

# Geomatiker - Grundlagenseminar

## Zusatzskript zu den Vorträgen der Photogrammetrie und Fernerkundung

Inhaltsverzeichnis:

[Geschichte der Photographie, Photogrammetrie und Fernerkundung](#)

[Höhenreferenzsysteme](#)

[Eigenschaften von Fernerkundungsdaten, Bilddaten sowie Orthophotos](#)

[Passive und aktive Aufnahmesensoren und deren Einsatzgebiete](#)

[Bildflugplanung](#)

[Auswerteverfahren](#)

### ***Geschichte der Photographie, Photogrammetrie und Fernerkundung***

#### **Historischer Hintergrund**

##### **Prähistorische Vorzeit**

Die Methodik der Fernerkundung (im weiteren Sinne) ist eine bereits zu prähistorischen Zeiten genutzte Vorgehensweise der Menschen um schnell raumbezogenen Informationen zu gewinnen. Man muss davon ausgehen, dass bereits frühe Hominiden sich freistehende Bäume in den Savannen Afrikas suchten, um aus der Höhe in die Ferne zu blicken und so den Horizont nach Beute oder drohenden Gefahren abzusuchen. Der grundlegende Vorteil dieses Verfahrens liegt in dem großen Raum/Zeitinformationsgewinn, den eine ebene erdbodengestützte Erkundung nicht erbringt. Dieses Grundmuster hat sich in der Menschheitsgeschichte bis zum heutigen Tage erhalten (z.B. Wach- und Aussichtstürme, Ferngläser, Teleskope, Erdbeobachtungs- sowie Spionagesatelliten etc.).

##### **Zeitalter der Industrialisierung**

Erst mit Beginn der Luftfahrt im ausgehenden 19. Jahrhundert, welche unabhängig aber etwa zeitgleich zur Entwicklung der Photographie erfolgte, fand die moderne analoge Geofernerkundungsmethodik ihren Ursprung. Die Beobachtung der Erdoberfläche aus der Luft hat bereits die Ballonfahrer fasziniert. Erste spektakuläre photographische Bilder aus dem Ballon gelangten G. Tournachon (alias NADAR), über Paris im Jahre 1858. In den folgenden Jahren versuchte man die ersten Luftbilder mittels Brieftauben, Raketen, Drachen oder kleinen Fesselballons aufzunehmen. Erst mit der Entwicklung der Flugzeugtechnik Anfang unseres Jahrhunderts wurden verstärkt photographische Schrägaufnahmen der Erdoberfläche gewonnen. Hierbei handelte es sich meist um Einzelaufnahmen, die in keinem systematischen Schema untergebracht waren und nur wenig wissenschaftlich ausgewertet wurden.

##### **Moderne Erkundung**

Im Verlaufe des 1. Weltkrieges (1914-18) wurde aus militärischen Gründen die kontinuierliche photographische Reihenaufnahme aus der Luft von strategisch wichtigen Geländeabschnitten von allen Kriegsparteien vorangetrieben. Nach Kriegsende flossen die gesammelten Erfahrungen in das auflebende zivile Luftbildwesen ein, welches ab ca. 1920 für forstliche, archäologisches und allgemeine geographische Zwecke konzipiert wurde (z.B. Landesaufnahmen, Expeditionen, Erkundung, Kartographie der Kolonien, etc.). Der wissenschaftliche Nutzen der Luftbildtechnik wurde erstmals systematisch durch Troll (1939) in Deutschland untersucht.

Während des 2. Weltkrieges (1939-45) dominierten wieder militärischen Fragestellungen das Luftbildwesen. Wichtige taktische Operationen konnten ohne Aufklärungsflüge und dem Einsatz von Reihenmesskameras nicht mehr vorbereitet oder nachträglich auf Erfolg überprüft werden. Es wurde so erstmals die Herstellung von Luftbildplanwerken umgesetzt, die eine systematische Fernerkundung ermöglichten und noch heute in Form von Befliegungsplänen realisiert werden. Zugleich wurden erste Routineeinsätze mit Farbfilmen für die Luftbildaufnahme durchgeführt, wobei zum Teil bereits Infrarot-Filme erprobt wurden.

### **Digitales Zeitalter**

Nach Ende des Krieges trieben besonders US-amerikanische Institutionen die zivile Fernerkundung (engl.: remote sensing) technisch voran, so dass die Luftbildinterpretation zur ersten eigenständigen Disziplin der Geofernerkundung wurde. Colwell (1963) forcierte besonders die Verwendung von Farbinfrarotfilmen für die vegetationskundliche Forschung. Der Einsatz derartig neuer Techniken erwies sich auch für die anderen Geodisziplinen vorteilhaft (Bodenkunde, Geologie, Geomorphologie, Kartographie etc.). Mit fortschreitender technischer Entwicklung fanden in den sechziger Jahren neue Abtast-Systeme (engl.: scanner) oder Radar-Systeme (z.B. SAR) zunehmend in der Geofernerkundung Anwendung. Etwa 10 Jahre später wurden experimentell Computer zur einfachen Bildanalyse eingesetzt. Das analoge Bild musste somit erstmalig digitalisiert werden. Die traditionelle analoge Luftbildinterpretation war somit nur noch eine Teildisziplin der zunehmend digitaler werdenden Geofernerkundungsmethodik. Heute wird ein Grossteil der Standard-Luftaufnahmen bereits durch digitale Reihenmesskameras gewonnen.

Eine völlig neue Dimension der Erderkundung wurde 1965 mit den ersten Weltraumflügen (Gemini-/Apollo-Flüge) erschlossen. Die Geowissenschaften konnten deutlich mehr Gewinn aus den gewonnenen kleinmaßstäblichen Aufnahmen ziehen als erwartet. Man sprach daher von einer 'dritten Entdeckung der Erde'. Mit dem Start des ersten amerikanischen ERTS-1 Satelliten 1972 (später dann zu LANDSAT umbenannt) wurden systematisch gewonnene digitale und multispektrale Aufnahmen der Erdoberfläche verfügbar bzw. untersucht. Seitdem folgten eine Vielzahl unterschiedlichster Speziatsatelliten, welche zum Teil auch in technischen Generationsabfolgen geplant wurden (z.B. LANDSAT-1 bis 7, oder ERS-1 bis 3, SPOT-1 bis SPOT-5, ASTER, IRS-1 bis 3, Quickbird, RapidEye etc.).

Mit dem Einsatz von Satelliten wurde parallel auch die Kommunikationstechnik revolutioniert, welche es uns erlaubt, die vom Erderkundungssatelliten gewonnen Daten rasch nahezu überall auswerten zu können. Heute werden fast monatlich neue Satelliten in ihre Umlaufbahnen gebracht, von denen man sich Aufschlüsse über komplexe Umweltprobleme erhofft - in einer Zeit der zunehmenden Globalisierung von Umweltproblemen wird dieser Ansatz immer wichtiger.

Parallel zu dieser Entwicklung fanden auch digitale Aufnahmeverfahren in der Flugzeuggestützten Geofernerkundung Einzug. Aufgrund der variablen Flughöhen werden so unterschiedliche geometrische bzw. radiometrische Auflösungen erreicht. Individuelle Aufnahmen reichen vom sichtbaren Spektrum (VIS) über das Infrarot (IR), die Thermalstrahlung (Thermal IR) bis in den Mikrowellenbereich (SAR) bei einer räumlichen Auflösung von einigen Zentimetern bis Metern.

### **Bildverarbeitung**

Auch die Methoden zur Nutzung dieses ungeheuer vielfältigen Informationsmaterials (analoge/digitale Daten) haben sich rasant entwickelt. Über die Techniken der digitalen Bildverarbeitung lassen sich spezifische Bildinhalte aus dem Datensatz mittels leistungsfähiger Computer extrahieren. Das vollautomatisierte Auswerteverfahren wird es trotz Fortschritte in der Klassifikationstechnik (z.B. objektorientiertes, multivariablen Verfahren) zukünftig jedoch kaum geben - die visuelle Bildinterpretation/Erfahrung der Interpreten bleibt somit immer Grundlage einer jeden geowissenschaftlichen Bildanalyse.

Zwischenzeitig werden zivile Geofernerkundungsdaten (Luft-/Satellitenbilder) insbesondere in der Raumplanung, dem Umweltschutz, der Versorgungswirtschaft, der Lagerstättenexploration, der Kartographie, des Katastrophenmanagement, der Raum-Überwachung (engl.: monitoring) u. ä. als fester Bestandteil von Raumanalysen eingesetzt. Die Daten sind meist gegen ein mehr oder minder hohes Entgelt bei den Vertriebinstitutionen für Jedermann erhältlich. Nach der Interpretation der Daten ist der logische Anknüpfungspunkt für die weitere Nutzung ein Geoinformationssystem (GIS), welches eine kausale Verknüpfung von Fernerkundungsdaten mit anderen Geosachdaten erlaubt.

Der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern (-daten) wird in Zukunft im Rahmen einer laufenden Aktualisierung und Bewertung eines Geodatenbestandes und seiner Aussagefähigkeit bzgl. einer

geowissenschaftlichen Fragestellung wesentliche Bedeutung zuwachsen. Auch finden Fernerkundungsdaten zunehmend in den web-basierten privaten oder kommerziellen Sektoren Beachtung (z. B. [Google Earth](#)).

## Entwicklung der Photogrammetrie

Die Entwicklung der Photogrammetrie ist mit der allgemeinen technischen Entwicklung eng verbunden. So haben die Erfindungen der Photographie, des Flugzeugs und der elektronischen Datenverarbeitung die Methoden und Verfahren der Photogrammetrie wesentlich beeinflusst. In der Entwicklung der Photogrammetrie sind fünf Entwicklungsabschnitte zu erkennen.

**1859-1900:** Im Jahr 1859 führte *Laussedat* mit einer eigens für diesen Zweck gefertigten Messkammer erste topographische Aufnahmen durch, während *Meydenbauer* etwa zur gleichen Zeit die Photogrammetrie zur Architekturvermessung angewandt hat. Während dieses ersten Entwicklungsabschnittes beschränkte man sich in der Photogrammetrie auf die Ausmessung von Einzelbildern zur Ableitung von Richtungen für ein graphisches Vorwärtseinschneiden. Solche Verfahren werden als Einschneidephotogrammetrie oder Messtischphotogrammetrie bezeichnet. Wegen der mit diesem Verfahren verbundenen Identifizierungsschwierigkeiten für homologe Punkte in den Messbildern blieb die Anwendung begrenzt.

**1900-1915:** Mit Einführung des stereoskopischen Messprinzips in die Photogrammetrie durch *Pulfrich* (1901) waren die oben genannten Schwierigkeiten überwunden. Die terrestrische Stereophotogrammetrie entwickelte sich methodisch und instrumentell. Diese Entwicklung kann mit der Erfindung des Stereoautographen durch *v. Ore* methodisch als abgeschlossen angesehen werden.

**1915-1930:** Begünstigt durch die Entwicklung des Flugwesens und die militärische Bedeutung des Luftbildes, entwickelte sich im ersten Weltkrieg (1914 bis 1918) die Aerophotogrammetrie. Der Zeitpunkt der Entwicklung der ersten Reihenmesskammer durch *Messter* fällt etwa mit der des ersten Stereokartiergerätes für Luftbilder durch *Gasser* (Doppelprojektor) zusammen (1915). Die prinzipielle Entwicklung von Analog-Auswertegeräten für die Aerophotogrammetrie fand etwa 1930 ihren Abschluss. Die Verfahren der Aerophotogrammetrie wurden in die Praxis des Vermessungs- und Kartenwesens eingeführt.

**1930-1945:** In diesem Zeitraum war eine Entwicklung und Verbesserung der Verfahren zu verzeichnen, während in den photogrammetrischen Auswertegeräten kaum neue Prinzipien angewandt wurden. Die Aerophotogrammetrie entwickelte sich in dieser Zeit zum wichtigsten Aufnahmeverfahren bei der Herstellung topographischer Karten.

**Ab 1945:** Nach dem zweiten Weltkrieg (1939 bis 1945) war es besonders die rasche Entwicklung der Elektronik und der elektronischen Datenverarbeitung, die sich auf photogrammetrische Verfahren und Geräte ausgewirkt hat. Elektronische Bauelemente fanden Eingang in photogrammetrische Geräte und führten bis zur Entwicklung automatischer Auswertesysteme, deren Anwendung aus wirtschaftlichen Erwägungen jedoch bisher hauptsächlich dem militärischen Vermessungswesen vorbehalten ist. Unter dem Einfluss der elektronischen Datenverarbeitung erhielten schließlich numerische Verfahren der analytischen Photogrammetrie für die Aerotriangulation besondere Bedeutung.

## Geschichte der Fernerkundung

Die Grundlage der Fernerkundung wurde während der Renaissance entwickelt. *Leonardo da Vinci*, *Piero della Francesca* und *Albrecht Dürer* erklärten den Gebrauch der Perspektive und setzten die seit *Aristoteles* bekannte *Camera Obscura* (Lochkamera) als erste in der Architektur bei der nachträglichen Erstellung von Bauplänen ein. *Leonardo da Vinci* verwendet als erster Sammellinsen als Objektiv.

1723 wird zum ersten Mal eine Lochkamera zur Erstellung einer Karte eingesetzt. Die Aufnahme von *Luzern* erfolgte zeichnerisch vom *Pilatusmassiv* aus.



Die Verwendung von Fesselballons und die Erfindung der Photographie durch Niépce und Daguerre (1839) verhelfen der Fernerkundung auf militärischem und zivilem Gebiet zum Durchbruch.

1858 setzt die französische Armee erstmals mit Kameras ausgestattete Fesselballons zur Fernaufklärung ein.

1858 entsteht durch Meydenbauer in Wetzlar der erste photogrammetrisch erstellte Bauplan am Wetzlarer Dom.

1859 entsteht der erste Luftbildatlas von Paris.

1861-1865 setzen im amerikanischen Bürgerkrieg beide Seiten Luftaufnahmen zur Fernaufklärung ein.

Die Fortentwicklung der Film- und Kameratechnik, sowie die Entwicklung der Luftfahrt tragen in den folgenden vier Jahrzehnten zur Entwicklung der Fernerkundung bei, wobei die militärischen Aufgaben im Vordergrund stehen. Drachen, Raketen und Vögel werden als Kameraträger eingesetzt.

Die Entwicklung des Zeppelins (1900) und des Motorflugzeuges (1903) ermöglichten nun die planvolle großflächige Erkundung großer zusammenhängender Gebiete. Die erste Reihenschichtkamera, eine spezielle für diese Zwecke konstruierte Luftbildkamera, wird ab 1915 bei Karl Zeiss gefertigt.

Parallel zur Entwicklung der Trägersysteme und Kameras werden Auswertegeräte konstruiert, die die Punkt- und Linienweise Auswertungen ermöglichen (Stereoauswertung), oder Bilder so umkopieren, dass der Einfluss der Perspektive minimal wird (Entzerrung).

Ende der 50er Jahre beginnt das Raumfahrtzeitalter und das EDV-Zeitalter in der Fernerkundung. Die Bilder der Erde aus dem Weltraum, vom Mond und anderen Planeten begeistern die Menschen. Neue Aufnahme- und Auswertetechniken liefern eine Fülle von Informationen, ohne die unser jetziges Weltbild nicht denkbar wäre.

Der kalte Krieg prägte wesentlich die Entwicklung der Fernerkundung seit den 50er Jahren. U2-Aufklärer, Spionagesatelliten, unbemannte Drohnen; dies alles war legendenumwoben. Vielleicht hat es geholfen den Frieden zu erhalten. Auf jeden Fall hat es dazu beigetragen eine Technik zu entwickeln, die unser Bild von der Erde nachhaltig geändert hat. Ohne die Daten der Fernerkundung hätten wir kein globales Bild vom Zustand und der Entwicklung unserer Erde.

# Höhenreferenzsysteme

## Einführung

### Höhenangaben

Die Methodik der Fernerkundung (im weiteren Sinne) ist eine bereits zu prähistorischen Zeiten Täglich haben wir mit Höhenangaben zu tun. Jeder weiß, was oben und unten ist. Das Wasser der Flüsse fließt bergab und am Meeresspiegel sind die Höhen Null. Die Schwerkraft bewirkt nicht nur, dass wir mit beiden Beinen auf der Erde stehen, sie ist auch für die Bestimmung unserer Höhen von Bedeutung. Der Einfluss der wechselnden Anziehungskraft von Sonne und Mond auf den Meeresspiegel ist durch die Gezeiten deutlich sichtbar. Das Schwerfeld der Erde hat im Vergleich dazu eine deutlich größere, aber zeitlich konstante Auswirkung auf die Form des Meeresspiegels. Ohne Kenntnis der Erdanziehungskraft können keine eindeutigen Höhen über dem Meeresniveau berechnet werden. Aufgrund unterschiedlicher Wassertemperaturen und Salzgehalte hat der Meeresspiegel außerdem nicht an allen Orten das gleiche Niveau. Die Bestimmung von einheitlichen Höhen ist daher keine einfache Aufgabe. Wenn man sie global betrachtet ist sie bis heute nicht zufriedenstellend gelöst.

Das klassische Messverfahren zur Bestimmung der Höhenreferenzsysteme ist das geometrische Nivellement. Das in Deutschland verwendete Höhenreferenzsystem wurde mit diesem Verfahren in den letzten 150 Jahren mehrfach bestimmt. Die Höhen beziehen sich auf das durch den Pegel von Amsterdam festgelegte Nullniveau und werden als Höhen über Normalhöhennull (NHN) bezeichnet. In den Ländern Europas gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Höhenreferenzsysteme, die sich vor allem durch das Nullniveau in Bezug zu unterschiedlichen Pegeln unterscheiden. An den Grenzen benachbarter Länder können dadurch Unterschiede im Dezimeterbereich auftreten.

In den letzten Jahren sind die zur Navigation verwendeten Satellitennavigationssysteme wie das Global Positioning System (GPS) und das europäische Pendant GALILEO für viele Vermessungsarbeiten unentbehrlich geworden. Die mit diesen Systemen bestimmten Höhen sind allerdings nicht direkt nutzbar, da sie rein geometrisch festgelegt werden und sich nicht auf den Meeresspiegel beziehen. Für die Bestimmung praxisrelevanter physikalischen Höhen ist deshalb ein Modell der Höhenbezugsfläche notwendig, das in der Geodäsie als Geoid bzw. Quasigeoid bezeichnet wird.

## Das deutsche Höhenreferenzsystem

Das deutsche Höhenreferenzsystem wird immer weiter fortgeführt und zuletzt durch das Deutsche Haupthöhennetz 1992 (DHHN92) realisiert. Das DHHN92 wurde nach der Wiedervereinigung durch die Verbindung der beiden jeweiligen Nivellementsnetze 1. Ordnung der alten und der neuen Bundesländer geschaffen. Diese Verbindung wurde mit Hilfe von 16 Nivellementslinien geschaffen, die in den Jahren 1990 bis 1992 gemessen wurden. Das BKG war neben der LGN Niedersachsen eine der beiden Rechenstellen, die unabhängig voneinander mit verschiedenen Programmsystemen die Ausgleichung des DHHN92 durchführten.

Das DHHN92 besteht aus 757 Nivellementslinien mit einer Gesamtlänge von 30 908 km, 287 Schleifen und 469 Knotenpunkten. Die Höhen sind Normalhöhen, bezogen auf das Niveau des Normal Amsterdams Peil (NAP). Das Höhenniveau wird realisiert durch die Fixierung der geopotentiellen Kote des Punktes 3614/5 (Wallenhorst Kirche) aus der Ausgleichung des europäischen Nivellementsnetzes UELN-73/86.

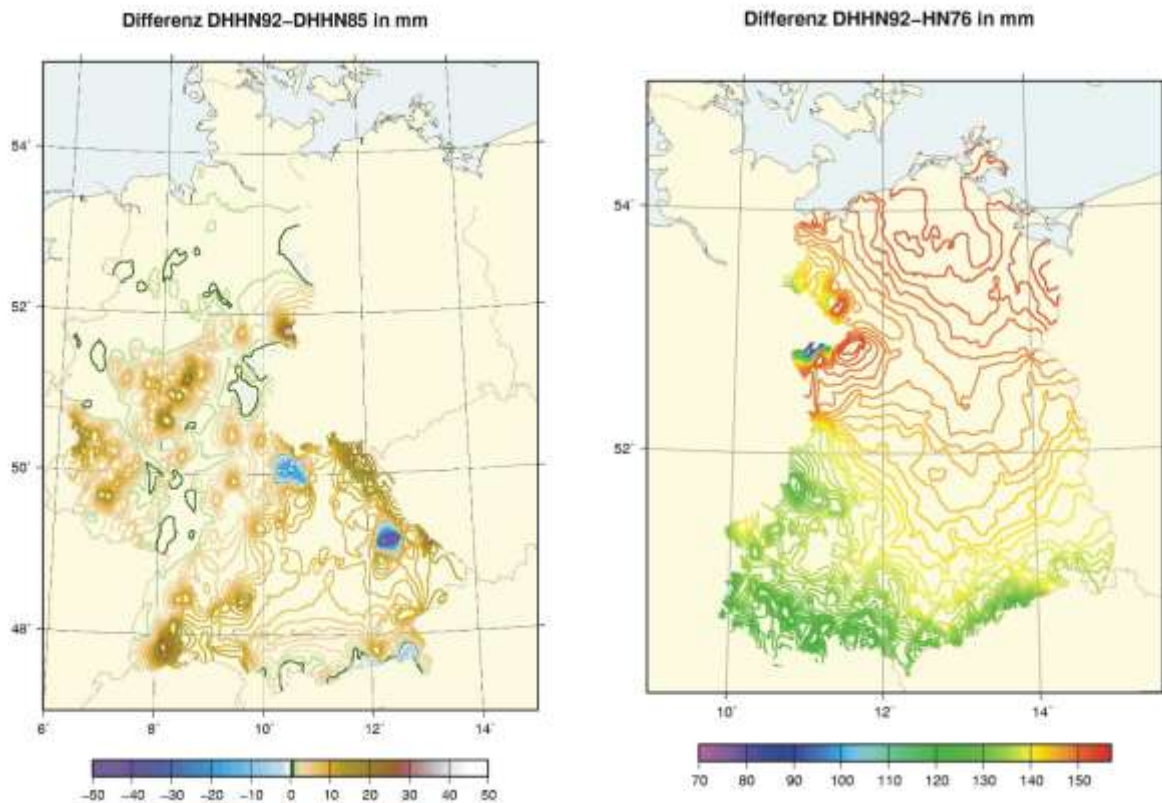


~ DHHN85 - Messungen 1977-1988  
 ~ SNN76 - Messungen 1974-1982  
 ~ Verbindungsmessungen 1990-1992

Netzbild DHHN92

Das DHHN92 wurde in den einzelnen Bundesländern zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingeführt. Die Differenzen zu den vorher gültigen Höhensystemen betragen:

- in den alten Bundesländern zum DHHN85 (DHHN92 – DHHN85) zwischen –50 mm und +40 mm. Die Extremwerte der Differenzen werden durch die Spannungen zwischen den verschiedenen Netzteilen verursacht und treten an der Grenze zwischen alten und neuen Bundesländern auf. In den meisten Bereichen liegen der Differenzen unter 1 cm.
- in den neuen Bundesländern sind die Differenzen zum früheren Höhensystem HN76 wesentlich größer (DHHN92 - HN76 zwischen +12 cm und +15 cm), da das Höhenniveau des HN76 sich auf einen anderen Pegel (Kronstadt) bezieht.



Detailliertere Beschreibungen der Definitionen der verschiedenen Höhensysteme sowie Transformationsparameter zwischen den Systemen sind im Informationssystem für europäische Koordinatenreferenzsysteme CRS-EU verfügbar.

Die Zusammenführung von Messungen aus 3 verschiedenen Epochen (HN76 1974-1982, DHHN85 1977-1988, Verbindungsmessungen 1990-1992) führt zu Spannungen im Netz. Hinzu kommt ein permanenter Qualitätsverlust durch Alterung des Netzes und Punktzerstörungen. Deshalb beschloss die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) im April 2005 die teilweise Erneuerung des DHHN in den Jahren 2006 – 2011.

## Modernisierung des nationalen Höhenreferenzsystems

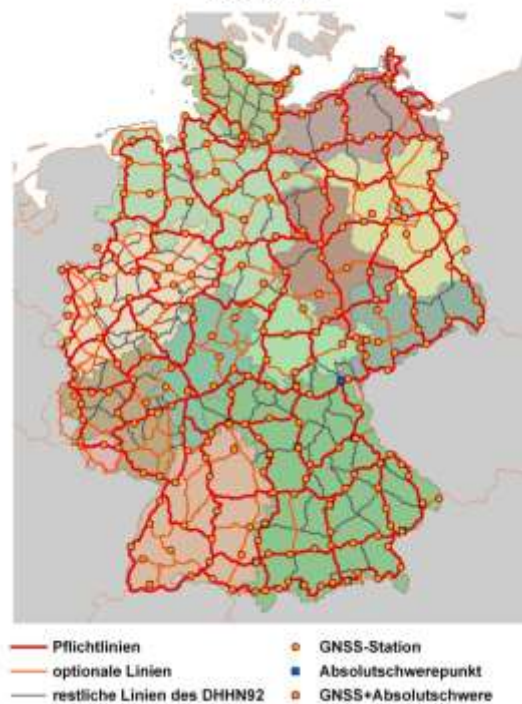
Der ursprünglich beschlossene Netzentwurf sah die Neumessung von etwa 60% des DHHN92 vor. Inzwischen wurde in vielen Bundesländern die Verdichtung des ursprünglichen Netzentwurfes durch die Messung zusätzlicher, sogenannter optionaler Linien beschlossen. Mit Stand vom März 2008 ist damit das Netz von ursprünglich geplanten 14000 km Linienlänge auf etwa 21000 km angewachsen – dies entspricht ca. 80% der Linien des DHHN92. Zusätzlich zu den Nivellements werden an ca. 250 Punkten GNSS-Messungen und an ca. 100 Punkten Absolutschweremessungen durchgeführt.

Ziele der Modernisierung des deutschen Höhenreferenzsystems sind:

- Überprüfung des amtlichen Höhenbezugssystems DHHN92 zur Aufdeckung von Höhenänderungen und Spannungen
- Einbindung des DHHN in ein zukünftiges integriertes Raumbezugssystem
- Verknüpfung mit epochengleichen GNSS-Messungen zur Geoidmodellierung
- Schaffung aktueller Grundlagen für wissenschaftliche Arbeiten (z.B. Bestimmung rezenter vertikaler Krustenbewegungen)

## DHHN mit GNSS- und Absolutschwerepunkten

Stand Mai 2007



Durchführung und Auswertung aller Arbeiten wird von einer Projektgruppe der AdV geplant und koordiniert.

- 2005  
Entscheidung der AdV über die Erneuerung des DHHN
- 2006-2011  
Durchführung der Wiederholungsnivellements
- Sommer 2008  
GNSS-Messungen auf 250 Punkten in unmittelbarer Nähe der Nivellementslinien Kampagne mit Einsatz von 35 Messtrupps, 2 x 24 Stunden auf jedem Punkt
- 2009/2010  
Absolutschweremessungen auf ca. 100 Punkten

Die Auswertung der Nivellements erfolgt unabhängig voneinander in 2 Rechenstellen, der Bezirksregierung Köln - GEOBasis NRW (vormals Landesvermessungsamt) und dem BKG.

## Das europäische Höhenreferenzsystem

Die nationalen Höhenreferenzsysteme der europäischen Länder sind jeweils an unterschiedliche Bezugspunkte (Meerespiegel) angeschlossen. Dadurch und durch die Unterschiede in der theoretischen Höhendefinition unterscheiden sich die Bezugshöhen im allgemeinen um mehrere Dezimeter, im Extremfall bis zu 2 m.

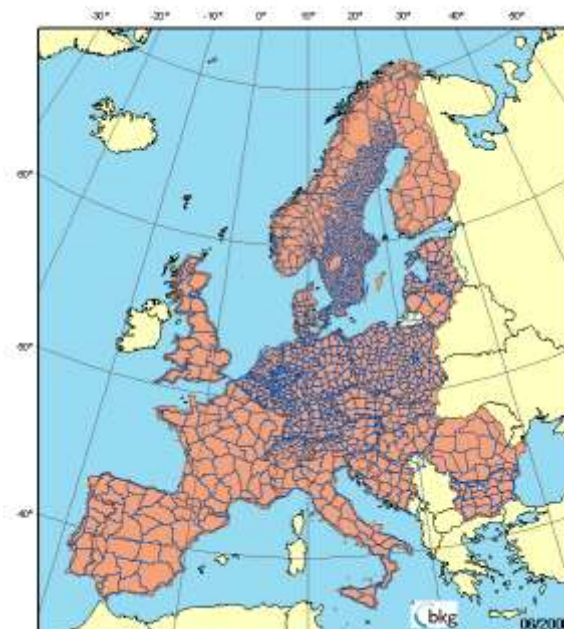


Reference tide gauges

Alicante	Cascais	Kronstadt	Ostend
Amsterdam	Constanta	Malin Head	Trieste
Antalya	Durres	Marseilles	other
Belfast	Genoa	Newlyn	no information

Nationale Referenzpegel in Europa und Differenzen zum EVRF2007 in cm

Zur Realisierung eines einheitlichen Höhensystems in Europa wurde deshalb das UELN (United European Levelling Network) als Zusammenschluss der Nivellementsnetze europäischer Länder geschaffen. Zur Zeit sind die Nivellementsnetze 1. Ordnung von 26 europäischen Ländern im UELN enthalten. Am BKG befindet sich das Daten- und Analysezentrum des UELN.



Netzbild UELN

Die Ergebnisse der UELN-Ausgleichung von 1998 wurden Anfang 1999 an die beteiligten Länder übergeben. Diese Lösung erhielt später als erste Realisierung des European Vertical Reference System den Namen EVRF2000.

Etwa 10 Jahre danach wurde wieder eine Lösung veröffentlicht, die sich vor allem durch die Erneuerung eines großen Teils der nationalen Nivellementsnetze, eine neue Datumsdefinition und ein geändertes Gezeitenmodell (zero tide) vom EVRF2000 unterscheidet. Auf dem EUREF Symposium 2008 in Brüssel wurde das EVRF2007 als aktuelle Realisierung des EVRS bestätigt. Detaillierte Information über das Europäische Höhensystem EVRS sind auf speziellen Webseiten bereitgestellt (EVRS).

Im Informationssystem für Europäische Koordinatenreferenzsysteme CRS-EU (Coordinate Reference Systems for Europe) sind neben einer standardisierten Beschreibungen der Höhensysteme auch Transformationsparameter für die Überführung der verschiedenen nationalen Systeme in das gesamteuropäische enthalten.

## **Bestimmung der Höhenbezugsfläche von Deutschland**

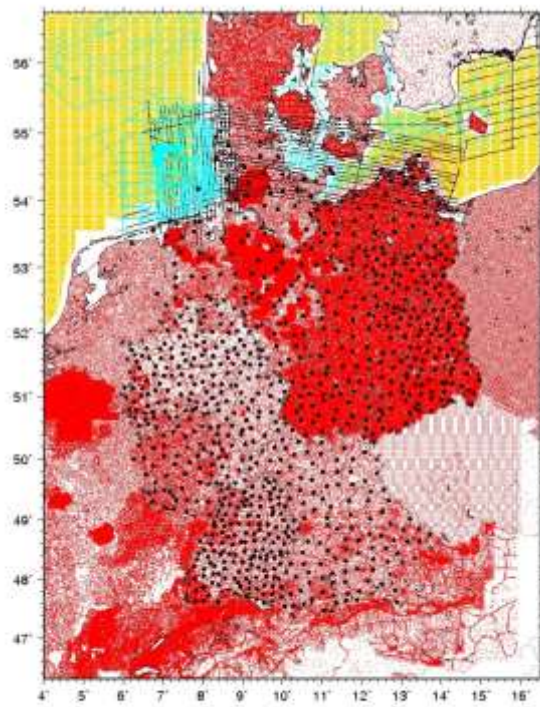
### **Geoid- und Schwerefeldmodelle**

Das Geoid als natürliche Bezugsfläche ist die Äquipotentialfläche des Erdschwerefeldes, die den mittleren Meeresspiegel bestmöglich approximiert. Im globalen Rahmen weicht das Geoid um bis zu  $\pm 100$  m von einer geometrisch definierten Bezugsfläche, dem Ellipsoid, ab. Die Differenzen hängen von der Dichteverteilung im Erdinnern und damit vom Schwerefeld der Erde ab. Satellitengestützte Vermessungen des Erdschwerefeldes und der Meeresoberfläche und die darauf beruhenden globalen Schwerefeldmodelle liefern großräumige Strukturen mit einer räumlichen Ausdehnung von ca. 100 km. Kleinere Details lassen sich aus dem Weltall nicht auflösen. Für die Bestimmung genauer Modelle der Höhenbezugsfläche sind terrestrische Messungen unentbehrlich.

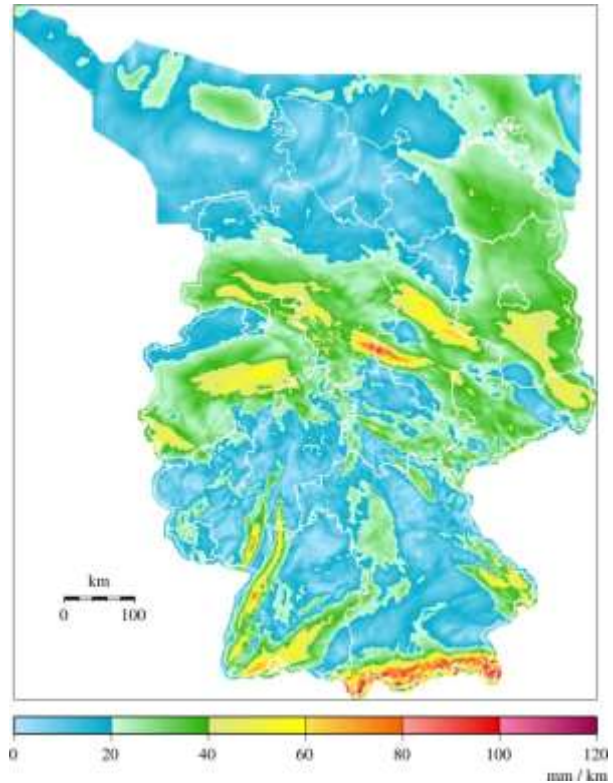
### **Höhenbezugsflächen in Deutschland**

Durch den zunehmenden Einsatz der satellitengestützten Messverfahren in der Vermessungspraxis bestand der Bedarf, die Höhenbezugsfläche von Deutschland mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern zu bestimmen. Das BKG hat gemeinsam mit den Vermessungsverwaltungen der Länder seit Mitte der 90er Jahre dazu umfangreiche Arbeiten geleistet und eine entsprechende Datenbasis für die Bestimmung der Höhenbezugsfläche Deutschlands aufgebaut.

Grundlage zur Bestimmung des Quasigeoidmodells bilden dabei terrestrische Schweremessungen, Fluggravimetermessungen, globale Schwerefeldmodelle, digitale Geländemodelle und ein Netz von Beobachtungspunkten, an denen sowohl ellipsoidische Höhen als auch nivellitisch bestimmte Höhen vorliegen.



Messungen zur Quasigeoidmodellierung



maximale horizontale Quasigeoidgradienten

Die in Deutschland verwendete Höhenbezugsfläche wird auch als Quasigeoid oder NHN-Fläche bezeichnet. Sie variiert zwischen 34 m im Bereich der Ostsee und 50 m in den Alpen. Die horizontalen Gradienten der Quasigeoids können Beträge bis zu 10 cm pro km annehmen. Quasigeoidvariationen müssen deshalb auch bei lokalen Höhenbestimmungen mit GPS und GALILEO berücksichtigt werden.

### Quasigeoidmodelle

Ein erstes Modell des Quasigeoids wurde 1998 für das Gebiet der neuen Bundesländer erstellt. Mit dem "Satellitengeodätischen nivellitischen Quasigeoid (SNG01)" vom März 2003 und dem "German Combined QuasiGeoid 2005 (GCG05)" vom August 2005 folgten weitere Lösungen für die gesamte Bundesrepublik. Die aktuelle Version ist das "German Combined QuasiGeoid 2011 (GCG2011)" vom Januar 2012. Diese Modelle wurden durch Kombination von zwei unabhängigen Lösungen des Instituts für Erdmessung der Universität Hannover und des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie bestimmt.

### GCG2011 - German Combined QuasiGeoid 2011

Das German Combined Quasigeoid 2011 (Deutsches Kombiniertes Quasigeoid 2011) wurde durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) und das Institut für Erdmessung der Leibniz Universität Hannover (IfE) in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) entwickelt. Es repräsentiert die aktuelle Höhenbezugsfläche der AdV in Deutschland. Das Modell GCG2011 löst das im Jahr 2005 veröffentlichte Modell GCG05 ab. Grundlage der Berechnungen sind neue, durch die AdV bereitgestellte detaillierte Vermessungen der Erdanziehungskraft, verbesserte digitale Geländemodelle und aktuelle globale Erdschwerefeldmodelle. Das GCG2011 schließt erstmals den gesamten Bereich der Ausschließlichen Wirtschaftszone Deutschlands in der Nordsee ein und stellt damit eine einheitliche Lösung für das gesamte Hoheitsgebiet der Bundesrepublik Deutschland bereit.

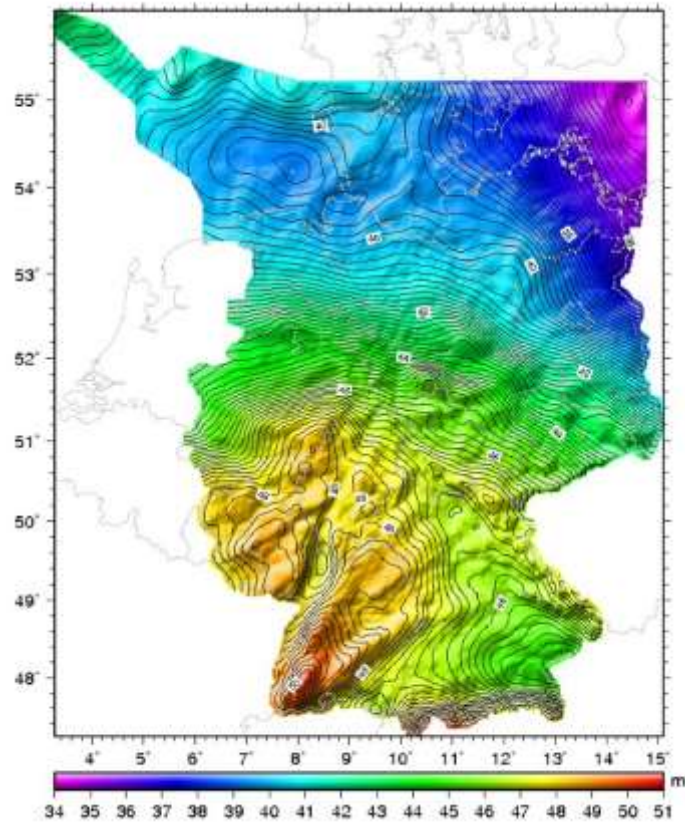
Das GCG2011 ist kompatibel zu dem vom Satellitenpositionierungsdienst der Länder (SAPOS®) verwendeten Bezugssystem ETRS89 sowie zum amtlichen Höhensystem DHHN92. Die in der Praxis

üblichen physikalischen Höhen im DHHN92 können deshalb mit Hilfe des GCG2011 direkt aus den mittels SAPOS® bestimmten ellipsoidischen Höhen berechnet werden:

$$H_{\text{DHHN92}} = h_{\text{ETRS89}} - \zeta_{\text{GCG2011}}$$

Das GCG2011 ermöglicht eine Genauigkeit dieser Transformation von circa 1 - 2 cm im Flachland, 3 - 4 cm im Hochgebirge und 4 - 10 cm im Meeresbereich.

Das Modell kann über das GeoDatenZentrum des BKG ([www.geodatenzentrum.de](http://www.geodatenzentrum.de)) bezogen werden.



Quasigeoidhöhen des GCG2011 in m

# **Eigenschaften von Fernerkundungsdaten, Bilddaten sowie Orthophotos**

## **Was ist Fernerkundung?**

Fernerkundung ist zu einer selbständigen Wissenschaft herangewachsen, welche durch berührungsfreie Messtechniken Informationen über (Geo-) Objekte zu generieren versucht. Ein wesentlicher methodischer Bestandteil der Wissenschaft ist die Visualisierung der Raumdaten (Bildverarbeitung). Somit sind die beiden Hauptelemente der Fernerkundung wie folgt definiert:

**Fernerkundung = berührungsfreie Datenerfassung + Datenanalyse + Interpretation**

Abhängig von der jeweiligen Geodisziplin werden unterschiedliche physikalische 'Feldgrößen' durch die Fernerkundung erfasst. Grundsätzlich handelt es sich immer um die Messung der Veränderung von Energiefeldern. Die am häufigsten gemessenen Veränderungen beziehen sich auf:

- Druckfelder (z.B. Meteorologie)
- Schwerefelder (z.B. Geophysik, Planetologie)
- elektrostatische Felder (z.B. Geophysik, Planetologie)
- elektromagnetische Felder (z.B. Geologie, Geophysik, Planetologie, Geographie i.w.S.)

Die Variationen können vom Sensor physikalisch gemessen werden, wobei folgende Dimensionen eine wichtige Rolle für die Interpretation spielen:

- radiometrisch (Datentiefen, z.B. 8 bit)
- zeitlich (Variationen, z.B. Herbst/Frühling)
- räumlich (Variationen, z.B. Größenveränderung)
- spektral (Wellenlängen, z.B. VIS und IR)

Am deutlichsten werden diese Variationen am Beispiel der Sonnenstrahlung (elektromagnetische Strahlung). Spektrale Variationen können durch die unterschiedlichen Wechselwirkungen des einfallenden Lichtes mit der Erdoberfläche entstehen. Hierbei steuern Frequenz bzw. Wellenlänge die Intensität der Strahlung. Zusätzlich reflektieren/absorbieren unterschiedliche Geo-Objekte mehr oder minder materialspezifisch; dies führt zu einer raumbezogenen Variation der Reflexionsintensität im betrachteten Bodensegment. Die gemessene Reflexion kann radiometrisch in unterschiedliche Datentiefen aufgelöst werden (z.B. 8 bit =  $2^8 = 256$  mögliche Farb-/Graustufen). Zeitliche Veränderungen werden dann wichtig, wenn ein spezielles Gebiet unter konstantem Blickwinkel, aber zu unterschiedlichen Zeiten betrachtet werden soll.

Obige Variationen werden im einfachsten Fall direkt durch das Fernerkundungssystem 'Auge' des Menschen aufgenommen. Dieses ist sensibel gegenüber einem bestimmten Bereich der Lichtintensität bzw. Wellenlänge der Sonnenstrahlung. Betrachten wir zu einem gegebenen Zeitpunkt  $t_1$  (z.B. Sommer) ein bestimmtes Objekt (z.B. Baum) und tun dies zu einem zweiten Zeitpunkt  $t_2$  (z.B. Herbst) noch einmal, erkennen wir Veränderungen in der Erscheinungsform der Blätter (natürlich biologischen Ursprungs aber mit spektralen Folgen!) und deuten diese Beobachtung zeitabhängig (z.B. als variierende Vitalitätsphasen der Pflanze).

Messtechnisch lassen sich weitere physikalische Parameter erfassen (Kamera, Multispektral-Scanner, Gravimeter, Sonar, Laser Altimeter...) und die gemessene Veränderung der Kraftfelder in digitale (numerische) oder analoge (bildhafte) Form bringen. Beide Formen können anschließend durch analog/digital Wandler (A/D Wandler) von einem Aufnahmetyp in den Anderen überführt werden. Die Datenvisualisierung erfolgt fast immer bildhaft (analog auf einem Blatt Papier/Photo oder digital auf dem Bildschirm/Drucker/Printer eines Computers). In derartigen Bildern ist eine Fülle von Informationen über das abgebildete Gelände gespeichert, die für viele Bereiche der Wissenschaft von großem Wert sind. Aus den direkten Eigenschaften von Objekten versuchen Interpreten auch häufig indirekt ableitbare Rückschlüsse auf nicht direkt Erkennbares zu ziehen (z.B. von Vegetationsformen auf Bodenarten).

Die erfolgreiche Interpretation von Luft- und Satellitenbildern setzt voraus, dass der Bearbeiter die notwendigen Sachkenntnisse hinsichtlich des Gegenstandes der Interpretation mitbringt. Dies kann die Anwendungsdisziplin betreffen (Forstwirtschaft, Planungswesen, Exploration...) und/oder die Region (räumliche Hintergrundinformation). Darüber hinaus sind geoinformatische Kenntnisse über die Entstehung, Verarbeitung und Eigenschaften der Bilddaten erforderlich um Fehlinterpretationen zu vermeiden!

## Das Fernerkundungssystem

Jedes Bild ist das Ergebnis eines Abbildungsprozesses, dem sowohl geometrische (räumliche) als auch radiometrische (physikalische) Aspekte zugrunde liegen. Deshalb sind in jedem Bild stets geometrische und physikalische Informationen abgelegt. Beide Arten der Information müssen deshalb auch von einem Fernerkundungssystem erfasst werden können.

Als grundlegende, wellenlängenabhängige Komponenten eines jeden Fernerkundungs-Systems gelten:

- Strahlungsquelle (z.B. Sonne)
- Strahlungsweg (z.B. Atmosphäre)
- Objekt (z.B. Erdoberflächen)
- Sensor (z.B. Scanner, Kamera)

Zur Aufnahme von Luft- und Satellitenbildern müssen die Systeme so ausgelegt sein, dass sie sowohl die Richtung als auch die Intensität der Strahlung ermitteln. Die von der Erdoberfläche reflektierte elektromagnetische Strahlung wird dann durch den Sensor aufgefangen, z.B. direkt in ein photographisches Bild überführt oder in Messimpulse verwandelt und gespeichert. Letztere werden später durch numerische Operationen in digitale Bilder zurückgerechnet.

Hinsichtlich der Fernerkundungssysteme unterscheidet man passive und aktive Systeme. Bei passiven Systemen geht die Strahlung von einer natürlichen Quelle aus (z.B. Sonne), erreicht dann ein Geo-Objekt und wird von diesem reflektiert und/oder absorbiert. Absorbierte Strahlung führt zu einer Erwärmung des Objektes, welches dann wiederum thermale Strahlung emittiert (thermales IR). Die von dem Objekt ausgehende reflektierte und/oder emittierte Strahlung wird dann vom passiven Sensor in Abhängigkeit seiner spektralen Empfindlichkeit aufgezeichnet (Kamera, TM-Scanner, Wärmesensor). Bei aktiven Systemen sendet der Sensor selbst elektromagnetische Strahlung aus und empfängt diese nachdem sie mit dem Geo-Objekt wechselgewirkt hat. Das System ist somit gleichzeitig künstliche Quelle der Strahlung (Sender) und ihr Empfänger (z.B. Radar).

### Spektrale Sensibilität

Die Sensibilität eines Fernerkundungssystems ist durch die spektrale Empfindlichkeit der Sensoren definiert. Die entsprechenden Spektralbereiche werden häufig als Kanäle oder Bänder bezeichnet. Wenn gleichzeitig mehrere Wellenlängenbereiche getrennt erfasst werden, spricht man von einem multispektralen System (sind sehr viele, nahezu kontinuierliche Spektren vorhanden wird das System hyperspektral genannt). Die multispektrale Erfassung von Strahlung ist deshalb sinnvoll, weil verschiedene Geo-Objekte (z.B. Vegetation, Wasser, Böden, Gesteine...) in unterschiedlichen Wellenlängenbändern auch unterschiedlich stark reflektieren - sie sind somit multispektral differenzierbar!

Das menschliche Auge gilt als passiver Sensor mit einer spektralen Empfindlichkeit von etwa 400 bis 700 nm (Blau bis Rot). Man bezeichnet diesen Intervall des elektromagnetischen Spektrums deshalb auch als sichtbares Licht (VIsible Spectra = VIS). Insektenaugen sind für einen ins Nahe Infrarot (IR) verschobenes Intervall empfindlich. Sie können also auf das spektrale Reflexionsmaximum der Pflanzen im IR gezielt reagieren. Hunde oder Katzen besitzen nur 'Schwarz-Weiß-Sensoren', nehmen ihre Umwelt also panchromatisch und daher andersartig wahr als der Mensch.

Es ist also verständlich, dass alle technischen Fernerkundungssysteme (unabhängig von ihrer spektralen Empfindlichkeit) die bildhafte Verarbeitung der Daten an das Farbsystem des menschlichen Auges in den Farbtönen Blau, Grün und Rot (rgb) anpassen müssen. Bei einer entsprechenden

Farbzuweisung von Kanälen können auch Messwerte aus uns fremdartigen Spektralbändern sichtbar gemacht werden (z.B. als sog. Falschfarbenbilder).

### Strahlungswege

Eine bei der Betrachtung eines Fernerkundungssystems oft unterschätzte Komponente ist der Strahlungsweg. Die Strahlungsenergie wird bei ihrem Weg durch die Erdatmosphäre verschiedenen Prozessen unterworfen. Sie kann teilweise absorbiert, reflektiert und gestreut werden. Diffuse Streuungsprozesse führen unter anderem dazu, dass der klare Himmel als 'himmelblau' empfunden wird, da in der Luft befindliche Kleinstpartikel (Aerosole) ein Streuungsmaximum in der Wellenlänge des Blau aufweisen.

Um qualitativ korrekt arbeiten zu können, müsste man alle Fernerkundungsdaten vor der Analyse 'atmosphärisch korrigieren'; ein sehr aufwendiges (numerisches) Verfahren, welches die Kenntnis einer Vielzahl oft unbekannter klimatischer Parameter voraussetzt und deshalb nur selten durchgeführt wird.

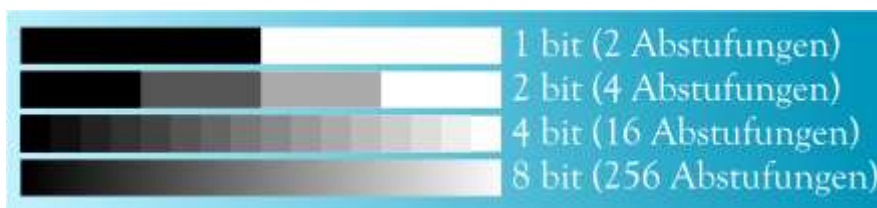
### Farbtiefe

Die **Farbtiefe** (Bit-Auflösung) bestimmt eine wesentliche Eigenschaft von Raster- und Vektorgrafiken: die Differenzierung aller Helligkeits- und Farbwerte. Sie liegt zur Zeit meist zwischen 8 und 16 bit (d. h. im RGB-Farbraum mit 8 Bit pro Kanal =  $(2^8)^3$  bit, können ca. 16,7 Millionen Farben beschrieben werden).

Der **Farbmodus**, kennzeichnet das in Bildverarbeitungs- oder Graphikprogrammen für die Kartenherstellung ausgewählte Farbmodell für die Darstellung und Ausgabe der Daten. Die gebräuchlichsten Farbmodi sind RGB-, CMYK-, CIE Lab-, HSB-, indizierter Farb-, Duplex-, Graustufen- und Bit-Map-Modus.

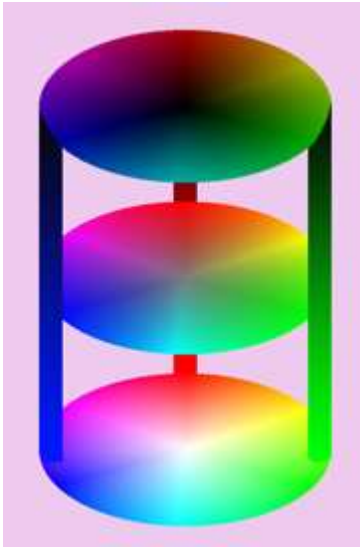
### Grundlagen

Die Farb- und Helligkeitswerte von digitalen Bildern werden innerhalb der kleinsten Einheit jedes Bildes gespeichert: bei Rastergrafiken innerhalb jedes Pixels, bei Vektorgrafiken innerhalb jedes farbdefinierten Vektors. Jede Bildeinheit enthält eine festgelegte Anzahl der maximal möglichen Abstufungen (beispielsweise beim durchschnittlichen Digitalfoto: 256 Abstufungen pro Farbkanal eines Pixels) sowie die konkrete Farb- und Helligkeitsinformation (auf der Skala dieser festgelegten Abstufungen).



Die Zahl der Abstufungen innerhalb eines [Farbkanals](#) werden in [bit](#) gemessen. Je mehr Abstufungen vorhanden sind, umso mehr Helligkeitsstufen können dargestellt werden.

Die Anzahl der möglichen Abstufungen ist nicht zwangsläufig gleichbedeutend mit der Anzahl der möglichen Farben. Hier wird unterschieden nach Anzahl der Farbkanäle oder nach Umfang der Farbtabelle. Erst der Zusammenhang aus der Art der Farbdefinition (Farbkanäle und ihre Anzahl, Tabellen,...) sowie der Angabe der Abstufungen (in bit) ergibt die maximal mögliche Farbtiefe.



Farbmischung basierend auf drei [Farbkanälen](#) Rot, Grün und Blau

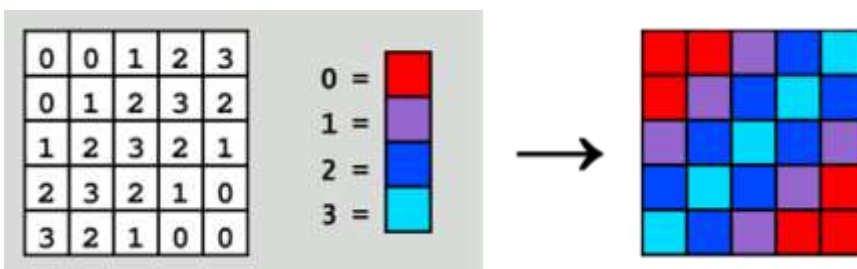
### Farbausdifferenzierung

Die maximal mögliche Menge an (Farb-)Abstufungen wird in [bit](#) angegeben und benennt damit die Farbtiefe eines Bildes. Diese Abstufungen stellen eine Skala dar, auf der die eigentliche Farbinformation gespeichert wird. Die *Farbtiefe* ist also die mathematische Basis der tatsächlichen Farbinformation. In der Praxis besitzt ein Bild niemals die Menge an Farben, die der Umfang dieser Skala (Farbtiefe) zur Verfügung stellt.

Eine Farbtiefe von 1 bit würde bedeuten, dass in jeweils einem Farbkanal (am Computer-Bildschirm meist rot, grün und blau) genau zwei Zustände möglich wären. Als Beispiel wären das für den Farbkanal rot dann *schwarz und rot*. Bei einer Farbtiefe von 2 Bit wären 4 Zustände möglich, also beispielsweise *schwarz, dunkelrot, mittleres Rot und hellrot*. Bei der gebräuchlichen Farbtiefe von 8 Bit sind  $2^8 = 256$  Zustände und damit ebenso viele einzelne Rot-Töne möglich.

Am gebräuchlichsten ist der [RGB-Farbraum](#) mit 8 Bit pro Farbkanal, entsprechend  $(2^8)^3 = 16.777.216$  (ca. 16,7 Millionen) theoretisch möglichen Farben. Bei 16 bit (pro Kanal) resultieren daraus 281.474.976.710.656 (281 Billionen) Farbmöglichkeiten.

### Farbtabellen



Farbdefinition nach einer Farbtabelle

Bilder mit [indizierten Farben](#) stellen eine Sonderform dar: bei ihnen enthält die Datenstruktur eines Pixels nicht die Farben selbst, sondern einen Index auf einen Eintrag der Farbtabelle. Die Farbtiefe gibt also die maximale Anzahl der verwendbaren Einträge der Farbtabelle an. Praktisch werden Farbtabelle mit 1 bis 8 **bpp** (= bit pro Pixel) verwendet, entsprechend  $2^1 = 2$  bis  $2^8 = 256$  gleichzeitig kodierten oder darstellbaren Farben. 1 bpp ist für Bilder, die nur Schwarz und Weiß enthalten, gebräuchlich.

### Beispiele:

- Das [GIF](#)-Format erlaubt 1 bis 8 bpp.

- [PNGs](#) mit Farbtabelle erlauben 1, 2, 4 oder 8 bpp.
- Der [EGA](#)-Grafikstandard erlaubt 4 bpp.

## Anwendung

Digitalfotos besitzen üblicherweise eine Farbtiefe von 24 bit. In der Praxis gibt es natürlich kein Foto, das wirklich alle Einzelfarben besitzt - der Durchschnitt liegt deutlich darunter. Der Vorteil der 24-bit Farbtiefe kommt dennoch bei fast jedem Foto deutlich zum Tragen, wie man anhand eines Vergleichs mit einer 16-bit-Version desselben Fotos feststellen kann. Das Foto mit 16-bit Farbtiefe zeigt erkennbare, oft sehr störende Treppchenmuster bei Farbübergängen, die bei 24-bit Farbtiefe nicht mehr sichtbar sind. Der Vorteil der höheren Farbtiefe liegt also weniger in der Maximalzahl der möglichen Farben, sondern vielmehr in der größeren Farbdifferenzierung.

Die meisten Computermonitore können nur 8 Bit pro Kanal darstellen. In der professionellen Fotografie und für medizinische Anwendungen werden auch 16 Bit pro Kanal benötigt. Extreme Helligkeitsbereiche (tiefschwarzer Schatten und gleißendes Licht) können mit 8 Bit nicht gespeichert werden. Hierzu ist eine drastische Reduzierung des Kontrastumfangs und der Kontrastdifferenzierung nötig. Um diese Veränderung des Dynamikumfangs optisch ansprechend zu gestalten, finden *High Dynamic Range Image (Hochkontrastbilder)* Anwendung, die per Tone-Mapping-Verfahren zur Darstellung auf 8 Bit heruntergerechnet werden. Dieses Verfahren ist eine spezielle Form der Bildoptimierung.

Folgende Farbtiefen wurden bisher verwendet

Farbtiefe	Name/Verwendung	Kodierung	Anzahl darstellbarer Farben
1 Bit	Monochrom	Keine eindeutige Zuordnung	$2^1 = 2$
4 Bit	Verwendet bei <a href="#">EGA-Grafikkarten</a>	Keine eindeutige Zuordnung	$2^4 = 16$
6 Bit	Verwendet von den <a href="#">Amiga</a> -Computern für <a href="#">HAM</a> - und <a href="#">Halfbright</a> -Modus	Keine eindeutige Zuordnung	$2^6 = 64$ (durch speziellen HAM-Mechanismus aber bis zu 4096)
8 Bit	Verwendet von den <a href="#">MSX2</a> -Computern	Rot: 3 Bit Grün: 3 Bit Blau: 2 Bit	$2^8 = 256$ (durch speziellen <a href="#">HAM8</a> -Mechanismus beim Amiga aber bis zu ca. 2 Millionen)
12 Bit	Verwendet in mehreren <a href="#">NeXT</a> -Workstations	4 Bit pro Farbe	$2^{12} = 4096$
15 Bit	<a href="#">Real Color</a>	Rot: 5 Bit Grün: 5 Bit Blau: 5 Bit	$2^{15} = 32.768$
16 Bit	<a href="#">High Color</a>	Rot: 5 Bit Grün: 6 Bit Blau: 5 Bit	$2^{16} = 65.536$
24 Bit	<a href="#">True Color</a>	Je ein <a href="#">Byte</a> (8 Bit) für R, G und B	$2^{24} = 16.777.216$
24 Bit Farbe + 8 Bit Alpha	True Color mit 8-Bit- <a href="#">Alphakanal</a>	Je ein Byte (8 Bit) für R, G und B und $\alpha$	$2^{24} = 16.777.216$
30 Bit	beispielsweise <a href="#">PAL</a>	Je 10 Bit für Y, U und V	$2^{30} = 1.073.741.824$
36 Bit	beispielsweise hochwertige Fotografie	Je 12 Bit für R, G und B	$2^{36} = 68.719.476.736$
42 Bit	beispielsweise hochwertige Flachbildfernseher	Je 14 Bit für R, G und B	$2^{42} = 4.398.045.511.104$
48 Bit	beispielsweise hochwertige Flachbettscanner	Je 16 Bit für R, G und B	$2^{48} = 281.474.976.710.656$

Im Scan-, Kino-, TV- und Druckbereich kommen auch weitere Farbtiefen mit 30, 32, 36, 40 und 48 Bit häufig vor.

### **Dateiformat**

Ein **Dateiformat** definiert die [Syntax](#) und [Semantik](#) von Daten innerhalb einer Datei. Es stellt damit eine bidirektionale Abbildung von Information auf einen eindimensionalen binären Speicher dar.

Die Kenntnis des Dateiformats ist essentiell für die Interpretation der in einer Datei abgelegten Information. Moderne [Betriebssysteme](#) ordnen Dateien über das Dateiformat Anwendungen zu, die die Dateien interpretieren können.

# **Passive und aktive Aufnahmesensoren und deren Einsatzgebiete**

## **Aufnahmesysteme**

In der Geofernerkundung werden mit dem Fortschreiten der technischen Entwicklung immer speziellere satelliten- oder flugzeuggestützte Sensoren zur Erkundung der Erde bzw. benachbarter Planeten und Monde eingesetzt. In dem folgenden Kapitel werden deshalb nur einige wichtige Aufnahmesysteme skizziert und stellvertretend erläutert.

### **Photographische Aufnahmesysteme**

Die klassische photographische Aufnahme von Luft- und Satellitenbildern beruht auf den uns bekannten Methoden der Photographie, wobei die photographische, lichtempfindliche Schicht eines Filmes als analoges Speichermedium dient. Sie ist somit ein passives Verfahren, welches die Strahlung im VIS und NIR (400-1000 nm) je nach Filmempfindlichkeit über eine chemische Reaktion optisch aufnimmt. Die klassische Luftbildtechnik bietet den Vorteil relativ preisgünstig und individuell Flächen zu erfassen. Allerdings gibt es auch gewichtige Nachteile, wie die schwierige radiometrische Kalibrierung photographischer Systeme, die geringe spektrale Bandbreite und ggf. der analoge Primärzustand der Daten (Negativ/Positiv), welche zur digitalen Weiterverarbeitung erst aufwendig gewandelt werden müssen. Es werden jedoch gegenwärtig nur noch digitale Kameras eingesetzt, wobei die Bilder über eine CCD-Optik direkt in digitale Bildformate umgewandelt werden.

### **Definition Bildflug**

Luftbildaufnahme mit Reihenmesskamera. Einblendung von Rahmenmarken und Zusatzinformation. Hohe Aufnahmefrequenzen. Kurze Verschlusszeiten. Filmansaugung durch Vakuum. Kompensierung der Bewegungsunschärfe durch Forward-Motion-Kompensation (FMK). Bildformat 23 x 23 cm. GPS zur genauen Navigation. Seit 2006 Bestimmung des Projektionszentrums durch kinematisches GPS und der Bildrotation (Parameter der äußeren Orientierung) durch Inertialsysteme (INS = Kreiselsysteme) -> Verringerung der benötigten Passpunkte.

### **Photographische Filme**

Schwarz-Weiss (SW): beste geometrische Auflösung; Anwendung bei hohen Genauigkeitsansprüchen an geometrische Information.

Farbe (F): schlechtere geometrische Auflösung als SW, bessere thematische Interpretierbarkeit.

Falschfarben-Infrarot (FIR): gute thematische Interpretierbarkeit (Vegetation).

Üblicherweise werden in Flugzeugen fest montierte Reihenmeßkammern (RMK) in dem Bildformat 23 cm x 23 cm und wechselnden Brennweiten für die systematische Aufnahme von Geländeabschnitten im Maßstab zwischen 1:10.000 bis 1:30.000 verwendet. Daneben gibt es noch spezielle Handkammern für die lokale Schrägaufnahme.

### **Panchromatische Filme**

Die spektrale Empfindlichkeit der photographischen Schichten reicht vom VIS bis in das NIR. Man unterscheidet in der Fernerkundung panchromatische, chromatische und infrarotempfindliche Schichten, auf denen der Reflexionsgrad in Farb- bzw. Graustufen abgelichtet wird. Aufgesetzte Objektivfilter erlauben bei den Aufnahmen das gezielte Ausblenden von einzelnen Spektralbereichen. Unterhalb von 400 nm wird die Energie der Strahlung durch das Objektivglas absorbiert. Panchromatische Schichten sind bis etwa 700 nm empfindlich, also für den gesamten Bereich des VIS. Da sie alle Reflexionswerte in abgestuften Grautönen (Gradation) wiedergeben, sind sie am weitesten verbreitet und dienen allgemein als Aufnahmemedium (sog. S/W-Film).

Infrarotempfindliche Schichten gehen mit ihrer Empfindlichkeit über 700 nm hinaus. Dies hat zur Folge, dass die abgelichteten Grautöne von dem Reflexionsempfinden des Menschen abweichen, wenn die Objekte im NIR wesentlich anders reagieren, als im VIS (z.B. Vegetation). Deshalb blendet man häufig kurzwelligere Strahlung durch geeignete Filter aus um so nur den NIR-Informationsgehalt abzulichten. IR-Bilder eignen sich z.B. besonders zur Unterscheidung von Laub- und Nadelbäumen, zur Ermittlung des Verlaufes von Wasserflächen und Uferlinien. Weiterhin wirken sie wegen der kräftigeren Schatten oft kontrastreicher als panchromatische Aufnahmen.

### **Farbfilme**

Farbfilme müssen stets aus drei Schichten aufgebaut sein, da sich die Farben aus den drei

Grundfarben des additiven Farbsystems Rot - Grün - Blau (rgb) zusammensetzen. Die belichteten Schichten spiegeln dann das Reflexionsmaß in den drei Wellenlängenbereichen des VIS wieder.

Bei Farbinfrarotfilmen wird eine der Schichten (meist Rot) durch eine IR-sensible Schicht ausgetauscht, so dass der Reflexionsgrad im NIR aufgenommen und zur Endfarbarmischung herangezogen wird. IR-Farbfilm finden fast ausschließlich in der Vegetationsuntersuchung eine Rolle (z.B. Waldschadenskartierungen), da sich über den IR-Reflexionsgrad eine Aussage über Typ und Vitalitätsgrad der Vegetation ableiten lässt. Die resultierenden Bilder werden oft auch als Falschfarbenaufnahmen bezeichnet, da die Farbwiedergabe der Objekte für das menschliche Auge ungewohnt ist.

### **Digitale Photosysteme (CCD) und Abtastsysteme (Scanner)**

Im Gegensatz zur optischen Photographie wird das Maß der Reflexion bei digitalen Systemen nicht auf einem Film festgehalten, sondern direkt als elektrischer Impuls zeilenweise gespeichert. Als Speichermedium dient also ein externes Speichermodul, welches regelmäßig geleert werden muss.

Bei der photographischen CCD-Bildaufnahme mit Objektivsystem erfolgt vom Flugzeug aus die Belichtung nicht auf analogem Filmmaterial, sondern direkt auf einem CCD-Sensor, welcher in der Regel auch im NIR die Reflexion der Oberflächen aufzeichnet bzw. abbildet. Durch die digitale Technologie werden mit einer Auslösung also synchron drei verschiedene digitale Produkttypen realisiert:

- Panchromatisch, höhere Auflösung als VIS oder NIR
- Echtfarbe (VIS)
- NIR-Colorinfrarot

Die Belichtung erfolgt auf allen CCD's gleichzeitig (also vergleichbar mit einem Film). Allerdings hat die CCD-Technik den Vorteil alle notwendigen Datentypen für die Weiterverarbeitung der Luftbilder auf einem PC's direkt im ersten Arbeitsgang bereitzustellen - das gesamte optisch nutzbare Spektrum wird also synchron ausgeschöpft. Zwar liegen die Anschaffungskosten für eine derartige Kamera noch recht hoch (z.B. einer Digital Mapping Camera von Zeiss Z/I= DMC, 10cm/pixel bei 1000m Flughöhe; Array Pixel : 4084 x 7128 pan; 2048 x 3074 RGB), werden aber dennoch fast nur noch operationell eingesetzt und haben die analogen Luftbildsensoren inzwischen verdrängt. Neben der DMC von Zeiss sind noch die Vecxel Imaging UltraCam und die LHS ADS40 zu nennen.

Neben den digitalen Reihenmesskameras (RMK) spielen auch zunehmend digitale, hochauflösenden metrische Mittelformatkameras eine Rolle (Pixel Array: 5412 x 7216). Eine Kombination derartiger Kameras erlaubt den Übergang zu metrischen, digitalen Grossbildkameras, welche stets weiter entwickelt werden.

Auch der Einsatz modifizierter digitaler Kleinformatkameras (small frame photography) auf ferngesteuerten, GPS-gelenkten Flugrobotern (Drohnen) oder auch Unmanned Aerial Vehicles (UAV's), z.B. in Form eines Multicopters (wie eines Quadropters) findet in den Geowissenschaften zunehmend Verbreitung. Die Vorteile liegen im hochflexiblen, ökonomischen Betrieb, der Exploration eines bisher nicht genutzten Flugraumes zwischen 20 und 300 m (also genau zwischen der klassischen terrestrischen und flugzeuggetragenen Fernerkundung) und der damit einhergehenden extrem hohen Bodenauflösung (im sub-cm-Bereich). Nachteile sind die bisher geringen Flugzeiten (durchschnittlich ca. 20 Minuten bei Quadroptern) und die je nach Drohnentyp variierende, geringe Traglast (i.d.R. weniger als 1,5 kg). Auch sollten die low-cost Kamerasysteme kalibriert sein um eine möglichst verzerrungsfreie Darstellung bzw. Georeferenzierung zu gewährleisten. Insgesamt bieten diese Systeme jedoch ein hohes Nutzungspotential für die Geowissenschaften.

Auf den meisten klassischen satellitengetragenen Plattformen werden jedoch digitale Scanner eingesetzt. Man unterscheidet optoelektronische Scanner (z.B. beim SPOT-Satelliten) und optisch-mechanische Scanner (z.B. bei LANDSAT). Beide Scanner-Typen arbeiten passiv und finden sowohl in der Flugzeug-gestützten Geofernerkundung als auch in der satellitengetragenen Geofernerkundung Anwendung.

Die Funktionsweise eines optoelektronischen Scanners soll am Beispiel des französischen SPOT-Satelliten (Systeme Probatoire d'Observation de la Terre) erläutert werden. Hier erzielt man die Bildaufnahme mittels zeilenweise angeordneter Halbleiter-Bildsensoren; dies sind hochintegrierte Schaltungen auf Silicium-Chips, die für jeden Bildpunkt (Pixel) einen Photosensor enthalten. Hier sind

besonders die Charge Coupled Devices (CCD) von Bedeutung, welche aus Ketten von Kondensatoren bestehen und durch Belichtung Ladungen freisetzen. Dieser Entladungsimpuls wird zeilenweise abgespeichert. Moderne CCD-Kameras verfügen über eine flächenhafte CCD-Anordnung (Zeilen x Spalten, vergleiche digitale Luftbildkameras oben!).

Zur CCD-Bildaufnahme vom Flugzeug oder Satelliten werden die CCD-Zeilen in der Bildebene eines Objektes angeordnet. Damit ist es möglich, alle Pixel einer quer zur Flugrichtung orientierten Bildzeile gleichzeitig zu erfassen. Durch die Eigenbewegung des Sensorträgers wird bei entsprechender Aufnahmefrequenz ein Geländestreifen zeilenweise abgebildet (oder auch 'gefegt', deshalb engl.: pushbroom scanner).

Vorteile der CCD-Technik sind die fehlenden mechanischen Bewegungen des Systems, die simultane Aufnahme der Reflexionswerte pro Zeile und die veränderbare geometrische Auflösung (über wechselnde Brennweiten der Optik!). Bei SPOT (SPOT-1 1986; SPOT-2 1990, -3 bis -4 ab 1994) befinden sich je zwei identische Sensorsysteme, die offiziell die Bezeichnung Haute Resolution Visible (HRV) tragen und wahlweise im sogenannten XS-Modus (3 Spektralkanäle: blau-grün-rot/IR) oder P-Modus (panchromatisch) aufnehmen. Die geometrische Auflösung liegt im P-Modus bei 10m/Pixel, im XS-Modus bei 20m/Pixel. Zudem kann der Aufnahmewinkel über Fernsteuerung geneigt werden, so dass auch Regionen neben der Bodenspur des Satelliten aufgenommen werden können. Durch Mehrfachbefliegung können so die gleichen Gebiete unter verschiedenen Blickwinkeln aufgenommen und Stereobildpaare erzeugt werden (wichtig für Geländemodelle). Mit drei Spektralkanälen ist SPOT allerdings für eine multispektrale Analysen der Daten nur eingeschränkt tauglich.

Optisch-mechanische Scanner, wie z.B. der LANDSAT TM-Scanner, tasten die Erdoberfläche über ein rotierendes spiegeloptisches System zeilenweise ab. Die ankommende Strahlung wird auf Detektoren focussiert und in digitale Signale umgewandelt. Dabei rotiert der Empfangsspiegel um eine zur Flugbahn parallele Achse und somit wandert das Flächensegment (Pixel) quer zur Flugrichtung über das Gelände. Da sich der Sensorträger zusätzlich in Flugrichtung bewegt, wird ein breiter Geländestreifen zeilenweise hintereinander aufgenommen.

Meistens erfolgt die Aufnahme in unterschiedlichen Bändern (multispektral), wobei die reflektierte Strahlung über ein Prisma in die einzelnen Wellenlängen zerlegt und auf einzelne Kristallsensoren dedektiert wird. LANDSAT TM 5 (Thematic Mapper) verfügt über sieben Kanäle mit geometrischen Auflösungen von 30m/Pixel im reflektiven Bereich (Band 1, 2, 3, 4, 5, 7) und 120m/Pixel im emissiven/thermalen Bereich (Band 6). Der ältere Vorgänger, LANDSAT MSS (Multispectral Scanner) besitzt vier Kanäle und arbeitet seit 1972 nach dem gleichen Prinzip. Der neue Landsat TM-7 hat gegenüber TM-6 eine verbesserte Geometrische Auflösung von 20m/Pixel und einen zusätzlichen panchromatischen, hochauflösenden Kanal (15m/Pixel) -- die Spektralbereiche sind jedoch weitgehend gleichartig geblieben.

Ein großer Vorteil der multispektralen Scanner ist ihre spektrale Bandbreite - Nachteile sind die oft geringe geometrische Auflösung (Satelliten) und die aus der Spiegelbewegung zusätzlich resultierende Bildverzerrungen. Niedrig fliegende Flugzeugscanner (z.B. DEADALUS) erreichen weit höhere spektrale und geometrische Auflösungen; allerdings ist ihr Einsatz technisch recht aufwendig und finanziell kostspielig (bis zu 256 eng definierte Kanäle mit ca. 2m geometrischer Auflösung).

### **Hyperspektrale Spektrometer**

Abbildende Spektrometer, welche multispektrale Daten in sehr engen Spektralbändern des sichtbaren Lichts, des nahen und mittleren Infrarot in einem quasikontinuierlichen Spektrum mit mehr als 15 Kanälen aufzeichnen werden hyperspektral genannt. Die hohe spektrale Auflösung der objektspezifischen spektralen Signaturen in mehr als häufig 30-200 aneinandergrenzenden Kanälen gestattet die Dokumentation eines quasi kontinuierlichen Spektrums für jedes Bildelement. Damit können Objekte der Erdoberfläche differenziert und dementsprechend klassifiziert werden, die charakteristische Absorptions- und Reflexionseigenschaften in sehr schmalen Spektralbändern aufweisen und von den konventionellen operationellen Sensorsystemen der Erdbeobachtung nicht aufgelöst werden können.

### **Radarsysteme**

Wie bereits in erläutert, handelt es sich bei den Radar-Verfahren in der Geofernerkundung um aktive Sensorsysteme im Mikrowellenbereich. Die Aufnahmetechnik unterscheidet sich grundlegend von den oben beschriebenen elektro-optischen Systemen. Dies gilt sowohl für den verwendeten Wellenlängenbereich und die Aufnahmetechnik als auch für die physikalischen Parameter. Als aktives

Verfahren erzeugt der Sensor die zur reflektierende Strahlung selbst; dabei handelt es sich stets um Mikrowellenstrahlung einer bestimmten Frequenz im Bereich zwischen 1 und 100 cm. Die digitale Datenaufnahme erfolgt somit unabhängig von der natürlichen Strahlungsdichte und Wetterlage. Diese Eigenschaften verleihen der Radar-Technik eine Sonderstellung (!) in der Geofernerkundung.

Im Sensorträger wird eine kombinierte Sender/Empfänger-Installation mitgeführt, dessen Antenne schräg nach unten gerichtet ist. Von der physikalischen Antennenlänge sind auch die möglichen Wellenlängen der Strahlung abhängig: je kürzer die Antenne (Apertur), desto stärker muss die Erzeugungsenergie der Strahlung sein bzw. desto geringer ist der Abstrahlwinkel bzw. die räumliche Auflösung. Deshalb werden über geschickte physikalische Konstruktionen und Betriebsprogrammierungen synthetische Antennenlängen mit höherer radiometrischer Auflösung für hohe Flugbahnen erzeugt. Derartige Radarsysteme mit synthetischer Apertur (SAR) finden besonders in der Satellitentechnik Anwendung. Die Sensoren sind so konstruiert, dass sich die ausgestrahlten Mikrowellen in einem sehr schmalen Raumwinkel senkrecht zur Flugrichtung ausbreiten. Zu einem bestimmten Zeitpunkt erreicht die Wellenfront ein bestimmtes Flächensegment. Die auftreffende Mikrowellenstrahlung wird teilweise reflektiert und kehrt zur Antenne zurück wo sie als Signal aufgezeichnet wird. Da sich der Sensorträger in Flugrichtung über das Gelände bewegt, können so seitlich Bildstreifen erfasst und zu Geländeflächen bildhaft zusammengefügt werden. Derartige seitenbestrahlende Radarsysteme werden auch als Seitensicht-Radar oder SLAR (Side-Looking-Airborne-Radar ) bezeichnet.

Die Art und Weise, wie die Erdoberfläche in Radarbildern wiedergegeben wird, hängt von komplexen Zusammenwirken vieler Einzelfaktoren ab:

- Parameter des Aufnahmesystems, wie Wellenlänge und Polarisation der Strahlung, (synthetische) Antennenlänge des Senders, dem Depressionswinkel
- Parameter der Geländeoberfläche, wie Oberflächenrauigkeit, -textur und -form sowie dielektrische Eigenschaften der Materialien

Die Wellenlänge und Frequenz der Mikrowellenstrahlung hängt unmittelbar von der technischen Konstruktion des Systems ab. Weit verbreitet in der Geofernerkundung sind folgende Bänder:

K-Band	W = 0,7 - 1 cm	F = 30 - 40 Ghz
X-Band	W = 2,4 - 4,5 cm	F = 7 - 12 GHz
C-Band	W = 4,5 - 7,5 cm	F = 4 - 7 GHz
L-Band	W = 15 - 30 cm	F = 1 - 2 GHz

Je nach Wellenlänge unterscheiden sich die Wechselwirkungen mit der Erdoberfläche, so dass eine Differenzierung in obige SAR-Bänder sinnvoll ist. Neben der Bandbreite der Radarstrahlung spielt auch die Polarisation eine wichtige Rolle. Die Strahlung kann horizontal (H) oder vertikal (V) polarisiert sein. Bei Sendung und Empfang kann zwischen beiden Phasen hin und her geschaltet werden, so dass insgesamt vier unterschiedliche Modi nach der Wechselwirkung resultieren: VV, VH, HH und HV. Daraus resultiert ein multispolarisiertes Auswertepotential (ähnlich dem multispektralen Ansätzen).

Als weiterer Faktor ist der Depressions- oder auch Bestrahlungswinkel wichtig. Er ist der Winkel zwischen der Horizontebene des Sensorträgers und dem beobachteten Punkt im Gelände; dieser Winkel wirkt sich auf die Bestrahlungsstärke und auf die Geometrie des Bildes aus.

Wesentlicher Faktor bei der Beurteilung von Radarbildern ist die Oberflächenrauigkeit. Generell gilt: je größer die Rauigkeit des Geländes in Bezug zur verwendeten Wellenlänge, desto intensiver das Radarecho! Ist die Rauigkeit im Vergleich zur Wellenlänge gering (z.B. glatte Wasserflächen) wird die Strahlung derart reflektiert, das kein Signal am Empfänger ankommt (es resultieren schwarze Pixel). Liegt die Rauigkeit im Bereich der Wellenlänge, wirkt die Oberfläche als diffuser Reflektor mit gemischtem Radarecho und z.T. direkter Reflexion (graue bis hellgraue Flächen mit hohen Interferenzanteilen).

Weiterhin spielt die Oberflächenform eine große Rolle im Hinblick auf das resultierende Radarecho. Sind Flächen der schräg einfallenden Mikrowellenstrahlung zugewandt werden diese auch stärker bestrahlt (starkes Signal). Im umgekehrten Fall weisen strahlungsabgewandte Flächen ein nur geringes Radarecho auf (im Extremfall tiefe Schlag- bzw. Radarschatten).

Von großem Einfluss auf das Reflexionsvermögen der Materialien sind zudem ihre elektrischen Eigenschaften. Besonders starke Reflexion tritt an metallischen Strukturen auf. Auch die Feuchtigkeit des Materials wirkt sich auf die dielektrische Konstante der Oberflächen aus. Feuchte Böden reflektieren deshalb Radarstrahlung sehr stark. Die Energie dringt so nur sehr gering in den Boden ein. Trockene Böden erlauben eine größere Eindringtiefe und gestatten so in geringem Umfang Aussagen über den tieferen Untergrund.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Wechselwirkung von Radarstrahlung und Materie sehr komplex und bis heute Gegenstand der Forschung ist. Entsprechend schwierig ist auch die problemorientierte quantitative Analyse von Radarbildern, da sie auf überwiegend schwer nachvollziehbaren Zusammenhängen basieren. Oft werden bei ihrer Interpretation nur die geometrischen und morphologisch-strukturellen Aspekte näher betrachtet. Mit dem Aufkommen neuer satellitengetragener Radarsysteme (z.B. ERS-1 und -2, MAGELLAN, SEDISAR) wird man sich in der Geofernerkundung jedoch verstärkt mit Radardaten und ihrer Analyse auseinandersetzen müssen.

### **Wichtige Geofernerkundungssysteme**

Neben den oben prinzipiell beschriebenen Fernerkundungssystemen gib es eine Vielzahl von sehr speziellen Sensoren, deren Funktionalität zwar sehr ähnlich, aber in ihrer radiometrischen und geometrischen Auflösung sowie der genutzten Trägerplattform (Flugzeug, Satellit) unterschiedlich konzipiert sind. An dieser Stelle sollen die momentan wichtigsten satellitengetragenen Geofernerkundungssysteme kurz aufgelistet werden. Die derzeitige Tendenz geht eindeutig in Richtung kleinerer Systeme mit hochauflösenden Sensoren, welche möglichst flexibel einsetzbar sind.

#### **ERS**

European Remote Sensing Satellite (-1 und -2, -1 seit 2000 nicht mehr aktiv!), erster europäischer Radar-Fernerkundungssatellit

#### **IRS (LISS)**

Indian Remote Sensing Satellite, erster indischer, multispektraler Fernerkundungssatellit (siehe auch unten: IRS-P6)!

#### **LANDSAT RBV, MSS (-1, -2, -3) und TM (-4, -5 und -7)**

US-amerikanischer Multispektralsatellit, ERTS/LANDSAT-Satelliten ähnlicher Bauart von 1972 bis heute.

#### **IKONOS**

Hochauflösender PAN/Multispektralsatellit im Betrieb durch GeoEye. (USA)

#### **METEOSAT**

Europäischer Wettersatellit im Verbund mit GOES EAST, GOES WEST, GMS Wettersatelliten

#### **NOAA**

US-amerikanischer Klimasatellit, im Verbund mit den TIROS Wettersatelliten

#### **MOMS**

Europäischer Modularer Optoelektronischer Multispektralscanner

#### **SEASAT**

US-amerikanischer SAR Satellit

#### **COSMOS (KVR/A 1000)**

Russischer Spionagesatellit mit hochauflösender optischer Kamera

#### **SPOT -1 bis -4 (-5)**

Französischer Erderkundungssatellit, seit 1986 bis heute.

Alle SPOT-Satelliten hatten bzw. haben zwei identische Sensoren an Bord, die jeweils in unterschiedlichen Modi betrieben werden können.

**JERS-1**

Japanischer multispektral Satellit mit SAR (1992)

**QUICKBIRD**

Amerikanischer Erderkundungssatellit von 2001 bis heute.

**ASTER**

(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) ist ein Sensor, der auf dem Satelliten Terra seit Dezember 1999 fliegt. Er ist Teil des NASA Earth Observing System (EOS) Earth Remote Sensing Data Analysis Center (ERSDAC). ASTER sammelt Daten zum Zwecke von Karten, Temperaturverteilung, Emissivität, Reflection und Höhenverteilung

**MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)**

Amerikanischer Erderkundungssatellit, von 2001 bis heute, auf Terra-Satelliten fliegend, vgl. o.)

# Bildflugplanung

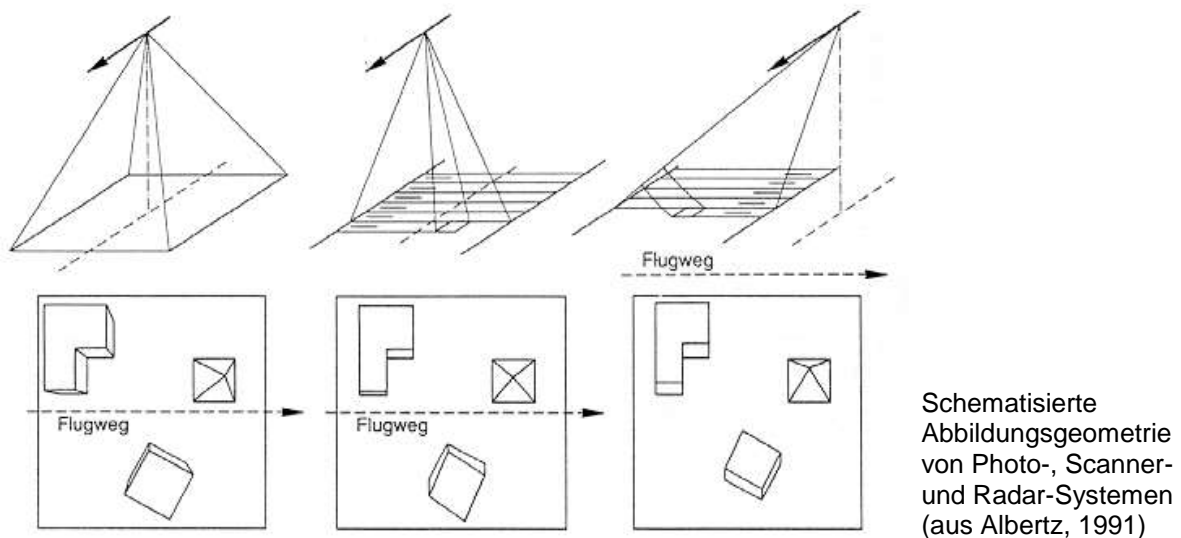
## Geometrie der Bilder

Zwischen den mit Fernerkundungssystemen gewonnen Bilddaten und der Geländeoberfläche bestehen geometrische Beziehungen. Die Photogrammetrie macht sich diese Beziehungen zu Nutze um Messungen innerhalb der aufgenommenen Flächen vorzunehmen und diese so genau wie möglich in Karten zu überführen. Photogrammetrische Anwendungen sind mittlerweile so komplex geworden, dass hier eine eigenständige Disziplin der Vermessungstechnik entstanden ist.

Aber auch thematisch arbeitende Bildauswerter müssen eine angemessene Genauigkeit in ihren Karten erreichen und sehr genaue geometrische Korrekturen ihrer Daten vornehmen. Die Korrektur erfolgt vor der Interpretation, damit die Ergebnisse direkt in ein gültiges Raumbezugssystem (z.B. Gauß-Krüger oder UTM) übertragen werden können.

### Geometrische Eigenschaften von Photos, Scanner- und Radar-Daten

In der Geofernerkundung treten erfahrungsgemäß drei Gruppen von Sensoren mit ihren spezifischen geometrischen Abbildungsgesetzen in den Vordergrund: Photographische Systeme, Scanner-Systeme und Radar-Systeme (SAR-Daten). Bei all diesen Systemen können sich Höhenunterschiede und Projektionsart ganz unterschiedlich auf die Bildgeometrie auswirken.



- Photographische Systeme bilden die Erdoberfläche in Zentralperspektive ab! Höher gelegene Geländepunkte, d.h. Punkte oberhalb einer zu wählenden Bezugshöhe, werden dabei in Senkrechtbildern von der Bildmitte radial nach außen versetzt (und umgekehrt!) wiedergegeben.

- Scanner-Systeme ergeben - ideale Flugbahnen vorausgesetzt - eine Mischprojektion aus paralleler (in Flugrichtung) und zentraler Projektion (senkrecht zur Ebene). Demnach werden höher gelegene Punkte (im Gegensatz zur Photographie) senkrecht zur Flugrichtung nach Außen versetzt.

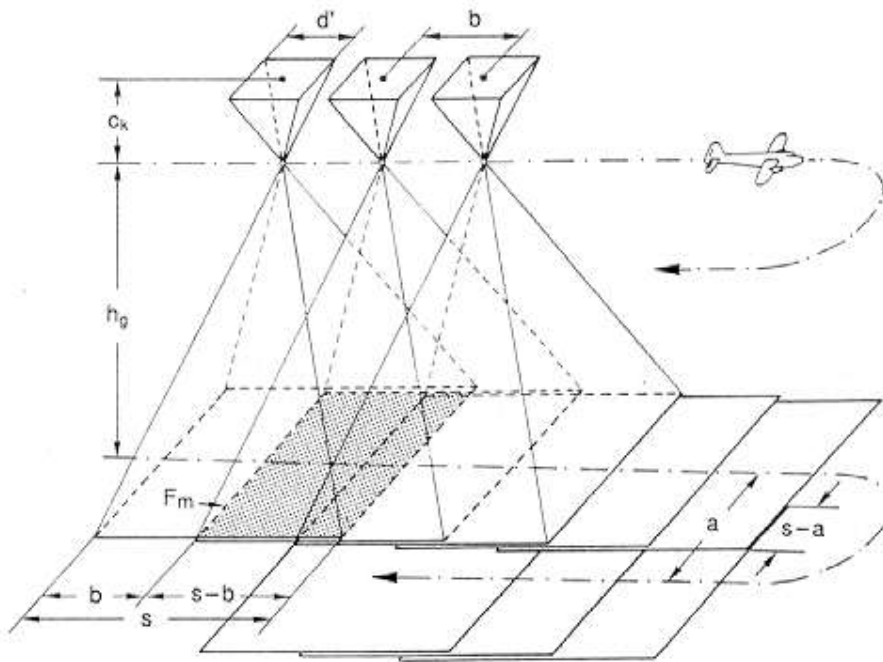
- Radar-Systeme weisen ebenfalls eine gemischte Projektion auf: In der Flugrichtung liegt eine Parallelprojektion vor; senkrecht zur Bildebene eine Schrägentfernungsprojektion in der höher gelegene Geländepunkte, die ja von der ausgesandten Wellenfront zuerst getroffen werden, zum Flugweg hin versetzt erscheinen.

## Photographische Bilder

Die Grundlagen der Luftbildinterpretation können zusammenfassend wie folgt dargestellt werden:

Nach Art der Aufnahmen unterscheidet man bei photographisch gewonnenen Bilddaten (z.T. auch bei Satelliten!) zwei Typen, nämlich die Schrägaufnahme und die Senkrechtaufnahme. Die Schrägaufnahme weist einen deutlichen Winkel zwischen Erdoberfläche und Projektionsebene auf. Sie dient meist allgemeineren Übersichtszwecken und soll hier nicht weiter behandelt werden. Die Senkrechtaufnahme ist hingegen von großer Bedeutung für die Geofernerkundung, da mit ihr systematisch große Areale photographisch zu Kartierzwecken aufgenommen werden. Hier ist besonders die Auswertung von Stereo-Luftbildpaaren sowie die Ableitung von Höhenmodellen zu erwähnen.

Die im Bild wiedergegebene Fläche ist etwa quadratisch begrenzt und der Bildmaßstab für alle Bilder gleicher Flughöhe und Kamerabrennweite identisch. Die Aufnahme erfolgt in festgelegten Flugmustern (Befliegungsplänen) mit Überlappung (ca. 60%), damit kontinuierliche Flugbahnen mit Stereoaufnahmen abgedeckt werden können.



Schematisierte Flugbahn von flugzeuggetragenen Kameras (aus Albertz, 1991)

Die ideale lotrechte Aufnahme ist im Normalfall nicht möglich, da das Flugzeug turbulenten Schwankungen während des Fluges ausgesetzt ist. Dennoch sind die Abweichungen vom Lot sehr gering, so dass man von Senkrechtaufnahmen im weiteren Sinne sprechen kann. Als Bildmaßstab  $M_b$  bezeichnet man das Verhältnis einer Bildstrecke zur entsprechenden Geländestrecke. Die Aufnahmeneigung und die Geländehöhenunterschiede führen genau genommen zu einem uneinheitlichen Bildmaßstab; dieser wird allerdings als abgerundeter Zahlenwert angegeben.

In einer Karte ist das Gelände senkrecht auf eine horizontale Bezugsfläche projiziert (Parallelprojektion!). Das Luftbild ist im Gegensatz dazu eine Zentralprojektion. Dies hat zur Folge, dass Objektpunkte, die über der Bezugsfläche liegen, vom Bildnadirpunkt (Mittelpunkt) radial nach außen versetzt werden; darunter liegende nach innen! Vertikale Objekte (z.B. Bäume) konvergieren deshalb stets zur Bildmitte hin! Dieser Effekt ist umso stärker, je größer der Achsenwinkel vom Nadirpunkt ist (also nach Außen verlegt ist); in der Bildmitte verschwindet er ganz.

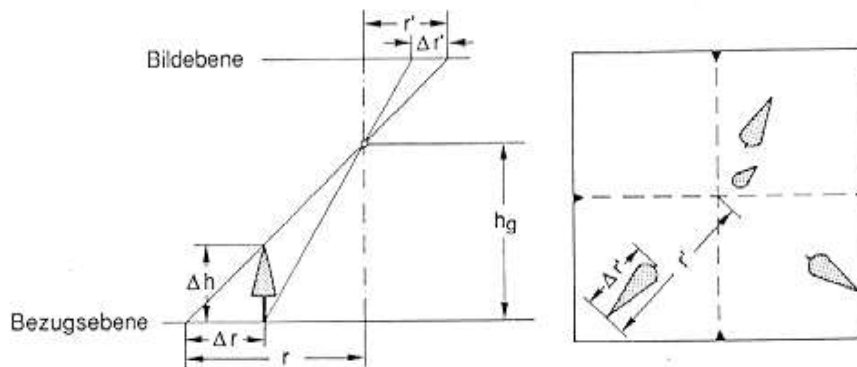


Schematisierte Projektionen des Geländes in Karte und Luftbild (aus Albertz, 1991)

Die Kenntnis dieser Zusammenhänge kann dazu dienen, auf einfache Weise die Höhe der Objekte zu bestimmen. Wenn der Objekthochpunkt und der darunter befindliche Fußpunkt eines Objektes zu

sehen ist, kann man aus der radialen Versetzung der Punkte ( $\Delta r'$ ) die Objekthöhe ( $\Delta h$ ) ableiten:

$$\Delta h = (\Delta r' : r') \cdot hg$$

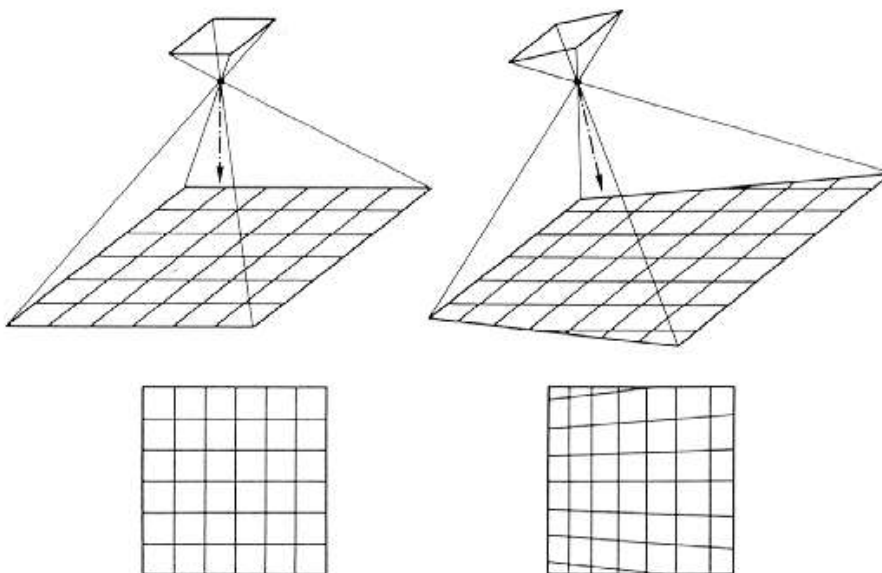


Schematisierte radiale Versetzung durch Höhenunterschiede (aus Albertz, 1991)

Ebenso ist es möglich die Objekthöhe aus der Schattenlänge  $l$  zu ermitteln, wenn der Schlagschatten auf eine horizontale Fläche fällt und die Sonnenhöhe  $a$  (Winkel!) über dem Horizont bekannt ist. Sofern mindestens eine Objekthöhe bekannt ist, genügt auch das Verhältnis der Schattenlängen:

$$\Delta h_2 = (l_2 : l_1) \cdot \Delta h_1$$

Bei genauen Kartierungen müssen auch die internen Verzerrungen korrigiert werden, die aus der Abweichung von der Lotlinie der Senkrechtaufnahme abzuleiten sind. In einem idealen Nadirbild ohne Relief ist der Bildmaßstab überall gleich; bei Abweichungen resultiert eine Verzerrung des Maßstabes innerhalb derselben Aufnahme. Diese ungünstigen geometrischen Verzerrungen werden durch Vergleiche mit topographischen Passpunkten (TP's, Ground Control Points) behoben. Streng genommen bleibt jedoch immer ein Restfehler zurück, da die Topographie des Geländes zu weiteren Projektionsverzerrungen führt. Bei deutlicher Überschreitung einer Fehlertoleranzgrenze müssen dann die deutlich aufwendigeren Methoden der Photogrammetrie Anwendung finden.



Schematisierte Maßstabsverzerrung bei Luftbildern (aus Albertz, 1991)

Photographische Satellitenbilder zeigen analoge geometrische Eigenschaften wie Luftbilder! Allerdings treten die radialen Verzerrungen nicht sofort in Augenschein, da die enorme Flughöhe und die i.d.R. geringere geometrische Auflösung der Daten radiale Verzerrungen unterdrücken. Bei großflächigen Aufnahmen ist die Erdkrümmung zusätzlich zu berücksichtigen.

### Scanner-Bilder

Im Gegensatz zur photographischen Aufnahme entsteht das Scanner-Bild im engeren Sinne nicht vollständig zeitsynchron, also innerhalb eines Augenblicks, sondern fortlaufend, Zeile für Zeile. Für die

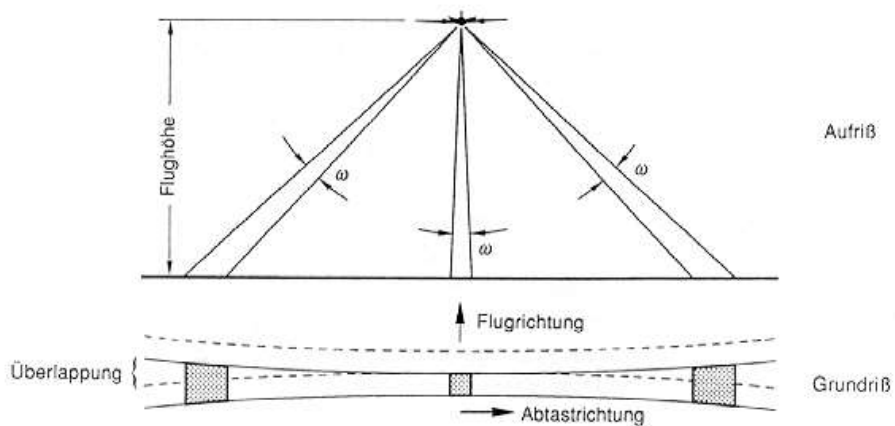
Geometrie der entstehenden Aufnahme ist dies von entscheidender Bedeutung, da jede Bildzeile streng genommen von einem anderen Ort aus und mit einer etwas anderen räumlichen Lage des Fernerkundungssystems aufgenommen wurde (Perspektive!). Es resultieren Bilder mit wesentlich komplexeren geometrischen Eigenschaften als dies bei der photographischen Luftbildgenerierung der Fall wäre.

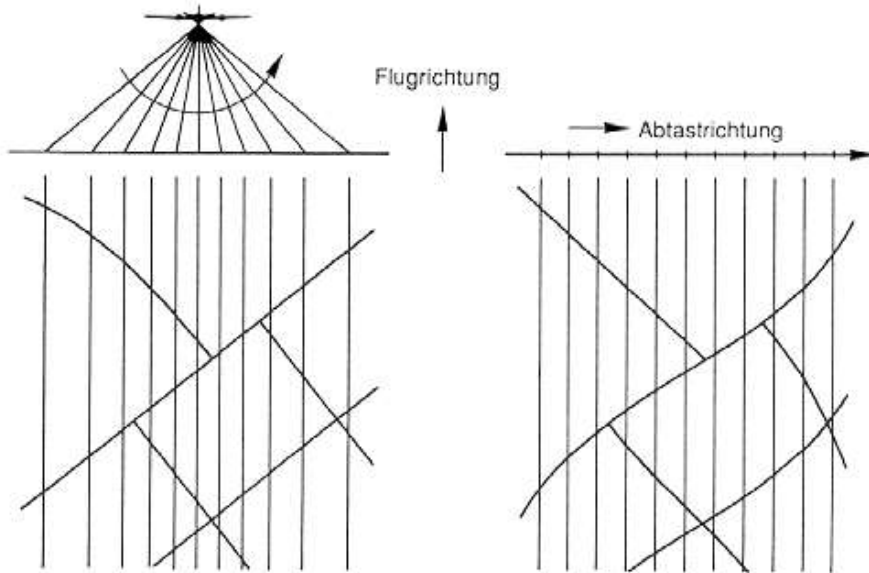
Grundsätzlich wirken sich drei Faktoren auf die Geometrie der Scanner-Daten aus:

- Aufnahmetechnik (z.B. mechano-optisch oder opto-elektronisch)
- Sensorbewegung (z.B. Art des Orbits bzw. der Fluglage und- bahn)
- Oberflächenform des Geländes (z.B. Flachland oder Gebirge)

Durch die Aufnahmetechnik führen Optisch-mechanische Scanner zu einer typischen Verzerrung des IFOV (Instantaneous Field of View = beobachtetes Flächenelement) hinsichtlich seiner Größe vom Zentrum der Aufnahme zu den Rändern. Diese entsteht dadurch, dass der Abstand des Scanners zur Oberfläche im Zentrum der Aufnahme am geringsten ist und dieser zum Rand hin zunimmt. Zugleich dreht sich der Scan-Spiegel mit gleichbleibender Winkelgeschwindigkeit, so dass die Segmente in gleichen Winkel-Inkrementen aufgenommen werden. Bei ihrer Darstellung auf der Basis gleicher Streckenabschnitte kommt es also zu einer Stauchung/Dehnung oder auch zu Panoramaeffekten (geradlinige Strecken wirken am Rande der Aufnahme sigmoidal verkrümmt).

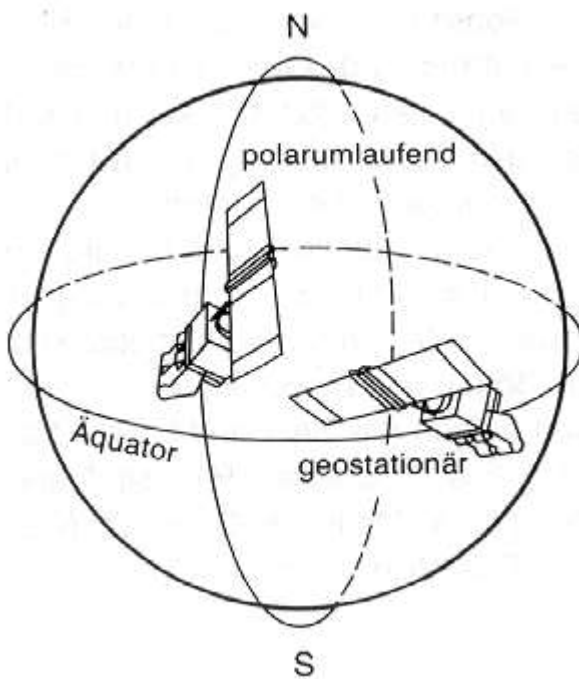
Derartige Panorama-Verzerrungen lassen sich mit Hilfe moderner Bildverarbeitungsschritte korrigieren und werden z.T. bereits in der Vorverarbeitung der Daten (preprocessing) durch den Datenvertrieb reduziert. Optoelektronische Scanner verursachen keine Panorama-Verzerrungen (da keine Dreh-Scan-Bewegung: CCD's mit Linsensystem!).





Typische sigmuidale Panorama-Verzerrung bei Scannerdaten mit Stauchungen und Kompensationseffekten (aus Albertz, 1991)

Hinsichtlich der Flugbahn machen sich alle zeilenweise aufnehmenden Sensoren die Eigenbewegung der Sensorplattform zu Nutze. Satelliten bewegen sich relativ ruhig und stetig in ihrem Orbit, wobei man zwischen polnahen (polaren) und geostationären Umlaufbahnen unterscheidet. Es resultieren gleichmäßige Abtastfolgen der Erdoberfläche mit gleichbleibender Verzerrung. Flugzeugscanner sind hingegen starken atmosphärischen Turbulenzen ausgesetzt; es kommt daher zu ungewollten komplexen 'Roll-Verzerrungen', welche nur schwer zu korrigieren sind. Deshalb wird angestrebt, die Flugzeuggetragenen Sensoren auf möglichst computergesteuerte, lagestabile Plattformen zu montieren.



Typische Satelliten-Orbits (aus Kappas, 1994)



Roll-Verzerrungen bei turbulent gestörter Flugbahn eines Flugzeugscanners (aus Albertz, 1991)

Die Oberflächenform des Geländes verursacht in geometrischer Hinsicht bei Flugzeugscannern zusätzliche Komplikationen (wie bei allen hochauflösenden Fernerkundungs-Systemen). Die mathematisch strenge Korrektur ist nur nach Einbeziehung eines dreidimensionalen Geländemodells (DGM) möglich. Diese Voraussetzungen sind nur in Einzelfällen gegeben, so dass auf geländebedingte Korrekturen oft verzichtet werden muss und nur Näherungslösungen angestrebt werden können. Bei Satelliten bewirken die Oberflächenformen nur in geringem Maße Verzerrungen, da aufgrund der großen Flughöhe und der eher geringeren geometrischen Auflösung keine extremen Lageverzerrungen von Objekten auftreten.

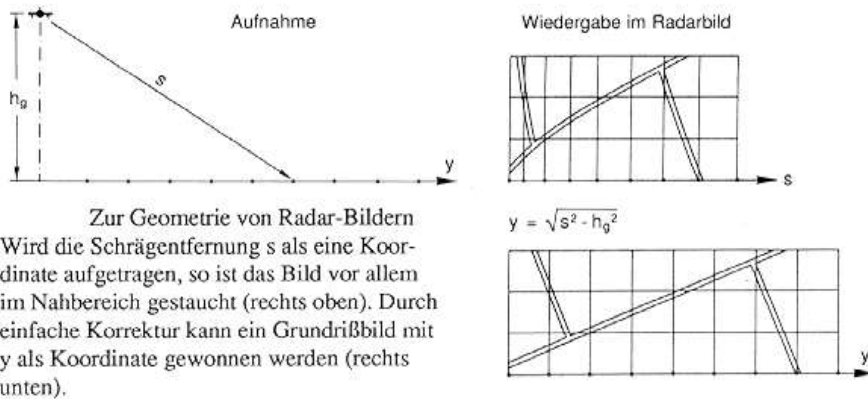
Achtung: Aktuelle Fernerkundungs-Systeme, z.B. Ikonos oder Quickbird, Cartosat) bieten bereits geometrische Auflösungen von deutlich unterhalb 1m! Eine DGM-gestützte Korrektur dieser Daten wird daher immer wichtiger!.

Meist können die von den Vertriebsorganisationen (z.B. ESA) angebotenen systemkorrigierten Daten direkt ausgewertet werden. Jede genauere Kartierung erfordert jedoch immer eine Geokodierung der Daten auf ein geodätisches Bezugssystem (meist topographische Karten). Durch eine solche geometrische Transformation der Bilddaten über digitale Verarbeitungsschritte wird zugleich die kartographische Abbildung der gekrümmten Erdoberfläche in die gewählte Kartenprojektion vollzogen (z.B. UTM, Gauß-Krüger etc.). Geokodierungen müssen für alle auszuwertenden Fernerkundungsdaten durchgeführt werden, die in ein definiertes Kartensystem überführt werden sollen.

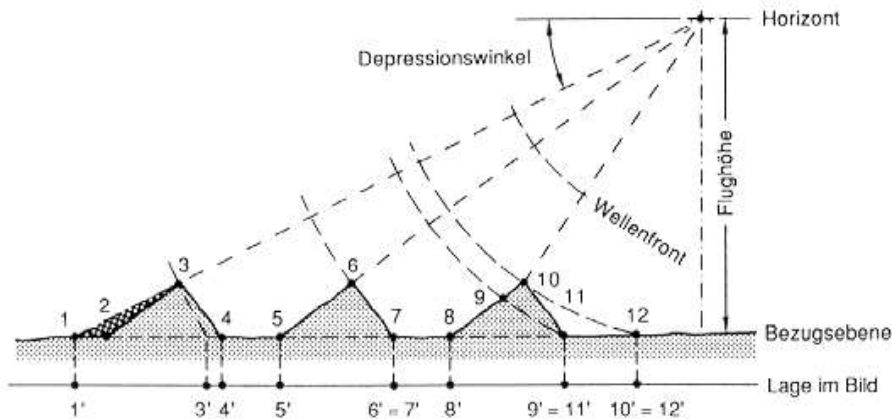
### **Radar-Bilder**

Die Bildaufnahme mit Radarsystemen hat in ihrer grundlegenden Form Ähnlichkeit mit der Datengewinnung von Scannern. Die Bilddaten werden fortlaufend quer zur Flugrichtung aufgezeichnet. In Flugrichtung entspricht dies einer Parallelprojektion. In Zeilenrichtung ergibt sich jedoch ein ganz anderes Bild: Lage und geometrische Verzerrung der Flächenelemente ergibt sich vielmehr aus der Laufzeit der Wellenfronten, ihrem Echo und den abgeleiteten Schrägentfernungen der Objekte. Für eine ebene Fläche werden die Reflexionssignale entsprechend ihrer Laufzeit (bzw. Schrägentfernung) in Bilddaten umgesetzt, mit der Folge einer zeitbedingten geometrischen

Lageverzerrung. Eine nahe gelegene Geländestrecke  $\Delta Y$  wird von der Wellenfront schneller durchlaufen als eine weiter entfernt - also wird sie im Schrägentfernungsbild verkürzt wiedergegeben und umgekehrt. Diese Verzerrung lässt sich rechnerisch (digital) leicht beheben. Komplizierter wird es, wenn das Gelände eine ausgeprägte Morphologie besitzt.



Schematisierte Geometrie von Radarbildern einer ebenen Fläche (aus Albertz, 1991)



Auswirkungen des Geländereiefs auf Radarbilder (aus Albertz, 1991)

Zusätzliche Erläuterung der obigen Abbildung: Der weitest entfernte Berg wird von der Wellenfront zuerst am Fuße des Berghanges und erst danach am Gipfel getroffen. Die reale Strecke Bergfuß/Berggipfel wird in der Bildbezugsebene um das Projektionsverhältnis von Punkt 4/3 verkürzt dargestellt. Die dem System abgewandte Seite des Berges wird überhaupt nicht wiedergegeben (Radarschatten). Werden Fuß- und Gipfelpunkt gleichzeitig erreicht, kommt es zu einem weiteren Schrumpfen der Entfernungen (sog. Foreshortening); wird der Gipfel vor dem Fußpunkt durch die Wellenfront erreicht, kommt es zu Überlagerungen der Bildpunkte (Layover).

Grundsätzlich werden Geländepunkte, die in einer gemeinsamen Bezugsebene liegen grundrissgetreu abgebildet. Höher gelegene Geländepunkte werden zum Radarsystem hin versetzt dargestellt. Ist der Depressionswinkel größer als die Hangneigung kommt es zu Überlagerungen der Empfangssignale.

Allgemein gilt, dass die Entzerrung von Radarbildern keine triviale Aufgabe ist und nur durch aufwendigste Verfahren mit einem Höchstmaß an Vorkenntnissen auf der System- und Geländeseite gelöst werden kann! Ein DGM ist immer zwingend erforderlich.

# Auswerteverfahren

## Photogrammetrischer Ansatz

### Photogrammetrie

Sie ist eine eigenständige Methodik der Geofernerkundung und nutzt die mathematisch-geometrischen Information von Photographien (griechisch: Photo - grammetrie = Bild-Messung) zur genauen Erfassung der Topographie und quantifizierbaren Topologien. Wenn hochauflösende Fernerkundungsdaten, vor allem Luftbilder, verfügbar sind oder erstellt werden können, besitzen photogrammetrische Verfahren ein hohes Potential, an der Erdoberfläche sichtbare Erscheinungen zu interpretieren und ihre absolute Geometrie zu bestimmen. Sensoren der Photogrammetrie sind analoge und digitale photographische Systeme aber auch Scanner.

Die Leistungsmerkmale der Photogrammetrie sind:

- berührungslos (remote sensing)
- flexibler Aufnahmezeitpunkt
- Speicherung aller für den Sensor "sichtbaren" Oberflächeninformation bis hin zum Auflösungsvermögen des Sensors
- sehr effektive und geometrisch stabile Speicherung
- Information jederzeit extrahierbar und vielfältig analysierbar
- flächenhafte Information und mathematische Analyse.

Die Nachteile der Photogrammetrie sind:

- nur Oberflächendaten (Tiefeninformation zusammen mit z.B. Geophysik und Modellen)
- keine Wolkendurchdringung
- Probleme durch Beleuchtung, Schatten, fehlende Kontraste
- Verzerrungen (Zentralperspektive)
- hohe zeitliche Auflösung bei Luftbildern nur sehr aufwendig möglich
- hoher Bildflug- und Auswerteaufwand

Bei digitalen Luftbildkamern kommen zusätzlich die aufwendige Kalibrierung der Kammer, die notwendigen großen Speicherkapazitäten an Bord der Sensorplattform (Flugzeug) und des 'back up' (Datensicherung) dazu.

Für die Geowissenschaften ist besonders die Aerophotogrammetrie wichtig. In ihr werden Luftbilder analysiert (z.B. bewegter Sensor, Bildflug). Die Aufnahme kann genähert als Senkrechtaufnahme gelten. Ihr gegenüber steht die terrestrische Photogrammetrie. Sie analysiert terrestrische Bilder unter gleichbleibenden Aufnahmebedingungen (z.B. Orientierungsparameter teilweise direkt messbar), aber die Aufnahmegeometrie ist in der Regel weit von der "idealen" Senkrechtaufnahme entfernt!

### Mathematische Grundlagen

Für die Senkrechtaufnahme gilt (a):

$$M_b = \frac{1}{m_b} = \frac{c}{h_G}$$

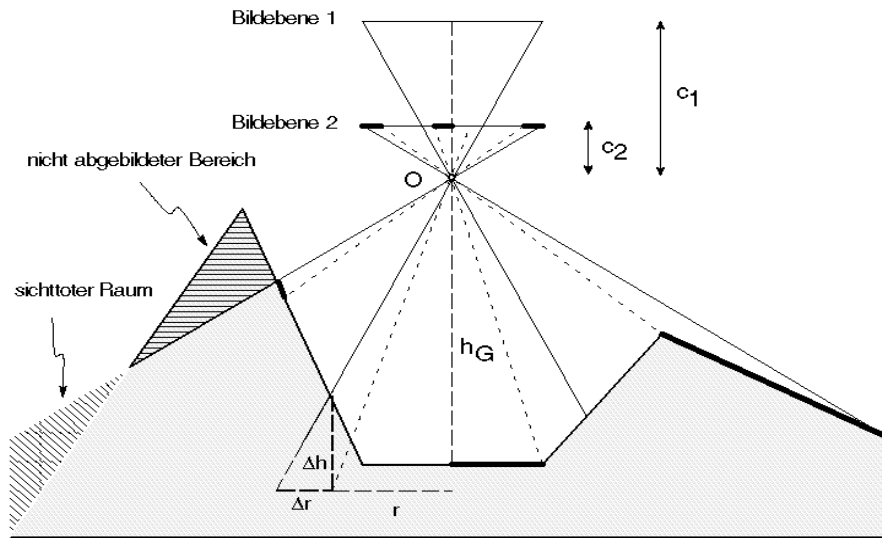
Mb: Bildmaßstab

mb: Massstabszahl

c: Kammerkonstante (kalibrierte Brennweite)

hG: Flughöhe über Grund

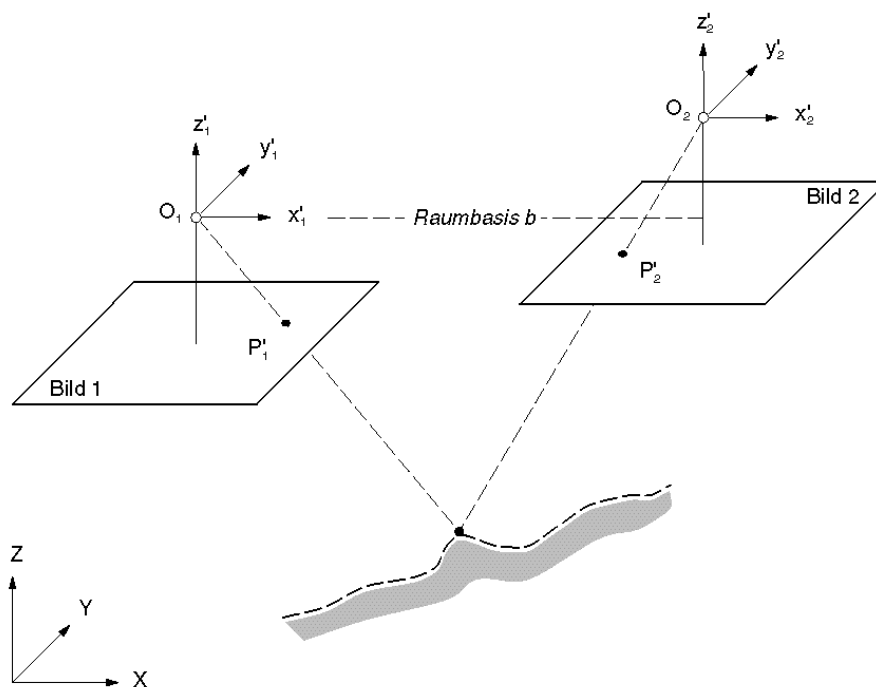
Gleichung (a) gilt streng nur bei horizontalem, ebenem Gelände. Höhenunterschiede im Gelände verändern die Flughöhe über Grund und damit den Maßstab im entsprechenden Bildpunkt. Daher wird besonders im bewegten Gelände ein Maßstabsbereich (z.B. 1: 21.000-1: 25.000) oder ein mittlerer Maßstab (bezogen auf die mittlere Geländehöhe oder den Geländeausschnitt von besonderem Interesse) angegeben.



Senkrechtaufnahme. Abbildungseigenschaften der Zentralprojektion. Einfluss der Topographie und entsprechende Wahl der Bildflugparameter (Uni-Zürich, 2003).

### Der Bildverband

Bei Reihenbefliegungen und Überlappung von 60% ist auf mehreren Bildern derselbe Geländepunkt abgebildet (gemeinsame Tie-Points in zwei Bildern unter Paralaxenbildung: Stereoeindruck!). Durch das Projektionszentrum O und einen Bildpunkt wird eine Raumgerade aufgespannt. Werden in mehreren Bildern identische Bildpunkte gewählt bzw. deren Bildkoordinaten gemessen, kann ein unbekannter Geländepunkt bei bekannter Orientierung der Bilder durch 3-dimensionalen Geradenschnitt bestimmt werden. Die beiden Projektionszentren und der Bildpunkt, bzw. die beiden "Kernstrahlen" spannen eine "Kernebene" auf (c).



Geometrie in einem photogrammetrischen Stereomodell. Punktbestimmung durch Geradenschnitt (Uni-Zürich, 2003).

## Die Bildorientierung

Die Bildorientierung umfasst alle Parameter die nötig sind um den Bezug zwischen dem Gelände/Objekt und seiner Abbildung herzustellen. Dies sind insbesondere

- Parameter der inneren Orientierung:

Lage des Bildhauptpunktes bezüglich des Projektionszentrums, d.h. unter anderem Kammerkonstante  $c$  (vgl. Gleichung (b)). Definition bezüglich der Rahmenmarken -> Rahmenmarken legen das Bildkoordinatensystem fest. Ein Messbild enthält mindestens vier Rahmenmarken, an jeder Seite des Bildes bzw. in den Ecken je eine. Der Ursprung der Bildkoordinaten ist in Bezug auf den Schnitt der Verbindungsgeraden der Rahmenmarken kalibriert. Die Rahmenmarken werden bei jeder Aufnahme auf das Messbild projiziert. Die Lage der Rahmenmarken ist kalibriert (Kalibrierungsprotokoll). Durch kalibrierte Rahmenmarken kann außerdem ein möglicher Filmverzug festgestellt und berücksichtigt werden.

- Parameter der äußeren Orientierung:

räumliche Drehmatrix (3 unbekannte Drehwinkel)

Koordinaten des Projektionszentrums im System der Geländekoordinaten (3 unbekannte Translationen)

Maßstab

- Bestimmung durch Passpunkte, deren Geländekoordinaten bekannt sind. Durch Verwendung mehrerer Passpunkte und Aufstellen eines entsprechenden Gleichungssystems aus je einer Gleichung pro Passpunkt können die Parameter der äußeren Orientierung bestimmt werden.

- Im Bildverband kann die äußere Orientierung in relative Orientierung (Orientierung der Bilder zueinander, aber ohne Geländebezug) und absolute Orientierung (Geländebezug des Bildverbandes) unterteilt werden.

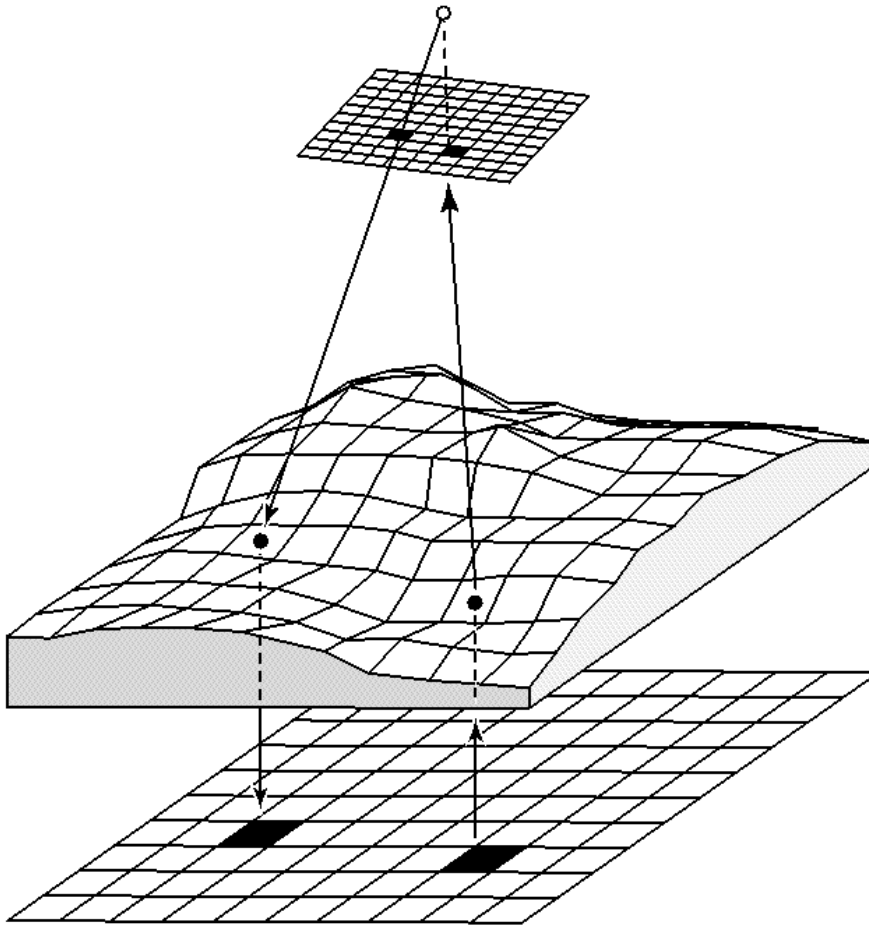
Das Ein-, Zwei- und Mehrbildverfahren

## Einbildverfahren

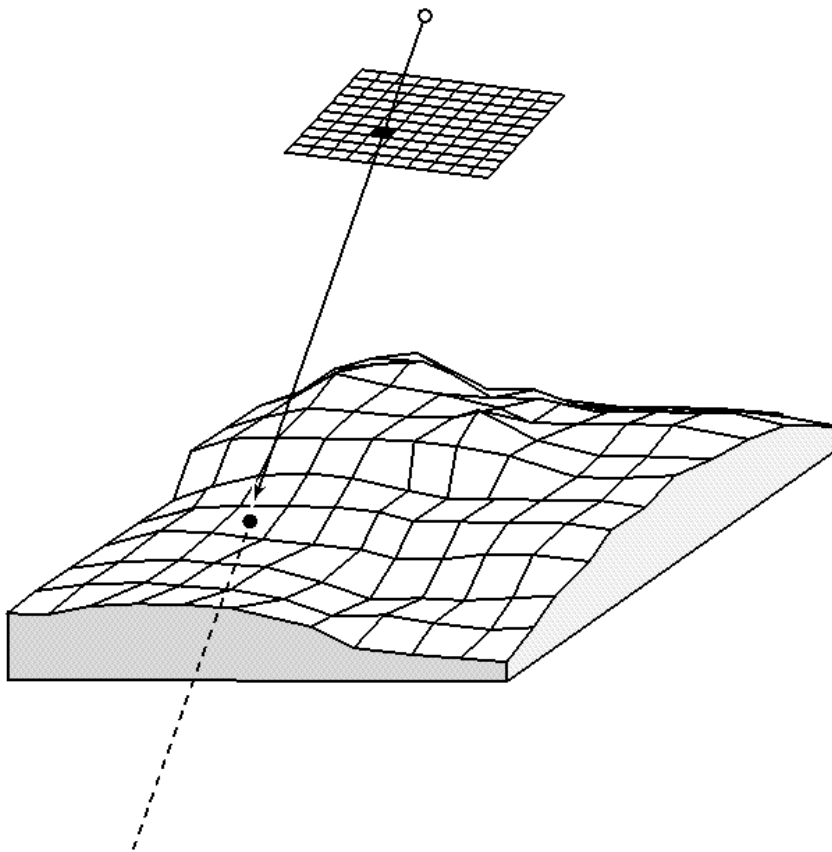
- Orthoprojektion (OP): Bei bekannter Geländehöhe (z.B. digitales Höhenmodell DHM) und bekannter Bildorientierung können für jeden Bildpixel die Lagekoordinaten im Geländesystem berechnet werden. Damit kann das Bild in eine definierte Projektion transformiert werden (zumeist Orthogonalprojektion, aber z.B. auch Perspektiven). Es erfolgt eine flächenhafte (bildweise) Bildverarbeitung.

Probleme: Durch Verdeckung im Originalbild kann es zu fehlender Bildinformation kommen. Als Folge werden Lücken einfach 'aufgefüllt'. Höhenfehler im zugrundeliegenden DHM führen zu Lagefehlern im OP. Anwendung: Aufdeckung von DHM-Fehlern durch Vergleich zweier OP, die aus verschiedenen Bildern, aber demselben DHM erstellt wurden, denn DHM-Fehler führen zu unterschiedlichen Lagefehlern in beiden OP!

Im Orthophoto sind dann direkt Messungen (xyz) möglich. Eine Überlagerung ist mit anderer, vor allem vektorieller Information möglich. Zugleich Erhaltung des hohen Informationsgehaltes eines Bildes. Die Integration des OP ist als Datenebene in ein GIS nun erst möglich! Digitalisierung am Bildschirm direkt in Geländekoordinaten (orthogonaler Raumbezug!).



Orthoprojektion in zwei Varianten: Punkt A (links) Wählen eines Bildpixels, Berechnung der Lagekoordinaten im Geländesystem mit Hilfe der Höhe des Punktes (interpoliert aus DHM, entspricht Monoplotting), Abbildung des Pixels in Orthogonal-projektion. Punkt B (rechts) Wahl eines (noch leeren) Pixels im Orthophoto (Lagekoordinaten im Geländesystem), Interpolation der entsprechenden Geländehöhe aus DHM, Berechnung der zugehörigen Bildkoordinaten, Grauwert- (bzw. Farb-) Interpolation im Bild und Abbildung dieser Werte im Orthophoto (Uni-Zürich, 2003).



Monoplotting. Wahl eines Bildpunktes und Berechnung der 3D-Koordinaten im Geländesystem durch Geradenschnitt mit dem DHM (Uni-Zürich, 2003).

- Monoplotting: Bei bekannter Geländehöhe (DHM) und bekannter Bildorientierung können aus den Bildkoordinaten eines Punktes seine 3D-Koordinaten im Geländesystem berechnet werden.  
Punktweise Bildauswertung.

### **Zweibild- (Stereo-) verfahren**

- Punktbestimmung: Bestimmung der 3D-Geländekoordinaten von Geländepunkten durch Messung der Bildkoordinaten desselben Punktes (identisch, korrespondierend) in beiden Bildern. Diese Messung kann theoretisch sequentiell oder gleichzeitig (simultan) in beiden Bildern erfolgen. In der Praxis geschieht die Messung in der Regel simultan unter Ausnutzung des Stereoeindrucks. Weiter wird in entsprechenden Auswertegeräten berücksichtigt, dass der gesuchte Punkt und die beiden Projektionszentren eine Ebene aufspannen (Kernebene). Diese geometrische Zusatzbedingung reduziert bei der Auswertung die Freiheitsgrade bei der Suche der korrespondierenden Punkte. Bei Messung von Einzelpunkten werden die Koordinaten punktweise abgespeichert. Durch Abfahren einer Linie (z.B. Grundrisslinie, Höhenlinie, Höhenprofile) und kontinuierliche (inkrementelle) Aufzeichnung der Koordinaten kann (quasi) linienweise ausgewertet werden.

- Grundriss- / Lageauswertung: Bestimmung der ebenen Geländekoordinaten (2D, X und Y) von Punkten und Linien, von denen nur deren Lage interessiert (Seeränder, Wege/Strassen/Häuser für Lagekartierungen, Umrisse etc.). Genauigkeit in der Praxis mit hochpräzisen Auswertegeräten bis ca. 10-40 µm.

**Vorsicht:** Definitionsunsicherheit im Gelände!

- Höhenauswertung: Bestimmung von 3D-Geländekoordinaten von Einzelpunkten, Linien, Höhenlinien, Höhenprofilen, Punktrastern, Bruchkanten und anderen (z.B. morphologisch bedeutsamen) Punkten und Linien -> z.B. Erstellung eines DTM! Genauigkeit bis zu ca. 0.02% der Flughöhe über Grund. Unter Umständen sind die Lagekoordinaten der zu bestimmenden Punkte bereits definiert, und dann nur noch jeweils die Höhen zu messen (z.B. regelmäßiges Raster-DTM, Höhenprofil).

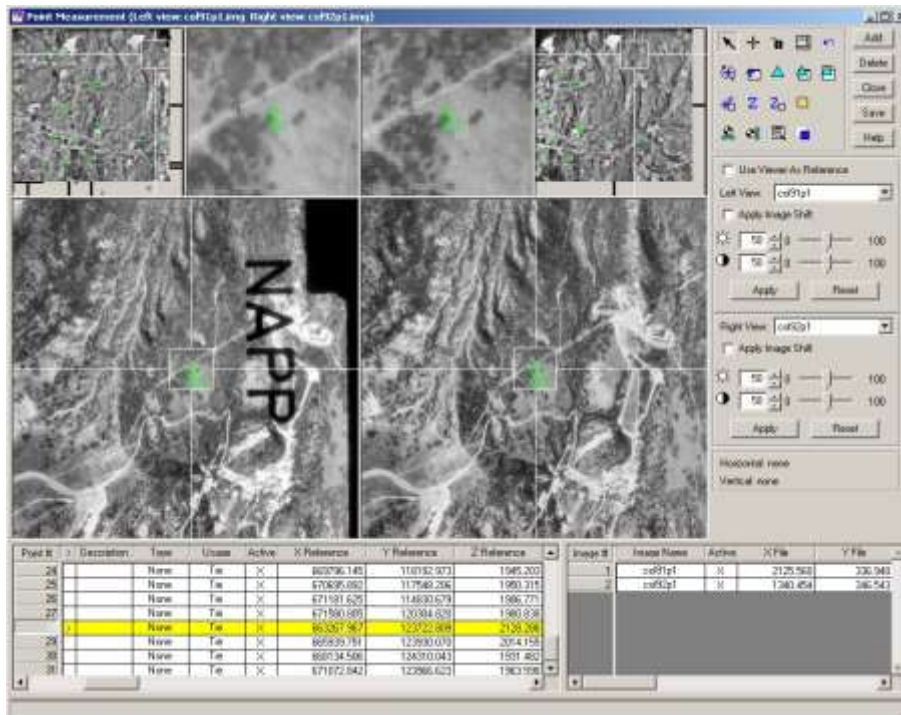
- Wiederholung obiger Auswertungen: Multitemporale Auswertungen. Veränderungen im Grundriss (z.B. Infrastruktur, Flüsse, Waldbrände, Lava, Gletscher, Vegetation etc.) und in der Höhe (z.B. Massenverschiebungen).

### **Mehrbildverfahren**

Verknüpfung eines Bildverbandes über identische Bildpunkte -> gemeinsame Orientierung.

Aerotriangulation: Keine Orientierungsübertragung bekannter Geländepasspunkte für jedes Einzelbild, sondern (automatisiert) über den ganzen Bildblock verteilt. Bestimmung der Orientierungsparameter, der Pass- und anderer Punkte im Zuge einer gemeinsamen Ausgleichung (Bündelblockausgleichung).

Punktbestimmung einzelner Punkte nicht nur aus zwei, sondern mit mehreren Bildern -> Schnitt von mehr als zwei Geraden = überbestimmter Geradenschnitt. Nur rein rechnerisch möglich (digitale Photogrammetrie), da Betrachter nur in maximal zwei Bildern simultan messen kann.



Beispiel einer Punktmessung im Mehrbildverfahren unter ERDAS

## Auswertegeräte

### Analoge Auswertegeräte

Analoge Datengewinnung und -ausgabe mittels "mechanischer Rechner" ist allg. veraltet aber natürlich möglich. Es kommt zu einer mechanische Wiederherstellung der Aufnahmegeometrie z.B. durch Drehung der Bildplatten, auf denen die Luftbilder eingelegt sind um mehrere Freiheitsgrade/Raumachsen. Massstabseinstellung z.B. durch Linealsysteme. Die graphische Aufzeichnung der Messungen erfolgt über Hebel auf auf einem Zeichentisch.

### Analytische Auswertegeräte - Analytische Photogrammetrie

Prinzip: Analoge, aber computergestützte Messung von Bildkoordinaten bzw. Anfahren von festgelegten Bildkoordinaten. Alle anderen Schritte erfolgen durch Berechnungen in den Gleichungen b) und c).

Analytische Plotter: Computergestützte analoge Datengewinnung (Bilder physisch vorhanden -> mechanische Einstellung von Bildkoordinaten -> digitaler Abgriff und Weiterverarbeitung der Bildkoordinaten). Computergestützte Berechnung und Speicherung der Orientierungsparameter, computergestützte (rechnerische) Wiederherstellung der Aufnahmegeometrie, automatisches Anfahren von Punkten mit bekannten Geländekoordinaten, digitale Speicherung und Verarbeitung von Messergebnissen (Koordinaten-Tripel = Vektordaten = Vollpasspunkt!)



Beispiel eines älteren analytischen Plotter (P3 Zeiss)

### **Digitale Photogrammetrische Systeme - Digitale Photogrammetrie**

Die digitalen photogrammetrischen Verfahren reichen von der Datenaufnahme (meist noch Scannen analoger Bilder, aber zunehmend direkte digitale Bildaufnahme, CCD-Kameras) bis zur Verarbeitung von Vektor- und Rasterdaten. Digitale Photogrammetrie mit Monosystemen (normale, leistungsfähige Hardware, aber spezielle Software) ist auch möglich. Z.B. digitale Orthoprojektion oder Monoplotting. Bei Stereosystemen spielt vor allem die Stereobetrachtung am Bildschirm (nicht immer nötig!) eine große Rolle. Hier werden den Augen getrennte Bilder zugeführt. Dies erfolgt durch Stereoskope, Anaglyphen (Farbtrennung), polarisiertes Licht oder Shutter-Brillen. (Neuste Entwicklung: autostereoskopisches LC Display = paralleles Licht). Mittels des Stereoeffektes in Ortholuftbildpaaren können auch 3D-Formen (Features) extrahiert werden, so z.B. Gebäude, Landschaftselemente oder Reliefformen.



Digitale photogrammetrische Station mit Scanner und Stereobetrachtung durch Linsensystem (Stereoskop). Weitere Gerätebeispiele: Leica, Zeiss

## Digitale Geländemodelle (DGM)

### DGM's und Fernerkundungs-Daten

Die zahlenmäßige Beschreibung der dreidimensionalen Oberflächenform eines Geländes in alphanumerischer Form durch die Raumkoordinaten  $x$ ,  $y$ ,  $z$  einer ausreichenden Menge von Punkten der Objektoberfläche wird als digitales Geländemodell (DGM, oder DTM = Digital Terrain Model bzw. DEM = Digital Elevation Model oder auch DHM = Digitales Höhenmodell) bezeichnet. Als Bezugssystem dient dabei ein Geländekoordinatensystem, i.d.R. das Landeskoordinatensystem. (Hildebrandt, 1996). Ist man stärker an der eigentlichen Oberfläche (z.B. Vegetationshöhe) interessiert, spricht man von einem digitalen Oberflächenmodell (DOM).

Die Generierung digitaler Geländemodelle (sei es nun aus stereoskopischen Luft- bzw. Satellitendaten, digitaler (Laser-)Altimetrie oder aus bereits bestehenden topographischen Karten) hat für die digitale Auswertung von Fernerkundungs-Daten zunehmend an Bedeutung gewonnen. Wo zunächst nur der Wunsch nach einer möglichst naturgetreuen Abbildung der Landschaft (virtuelle Geländeformen) stand, finden sich heute hohe Ansprüche an die Genauigkeit des Modells selbst, da aus ihm wichtige geowissenschaftliche Informationen abgeleitet werden können, die für viele Aufgabenstellungen eine Planungsrelevanz besitzen (z.B. Hangneigung und -exposition, Erosionsgefährdung, Entwässerungssysteme, Einzugsgebiete etc.). Insbesondere lassen sich durch die Verknüpfung von DGM, Fernerkundungs-Daten und aus ihnen abgeleitete Klassifizierungen Aussagen über den geomorphologischen Hintergrund einer Flächennutzungsart oder bestimmter physiogeographischer Gegebenheiten treffen.

Prinzipiell können digitale DGM's auf unterschiedliche Art und Weise erzeugt werden. Die häufigsten Methoden sind:

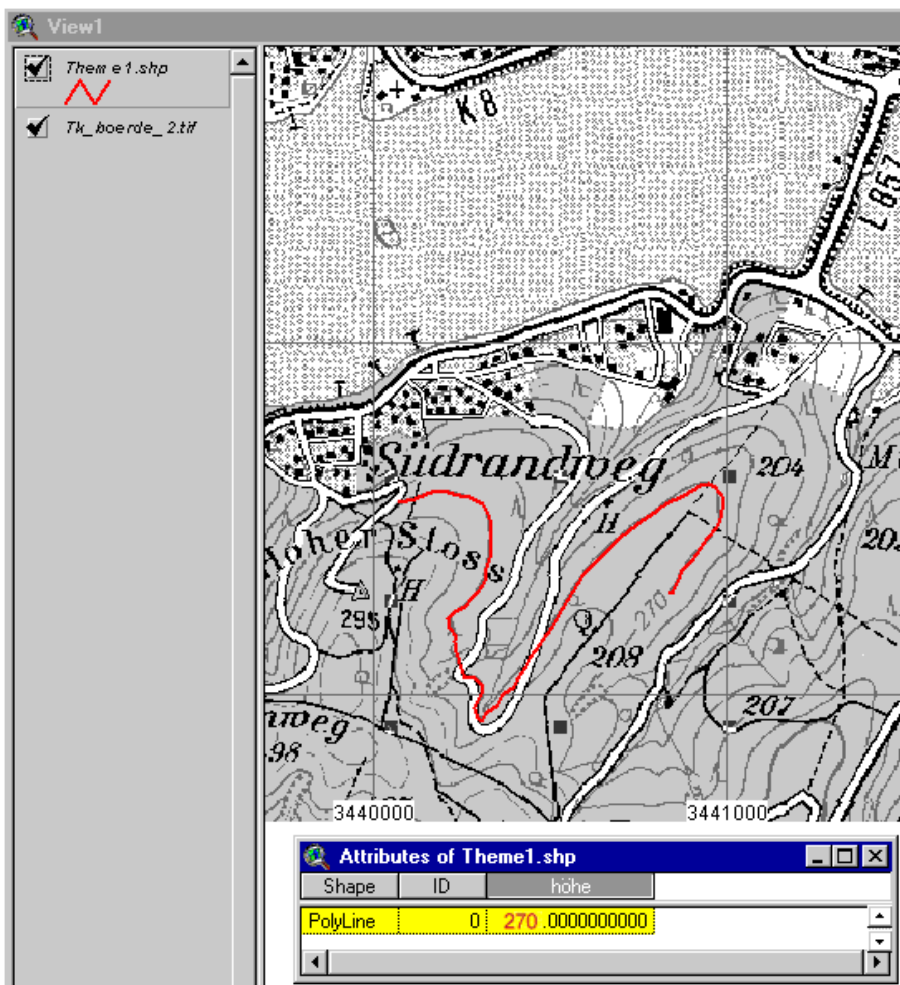
- Digitalisierung von Höhenlinien aus einer bestehenden topographischen Karte
- Digitale Auswertung eines stereoskopischen Bildpaares (Luft- oder Satellitenbild)

- Radar- oder Laseraltimetrie (Laserscanning)

Die ersten beiden Methoden entstammen i.d.R. der Stereophotogrammetrie und Luftbildmessung, bzw. einer terrestrischen Messtischaufnahme. Die Stereoauswertung der Luftbilder ist recht aufwendig, erbringt aber im Luftbildmaßstab hinreichend genaue Ergebnisse. Aus stereoskopischen Satellitenaufnahmen (z.B. SPOT, ASTER oder JERS) lassen sich zwar auch DGM's ableiten, sind jedoch üblicherweise von nur unzureichender Genauigkeit! Eine Digitalisierung von Höhenlinien auf der Basis bereits bestehender topographischer Karten ist (je nach Maßstab!) recht genau, obwohl die Mühsal des manuellen Digitalisierens nicht unterschätzt werden darf. Inzwischen werden jedoch fast ausschließlich direkte Höhenmessungen mittels Laserscanning durchgeführt.

### DGM aus Kartenmaterial

Die methodisch einfachste Vorgehensweise zur Generierung eines DGM's ist die Digitalisierung einer analogen oder bereits digital vorliegenden topographischen Kartenvorlage mit Höheninformation (Höhenlinien abfahren!). Durch das Digitalisieren der Höhenlinien werden Vektoren erzeugt, welche als Attributwerte die Höhenlage einer jeden Isolinie enthalten.



Digitalisierung der Höhenlinie '270' auf der Basis einer gescannten Topographischen Karte

Neben den Höhenlinien werden meist auch Gewässerlinien und einzelne, isoliert stehende Bergspitzen sowie punktuelle Geländedepressionen in die Digitalisierung einbezogen, um bei der Interpolation der Daten Fehlinterpretationen im Gitternetz auszuschließen. Aus dem Gittermodell kann dann über Algorithmen ein rasterbasiertes DGM erzeugt werden.

Bei der Generierung der Vektordaten ist mit großer Sorgfalt und Ausdauer zu arbeiten! Der zeitliche Aufwand einer manuellen Digitalisierung ist nicht zu unterschätzen und kann bei einer durchschnittlichen TK 50 bis zu 30h dauern! Dies ist u.a. ein Grund, warum kommerziell vertriebene topographische Vektordaten sehr kostspielig waren (Arbeits- und Zeitaufwand!). In Deutschland

werden vergleichbare Produkte über die Landesvermessungsanstalten und -Ämter vertrieben. In den USA verfügt der USGS ([US Geological Survey](#)) über entsprechende DEM-Karten.

### **DGM aus Fernerkundungs-Stereoaufnahmen**

Ein DGM lässt sich stereophotogrammetrisch erzeugen. Die Entwicklungen der analytischen und digitalen Photogrammetrie und dazugehöriger Software (z.B. LPS von [ERDAS Imagine](#) oder [DTMaster von Inpho/Trimble](#)) haben dabei weitergehende Möglichkeiten für die Herleitung von Modellen und ihrer Produkte eröffnet.

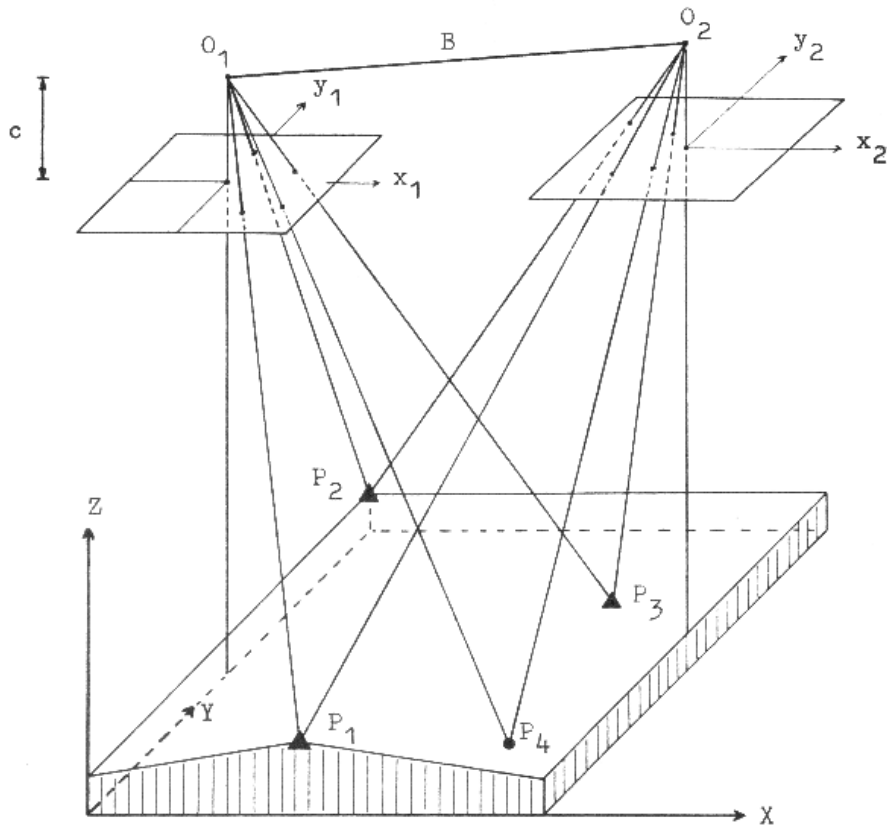
Die Herleitung erfolgt grundsätzlich in mehreren Schritten:

- Festlegung der Datenstruktur
- Datenerfassung (Primärdaten)
- Höheninterpolation, Aerotriangulation
- Berechnung des Modells und seine Manipulation

Die Datenstruktur eines Oberflächenmodells wird fast immer über ein quadratisches Punktgitter bzgl. der Höhenmessung definiert. Jeder Gitterpunkt ist durch seine Lage (x, y, z) festgelegt.

Um die Oberflächengestalt möglichst genau zu modellieren, werden Netzdichte und Punktmenge von der Reliefintensität und dem Verwendungszweck beeinflusst. Je dynamischer das Relief, desto größer muss die Punktmenge pro Flächeneinheit sein. Bei gleichmäßig ebenen oder nur schwach gegliedertem Relief genügen wenige Gitterpunkte, zwischen denen i.d.R. linear interpoliert wird. Die Generierung der Gitterpunkte erfolgt bei stereoskopischen Aufnahmen durch die Ermittlung des Z-Wertes für jeden Gitterpunkt mit seiner Lage im Bild- oder Referenzkoordinatensystem (x,y). Diese Messung erfolgt entweder gleichmäßig punktuell und/oder zusätzlich entlang wichtiger Profile und Geländekanten. Dichte Vegetationsdecken und Überbauungen sind dabei stets ein Problem, da sie ja den Blick auf die Bezugsoberfläche verschleiern.

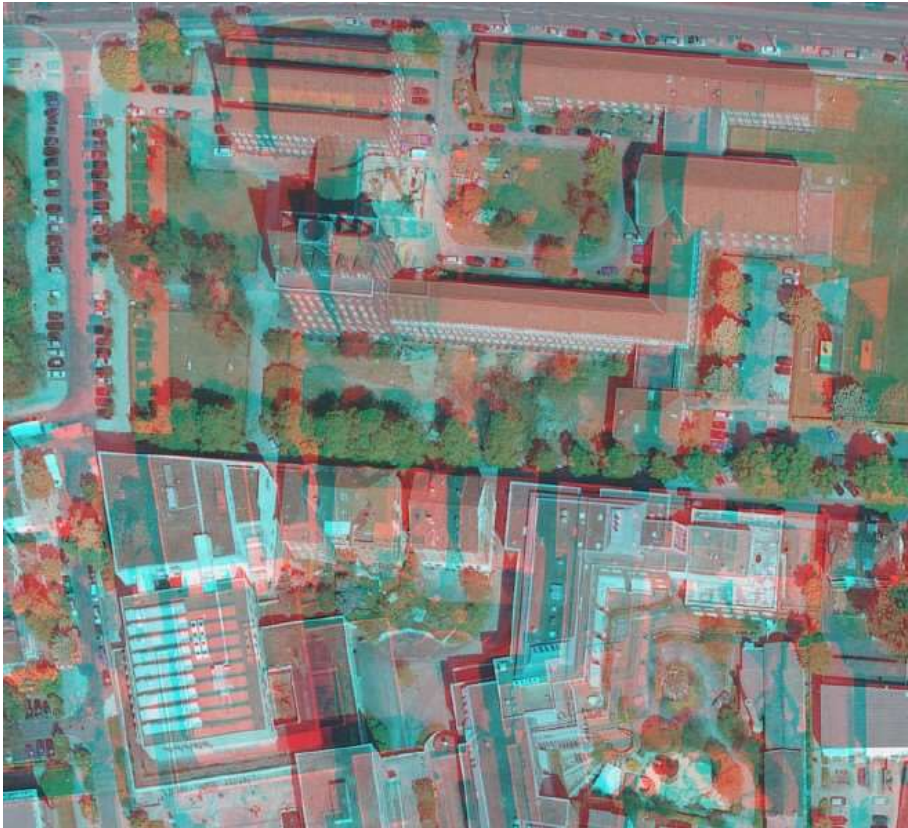
Für die Ermittlung des Z-Wertes wird jede Aufnahme eines Stereopaars orthometrisch durch Passpunkte auf das tatsächliche Bezugssystem entzerrt und korrigiert (Doppelbildeinschaltung 'räumlicher Vorwärtsschritt'). Aus den abweichenden, z.T. morphologieabhängigen Projektionsdaten bezüglich der gemeinsamen Passpunkte im Gelände lassen sich die Bildkoordinaten in korrekte Landeskoordinaten (x, y, z) über Algorithmen (Details siehe z.B. Kraus, 1990) transformieren.



Doppelbildeinschaltung mit Passpunkten zur Ermittlung des Projektionsversatzes für die Orthoreferenzierung auf ein Landesbezugssystem (Kraus, 1990)

In diesem vereinfachten Schritt wird das Landeskoordinatensystem über mathematische Beziehungen als dreidimensionales XYZ-System betrachtet, in dem das abgebildete Gelände in die xy-Ebene (Grundriss) und Höhe (z-Ebene) orthogonal projiziert wird. Tatsächliche Landeskoordinaten haben aber andere Bezugsflächen, die sich erheblich unterscheiden können! So stehen die Höhen z.B. orthogonal zum Geoid, welches in erster mathematischer Näherung als Ellipsoid, in zweiter Näherung durch eine Kugel und erst in dritter Näherung durch eine Ebene ersetzt werden kann! Die Lagekoordinaten entstehen über ein kompliziertes mathematisches Abbildungsgleichungssystem des Erdellipsoides in die Ebene, wobei zwangsläufig Verzerrungen auftreten müssen, die jedoch klein gehalten werden können. Diese Fehler fließen bereits bei Maßstäben  $> 1:20.000$  (Normalwinkel) in die dreidimensionale geometrische Auswertung ein. Um die Einflussnahme der Fehler zu minimieren müssen alle auszuwertenden Aufnahmen so genau wie möglich georeferenziert sein!

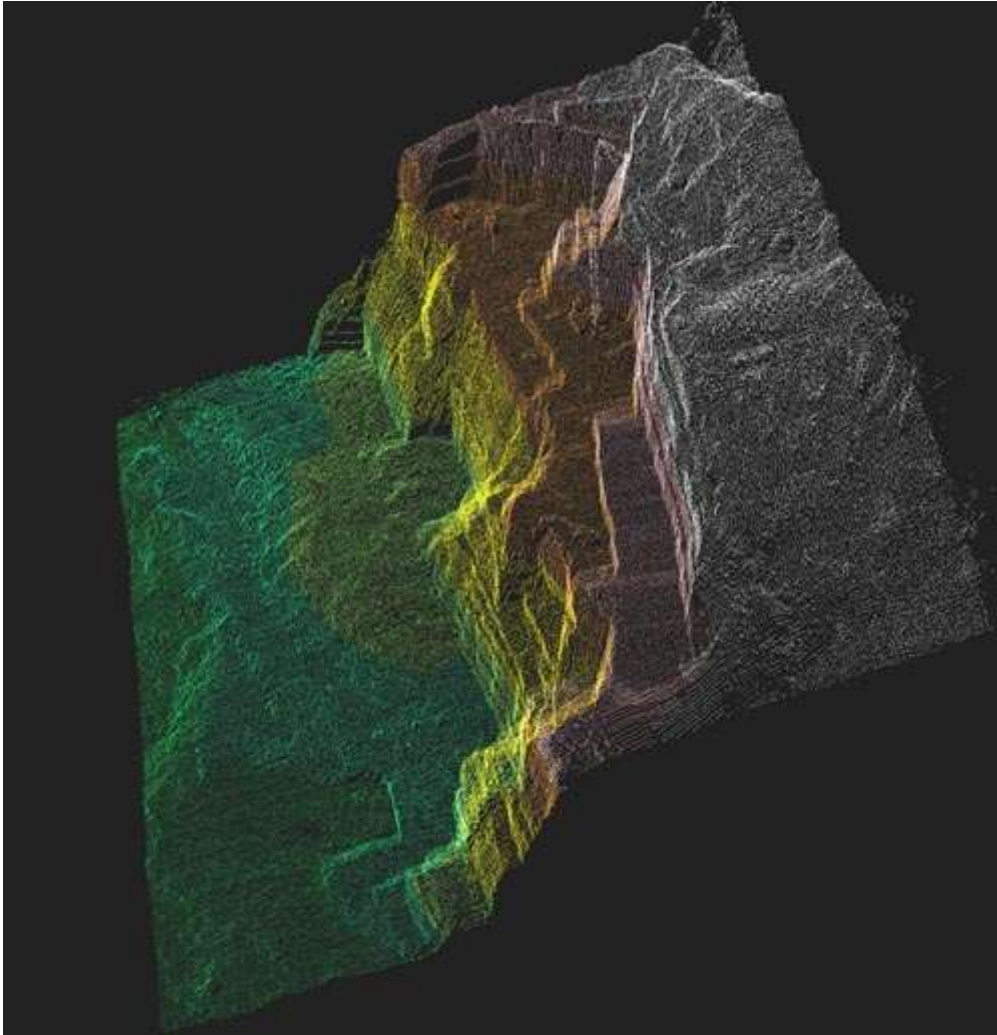
Digitale Zweibildauswertegeräte berücksichtigen in ihren Programmen derartige Fehler, wenn die digitalen Bildpaare bereits georeferenziert und auf das richtige Ellipsoid eingestellt sind. Bei der Auswertung bzw. Orientierung werden dann über Messmarken eines Quadratrasters (s.o.) in der xy-Ebene die Z-Werte ermittelt. So entsteht ein digitales Geländemodell auf Rasterbasis - dies kann auch über Anaglyphendarstellungen erfolgen.



Anaglyphenbild eines Häuserblocks im digitalen Ortho-Stereo-Luftbildpaar (blau-rot-kodiert)

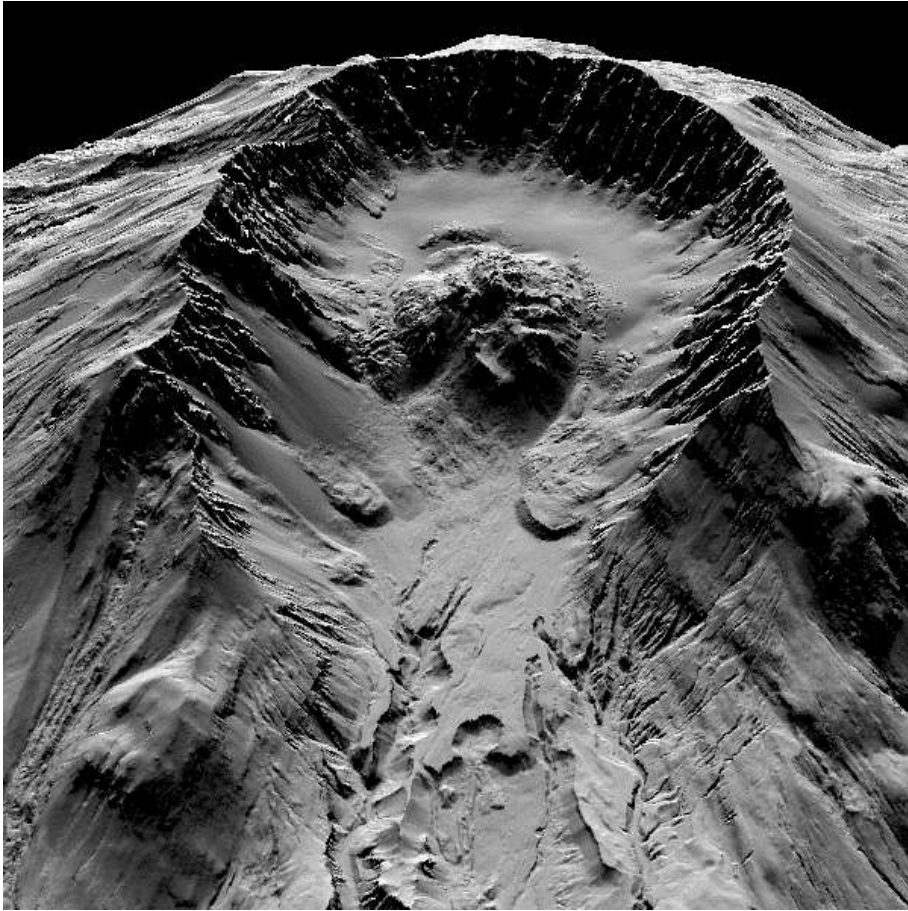
### DGM aus Laserscanning

Airborne Laser Scanning ([ALS](#)) ist eine Methode zur morphologischen Geländeaufnahme, die durch einen automatisierten Messablauf (digitale Datenaufzeichnung und computerbasierte Auswertung) gekennzeichnet ist. In den letzten Jahren hat sich diese Technik zu einem sehr leistungsfähigen Verfahren entwickelt. Sehr bekannt in der Fernerkundung sind Oberflächenmessungen mittels LIDAR-Systemen (Light Detection And Ranging): Sie ist eine dem Radar (englisch *radiowave detection and ranging*) verwandte Methode zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung sowie zur Fernmessung atmosphärischer Parameter. Statt Funkwellen wie beim Radar werden jedoch Laserstrahlen verwendet.



Farbcodierte  
Punktabbildung  
einer  
Steinbruchwand  
mit cm-  
Auflösung im  
Laserscan

Die Laserscannermessung basiert auf einem Multisensorsystem mit den folgenden Komponenten: Laserdistanzmesser mit Scanvorrichtung, DGPS-Empfänger und Inertiales Navigationssystem (INS). Ein Computer steuert die Einzelkomponenten und speichert die Daten zeitsynchron. Der Laserstrahl wird durch einen Spiegel quer zur Flugrichtung abgelenkt und die Laufzeit des ausgesendeten und von einer Oberfläche reflektierten Signals gemessen. Auf diese Weise wird ein Geländestreifen entlang des Flugweges abgetastet. Aus dem Abtastwinkel des Scanners und der Strahlungsfrequenz ergibt sich im Zusammenhang mit der Flughöhe über Grund, der Fluggeschwindigkeit und dem Abstand der Fluglinien die Dichte und Verteilung der Messpunkte im Aufnahmegebiet. Die Position und die Lage des Sensors im Raum werden aus den DGPS- bzw. INS-Messungen berechnet. Die Systemkalibrierung stützt sich auf Überlappungsbereiche zwischen einzelnen Streifen und Kontrollflächen mit möglichst geringer Oberflächenrauigkeit (z.B. große versiegelte Parkflächen). Die Kontrollflächen werden mit einem unabhängigen Verfahren (z.B. Tachymetrie) höhenmäßig erfasst. Insgesamt kann eine Genauigkeit der Datenpunkte von  $< 2$  cm in der Z-Komponente erreicht werden. Resultierende Modelle weisen eine hohe Genauigkeit auf und registrieren feinste Unterschiede in der Morphologie.



LIDAR-  
Oberflächenmodell  
des Mt. St. Helens  
vom 23.09.2004,  
(USGS 2008)

## Literaturverzeichnis und Links

Karl Kraus: Photogrammetrie I + II, DeGruyter bzw. Dümmler Verlag  
Jörg Albertz: Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern.

[www.hvbg.hessen.de](http://www.hvbg.hessen.de)

[www.aerokart.ch](http://www.aerokart.ch)

[www.milan-flug.de](http://www.milan-flug.de)

[www.avt.at](http://www.avt.at)

[www.dlr.de](http://www.dlr.de)

[www.vexcel.com](http://www.vexcel.com)

[www.zeiss.de](http://www.zeiss.de)

[www.meditec.zeiss.de](http://www.meditec.zeiss.de)

[www.jena-optronik.com](http://www.jena-optronik.com)

[www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com)

[www.zf-laser.com](http://www.zf-laser.com)

[www.riegl.com](http://www.riegl.com)

[www.inpho.de](http://www.inpho.de)

[www.intergraph.com](http://www.intergraph.com)

[www.phocad.de](http://www.phocad.de)

[www.bullardextrem.com](http://www.bullardextrem.com)

[www.socetset.com](http://www.socetset.com)

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

[www.fe-lexikon.info](http://www.fe-lexikon.info)

[www.uni-stuttgart.de](http://www.uni-stuttgart.de)

[www.google.com](http://www.google.com)