

# Arbeitsblätter: Zwischen Berg und tiefem Tal

## 1 Hintergrundinformation

### 1.1 Radar-Altimetrie

Die Radar-Altimetrie (Höhenmessung) ist ein Verfahren zur Erfassung von Höhenunterschieden auf unterschiedlichen Untergründen. Das Radar (Radio Detection and Ranging; Funkortung und Abstandsmessung) ist das Standardmessverfahren, um Höhen auf der Erde zu messen. Dabei werden sehr kurze Pulse (einige 10 Pikosekunden,  $1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$ ) von Radiowellen im Frequenzbereich von einigen GHz vom Satellit ausgesandt, von der Erde reflektiert und wieder empfangen. Die Laufzeit gibt Auskunft über die Höhendifferenz zwischen Erdoberfläche und dem Satelliten. Das Signal beinhaltet zudem Informationen über die Bodenbeschaffenheit, da je nach Konsistenz die Radiosignale unterschiedlich stark reflektiert werden.

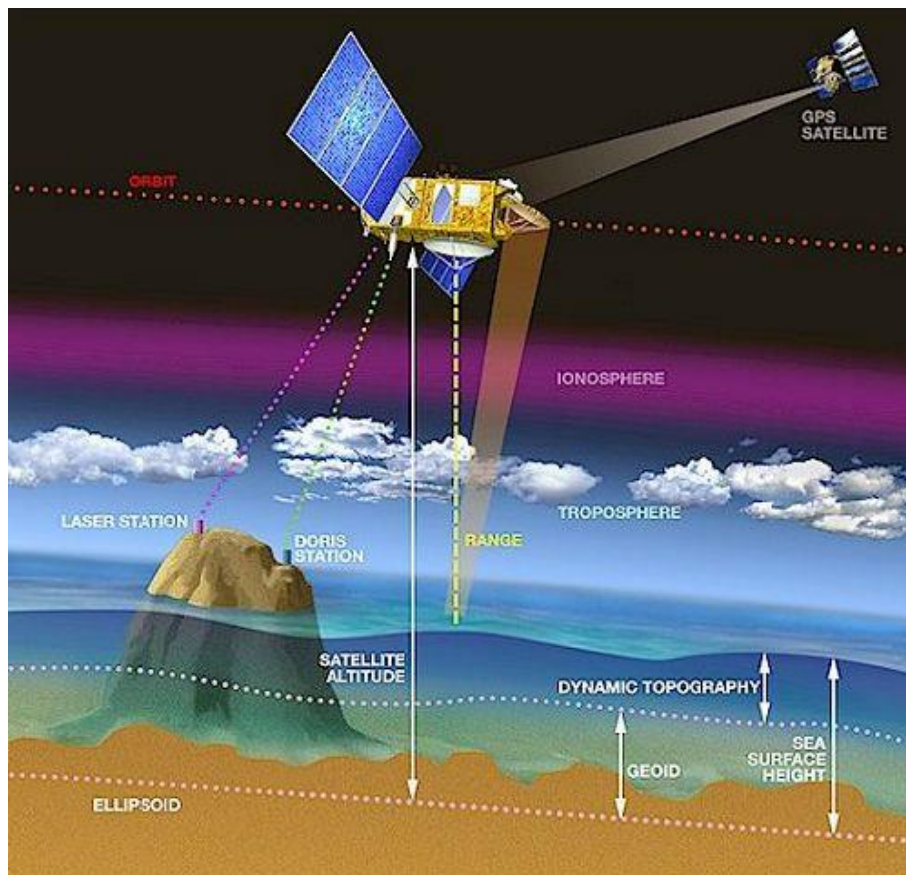


Abbildung 1: Darstellung des Prinzips der Radar-Altimetrie (ESA)

Satelliten, die diese Messmethode anwenden, sind beispielsweise Envisat, Jason-1 sowie Sentinel-3A. Im Gegensatz zu den fotografischen Satelliten sind Radarsatelliten vom Wetter und Tageslicht unabhängig. Die Radiowellen durchdringen Wolken und können daher selbst bei dichter Wolkenbedeckung die Erdoberfläche untersuchen. Wegen der im Vergleich zum sichtbaren Licht relativ großen Wellenlänge ist die räumliche Auflösung jedoch im Allgemeinen geringer. Spezielle Mess- und Auswertemethoden können diesen Nachteil jedoch teilweise kompensieren.

Ein heute wichtiges Arbeitsfeld ist die Variation von Eisdicken im Meer und auf dem Land. Die Ergebnisse geben Aufschluss über den fortschreitenden Klimawandel und der Menge an tauendem Eis. Ein Satellit, der genau diese Messungen durchführt, ist der europäische CryoSat-2.

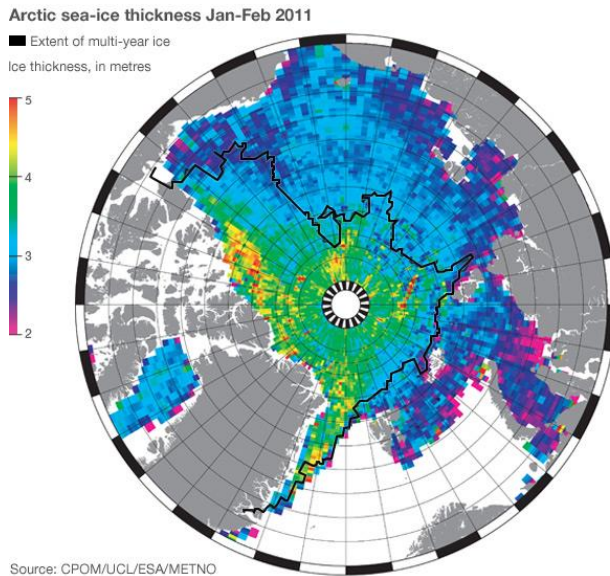


Abbildung 2: Eine aus Daten des CryoSat-2 gewonnene Karte der Höhenverteilung des arktischen Meereises (Quellen: [BBC News, 21. Juni 2011](#); [CPOM/UCL/ESA](#)).

Aus den gewonnenen Messungen erzeugt man u. a. topografische Karten, die Informationen zu den Höhen enthalten.

## 1.2 Höhenkarte mittels Falschfarben

Karten sind gewöhnlich zweidimensionale Aufsichten mit ebener Anordnung von Landmarken und Objekten wie Straßen, Orte und Grenzen. Eine einfache Möglichkeit, Höhen anzuzeigen, ist eine Kodierung mittels Farben (Abbildung 2). Dabei erhalten Höhenwerte innerhalb eines festzulegenden Intervalls eine Farbe zugeordnet. Somit erhält man eine Übersicht der Höhenverteilungen in derselben räumlichen Auflösung wie die Messpunkte.

Im nachfolgenden Beispiel sei ein Gelände mit 4 x 4 gleichmäßig verteilten Messpunkten abgedeckt vermessen worden. Die gemessenen Höhen sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Einheiten sind in diesem Beispiel unerheblich, so dass lediglich Zahlenwerte aufgeführt sind.

Tabelle 1: Raster der simulierten Höhenmessungen. Die Zahlen geben die Höhen in beliebigen Einheiten wieder.

	Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4
Zeile 1	1	4	7	10
Zeile 2	2	5	8	11
Zeile 3	2	7	12	17
Zeile 4	3	6	12	24

Überträgt man diese Werte in eine Falschfarben-Höhenkarte, erhält man ein Resultat wie in Abbildung 3.



Abbildung 3: Falschfarben-Höhenkarte der simulierten Messung. Die Verteilung der Farbwerte entspricht dem Koordinatengitter der Messpunkte. Die Farben entsprechen den Zahlengruppen 2-4, 5-7, 8-10, 11-13, usw.

### 1.3 Höhenlinien

Um die Höhe anzugeben, werden insbesondere bei topografischen Karten Linien eingezeichnet, die Bereiche mit gleicher Höhe angeben. Ein Beispiel dafür zeigt Abbildung 4, die sowohl Höhen über dem Meeresspiegel als auch Tiefen im Meer durch Linien gleicher Höhe angibt.

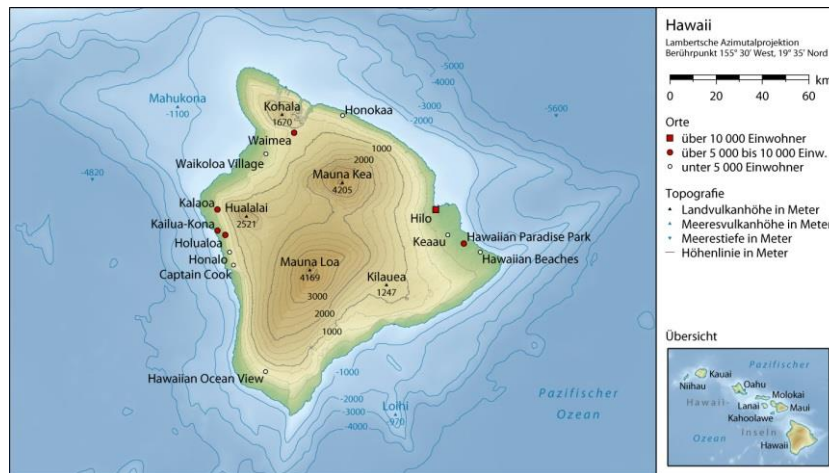


Abbildung 4: Beispiel einer topografischen Karte mit Höhenlinien (San Jose, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hawaii\\_gmt\\_de.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hawaii_gmt_de.jpg), „Hawaii gmt de“, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>).

Man muss sich Höhenlinien so vorstellen, dass sie horizontale Schnitte durch die Landschaft anzeigen. Die Höhenlinien sind dann die äußeren Schnittlinien (siehe Abbildung 5). Durch Interpolation und geeignete Zeichnung der Höhenlinien kann die Verteilung der Höhen mit einer guten Auflösung bestimmt werden, deren errechnete Punkte zudem nicht notwendigerweise der starren Positionierung der Messpunkte folgen.

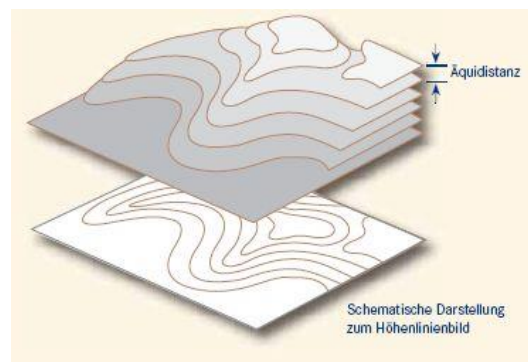


Abbildung 5: Schematische Darstellung zur Erzeugung der Höhenlinien in einer Karte (Geolinde, Bayerische Vermessungsverwaltung).

Aus der Geometrie der Höhenlinien lassen sich verschiedene Geländemerkmale ablesen. So sind die Steigung oder das Gefälle dort am stärksten, wo die Höhenlinien besonders eng verlaufen.

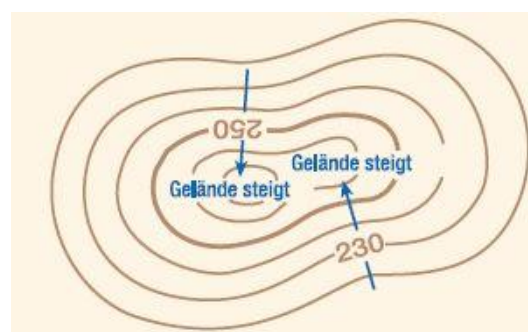


Abbildung 6: Höhenvariationen verlaufen senkrecht zu den Höhenlinien. Je enger sie zueinander verlaufen, desto steiler ist das Gelände (Geolinde, Bayerische Vermessungsverwaltung).

Geschlossene Höhenlinien zeigen einen Gipfel oder eine Senke an.

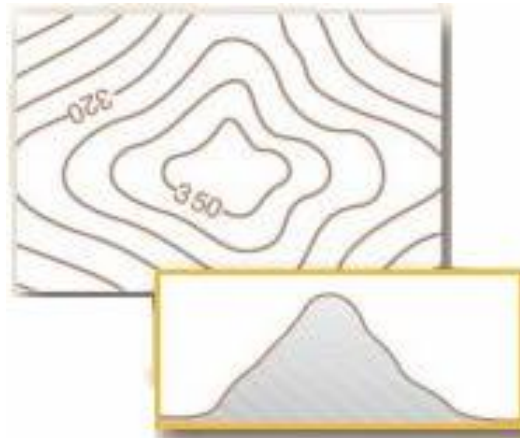


Abbildung 7: Geschlossene Höhenlinien, die von Außen nach Innen höhere Werte annehmen, zeigen einen Gipfel an ([Geolinde](#), Bayerische Vermessungsverwaltung).

#### 1.4 Konstruktion von Höhenlinienkarten

Höhenlinienkarten bieten eine repräsentative Darstellung der Landschaftskonturen für eine hinreichend große Anzahl von Messpunkten mit Höhenangaben

Ein im Computer generiertes Höhenprofil entsprechend dem Beispiel aus Kapitel 1.2 ist in Abbildung 8 dargestellt. Man sieht, dass niedrige Zahlen geringere Höhen und höhere Zahlen größere Höhen angeben. Gleiche Höhenbereiche sind in dieser Darstellung farbig gekennzeichnet. Die Übergänge zwischen den Farben sind bereits Höhenlinien, also Linien gleicher Höhe. Nachfolgend wird beschrieben, wie eine Höhenlinienkarte zeichnerisch konstruiert werden kann.

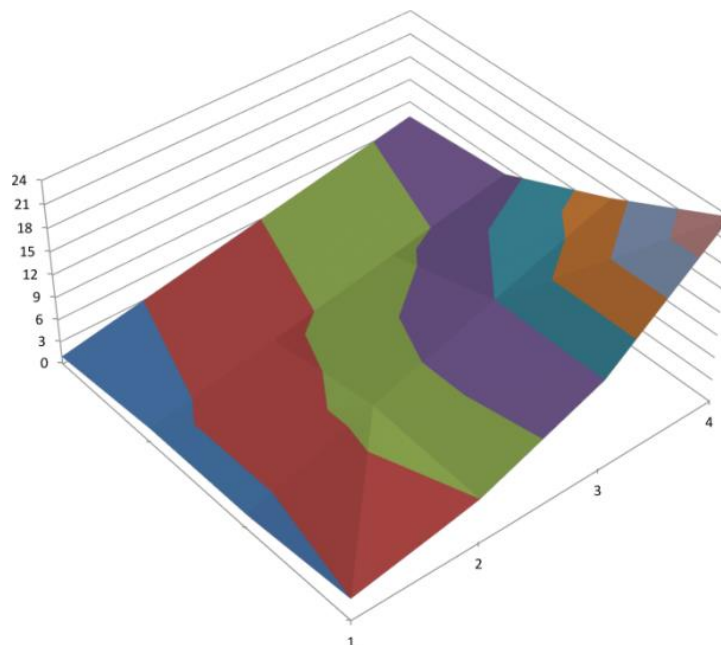


Abbildung 8: Höhenprofil der simulierten Messung. Die Höhenbereiche sind durch farbige Zonen gekennzeichnet. Die Grenzlinien entsprechen den Höhenlinien.

Die einzelnen Schritte sind in Abbildung 9 gezeigt. Die Skizze a stellt das gleichförmige Messgitter aus 4 x 4 Messpunkten dar. Die Abstände zwischen den Schnittpunkten legen den Maßstab der Karte fest. In Skizze b sind schematisch die Messwerte den Messpunkten zugeordnet. Sie dienen hier lediglich als Gedächtnisstütze und sollten in der Konstruktion der Karte nicht eingetragen werden.



Nun wählt man einen passenden Satz von Werten für die Höhenlinien. Üblicherweise ist die Skalierung äquidistant. Im vorliegenden Beispiel werden die Werte 6, 9, 12 und 15 gewählt. Durch lineare Interpolation – horizontal und vertikal – zwischen den Messpunkten findet man die entsprechenden Werte. So muss der Wert 6 in der Mitte zwischen den Messwerten 5 und 7 liegen. Die Platzierungen findet man durch Anwendung der Geradengleichung zwischen je zwei benachbarten Messpunkten.

Dazu stelle man sich die Verteilung der Messwerte wie in Abbildung 8 von der Seite gesehen vor. Dann bilden je zwei benachbarte Messpunkte eine Gerade (siehe Abbildung 10). Die gemessenen Werte seien  $h_1$  an der Stelle  $s_1$  und  $h_2$  an der Stelle  $s_2$ . Die Steigung der Geraden berechnet sich wie folgt.

$$\frac{\Delta h}{\Delta s} = \frac{h_2 - h_1}{s_2 - s_1} = \frac{h_2 - h}{s_2 - s} = \frac{h - h_1}{s - s_1}$$

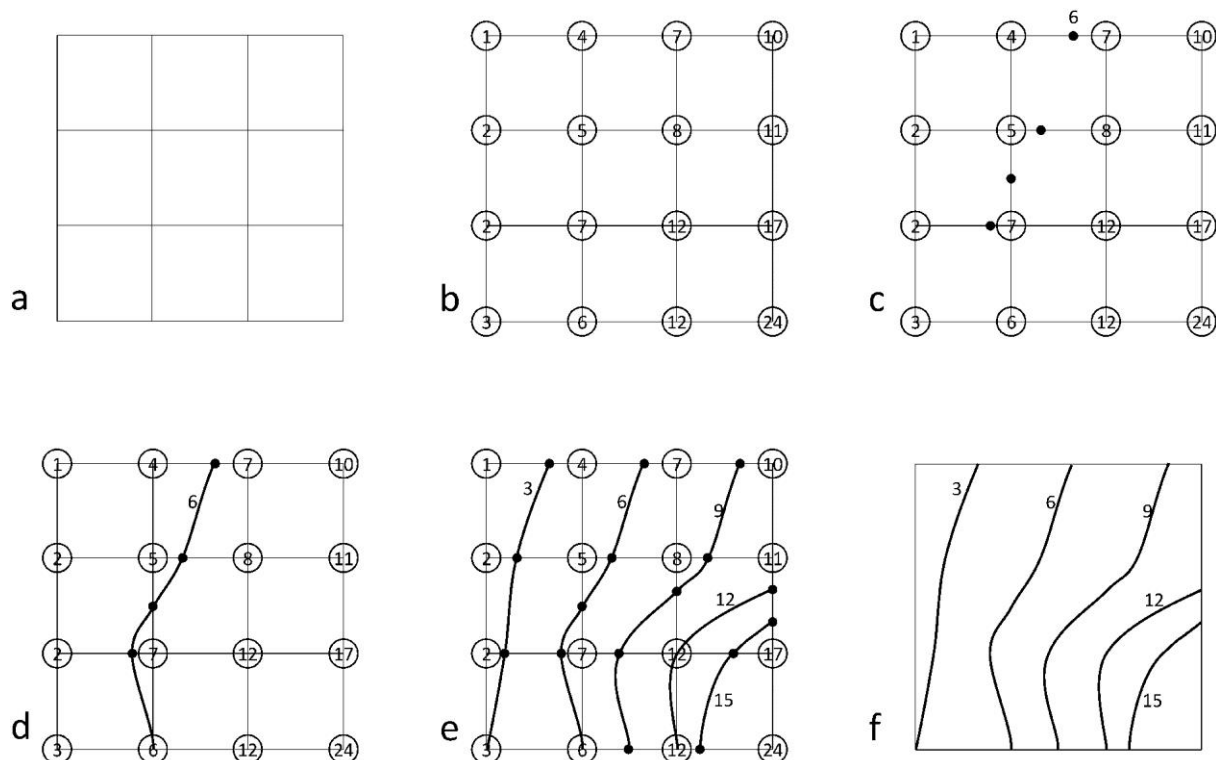


Abbildung 9: Konstruktion einer Höhenlinienkarte. a: Gleichmäßiges Messgitter mit 4 x 4 Messpunkten; b: Darstellung der Werte der Höhenmessung für die 16 Messpunkte; c: Horizontal und vertikal interpolierte Datenpunkte für den Höhenwert 6; d: Gleichförmige Verbindung der interpolierten Datenpunkte für eine Höhenlinie der Höhe 6; e: Interpolationen und Höhenlinien für weitere äquidistante Werte; f: Resultierende Höhenlinienkarte.

Um nun für eine Höhenlinie mit dem Wert  $h$  die entsprechende Stelle  $s$  zwischen  $s_1$  und  $s_2$  zu finden, nutzt man die obigen Beziehungen und findet:

$$s - s_1 = \frac{\Delta s}{\Delta h} (h - h_1) = \frac{s_2 - s_1}{h_2 - h_1} (h - h_1)$$

$$s_2 - s = \frac{\Delta s}{\Delta h} (h_2 - h) = \frac{s_2 - s_1}{h_2 - h_1} (h_2 - h)$$

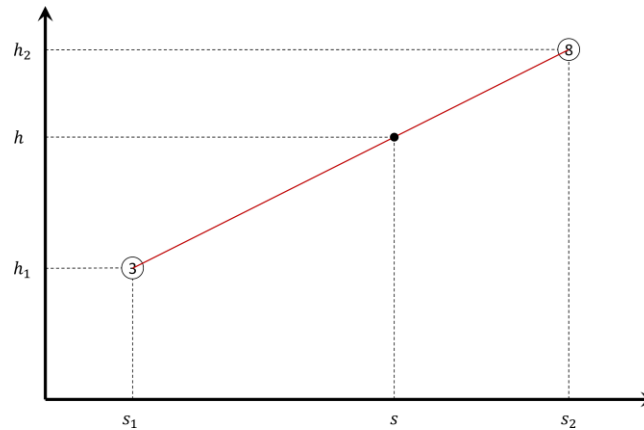


Abbildung 10: Visualisierung der linearen Interpolation zwischen zwei Höhenpunkten.

Im Beispiel von Abbildung 10 findet man für die bekannten Größen:

$$\Delta s = 10$$

$$h_1 = 3$$

$$h_2 = 8$$

$$\Rightarrow \Delta h = 5$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta s}{\Delta h} = 2$$

Wir suchen eine Höhenlinie zum Wert 6.

$$h = 6$$

$$\Rightarrow \Delta s = s - s_1 = \frac{\Delta s}{\Delta h} (h - h_1) = 2 \cdot (6 - 3) = 6$$

Der zur Höhenlinie mit dem Wert 6 gehörige Punkt befindet sich demnach im Abstand von 6 Längeneinheiten vom Messpunkt  $s_1$ . So verfährt man nun mit allen benachbarten Wertepaaren und erhält dann die zur Konstruktion benötigten Punkte wie in Abbildung 9c. Diese Punkte verbindet man dann möglichst gleichmäßig, wie in Skizze d. Wendet man diese Prozedur für alle weiteren gewünschten Höhenlinien an, so erhält man Skizze e. Die reine Höhenlinienkarte ist in Skizze f dargestellt.

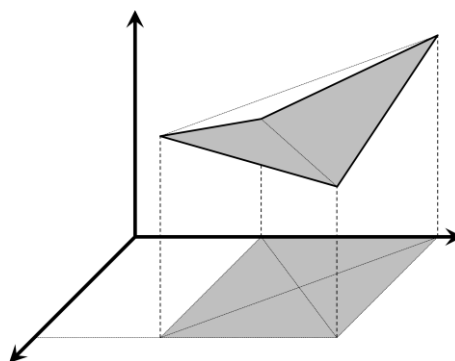


Abbildung 11: Die Diagonalen eines Messgitters aus quadratischen Zellen (grau) sind im Allgemeinen nicht in der Ebene eines solchen Quadrats. Sie dürfen daher nicht zur Interpolation für die Konstruktion von Höhenlinien benutzt werden.

Die Interpolation darf normalerweise nicht über die Diagonalen in dem Messgitter vorgenommen werden, da sie im Allgemeinen nicht in der Ebene des Quadrats liegen, das von vier benachbarten Messpunkten gebildet wird (siehe Abbildung 11).

## 2 Aufgabe: Altimetrie (Höhenmessung)

### 2.1 Materialienliste

- Arbeitsblätter mit Hintergrundinformationen
- Höhenmodell in der Kiste
- Holzspieße
- Zollstock, Metermaß, Maßband
- Farbige Stifte
- Taschenrechner
- Kariertes oder Millimeterpapier
- Computer mit MS Excel (Version 2010 oder höher)

### 2.2 Vorbereitung

Mit Hilfe eines Analogieexperiments wird die Radaraltimetrie mit Satelliten wie Sentinel -1A, Sentinel -3A oder CryoSat nachempfunden. Die resultierenden Ergebnisse werden in eine Höhenkarte übersetzt. In deiner Arbeitsgruppe werden die verschiedenen Aufgaben verteilt (Messen, Werte aufschreiben, usw.)

### 2.3 Teil 1: Erstelle eine Tabelle mit den Messwerten

Benutze den Holzstab als Messlatte. Es wird Loch für Loch nach unten geschoben und die Länge des oben heraus stehenden Endes gemessen. Die Orientierung des Messrasters muss der Wertetabelle (Tabelle 2) entsprechen. Um das zu gewährleisten, kann das Messraster entsprechend markiert werden. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Stab möglichst senkrecht nach unten geführt wird.

Wie genau ist die Messung? Versuche dazu, an einigen Messpunkten die Höhe mehrmals hintereinander zu bestimmen. Welche Variationen findest du? Welche Genauigkeit reicht für die Ablesung des Messwerts aus?

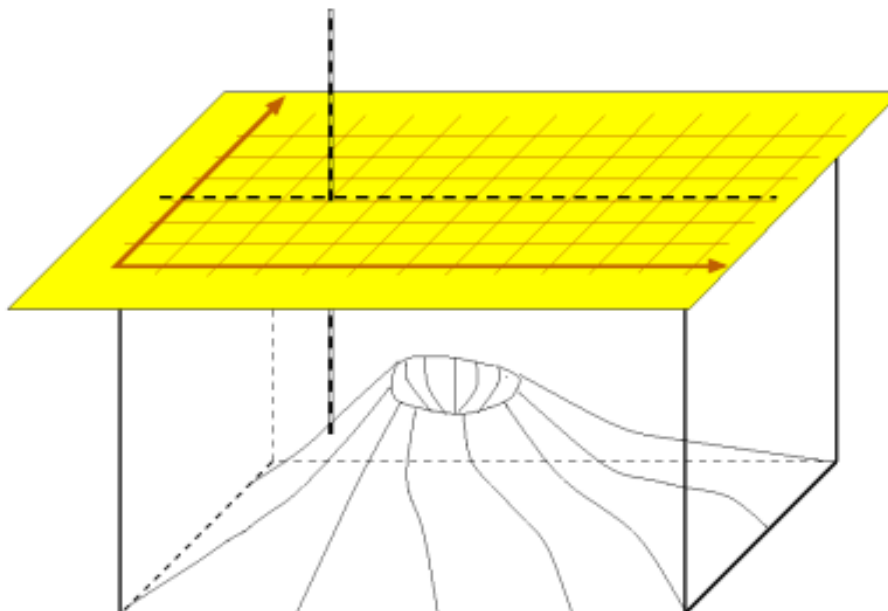


Abbildung 12: Skizze des Analogieexperiments zur Höhenmessung.

Die Werte werden entsprechend der Position in die Tabelle 2 eingetragen. Am Ende sind alle Felder ausgefüllt.

Tabelle 2: Tabelle der gemessenen Höhen. Das Messgitter besteht in diesem Fall aus 12 x 9 Messpunkten.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												

## 2.4 Teil 2: Erzeuge eine Falschfarben-Höhenkarte

Analysiere das Ergebnis. Wie lauten die Minima und Maxima der Wertetabelle? Bespreche Dich mit Deiner Gruppe, wie die Werte gruppiert werden sollten, um aussagekräftige Höheninformationen zu bekommen?

Diskutiere in der Gruppe, welche Farben den Werten zugeordnet werden sollten, um eine möglichst intuitive Darstellung zu erhalten. Hinweis: Üblicherweise wählt man für die Zahlen in aufsteigender Folge die Farben Blau, Grün, Gelb, Orange, Rot.

Die Tabelle wird dann entsprechend dieser Farben ausgemalt.

## 2.5 Teil 3: Erstelle eine Höhenlinienkarte

Die Anleitung zur Erstellung einer Höhenlinienkarte befindet sich auf den Arbeitsblättern (siehe Kapitel 1.4).

Zeichne ein Messgitter auf ein Blatt Millimeterpapier. Beachte, dass in diesem Fall die Messpunkte durch die Verbindungen der sich kreuzenden Linien dargestellt werden.

Diskutiere in deiner Gruppe, welche Höhenwerte für die Karte gewählt werden sollen. Durch Interpolation werden die fehlenden Werte ermittelt.



## 2.6 Teil 4: Erstelle ein 3D-Profil mit Microsoft Excel 2010

Falls vorhanden, wird die Lehrerin/der Lehrer einen Computer zur Verfügung stellen, auf dem MS Excel (Version ab 2010) installiert ist. Die Tabelle muss zunächst in die Software übertragen werden. Abbildung 13 zeigt ein Beispiel für eine solche Tabelle.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9	Column 10	Column 11	Column 12
2	Row 1	7	7	7	7	7	6.5	7	7	6.5	7	6.5	5
3	Row 2	7.5	8	8.5	10	9.5	8	9	9	8	7.5	6.5	5
4	Row 3	8.5	9.5	10.5	10.5	10.5	10	10	10.5	10	9	7	5
5	Row 4	9.5	10.5	11	12	12	11	11	12	11.5	9.5	7	5
6	Row 5	9	11	13	14	14	12	12	12.5	12	9	7	5
7	Row 6	8.5	11	13	14.5	14	11.5	11.5	12	11	8.5	7	5
8	Row 7	8.5	10	12	12.5	12	10	10	10	9.5	8	7	5
9	Row 8	7.5	8	10	9.5	10	8.5	8.5	9	8	7.5	6.5	5
10	Row 9	5	7	7.5	8.5	7	7	7	7	6.5	6.5	5	5

Abbildung 13: Exceltabelle der Messdaten.

Zum Erstellen der Karte in Excel muss die gesamte Tabelle mit der Maus markiert werden und dann mit *Insert* → *Other charts* → *Surface* (erste Auswahl) erstellt (Abbildung 14). Die Angaben in der deutschen Version sind entsprechend.

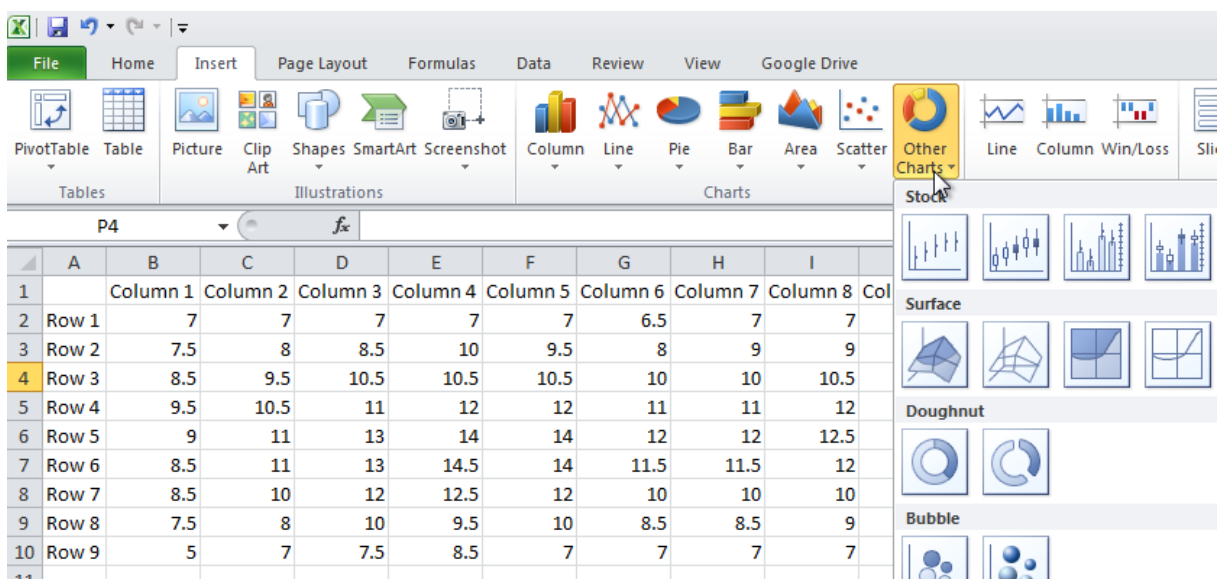


Abbildung 14: Die Karte kann durch die Auswahl *Insert* → *Other Charts* erzeugt werden.

Es öffnet sich ein neues Fenster, in dem die Oberflächenkarte der Höhenmessungen dargestellt wird. Sie ist bereits eine gute Wiedergabe des versteckten Landschaftsmodells. Der Blickwinkel auf das Modell lässt sich einen Rechtsklick auf die Grafik und der Auswahl *3-D Rotation* einstellen.

Man beachte, dass die Reihenfolge der Zeilen in der Grafik gegenüber der Tabelle invertiert ist. Die Reihenfolge kann angepasst werden, indem man auf die Achse der Zeilen mit der rechten Maustaste klickt. In dem neuen Fenster wählt man *Series in reverse order* oder den entsprechend deutschen Eintrag.

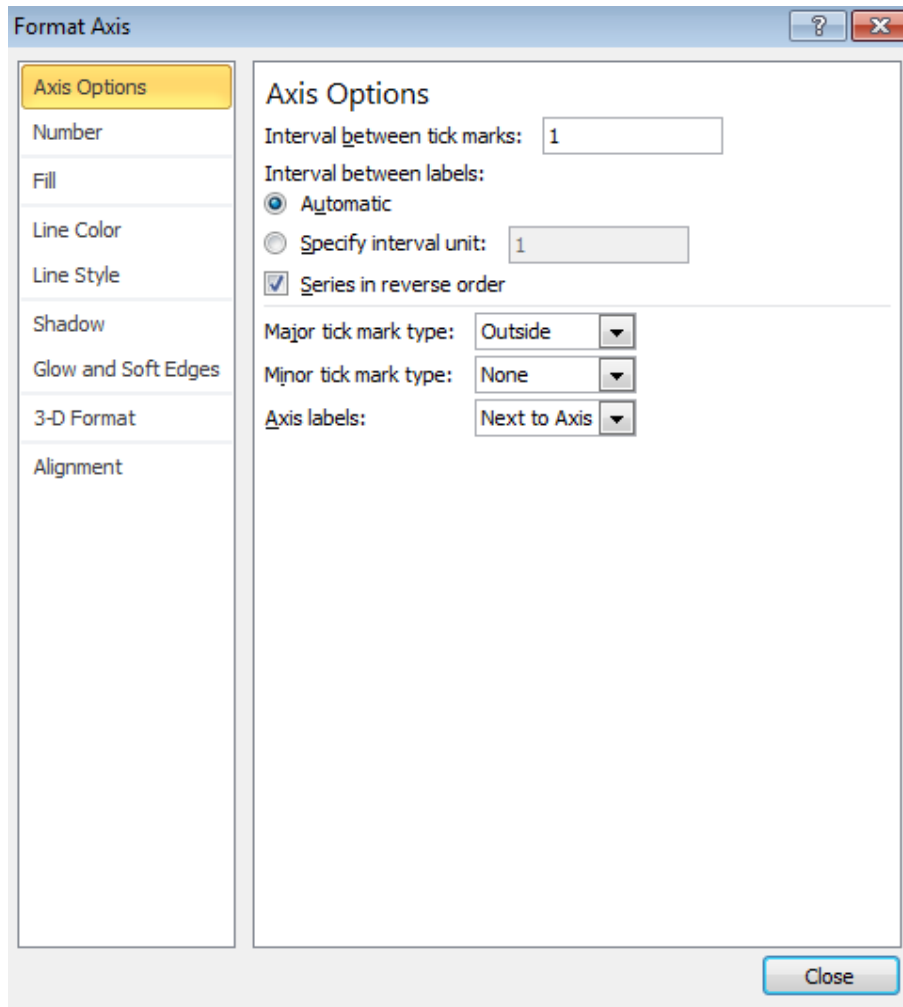


Abbildung 15: Fenster in MS Excel zur Anpassung der Achsenparameter. Die Achse der Zeilen sollte invertiert werden.

## 2.7 Abschlussdiskussion

Diskutiere mit Allen Vorteile und Anwendungen der Radarhöhenmessungen mit Satelliten.