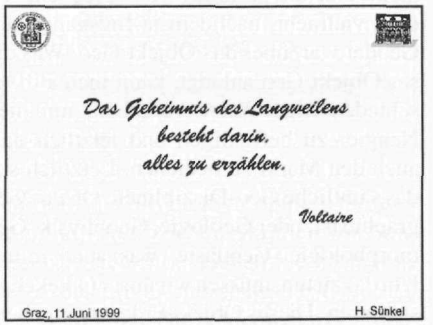
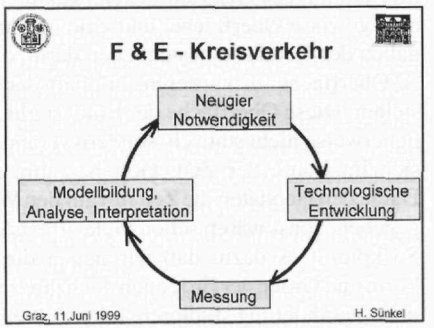
Zeitschrift des Historischen Vereines für Steiermark Jahrgang 89/90 (1988/89)

Satellitentechnologie und Geodäsie heute

Von Hans Sünkel

Ich werde Ihnen nicht alles sagen, natürlich nicht, weil ich auch nicht alles weiß, Gott sei Dank. Ich werde nicht über Kataster reden, das ist schade, weil Liesganig offensichtlich sehr viel für Kataster getan hat. Ich werde auch keine heilige Messe lesen, nachdem heutzutage Professoren nicht mehr Theologie studieren müssen, wenn sie Geodäsie hinter sich haben. Ich werde wohl aber über zwei Themen sprechen, von denen ich glaube, daß ich zumindest am Rande ein bißchen eine Ahnung habe. Bevor ich das jedoch tue, möchte ich einige kontemplative Bemerkungen machen in bezug auf Forschung und Entwicklung. Vielleicht können Sie es philosophisch nennen. Ich werde also über Satellitentechnologie sprechen und über den Konnex zwischen Satellitentechnologie einerseits und so manchen Applikationen in unserem Fachgebiet der Geodäsie andererseits.

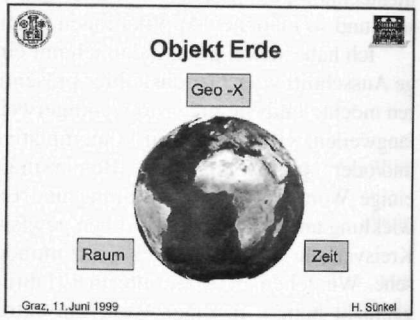


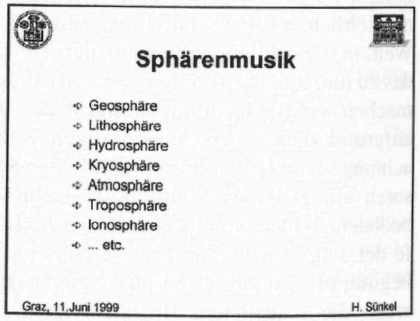


Ich habe schon gesagt, daß ich nur einige Ausschnitte der Geodäsie hier präsentieren möchte und Sie nicht notwendigerweise langweilen will. Zu diesen kontemplativen und/oder philosophischen Bemerkungen einige Worte, was die Forschung und Entwicklung anlangt und wo es einen gewissen Kreisverkehr gibt, so wie ich den zumindest sehe. Wir leben, wie Sie alle in Erfahrung gebracht haben, in einer Welt, die extrem komplex ist. Es liegt offensichtlich in der menschlichen Eigenschaft, etwas über diese Welt, in der wir leben, kennenzulernen. Um das zu tun, um diese Neugier zu befriedigen, machen wir Beobachtungen und bauen uns aufgrund dieser verschiedenartigen Beobachtungen mit Hilfe unserer natürlichen Sensoren ein gewisses Weltbild. Je mehr wir beobachten, desto mehr können wir im Laufe der Jahre unser Weltbild verbessern. Es beginnt offensichtlich mit der Neugier, und wenn die natürlichen Beobachtungen mit Hilfe der natürlichen Sensoren nicht mehr ausreichen, dann müssen wir technologische Entwicklung betreiben und Meßgeräte produzieren. Diese technologische Entwicklung und die Meßgeräte sollen letztlich dazu führen, daß mehr Messungen, bessere Messungen produziert werden. Diese Messungen wiederum dienen dazu, unser Weltmodell zu verbessern. Nun stellen wir etwas Unheim-

liches fest, nämlich daß dieses Weltmodell offensichtlich nicht zur Gänze mit unseren Messungen, mit unseren Beobachtungen zusammen paßt. Entweder weil wir große Fehler in unseren Beobachtungen gemacht haben. (Für manche, die nach uns kommen, Gott sei Dank, weil sie dann Dissertationen schreiben können. Im übrigen: Die Studierenden unter Ihnen, falls es solche gibt, sind gut beraten, grobe Meßfehler zu analysieren und nicht etwa zufällige Meßfehler, denn für grobe gibt's noch Dissertationen, für zufällige nur mehr Diplomarbeiten.) Nun, wir analysieren dieses Modell in bezug auf die Messungen, und wir interpretieren und möchten nach Möglichkeit dieses Modell besser an unsere Messungen anpassen oder umgekehrt. So dreht sich der Kreis erneut, es beginnt eine neue technologische Entwicklung mit besseren Meßgeräten, die noch genauer sind und noch mehr Daten liefern, noch mehr Messungen produzieren. Das Modell wird noch einmal verbessert, und hoffentlich schließt sich dieser Kreis. Es wird hoffentlich kein Circulus vitiosus, sondern vielmehr eine konvergierende Spirale.

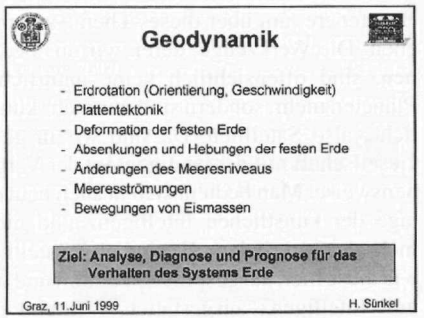
Und irgendwann einmal passiert etwas ganz Unheimliches. Es kommt nämlich neben der Neugier noch ein zweites Element hinzu, nämlich die Notwendigkeit. Wenn der Markt erkannt hat, daß das Produkt, das in diesem Fall die Geodäsie auf den Markt wirft, daß dieses Produkt finanziell attraktiv ist, daß man damit offensichtlich Geld verdienen kann, dann kommt eine wirtschaftliche Notwendigkeit. Die Neugier tritt ein bißchen in den Hintergrund und damit auch die Wissenschaft. Die Notwendigkeit wirtschaftlicher Art tritt immer mehr in den Vordergrund.





In unserem Fall wollen wir natürlich nicht über die gesamte Welt sprechen, sondern vielmehr, nachdem ja Liesganig auch Geodät war, über das Objekt Geo. Was dieses Objekt Geo anlangt, kann man auf verschiedenartige Weise vorgehen, um diese Neugier zu befriedigen und letztlich dann auch den Markt zu bedienen. Letztlich sind das sämtliche Geo-Disziplinen. Ob das Geographie ist, oder Geologie, Geophysik, Geomorphologie, Geodäsie, was auch immer. Um das zu tun, müssen wir unser Objekt Erde studieren. Dieses Objekt Erde ist eingebettet im Raum. Es ist eine räumliche Struktur, hat eine gewisse Oberfläche, und eine der Aufgaben der Geodäsie besteht eben darin, diese Oberfläche zu kartieren, bildhaft darzustellen. Diese Oberfläche der Erde ist glücklicherweise nicht statisch, sondern verändert sich im Laufe der Zeit. Gott hat, ihm sei Dank, den Geodäten die Zeit mit auf den Weg gegeben, sonst wären schon viele arbeitslos. So kommt es dazu, daß wir neben dieser Form und Größe der Erde auch noch ihre zeitliche Veränderung studieren. Ich möchte heute sehr viel über die Kombination zwischen Raum und Zeit sprechen und über ein Thema aus dem gesamten Komplex von Geo-X, der sich mit etwas befaßt, das Sie nicht riechen und nicht sehen, das Sie bestenfalls spüren, wenn sie von einem Felsen stürzen, nämlich das Schwerefeld. Was Geo anlangt, so gibt es viele Sphären. Die Geosphäre, die Lithosphäre, die Hydrosphäre, Kryosphäre, Atmosphäre, Troposphäre, Ionosphäre etc. Und alle diese Sphären spielen in der Geodäsie mehr oder weniger eine Rolle, und daher ist es nicht verwunderlich, daß auch die Geodäsie interdisziplinär geworden ist.

Was haben etwa die Erde, tektonische Platten, Kontinente und Ozeane, Satelliten oder gar Fahrzeuge miteinander zu tun? Offensichtlich bewegt sich alles. Das hat schon Heraklit festgestellt vor 2300 Jahren. Franz Allmer wird das sicher sehr viel besser wissen als ich. „Panta rhei", und dieses „panta rhei" der Griechen ist zum „Global change" von heute geworden. Alles bewegt sich, alles ändert sich. So kommt es, daß auch in der Geodäsie ein Thema sehr zukunftsträchtig ist, das mit einem globalen Überbegriff als Geodynamik bezeichnet werden kann.

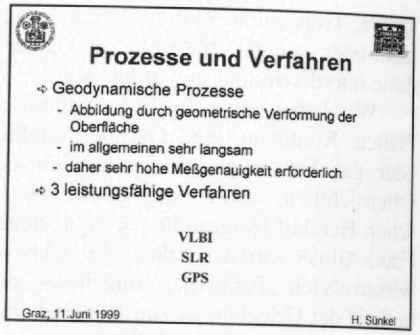


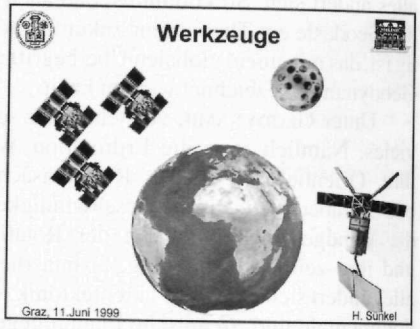
Unter GEODYNAMIK verstehen wir sehr vieles. Nämlich etwa die Erdrotation, was ihre Orientierung in der Rotationsachse betrifft, aber auch was die Geschwindigkeit, die Windgeschwindigkeit in der Rotation und ihre zeitliche Änderung, „panta rhei", alles ändert sich, betrifft. Plattentektonik, wo kontinentale und ozeanische Platten gegeneinandertriften mit einer Geschwindigkeit von einigen Zentimetern pro Jahr. Und wir glauben, diese sei konstant, obwohl wir wirklich nur eine Augenblicksaufnahme von dieser Bewegung sehen. Die Deformation der festen Erde, die Sie gar nicht spüren, die aber täglich einige Dezimeter auf und nieder geht aufgrund von Anziehungskräften von Sonne und Mond. Die Absenkungen und Hebungen der festen Erde. Gehen Sie nach Norwegen oder nach Schweden, und Sie werden finden, daß offensichtlich das Festland sich gehoben hat, wenn Sie an diesen Küstenlinien sich orientieren. Die Änderungen des Meeresniveaus, ein heißes Thema mittlerweile für die Klimatologie. Meeresströmungen, von denen wir noch am besten sehen, daß sich viel schnell ändert, und Bewegungen von Eismassen, die auch etwa mit einem Kilometer oder mehr pro Jahr unterwegs sein können. All das und viele andere Dinge mehr nennen wir geodynamische Phänomene. Unser Ziel im Zusammenhang mit geodätischen Anwendungen ist, diese geodynamischen Phänomene zu analysieren, zu diagnostizieren und nach Möglichkeit Prognosen für die Zukunft abzugeben. Wir wollen also eine Prognose für das Verhalten des Systems Erde bereitstellen. Dazu gehört zum Beispiel, mitzuteilen, wie stark sich etwa der Meeresspiegel im Laufe der nächsten hundert Jahre mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit unserer Aussage verändern wird. Und viele andere Dinge mehr.

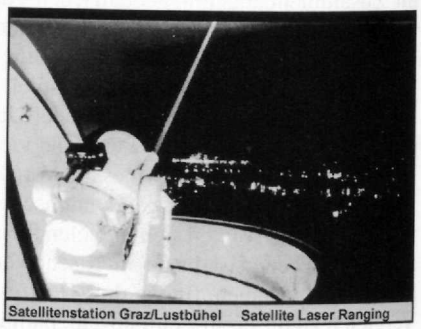
Offensichtlich haben wir es mit Vorgängen zu tun, man sagt dazu vielleicht auch Prozesse und Verfahren, mit geodynamischen Prozessen im besonderen. Solche geodynamische Prozesse bilden sich in vielen thematischen Ebenen ab. Und eine von diesen thematischen Ebenen ist die geometrische Verformung der Oberfläche. Wie Sie von mir auch bereits gehört haben, finden diese Prozesse im allgemeinen sehr, sehr langsam statt im Vergleich zu unserem Zeitmaßstab, nämlich den 70, 80, 90 oder noch mehr Jahren eines

menschlichen Lebens. Weil das eben so langsam abläuft, sind unheimlich hohe Meßgenauigkeiten erforderlich, die ein bißchen darüber hinausgehen, was vor 200 Jahren möglich war. So kommt es, daß eigentlich nur drei global anwendbare Verfahren derzeit weltweit praktiziert werden, die unter diesen Kürzeln vorzufinden sind: VLBI, das für Very Long Baseline Inframetrie steht. Dieses ist ein Thema, das wir hier in Österreich nicht behandeln, weil wir offensichtlich nicht in der Lage sind, die Geldmittel für dieses Verfahren aufzutreiben. Wohl aber machen wir SLR im Bereich der Satellitengeodäsie auch hier in Graz ganz massiv. Und GPS, aber dazu gibt es hier in diesem Auditorium sehr viel Berufenere, um über dieses Thema zu sprechen. Die Werkzeuge, deren wir uns bedienen, sind offensichtlich keine natürlichen Planeten mehr, sondern sind nur mehr künstliche, also Satelliten. Da sind wir in guter Gesellschaft mit der heutigen Art der Vorgehensweise. Man bedient sich ja auch heutzutage der künstlichen Intelligenz und nicht mehr der natürlichen. Es sind also Satelliten wie diese hier, ausgesprochen dumm und mit null Intelligenz ausgestattet. Während die anderen, die GPS-Satelliten, da sehr viel intelligenter sind und vielleicht noch ein Stück besser oder thematisch umfangreicher etwa solche Fernerkundungsspielzeuge. Das sind unsere Werkzeuge in der Satellitengeodäsie, und natürlich noch viele andere mehr.

Ich möchte Sie kurz nun mit diesen Werkzeugen oberflächlich vertraut machen und Ihnen mitteilen, was wir mit diesen Werkzeugen tun können. Etwa, was SLR anlangt, Satellite Laser Ranging, da gibt es ja in Graz auf dem Lustbühel ein Observatorium. Dort steht so ein Ding, das gar nicht so billig ist. Helmut Moritz, unser genius loci, pflegt es immer als ein aristokratisches Meßsystem zu bezeichnen, weil sich das wirklich nur die Aristokraten leisten können. Mit diesem Ding kann man Distanzen messen, und das sehr genau, zu Satelliten, die sehr weit entfernt sind, Tausende, Zigtausende Kilometer. Und wenn ich das Wort sehr genau in den Mund nehme, dann gebe ich Ihnen auch

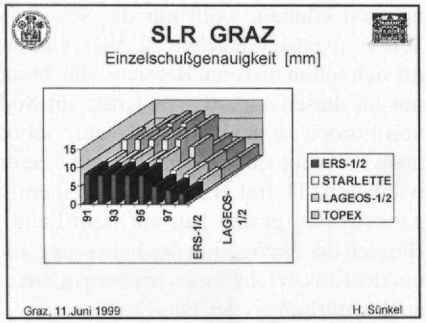


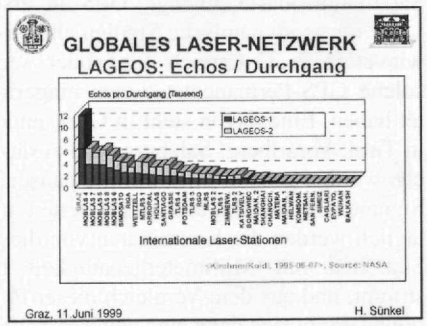


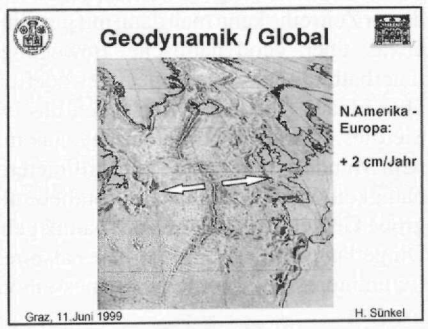

Satellitenstation Graz/Lustbühel Satellite Laser Ranging

gleich mit auf den Weg, wieviel das sein kann. Das liegt in einer Größenordnung von ein paar Millimeter Genauigkeit auf Distanzen bis 20.000 Kilometer. Also durchaus ganz erstaunlich. Damit Sie nicht den Bus zum Lustbühel besteigen müssen, bringe ich Ihnen den Lustbühel hier ins Zimmer. So sieht das ganze über dem Stadtgebiet von Graz aus, wenn Messungen durchgeführt werden. Manche, die in der Nacht einmal dieses grüne Licht gesehen haben, wissen jetzt, worum es sich dabei handelt. Da werden also ganz primitiv, im Prinzip zumindest, Messungen zu Satelliten getätigt.

Von den Genauigkeiten habe ich bereits gesprochen. Wir sind derzeit etwa bei 4 mm angelangt und die Tendenz geht glücklicherweise nach unten, das heißt die Ungenauigkeit nimmt ab. Wir liegen damit international ganz gut im Rennen, wie Sie aufgrund dieser Graphik sehen, die nicht aus unserer Public Relations Division stammt, sondern die vielmehr eine unabhängige Quelle produziert hat, nämlich die NASA. Graz, und darauf können Sie alle stolz sein, ist auch im Bereich dieser Satellitentechnologie durchaus vergleichbar oder vielleicht sogar in manchen Dingen besser als andere. Wenn wir solche Messungen zu Satelliten durchführen, zu solchen passiven dummen Körpern, die nichts anderes tun, als Millionen von Jahren als künstliche Planeten um die Erde kreisen, dann können wir aus diesen vielen Millionen Messungen letztlich z. B. Informationen über das Verhalten unserer kontinentalen Platten ableiten. Wir können daraus ableiten, wie stark sich etwa jener Bereich, aus dem ich vor zwei Monaten zurückgekommen bin, von Europa entfernt, nämlich 2 cm pro Jahr. Wenn ich Ihnen auch sage, wie genau man das machen kann, dann sind Sie sicher leicht erstaunt. Die Genauigkeit dieser Bestimmung liegt bei ungefähr 1 mm pro Jahr. Also unglaubliche Genauigkeiten. Das sind Augenblicksaufnahmen, weil im geologischen Maßstab natürlich eine Meßkampagne, die sich über zehn Jahre oder so erstreckt, fast als Augenblicksaufnahme gewertet werden kann. Interessanterweise stimmen aber diese Augenblicksaufnahmen mit durchschnittlichen Beobachtungen, welche die Geologen aus Bewegungsraten von Millionen von Jahren machen, äußerst gut zusammen.





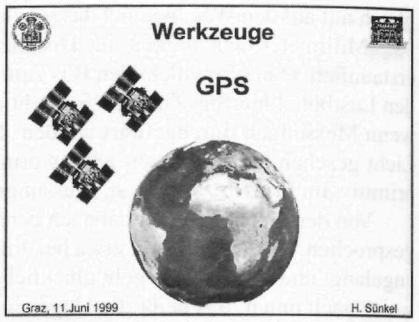


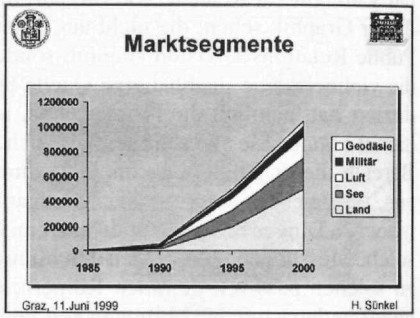
Ein zweites Werkzeug ist klarerweise GPS. Und wie ich schon eingangs gesagt habe, gibt es hier in diesem Auditorium viel Berufenere, die über diese Dinge sprechen könnten. Daher bleibe ich auch nur an der Oberfläche haften. Dieses System, das mittlerwei-

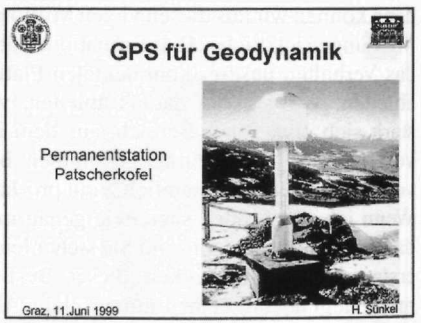
le ja zumindest in abgemagerter Form fast jeder Mittelschüler, sowie auch ein Handy, mit auf den Weg bekommen hat von seinen Eltern, um sich in diesem Leben zu positionieren und zu navigieren, dieses System hat mittlerweile eine Unzahl von Applikationsbereichen gefunden, wobei die Geodäsie, wie Sie hier aus dem gelben Segment entnehmen können, wohl nur der schwächste Teil vom ganzen Kuchen ist. Viel, viel mehr tut sich schon im roten Bereich. Man braucht nur an diesen furchtbaren Krieg im Süden von Europa zu denken. Auch sehr viel oder noch mehr tut sich in der Luft, auf See und, wie bereits Hofrat Hasewend in seinen Eingangsworten gesagt hat, auf dem Land im Bereich der Navigation der Fahrzeuge, nicht nur der Einsatzfahrzeuge, sondern in Zukunft auch natürlich ziviler Fahrzeuge.

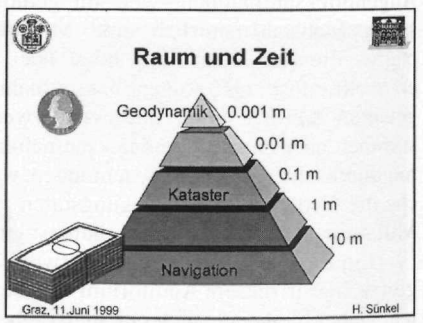
Wir setzen in Graz, zumindest was die Satellitengeodäsie anlangt, GPS in erster Linie für geodynamische Studien ein, wozu wir etwa in Österreich fünf oder sechs solche GPS-Permanentstationen eingerichtet haben. Eine davon steht in Graz, andere in Tirol, Vorarlberg, Salzburg, und zusätzliche werden gebaut. Hier werden pausenlos Signale empfangen und ausgewertet, und täglich werden die Koordinaten von diesen Stationen mit Millimetergenauigkeit bestimmt, und aus dem Vergleich dieser Positionen ergibt sich dann eine gewisse Zeitreihe von Veränderungen der Positionen. Aus dieser Zeitreihe kann man dann mit gut Glück etwas über geodynamische Bewegungen innerhalb unseres Bundesgebietes oder darüber hinaus ableiten. Wir machen das, wie Sie dies ohnehin schon mehrmals aus meinem Munde gehört haben, mit Millimetergenauigkeit oder streben zumindest diese über große Gebiete an. In der Geodynamik gehen Dinge langsam vor sich. Da ist es also relativ uninteressant, ob Sie heute messen oder morgen.

Da gibt es aber ein Gegenteil davon, nämlich den unteren Bereich der Pyramide, und der heißt da Navigation. Der verhält sich quasi invers zu der Spitze der Pyramide insofern, als es bei der Navigation nicht ganz





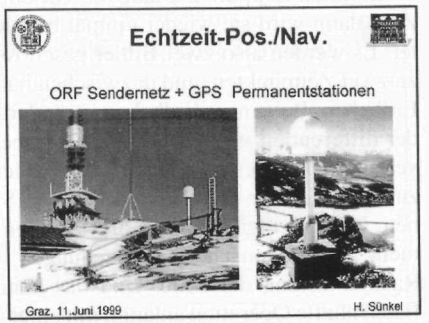


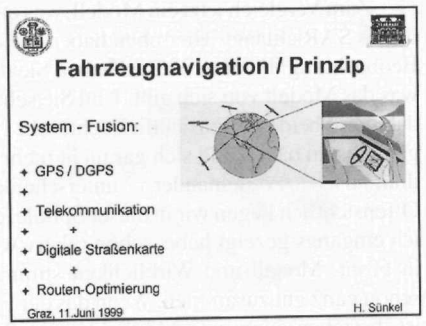


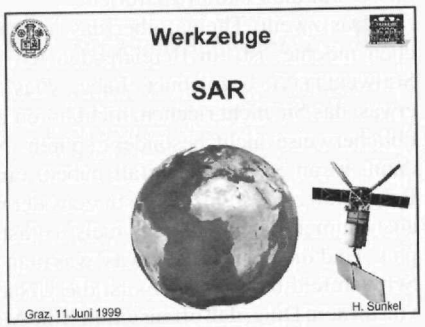
unwesentlich ist, ob Sie mit dem Fahrzeug jetzt hier sind oder in zwei Tagen da. Das heißt, die Zeit da unten ist ein ganz wesentlicher Faktor bei der Positionierung, während die Genauigkeit relativ uninteressant ist. Es spielt also keine Rolle, ob Sie die Position jetzt auf 50 cm genau haben oder auf 1 mm. Wenn Sie mit 100 km/h unterwegs sind oder mit 108, fahren Sie 30 m in der Sekunde, also was soll's. Also hier unten bei der Navigation ist die Zeit kritisch, aber der Raum unkritisch. Bei der Geodynamik hier oben ist es genau umgekehrt. Da ist die Zeit unkritisch, aber der Raum kritisch. Und dazwischen irgendwo angesiedelt liegt der große breite Bereich des Katasters. Eigentlich subsumierend möchte ich sagen: auch der Bereich der gesamten GIS-Applikationen im Sub-Meterbereich. Was die Sache hier insofern interessant macht, ist, daß man da unten im Bereich, wo geringe Genauigkeiten gefordert sind, gut Geld macht. Dieses Geld braucht man, um sich den Luxus, an der Spitze der Pyramide zu arbeiten, leisten zu können: hier unten Geld machen, damit man da oben forschen kann. Das ist genau das, was wir tun. Wir nützen unsere Systeme, die primär für geodynamische Zwecke gebaut wurden, diese Permanentstationen, und die täglichen Auswertungen. Wir nützen diese Daten, die hinter diesen Dingen stehen, um auch die, man sagt „User Community" oder wie auch immer, den Anwendungsbereich der Navigation und des Katasters, abdecken zu können.

So haben wir vor etwa einem Jahr ein System gemeinsam mit einer privaten österreichischen Organisation und dem ORF in Betrieb genommen, wobei es ein schönes Zusammenspiel zwischen diesen Gruppen gibt. Wir produzieren die Daten, der ORF verbreitet bestimmte Daten, und das Ganze wird in Zukunft dann von der Betriebsfirma abgewickelt. Das läuft also weitgehend unproblematisch. Hier bin ich ein bißchen vorlaut. Es gibt schon noch Probleme, natürlich, aber die Zukunft ist eine gute, so meine ich, weil die Anwender uns mittlerweile tatsächlich die Türen einrennen. Das heißt, Geodynamik-Daten oder Daten, die primär, ursprünglich für geodynamische Zwecke geplant waren, dienen jetzt letztlich Anwendungszwecken.

Hasewend hat schon mitgeteilt, daß auch Fahrzeugnavigation etwas mit Dynamik zu tun hat oder zumindest mit Kinematik, und hier GPS eine Rolle spielt: die Zeit stark und der Raum weniger. Durch eine geschickte Kombination von verschiedenen Sensoren gelingt es dann, dieses Kraftfahrzeug, das hier leider ein bißchen entartet dargestellt ist, auf dem richtigen Weg zum Ziel zu führen.



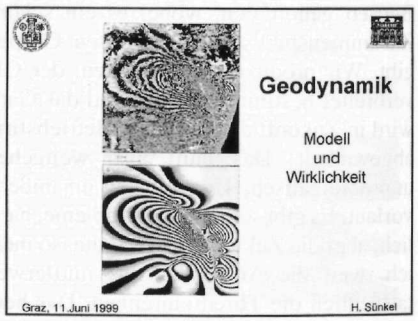




Als weiteren Sensor oder als weiteres Satellitensystem haben Sie einen Fernerkundungssatelliten, der exemplarisch für Erdbeobachtung steht.

Solche Satelliten, welche die Erde beobachten in verschiedenen spektralen Kanälen, auf die ich hier nicht eingehe, oder die die Erde beobachten, was ihr Magnetfeld oder ihr Schwerefeld anlangt, spielen bei uns natürlich auch eine Rolle; zunächst was die Abtastung der Erde anlangt mit Hilfe von SAR. SAR steht für Synthetisches Appatur Radar, ist also eine Radarmessung, wo die Erde beleuchtet wird mit Radar, zu einem bestimmten Zeitpunkt. Dann vergeht einige Zeit, dann wird sie wieder einmal beleuchtet. Es werden also zwei Bilder geschossen zu zwei Zeitpunkten, und dazwischen hat sich möglicherweise etwas getan, nämlich ein Erdbeben. Bei einem Erdbeben verändert sich die Landschaft. Wenn man nun diese Bilder differentiell interferometrisch bearbeitet, dann kann man eine solche Landschaftsveränderung eines sehr, sehr großen Stückes der Erde bildhaft darstellen, im Gegensatz zu dem, was wir mit GPS machen, wo Sie nur punktuelle Informationen ableiten können. Insofern ergänzen sich diese beiden Systeme natürlich wunderbar. GPS für punktuelle geodynamische Untersuchungen, und gleichsam flächenhaft verdichtend diese Radarabtastung der Erde. Und das kann durchaus recht genau passieren, was diese flächenhafte Operation anlangt, mit einer Genauigkeit, die mittlerweile doch unter einem cm liegt. So weit zu unseren Beobachtungen.

Zum Vergleich jetzt ein Modell, was etwa dieses SAR anlangt. Hier oben haben Sie die Beobachtung. Im unteren Bild haben Sie das, was das Modell von sich gibt. Und Sie sehen, daß diese beiden offensichtlich sehr, sehr viel gemeinsam haben und sich gar nicht mehr so dramatisch voneinander unterscheiden. Offensichtlich liegen wir in dieser Spirale, die ich eingangs gezeigt habe, schon relativ weit in Front. Modell und Wirklichkeit stimmen schon ganz gut zusammen. Wenn das der Fall ist, bestehen auch gute Möglichkeiten, Prognosen für die Zukunft zu treffen.

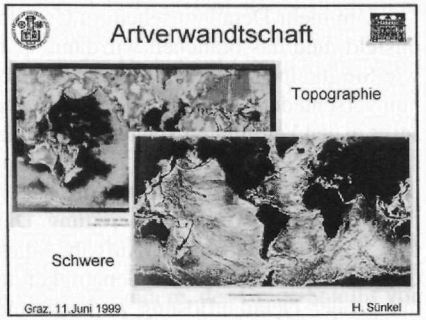


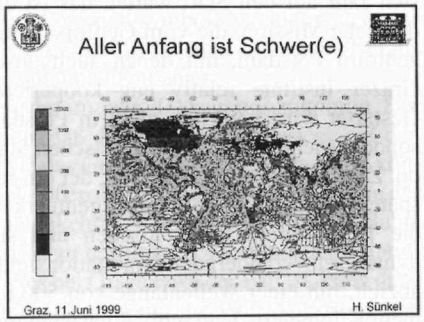
Das zweite Thema, über das ich sprechen möchte, ist ein Bereich, den ich mit SCHWEREFELD bezeichnet habe. Das ist etwas, das Sie nicht riechen, nicht hören und üblicherweise nicht besonders spüren. Nur dann, wenn Sie einen Unfall haben, einen Bergunfall z. B., wenn Sie abstürzen oder wie auch immer, dann endet das meist katastrophal. Und die Ursache ist etwas, was man als Schwerefeld bezeichnet. Es ist die Ursache von diesem Ding, daß offensichtlich die Massenverteilung unseres Erdkörpers z. T. unregelmäßig ist. Diese Massenverteilung bildet sich auf dieses Gravitationsfeld ab. Wenn diese Masse auch noch rotiert, wird aus Gravitation Schwere.

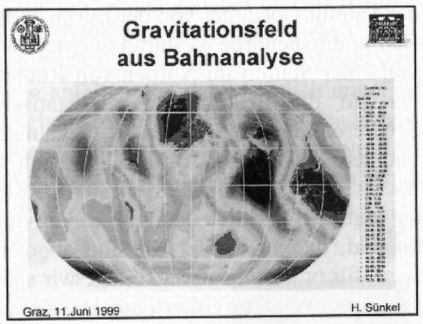
Wir können diesen Schritt noch weiter gehen. Wenn wir einen Satelliten in eine Bahn geben, einen dieser drei, vier, fünf oder sechs Körper, die ich vorhin gezeigt habe, dann sorgt dieses Gravitationsfeld dafür, daß der Satellit seine Bahnen zieht. Der Satellit ist, wenn man von manchen anderen Einflüssen absieht, im freien Fall um die Erde relativ schnell unterwegs, einige Kilometer pro Sekunde. Seine Unregelmäßigkeiten der Bahn bezieht der Satellit von den Unregelmäßigkeiten des Gravitationsfelds, und diese wiederum stammen von den Unregelmäßigkeiten der Massenverteilung.

Wenn man so eine Bahn durch Satellitenlasermessung bestimmt, dann besteht doch, so meine ich, zumindest prinzipiell die Möglichkeit, daß man die Teile umdreht und aus der Satellitenbahn das Gravitationsfeld ableitet. Manche Verwegene glauben auch noch, man könnte den zweiten Teil umdrehen, aus dem Gravitationsfeld die Massenverteilung zurückrechnen. Letzteres ist leider nicht so einfach möglich. Aus dieser Analyse der Satellitenbahnen leitet eine internationale Gruppe in regelmäßigen zeitlichen Abständen immer mehr verbesserte Gravitationsfelder ab. Mittlerweile ist man in dieser Auflösung und Genauigkeit schon relativ weit vorangekommen, aber noch nicht so weit, daß man auch den Anwendungssektor abdecken könnte. Das ist ein Thema, das dann ein bißchen später von mir hier diskutiert wird.

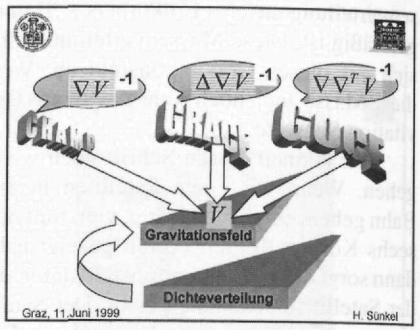
Das Prinzip ist relativ einfach: Rückschluß von Wirkung auf Ursache. Man hat also Satelliten in relativ niedrigen Bahnen fliegen und betreibt Bahninversion. Diese liefert dann das Gravitationsfeld. Die Auflösung von diesem Feld ist relativ schwach, ein paar hundert Kilometer halbe Wellenlänge, also eine Wellenlänge von Wien bis Bregenz oder so. Nicht besonders aufregend, wenig Detail.







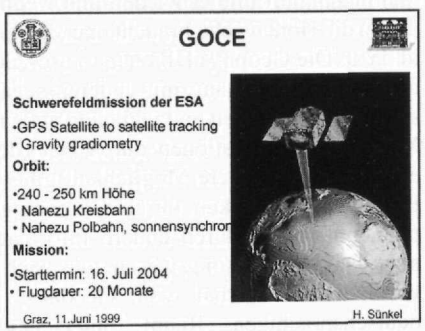
Um mehr Detail zu sehen im Gravitationsfeld, und das brauchen wir dann später, wie Sie in einer Folie sehen werden, haben nun verschiedene Gruppen, sei es in Europa, sei es in den Vereinigten Staaten, in den nächsten Jahren drei Satelliten geplant. Einer davon wird bereits gebaut und die anderen beiden befinden sich in Vorbereitung. Diese drei Satelliten haben die Aufgabe, dieses Gravitationsfeld mit hoher Genauigkeit und mit großer Detailauflösung zu bestimmen. Zunächst dieser Champ-Satellit, der im nächsten Jahr auf den Start wartet, das ist eine deutsche Mission, die vom Geoforschungszentrum Potsdam, mit denen auch unsere Grazer Institute relativ eng kooperieren. Gestartet wird natürlich nicht in Potsdam, sondern vielmehr auf einer russischen Station. Zweitens der Grace-Satellit, der ein Jahr später kommt und sein Hauptaugenmerk auf die Bestimmung des statischen und sich dynamisch verändernden Gravitationsfeldes abzielt, mit einer Wellenlänge von 500 und mehr Kilometern. Und schließlich wiederum einige Jahre später, vermutlich 2004, 16. Juli, der Satellit Goce, der von der Europäischen Raumfahrtsbehörde gestartet werden wird von einer Station im Norden von Rußland, der auf die Bestimmung des statischen Schwerefeldes mit extremer Genauigkeit und sehr, sehr hoher Auflösung abzielt. So hoch, was Genauigkeit und Auflösung anlangt, daß wirklich dann dieses Gravitationsfeld, das aus dieser Mission abgeleitet wird, für praktische Zwecke, wie wir später sehen, verwendet werden kann. Die gemeinsamen Ziele sind offensichtlich die Bestimmung dieses Erdschwerefeldes, seine zeitlichen Variationen, mit mittlerer bis hoher Auflösung und global mit möglichst konstanter Genauigkeit, unabhängig vom jeweiligen Ort. All diese drei Missionen, Champ, Grace und Goce, verwenden dazu zumindest ein gemeinsames Konzept, und das besteht in der Messung von Relativbewegungen von Testmassen. Mehr will ich dazu nicht sagen.



Alle drei haben auch gemeinsame Sensoren an Bord. Hier finden Sie schon wieder dieses GPS. Offensichtlich steht GPS für General Problem Solver und nicht nur für Global Positioning System. Mit allen drei Satelliten fliegt also ein GPS-Empfänger mit, und dieser wiederum liefert Daten, die es erlauben, die Bahn des Satelliten mit einer Genauigkeit von ungefähr ein bis drei Zentimetern in allen drei Raumrichtungen zu bestimmen, obwohl dieser Satellit mit vielen, vielen Kilometern pro Sekunde unterwegs ist. Aus dieser Bahn läßt sich dann das Gravitationsfeld ableiten und aus zusätzlichen Messungen dann weitere Details dieses Feldes.

Wie Sie in der vorhergehenden Folie gesehen haben, lebt dieses Gravitationsfeld offensichtlich von der Dichteverteilung. Es gibt also eine sehr einfache mathematische Abbildung von diesem roten auf den grünen Bereich, von der Dichte auf Gravitation, repräsentiert durch diesen gelben Pfeil. Hinter diesem gelben Pfeil stecken nur drei Integrale, also halb so schlimm. Dieses Gravitationsfeld müssen wir mit irgendeinem Buchstaben bezeichnen, wie das in der Mathematik oder auch Geodäsie natürlich üblich ist. Wie Sie auch schon gehört haben, ist das Gravitationsfeld dann zuständig für die Bahn von Satelliten. Dieser Champ-Satellit mißt wirklich nur seine Bahn und sonst nichts. Diese Bahn wiederum leitet sich vom Gravitationsfeld ab. Dieser Pfeil ist symbolisch für eine relativ aufwendige mathematische Prozedur dargestellt. Dieses Symbol vor dem V steht nicht für Vorrang, sondern für eine mathematische Operation. Der andere, der Grace-Satellit von der NASA, im übrigen auch in Kooperation mit den Deutschen produziert, hat schon zwei solche Symbole vor dem V stehen, nämlich ein Warndreieck und so ein Vorrangsymbol. Das sind natürlich auch keine Warndreiecke und Vorrangsymbole, sondern vielmehr mathematische Operatoren. Die zwei Operatoren sorgen dafür, daß man schon mehr Details von diesem Gravitationsfeld aus den Satellitendaten ableiten kann.

Schließlich gibt es noch den Goce-Satelliten, der im Jahr 2004 auf uns zukommt. Der unterscheidet sich vom Vorgänger Grace dadurch, daß dieses eine Warndreieck auf den Kopf gestellt wird. Der kann noch mehr. Wenn Sie das Gravitationsfeld haben, dann können Sie die Bahn bestimmen und alle möglichen Größen des Gravitationsfelds entlang der Bahn natürlich ableiten oder bestimmen. Die umgekehrte Aufgabe, Kenntnis der Bahn, kann etwa genützt werden, um das Gravitationsfeld zu bestimmen. Kenntnis der Relativgeschwindigkeit zwischen zwei Satelliten, sowie es bei Grace etwa der Fall ist, kann dazu verwendet werden, um das Gravitationsfeld zu bestimmen mit größerer Auflösung und noch größerer Genauigkeit; und schließlich Inversion der Daten, die durch den Goce-Satelliten dann kommen, kann dazu benützt werden, um ein extrem genaues und hoch auflösendes Gravitationsfeld abzuleiten. Diese $^{-1}$ stehen so harmlos hier, hinter diesen $^{-1}$ verbirgt sich allerdings eine Menge. Wenn Sie nur als Beispiel etwa an diese letzte Goce-Mission hier denken, da werden zig Millionen Daten anfallen, die dann letztlich ungefähr 100.000 Kenngrößen des Gravitationsfeldes ergeben, sodaß relativ große Gleichungssysteme zu lösen sind, mit 70 bis 100 Mio. Gleichungen für 100.000 Unbekannte. Das geht mit so einem normalen Laptop natürlich nicht mehr so gut. Da muß man sich schon anderer Pferde bedienen.

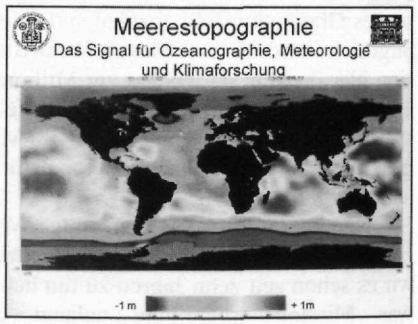


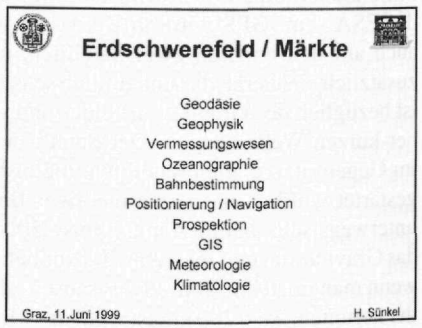
Nun lassen Sie mich noch einige Worte zu diesem Goce-Satelliten sagen, mit dem wir es schon seit zehn Jahren zu tun haben, was Missionsvorbereitung anlangt und Simulationsstudien. Das wird eine Mission der ESA sein, GPS wird an Bord sein wie auch auf den anderen zwei Satelliten, und zusätzlich ein Gerät, das unheimlich sensibel ist bezüglich des Gravitationsfeldes und seiner kurzen Wellenlängen. Der Satellit wird im Gegensatz zu allen Satelliten, die bisher gestartet wurden, in extrem niedriger Bahn unterwegs sein, nämlich in 240 bis 250 km Höhe. Je niedriger desto besser, wenn man das Gravitationsfeld messen will. Nur beliebig nieder kann man nicht fliegen lassen, denn wenn man in 10 km Höhe etwas sausen läßt, dann ist es in null Sekunden vermutlich wieder herunten. Also 200 km ist wohl das Minimum, was man so einem Ding zumuten kann.

Wenn Sie also einen Satelliten in 250 km haben und nichts tun, um die Bahn zu erhalten, ist er in vierzehn Tagen wieder da, oder auch nicht, weil er in der Atmosphäre verglüht. Dieser Goce-Satellit wird eine Nahezu-Kreisbahn fliegen. Das ist notwendig, weil wir eine Mission haben wollen, wo das gesamte Gravitationsfeld global mit möglichst homogener Genauigkeit und Auflösung ableitbar ist. Das geht nur bei einer Nahezu-Kreisbahn. Er wird auch eine Nahezu-Polbahn fliegen, eine sogenannte sonnensynchrone Bahn, sodaß seine Sonnensegel weitgehend immer zur Sonne schauen und das Ding erstens konstant mit Energie versorgt wird über seine Solar-Paneele, und zweitens keine großartigen thermischen Variationen im Laufe einer Umdrehung im Zuge eines Jahres stattfinden. Den 16. Juli 2004 habe ich schon genannt, das ist der nominale Starttermin. Die Flugdauer wird 20 Monate betragen, wobei zweimal sechs Monate gemessen wird und der Rest kalibriert, also geeicht, und dann „housekeeping", wie das so schön heißt, Haushaltsangelegenheiten in Satelliten erledigt werden.

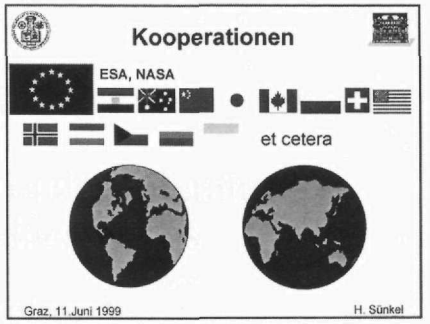
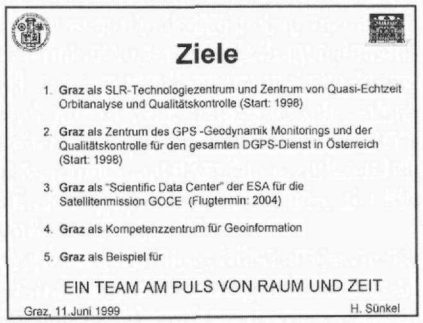
Wenn Sie all diese Satellitendaten dann analysieren, dann kriegen Sie letztlich das, was die Geodäten gern als Geoid bezeichnen, also die mathematische Erdfigur. Des Meeres und der Kontinente Wellen, wie hier steht. Offensichtlich eine Figur, eine mathematische Erdfigur, die sich sehr stark an den Ozeanen orientiert und ihren Verlängerungen durch die Kontinente hinweg. Diese mathematische Erdfigur Geoid wiederum ist unheimlich wichtig im Zusammenhang mit GPS, wenn es darum geht, etwa Höhen auf eine vernünftige Basis zu bringen.

So brauchen wir dieses Geoid oder auch das gesamte Schwerefeld, das hinter dem Ding steckt, für viele Zwecke, um eine ganze Reihe von verschiedenen Märkten zu bedienen. Die Geodäsie klarerweise, welche Positionierung als Hauptziel hat, mit GPS natürlich in Zukunft immer wieder, und wenn es da um die Höhen geht, braucht man das Geoid dazu. Die Geophysik braucht dieses Geoid im Zusammenhang mit anderen seismischen Informationen und vielleicht auch mit Magnetfeldinformationen, durch die es doch eine sehr viel bessere Möglichkeit gibt, ins Erdinnere zu blicken durch Geotomographie, unterstützt durch andere Informationen. Das Vermessungswesen, das sich ja wirklich nur verbal von Geodäsie im deutschsprachigen Raum unterscheidet, braucht es für ingenieurgeodätische Aufgaben. Die Ozeanographie, eine der größten Konsumentengruppen, braucht dieses Ding, weil die Ozeanoberflächen von diesem Geoid sich so ein, zwei Meter abheben und





nichts anderes repräsentieren als Strömungen, Ozeanströmungen. Diese Ozeanströmungen wiederum sind für die Ozeanographie verständlicherweise von großer Bedeutung. Aber diese Ozeanströmungen sind auch wichtig, weil mit diesen Strömungen viel Masse transportiert wird, also Wasser, und damit Wärme transportiert wird. So spielt das natürlich auch für die Meteorologie eine Rolle, zumal es laufend einen Austausch von Energie zwischen Atmosphäre und den Ozeanen gibt. Auf lange Sicht natürlich auch die Klimatologie. Dazwischen liegen andere Bereiche, wie die Bahnbestimmung für operationelle Zwecke, Positionierung/Navigation, Prospektion, der gesamte GIS-Markt. All die brauchen also dieses Schwerefeld.



Unsere Ziele, die wir uns in Graz für die nächste Zeit gesteckt haben, und manche sind bereits erreicht, fasse ich kurz zusammen. Wir wollen weiterhin SLR-Technologie betreiben und Quasi-Echtzeit-Orbitanalyse und Qualitätskontrolle durchführen. Wir haben mit diesen Dingen vor einem guten Jahr begonnen und sind schon relativ weit gediehen. Wir wollen weiterhin natürlich in Graz als Standort, aber das gesamte Gebiet Österreichs und den südosteuropäischen Raum abdeckend, geodynamisches Monitoring betreiben, also untersuchen, wie sich Österreich im Laufe der Jahre und Jahrzehnte verändert. Aber trotzdem nicht nur auf Österreich beschränkt, sondern nach Süden und Südosten blickend, z. B. in den gesamten adriatischen Raum. Wir wollen uns auch mit der Qualitätskontrolle dieser geodynamischen Untersuchungen beschäftigen, und als spin off-Produkt, wie auch immer, DGPS bedienen. Und schließlich wollen wir, was die Schwerefeldmission GOCE anlangt, Graz als Scientific Data Processing Center etablieren.