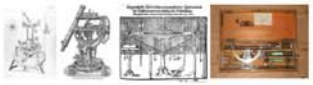
eine Ausstellung von Kurt Paulus und Helge Rixner-Paulus 2008 ---"DURCHBLICK" eine Ausstellung von Kurt Paulus und Helge Rixner-Paulus 2008 ---

Geodäsie

Die Geodäsie wurde schon zur Blütezeit des alten Ägyptens betrieben. Damals war es wegen der jährlichen Nilüberflutungen notwendig, die Eigentumsgrenzen landwirtschaftlicher Flächen immer wieder neu zu rekonstruieren. Gearbeitet wurde mit Seile sehr einfach erscheinenden Verfahren, wie z. B. die Absteckung von Dreiecken mit Pflöcken und Seilen.
Im Laufe der Zeit entwickelte sich die Geodäsie aber von einfachen Katasterfragen weiter bis hin zur Erfassung und Beschreibung der Erdgestalt. Später wurde die Geodäsie auch als Lehrfach an den Universitäten in Deutschland eingeführt, zunächst als Anwendung der Mathematik (Carl Friedrich Gauß).



Kompassrose von 1607

Kompass

Vor der Einführung des Kompasses orientierten sich die Seefahrer an Himmelskörpern, an Landmarken, an der Tiefe der See mittels Messung mit dem Lot, Dünung und Strömung, Wind, Wassertemperatur, -farbe und -geschmack, Tieren, Wolken und weiteren Merkmalen.
Die Erkenntnis, dass sich Splitter von Magneteisenstein in die Nord-Süd-Richtung drehen, war in Europa seit der griechischen und in China seit der Zeit der Streitenden Reiche bekannt. Die Chinesen benutzten seit dem 11. Jahrhundert eine schwimmende Kompassnadel, die Südweiser genannt wurde (*nasser Kompass*). Im Laufe der Zeit entwickelten sich daraus spezielle Kompassformen mit einer Einteilung in 24, 32, 48 Striche oder sogar 64 Himmelsrichtungen.
Die erste schriftliche Erwähnung einer *trockenauf* einem Stift spielenden Magnetnadel findet sich im *Epistola de magnete* von 1269, geschrieben von Petrus Peregrinus de Maricourt, womit der noch heute benutzte *trockene Kompass* erfunden war. Als Erfinder gilt ein italienischer Seefahrer aus Amalfi, wo noch heute Flavio Gioia als „Erfinder des Kompasses" mit einem Denkmal am Hafen geehrt wird. Im späten 13. Jahrhundert kombinierten die Seefahrer des Mittelmeers als erste die Magnetnadel mit der Windrose.

Nivellier um 1900

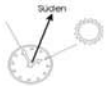
Nivelliergerät

Das Nivellier (auch Nivellierinstrument) ist ein Messinstrument, mit dem Höhenunterschiede gemessen und Höhenhorizonte festgelegt werden. Dazu hat das Nivellier ein Zielfernrohr, dessen Zielachse mittels einer präzisen Libelle oder ähnlichen Vorrichtung - heute zumeist ein Pendel-Kompensator - senkrecht zur Lotrichtung ausgerichtet wird. Das Zielfernrohr ist um die lotrechte *Stehachse* frei drehbar. Daher kann rundum mit horizontaler Visierlinie vermessen werden. Zwei beliebige Punkte, die in diesem Horizont liegen, haben die gleiche Höhe.

Theodolit um 1900

Theodolit

Der Theodolit (Herkunft von arabisch *al khâdan* „Zeige-/ Teilkreis") ist ein Winkelmessinstrument. Es wird zur Messung von Horizontalrichtungen und Zenit- oder Vertikalwinkel eingesetzt. Hierzu wird er mittels eines Stabvs über einem Punkt lotrecht aufgestellt. Eine Sonderbauform ist der Hängetheodolit, der vornehmlich im Bergbau eingesetzt wird.
Ein Theodolit besteht im Wesentlichen aus einem Zielfernrohr, einem Vertikal- und einem Horizontal-Teilkreis und mehreren Libellen. Letztere dienen zur lotrechten Ausrichtung des Gerätes (Horizontierung).



Was haben Taschenuhren mit Geodäsie zu tun?

Statt eines Kompasses kann man die Himmelsrichtung auch mit einer Uhr bestimmen. Die Uhr muss dazu Zeiger besitzen und darf nicht auf Sommerzeit eingestellt sein (Nur bei 'normaler' Zeit steht die Sonne um zwölf Uhr Mittags im Zenit – an ihrem höchsten Punkt und damit genau im Süden. Um die Himmelsrichtung zu bestimmen, halten Sie Ihre Uhr waagerecht so, dass der Stundenzeiger auf die Sonne gerichtet ist. Die gedachte Linie, die den Winkel zwischen dem Stundenzeiger und der 12 halbiert, nach Süden.

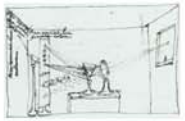
Quadrant

Instrument zum Bestimmen der Höhe eines Stern über den Horizont bzw. zum Messen des Winkelabstands zweier Sterne. Ein Quadrant besteht aus einem mit einer Gradeinteilung versehenen Vertikalkreis und einem beweglichen Arm an dem eine Visiereinrichtung befestigt ist.

Lichtspektren

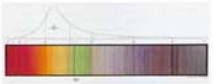
Das Lichtspektrum ist ein spezieller Teil des elektromagnetischen Spektrums, welcher über das menschliche Auge wahrgenommen werden kann. Der Wellenlängen-Bereich des Lichtspektrums reicht dabei von ungefähr 380 bis 750 nm, einem Frequenz-Bereich von ca. 4 10^{14} bis 7,5 10^{14} Hz entsprechend.
Weitere Bezeichnungen für das Lichtspektrum sind das sichtbare Spektrum, der visuelle Bereich (kurz VIS oder auch VIS-Bereich genannt) sowie umgangssprachlich auch Licht.
Angrenzend an das für den Menschen sichtbare Lichtspektrum, befindet sich im elektromagnetischen Spektrum der UV-Bereich bei kürzeren und der IR-Bereich bei längeren Wellenlängen, welche teilweise von anderen Lebewesen wahrgenommen werden können (siehe auch die Spektralfarben).

Lesenswerter Brief von 1897 an Prof. Hagenbach-Bischoff von einem Hersteller von "Spektralapparaten" aus Leipzig, namens Schumann.



Newtons Experimentum crucis

Bunsen Spektroskop



Fraunhofer Sonnenspektrum mit Fraunhoferlinien

Emissionsspektrum

Jeder chemische Stoff sendet ein charakteristisches Spektrum aus. Das Spektrum eines glühenden festen oder flüssigen "Körpers" ist stets ein kontinuierliches Spektrum, das alle Wellenlängen enthält. Anders verhalten sich glühende Gase und Dämpfe. Sie liefern im Allgemeinen diskontinuierliche Spektren, die nur aus einzelnen, durch dunkle Zwischenräume getrennten, scharfen Spektrallinien bestehen. Manche Gase weisen zusammenhängende "Banden" aus Spektrallinien auf. Die Linienspektren sind Atomspektren, die Bänderspektren rühren von Molekülschwingungen her. Die einfachste Form eines kontinuierlichen Spektrums lässt sich mit Hilfe eines glühenden Festkörpers, einer Flüssigkeit oder einem sehr dichten Gas erzeugen.

Kontinuierliches Spektrum

Glühlichtquellen (Temperaturstrahler) senden (emittieren) *kontinuierliche Spektren* aus. Derartige Spektren folgen teilweise dem Spektrum eines schwarzen Körpers. Reale Temperaturstrahler besitzen diskrete Lücken im kontinuierlichen Spektrum, die durch Selbstabsorption entstehen, z. B. die so genannten Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum.
In Leuchtstoffröhren wird erst ein Linienspektrum erzeugt, das dann von einem Leuchtstoff absorbiert wird. Dieser Leuchtstoff emittiert dann in einem weiten Wellenlängenbereich

Diskontinuierliches Spektrum

Linienspektrum

Ein Linienspektrum existiert, wenn eine Lichtquelle nur Licht mit diskreten Wellenlängen (wie z. B. eine Quecksilberdampflampe) emittiert. Das Licht entsteht in diesem Fall durch eine Reihe spezifischer Übergänge zwischen Energiezuständen von Atomen, seltener von Molekülen.
Die entstehenden, separaten und diskreten Emissionsbereiche werden als *Spektrallinien* bezeichnet. Licht mit nur einer diskreten Wellenlänge wird als *Monochromatisches Licht* bezeichnet.

Bandenspektrum

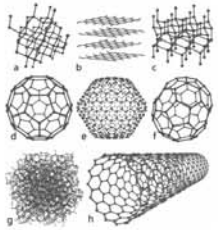
Ein Bandenspektrum entsteht, wenn eine Lichtquelle Quanten ähnlicher Wellenlänge entsendet. Das Spektrum besteht dann aus vielen, nahe beieinander liegenden und oft auch überlappenden Spektrallinien, deren Gesamtheit *Banden* bzw. *Absorptionsbanden* genannt wird. Sie rühren von Energieübergängen in Molekülen her.

Absorptionsspektrum

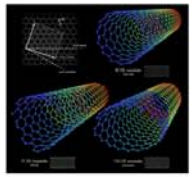
Ein Stoff, der bei einer bestimmten Wellenlänge Licht absorbiert, kann Licht der gleichen Wellenlänge absorbieren. Absorptionsspektren sind oft invers zu Emissionsspektren (Transmissionsspektren). Oft verursachen strahlungslose Energieübergänge kleine Unterschiede zwischen beiden Spektren. Neben Spektrallinien finden sich auch Absorptionsbanden.

Nanotechnologie

Mit Nanotechnologie (gnech. νάνος *[nános]* = Zwerg) wird heute populärwissenschaftlich die Forschung in der Clusterphysik und Oberflächenphysik, Oberflächenchemie, der Halbleiterphysik, in Gebieten der Chemie und bisher noch im sehr begrenzten Rahmen im Teilbereichen des Maschinenbaus und der Lebensmitteltechnologie (Nano-Food) bezeichnet. Der Sammelbegriff gründet auf der allen Nano-Forschungsgebieten gleichen Größenordnung vom Einzelatom bis zu einer Strukturgröße von 100 Nanometern (nm). Ein Nanometer ist ein Milliardstel Meter (10^{-9} m). Diese Größenordnung bezeichnet einen Grenzbereich, in dem die Oberflächeneigenschaften gegenüber den Volumeneigenschaften der Materialien eine immer größere Rolle spielen und zunehmend quantenphysikalische Effekte berücksichtigt werden müssen. In der Nanotechnologie stößt man also zu Längenskalen vor, auf denen besonders die Größe die Eigenschaften eines Objektes bestimmen. Man spricht von „größeninduzierten Funktionalitäten".
Schon heute spielen die Nanomaterialien eine wichtige Rolle, die zumeist auf chemischem Wege oder mittels mechanischer Methoden hergestellt werden. Einige davon sind kommerziell verfügbar und werden in handelsüblichen Produkten eingesetzt, andere sind wichtige Modellsysteme für die physikalisch-chemische und materialwissenschaftliche Forschung. Ebenfalls bedeutend ist die Nanoelektronik. Deren Zugehörigkeit zur Nanotechnologie wird in der wissenschaftlichen und forschungspolitischen Praxis nicht einheitlich gesehen.



Neue Materialien wie Fullerene oder Carbon-Nanotubes sind Nanotechnologie und werden schon jetzt in vielen Gebieten eingesetzt.



3D-Modell von drei verschiedenen Kohlenstoffröhren

Rastersondenmikroskopie

Rastersondenmikroskopie (engl. *scanning probe microscopy*, SPM) ist der Übertbegriff für alle Arten der Mikroskopie, bei der das Bild nicht mit einer optischen oder elektronenoptischen Abbildung (Linsen, die eine Licht- oder Elektronenwelle Fourier-transformieren) erzeugt wird, sondern über eine sogenannte Sonde. Die zu untersuchende Probenoberfläche wird mittels dieser Sonde, die mit der Probe in Wechselwirkung steht, in einem Rasterprozess Punkt für Punkt abgetastet. Die sich für jeden einzelnen Punkt ergebenden Messwerte werden dann zu einem einzigen (meist digitalen) Bild zusammengesetzt.

Rastertunnelmikroskop

Bei der rastertunnelmikroskopischen Messung wird eine elektrisch leitende Spitze systematisch über das ebenfalls leitende Untersuchungsobjekt getahren. Die Spitze und die Objektoberfläche sind dabei nicht in elektrischem Kontakt, und wegen des isolierenden Mediums dazwischen (Luft oder Vakuum) findet kein kontinuierlicher Stromfluss statt. Nähert man die Spitze der Oberfläche auf atomare Größenordnungen (Nanometer) an, so überlagern sich die quantenmechanischen Zustände der Elektronen von Oberfläche und Spitze, so dass ein Austausch von Elektronen auftritt, was bei Anlegen einer kleinen Spannung zu einem Tunnelstrom (Tunneleffekt) führt. Dieser Tunnelstrom ist sehr empfindlich auf kleinste Abstandsänderungen, da die Intensität negativ exponentiell mit dem Abstand skaliert. Beim Abrastern der Probenoberfläche wird die Höhe der Spitze mittels einer Feinmechanik (Piezoelemente) so geregelt, dass der Tunnelstrom entlang der Bewegung konstant bleibt. Damit fährt die Spitze ein „Höhenprofil" der Oberfläche nach, wobei das Höhen-Regelsignal zur Darstellung der Probenoberfläche benutzt wird.

Rastertunnelmikr. Aufnahme von Verunreinigungen einer Eisenkristall-Oberfläche mit Chromatomen (kleine Spitzen)

Rasterkraftmikroskop oder

Atomic Force Microscope (AFM)
Das Mikroskop wurde 1986 von Gerd Binnig, Calvin Quate und Christoph Gerber entwickelt und dient zur mechanischen Abtastung von Oberflächen und der Messung *atomer Kräfte* auf der Nanometerskala. Durch das punktweise Aufzeichnen der Auslenkungen lässt sich eine Abbildung der Probenoberfläche erzeugen. Jeder Bildpunkt steht für eine bestimmte physikalische oder chemische Messgröße. Die mögliche Auflösung beträgt lateral 0,1 - 10 nm.

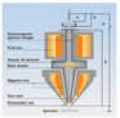
Oberflächen-rauigkeit eines Kristalls

Während der Messung wird eine an einer mikroskopisch kleinen Blattfeder – dem so genannten *Cantilever* – befestigte Nadel zeilenweise in einem definierten Raster über die Oberfläche einer Probe geführt. Dieser Vorgang wird als *Scannen* (engl. 'to scan': rastern, abtasten) bezeichnet. Durch die Oberflächenstruktur der Probe biegt sich dabei die Blattfeder positionsabhängig unterschiedlich weit. Diese Verbiegung bzw. Auslenkung der Spitze kann mit kapazitiven oder typischerweise optischen Sensoren gemessen werden und ist ein Maß für zwischen der Spitze und der Oberfläche wirkende *atomare Kräfte*.

Raster-Elektronenmikroskope REM

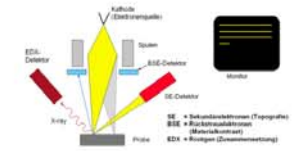
Als Raster-Elektronenmikroskop (REM) (englisch "Scanning Electron Microscope" (SEM)) bezeichnet man ein Elektronenmikroskop, bei dem ein Elektronenstrahl in einem bestimmten Muster über das vergrößert abzubildende Objekt geführt (gerastert) wird und Wechselwirkungen der Elektronen mit dem Objekt zur Erzeugung eines Bildes des Objekts genutzt werden. Die mit einem Rasterelektronenmikroskop erzeugten Bilder sind Abbildungen der Objektoberflächen und weisen eine hohe Schärfetiefe auf. Der maximale theoretische Vergrößerungsfaktor liegt etwa bei ca. 1.000.000:1.

Querschnitt



Feldemissionskathode, hier die Gemini-Technik von Zeiss

Der Elektronenstrahl wird in einer Elektronenquelle erzeugt. Dabei handelt es sich bei den billigeren Geräten um einen haarnadelförmig gebogenen Draht aus Wolfram oder einen LaB6-Kristall (Lanthanhexaborid). Dieser wird erhitzt und emittiert Elektronen (sogenannte Glühkathode), die dann in einem elektrischen Feld mit einer Spannung von typischerweise 8 - 30 kV beschleunigt werden.
Die Technik der Feldemission wird in hochauflösenden Geräten verwendet. Die Feldemissionskathode (engl. Field Emission Gun (FEG)) besteht aus einer sehr feinen Wolframkristallspitze, aus der durch Anlegen einer sehr hohen elektrischen Feldstärke die Elektronen „heraustunneln". Man unterscheidet die kalte Feldemission, bei der kein Heizen der Kathode notwendig ist, und die warme Feldemission, bei der die Kathode leicht geheizt wird. Die warme Feldemission hat den Vorteil der höheren Strahlintensität. Instrumente mit solchen Elektronenquellen zeichnen sich durch besonders gute Bildqualität schon bei sehr niedriger Beschleunigungsspannung aus.



Vereinfachtes Funktionsprinzip

Die wichtigsten Signalarten

Sekundarelektronenkontrast

Als meistgenutzte Informationsquelle dienen die von den Elektronen des Strahls (Primärelektronen) in Wechselwirkung mit den Atomen des zu untersuchenden Objekts erzeugten Sekundärelektronen (SE). Sie haben eine Energie von einigen eV und können von einem Everhart-Thornley-Detektor detektiert werden. Aufgrund ihrer niedrigen Energie stammen sie aus den obersten Nanometern der Oberfläche und bilden somit die Topografie des Objektes ab.

Rückstreuelektronen

Ein weiteres häufig genutztes Abbildungsverfahren ist die Detektion von zurückgestreuten Elektronen (engl. Backscattered Electrons (BSE)). Diese vom Objekt reflektierten Primärelektronen haben eine typische Energie von einigen keV. Die Intensität des Signals ist in erster Linie von der mittleren Ordnungszahl des Materials abhängig. Schwere Elemente sorgen für eine starke Rückstreuung, so dass entsprechende Bereiche hell erscheinen. Bereiche mit leichteren Elementen erscheinen hingegen dunkler. Das BSE-Bild wird daher auch als Materialkontrastbild bezeichnet und ermöglicht Rückschlüsse auf die chemische Natur des Objektmaterials bzw. der Verteilung verschiedener Materialien im Bild.