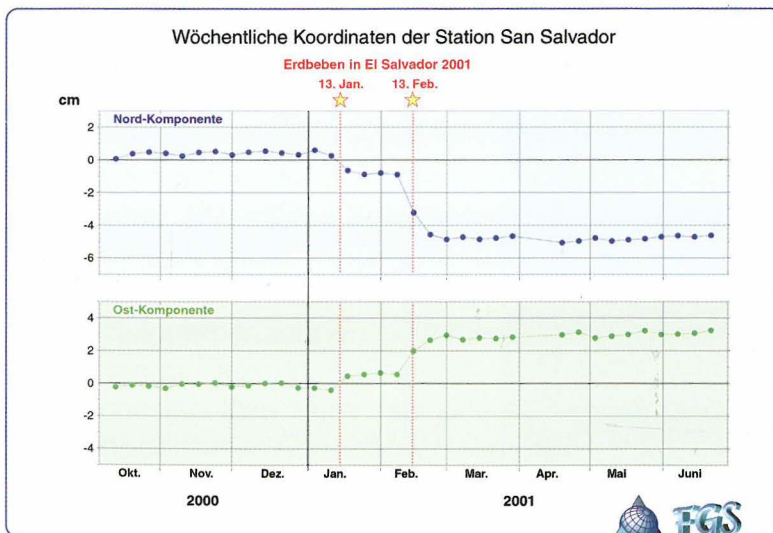
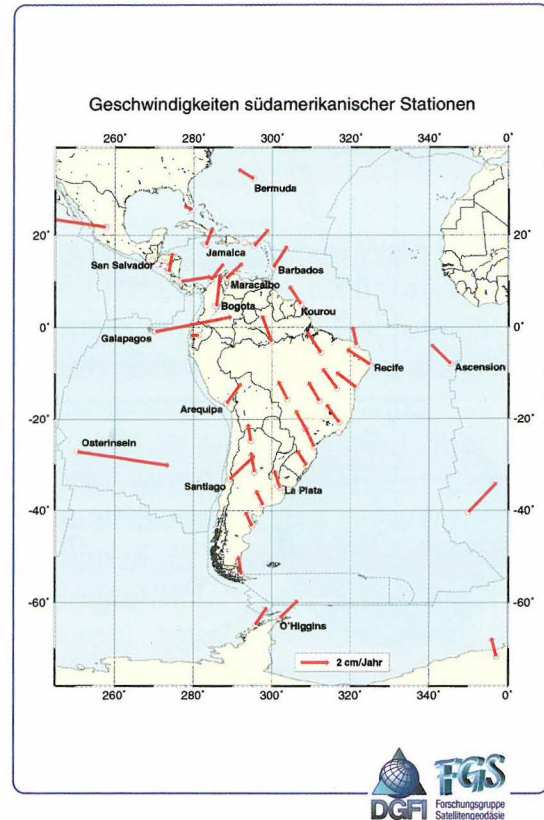


Abb. 21 El Salvador:
 Wöchentliche Koordinaten der Meßstation.
 Zwei Erdbeben am 13. Januar und 13. Februar 2001 und ihre Nachbeben haben die Station deutlich verschoben. Die Bewegungen verlaufen oft ruckartig.



Wir messen jetzt die Position der Fundamentalstation auf dem Landesvermessungsamt in Bogota. Bogota liegt auf einer Hochebene in den Ost-Kordillern. Beteiligt sind Wissenschaftler¹⁴ der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, die im Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut arbeiten.

Ergebnis: München BLVA – Antenne Bogota	Koordinaten Bogota
Direkte Entfernung: 8503.37739 km	geograph. Breite: 4.63868° N
(durch die Erde)	geograph. Länge: 74.07995° W
Ellipsoidische Entfernung: 9306.10627 km	Höhe: 2611.12 m

¹⁴ Messung durch Franz Leismüller

Variations of IGS RNAAC SIR Stations from GNAAC Polyhedron Solutions

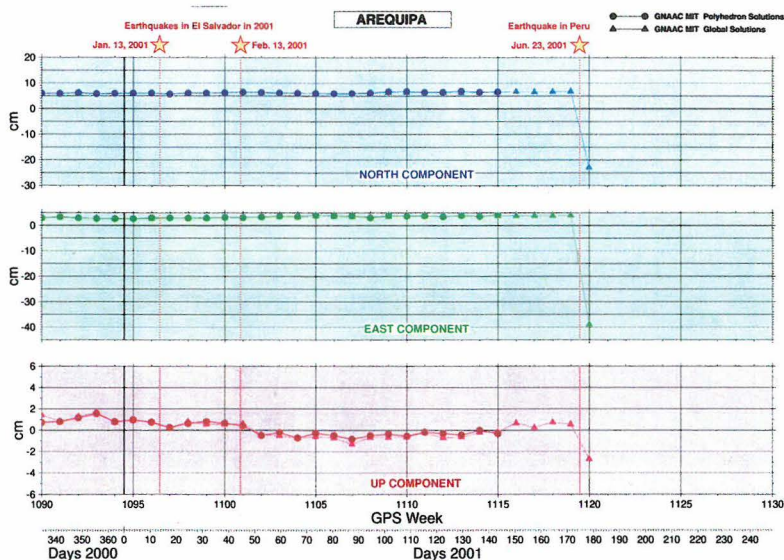


Abb. 22 Arequipa (Peru): Das Erdbeben (Stärke 7.9) vom 23. Juni 2001 hat die Fundamentalstation um einen halben Meter verschoben.

Die Präzision der Messungen ist kein Zufall. Die Berechnungen, die von Wissenschaftlern der Technischen Universität und der Bayerischen Akademie der Wissenschaften durchgeführt worden sind, zählen zu den gegenwärtig besten. Die Untersuchungen über die Verlagerung der Rotationsachse der Erde sind die besten weltweit. Dem Fehlermaße nach die nächstbesten sind die Lösungen des Instituts für Geodäsie und Geophysik der Technischen Universität Wien und der US-Navy. Das in München berechnete Referenzsystem von Südamerika ist so gut, daß die UNO den USA empfohlen hat, ihr Landesnetz daran anzuhängen.

Was kann schon ein Wissenschaftler über Himmel und Erde sagen?

Der Prophet Jesaja aus dem Alten Testament weiß mehr.

Jesaja lobpreist seinen Gott.

Er mißt die Wasser mit der hohlen Hand – Er mißt den Himmel mit der Spanne.



Abb. 23 Gasnebel M16 im Sternbild Adler, Geburtsstätte neuer Sterne

Mehrere Institutionen haben mit ihren Experten bei der Vorbereitung des Vortrags mitgewirkt:

Bayerisches Landesvermessungsamt

Andreas Brünner, Robert Eberle, Nikolaus Wieser

Bayerische Akademie der Wissenschaften, Kepler-Kommission

Volker Bialas

Bayerische Akademie der Wissenschaften, Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut

Hermann Drewes, Michael Gerstl, Franz Leismüller

Technische Universität München, Forschungsgruppe Satellitengeodäsie

Dieter Egger, Reiner Rummel

Technische Universität München, Zentrum Mathematik

Martin Ehmann, Uwe Rettig, Silvia Toth-Pinter

Literatur (Auswahl)

Bialas, Volker: *Erdgestalt, Kosmologie und Weltanschauung*. Wittwer, Stuttgart 1982

Bialas, Volker: *Vom Himmelsmythos zum Weltgesetz*. Ibero, Wien 1998

Bialas, Volker: *Entwicklung und erste Anwendungen des Triangulationsverfahrens in der Geodäsie des frühen 17. Jahrhunderts*. In: Wissenschaftsgeschichte um Wilhelm Schickard. J.C.B. Mohr (Paul Siebeck), Tübingen 1981

Kepler, Johann: *Gesammelte Werke*. Herausgegeben von der Kepler-Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. www.kepler-kommission.de

Johannes Kepler in seinen Briefen. Herausgegeben von Max Caspar und Walther von Dyck. Oldenburg, München und Berlin 1930.

Schickard Wilhelm, Astronom, etc.: Herausgegeben von Friedrich Seck. Mohr, Tübingen 1978

Gauß, Carl Friedrich: *Briefe*. Herausgegeben von Karl-Heinz Biermann. Beck, München 1990

Max Joseph, *Der Umbruch von 1799*. Kommission für Bayerische Landesgeschichte, München 1999

200 Jahre Bayerische Vermessungsverwaltung. München 2000

Levallois, J.J.: *Mesurer la Terre, 300 ans de Geodesie française*. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées. Paris 1988.

Alptransit Gotthard. Schweizer Baublatt. Bern. März 1998

Kneiße Max: *Geodäsie*. In: Geist und Gestalt, Band II. Beck, München 1959

Woodworth, P.L., J. Johannessen, P. Le Grand, C. Le Provost, G. Balmino, R. Rummel, R. Sabadini, Sünkel, C. C. Tscherning and P. Visser: *Towards the definitive space gravity mission*. International WOCE Newsletter, No. 33, 37 – 40 and 24. 1998

Balmino, G., R. Rummel, P. Visser, P. L. Woodworth (1999): *Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Mission*. In: The Four Candidate Earth Explorer Core Missions, ESA. SP-1233 (1), 127 Seiten

Richter, Burghard: *Die Parametrisierung der Erdrotation*. Zeitschr. für Vermessungswesen (ZfV), S. 109-119, 1995.

Schneider, Manfred: 3. DFG-Rundgespräch zum Thema *Bezugssysteme*. Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Band 5, 1999

VLBI - *Measuring Our Changing Earth*. www.lupus.gsfc.nasa.gov/brochure/brochure.html

Rizzo, Dave Del: *Principles of radio interferometry. A tutorial*. www.drao.nrc.ca/science/vlbi/principles/index.shtml

Campbell, J. A. Notnagel und H. Schuh: *VLBI-Messungen für geodynamische Fragestellungen*. Zeitschr. für Vermessungswesen (ZfV), 4/1992, S. 214-227

Drewes, Hermann: *Messen und Modellieren der Erdkrustendehformationen im Erdbeugürtel Südeuropas*. Zeitschr. für Vermessungswesen (ZfV) 118, S. 416-422

Drewes, Hermann: *Realisierung des geozentrischen Referenzsystems für Südamerika (SIRGAS)*. DVW-Schriftenreihe 28, S. 54-63, 1997

Klotz, J., J. Reinking, D. Angermann: *Die Vermessung der Deformation der Erdoberfläche*. Geowissenschaften 14, S. 389-394, 1996

Pahler, K.: *Flächendeckende GPS-Referenzstationen in Bayern als Bausteine des deutschen Satellitenpositionierungsdienstes SAPOS*. Mitteilungsblatt DVW Bayern 51 (1999), S. 117-134