

*Geographic Information Technology Training Alliance (GITTA) presents:*

# **Geländeanalyse**

**Verantwortliche Personen: Friedjoff Trautwein, Helmut Flitter,  
Robert Weibel, Suzette Hägi**



# Inhaltsverzeichnis

1. Geländeanalyse .....	2
1.1. Extraktion topographischer Information .....	3
1.1.1. Informationsprodukte .....	4
1.1.2. Übung .....	8
1.2. Geomorphometrie .....	9
1.2.1. Neigung .....	9
1.2.2. Exposition .....	11
1.2.3. Krümmung .....	12
1.2.4. Diskussion .....	14
1.3. Sichtbarkeitsanalyse .....	15
1.3.1. Berechnung der Sichtbarkeit .....	15
1.3.2. Übung .....	18
1.4. Geländeschattierung .....	19
1.4.1. Schattierungsmethode .....	19
1.5. Zusammenfassung .....	21
1.6. Literaturempfehlungen .....	22
1.7. Bibliographie .....	23

# 1. Geländeanalyse

Dreidimensionale Ansichten von Geländemodellen kennt man vor allem aus Flugsimulatoren oder aus digitalen Atlanten. Diese Lektion zeigt, dass man aus digitalen Geländemodellen neben perspektivischen Ansichten eine Vielzahl weiterer Informationen ableiten kann. Diese Informationsprodukte können in verschiedenster Art und Weise daherkommen und für die räumliche Analyse mit beliebiger Nicht-Gelände-Information kombiniert werden.

In Unit 1 wird eine Übersicht gegeben, welche Information aus digitalen Geländemodellen abgeleitet werden kann. In Unit 2 wird auf die Informationsprodukte Neigung, Exposition und Krümmung eingegangen. Zuerst werden mögliche Anwendungsgebiete in der Geomorphometrie erwähnt. Dann wird gezeigt, wie man Neigung, Exposition und Krümmung aus rasterbasierten sowie aus linear interpolierten dreiecksbasierten Geländemodellen (sog. TINs = Triangulated Irregular Networks) berechnen kann. Thema von Unit 3 ist die Sichtbarkeitsberechnung. Mit Hilfe der gezeigten Methoden kann (wiederum in rasterbasierten und linear interpolierten dreiecksbasierten Geländemodellen) berechnet werden, ob ein Punkt im Gelände von einem gegebenen Betrachterstandort aus sichtbar ist oder nicht. Die letzte Unit zeigt wie man Reflexion einer Rasterzelle berechnen kann und eine schattierte Reliefkarte erzeugt.

## Lernziele

- Sie gewinnen einen Überblick über die wichtigsten Informationsprodukte, die aus digitalen Geländemodellen abgeleitet werden können.
- Sie kennen die grundlegenden Methoden, um die wichtigsten Parameter der Geomorphometrie, d.h. Neigung, Exposition und Krümmung zu berechnen. Sie kennen die grundlegenden Verfahren, um die Sichtbarkeit eines Punktes in Gittern und linearen TINs zu berechnen.
- Sie wissen, wie die Sichtbarkeit eines Punktes in einem gitterbasierten Geländemodell und einem linear interpolierten triangulierten Geländemodell berechnet wird.
- Sie kennen wichtige Anwendungsgebiete der Sichtbarkeitsanalyse.
- Ihnen ist das Prinzip der Geländeschattierung bekannt und Sie können die Reflexion einer Rasterzelle berechnen.

### 1.1. Extraktion topographischer Information

Das Phänomen Gelände spielt in vielen räumlichen Modellen eine zentrale Rolle. In einem GIS werden die Informationen, welche die Höhe des Geländes betreffen, in einem digitalen Geländemodell abgespeichert. In dieser Unit geht es darum, was für Informationen aus einem Geländemodell berechnet und abgeleitet werden können und in welchem Kontext diese Informationen üblicherweise benutzt werden.



*Das Phänomen Gelände spielt häufig eine zentrale Rolle (Photo: Ross Purves)*

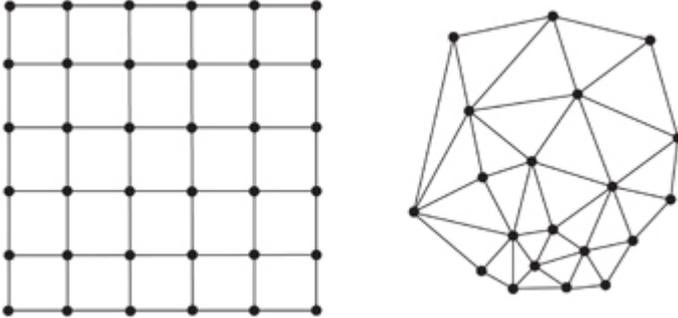
#### **Grid vs. TIN**

Höhenwerte in einem digitalen Geländemodell sind normalerweise in einer dieser Datenstrukturen organisiert:

- Regelmässiges Gitternetz (GRID)
- Unregelmässiges Dreiecksnetz (TIN = Triangulated Irregular Network)

Ein Grid hat einen ähnlichen Aufbau wie ein Rasterdatensatz. Jede rechteckige Gridzelle ist gleich gross und jede speichert die Höhe von der Oberfläche des gegebenen Ortes. Diese Datenstruktur ist wegen ihrer Einfachheit und wegen dem leicht zu implementierenden Algorithmen am weitesten verbreitet. Der Nachteil eines Grid ist jedoch, dass die Dichte der Grids dem komplexen Gelände nicht angepasst werden kann und damit auch manchmal übertrieben viele Daten für die Repräsentation sehr einfacher Gebiete genutzt werden.

TIN besteht aus unregelmässig verteilten Punkten, die so verbunden sind, dass sie Dreiecke formen. Diese Datenstruktur kann eine effiziente Form der Speicherung von Geländeinformation sein, weil die Dichte der Dreiecke zur Erfassung des Geländes besser variieren kann (mehr Datenpunkte an komplexen Gebietsteilen oder weniger Datenpunkte an flachen Stellen des Geländes). Die dreieckbasierte Algorithmen sind allerdings komplizierter zu implementieren.

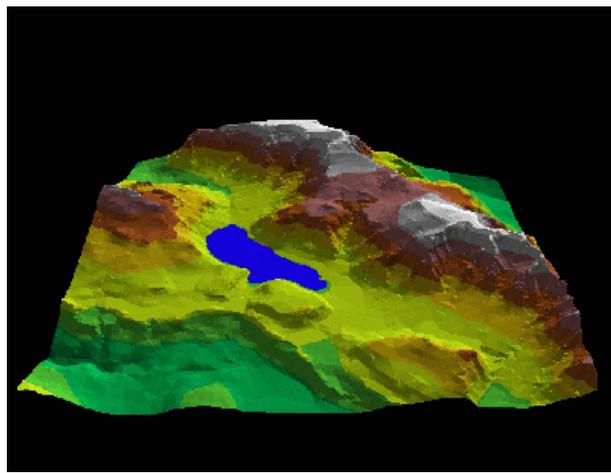


Die zwei am meisten genutzten Datenstrukturen für Geländehöhen: regelmässiges Gitternetz (links) und unregelmässiges Dreiecksnetz (rechts)

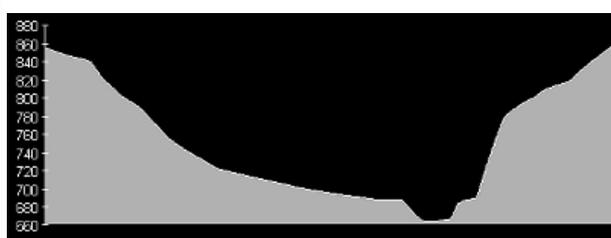
### 1.1.1. Informationsprodukte

#### **Beispiele von extrahierter Information:**

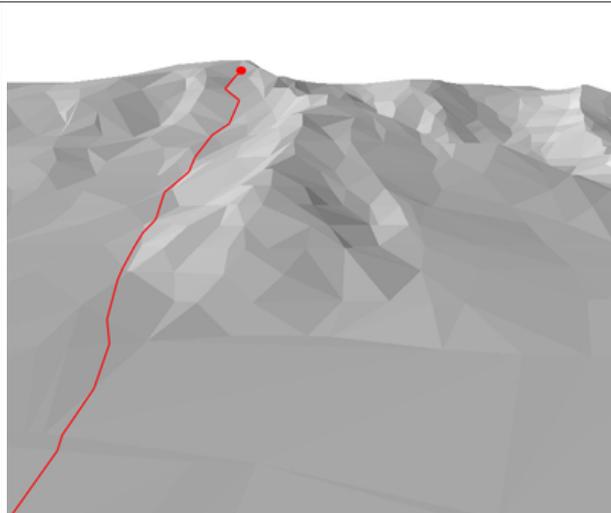
Ein digitales Geländemodell enthält neben der blossen Höhe der Stützpunkte jede Menge impliziter Information. "Implizite Information" bedeutet hier, dass sie im Geländemodell enthalten ist, ohne aber ausdrücklich (= explizit) gespeichert zu sein. Implizite Information kann durch geeignete Methoden aus einem Geländemodell (das explizit nur die Geländehöhen speichert) extrahiert werden. Dies wird deutlich, wenn man einen Blick auf eine perspektivische Abbildung eines Geländemodells wirft. Die folgende Abbildung zeigt ein solches Geländemodell für die Umgebung des Türlersees (bei Zürich in der Schweiz). Daran anschliessend folgen einige Abbildungen, die zeigen, welche implizit vorhandene Information aus diesem Geländemodell extrahiert werden kann.



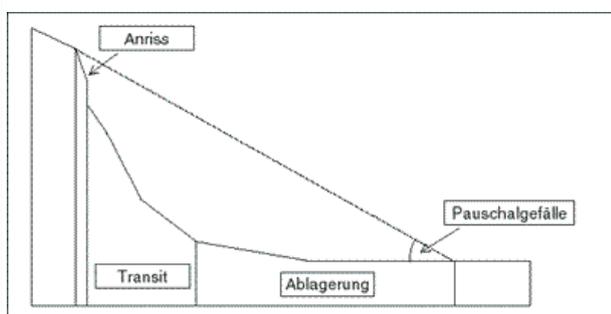
Digitales Geländemodell vom Gebiet Türlensee. (Hugentobler 2000)



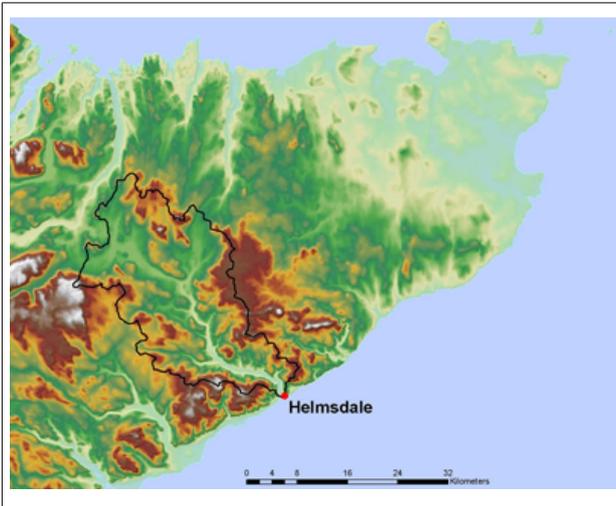
Aus einem Geländemodell können Profile zwischen zwei Punkten berechnet werden. Profile sind in vielen Ingenieurwendungen relevant, z. B. für die Projektierung einer Strasse oder im Tunnelbau.



Eine Falllinie ist der Pfad, entlang dessen (ausgehend von einem gegebenen Punkt) Wasser abfließen würde. Falllinien werden u. a. zur Modellierung von Eis- und Steinschlag, aber auch für die Berechnung von Einzugsgebieten gebraucht.



Das Pauschalgefälle ist die Neigung zwischen zwei Punkten im Gelände. Hauptsächliches Anwendungsgebiet ist die Modellierung von Sturzprozessen (Steinschlag, Eisschlag).



Einzugsgebiete (engl. catchments) sind eine wichtige Komponente in vielen hydrologischen, geomorphologischen und landschaftskundlichen GIS-Anwendungen.

Die untenstehende Tabelle gibt einen Überblick über Informationsprodukte, die aus Geländemodellen ableitbar sind. Höhe, Neigung, Plan- und Profilkurvatur sind Themen der nächsten Unit 1.2. Auf Intervisibilität und die Ermittlung des sichtbaren Gebietes wird in der übernächsten Unit 1.3 eingegangen.

Informationsprodukt	Art des Outputs	Beschrieb
Neigung	Zahl	Neigung an einem Punkt
Pauschalgefälle	Zahl	Gefälle zwischen zwei Punkten
Exposition	Zahl	Ausrichtung des Hanges
Kurvatur	Zahl	Krümmung in eine bestimmte Richtung (z. B. Plan- oder Profilkurvatur)
Intervisibilität	Ja/ Nein	Gibt an, ob der Betrachter einen bestimmten Punkt sehen kann
Sichtbares Gebiet	Polygone	Gebiet, welches von einem oder mehreren Punkten aus sichtbar ist
Reliefschatten	Bild	Schattenwurf durch das Gelände bei einer bestimmten Sonnenposition
Flussnetzwerk	Linien	Linien von Wasserabfluss im Gelände
Einzugsgebiete	Polygone	Gebiet, aus dem Wasser einem bestimmten Ort zufließt
Profil	Linie	Höhenprofil entlang einer bestimmten Linie
Volumen	Zahl	Füllungs- oder Abtragsvolumen für ein Gebiet und für eine bestimmte Höhe

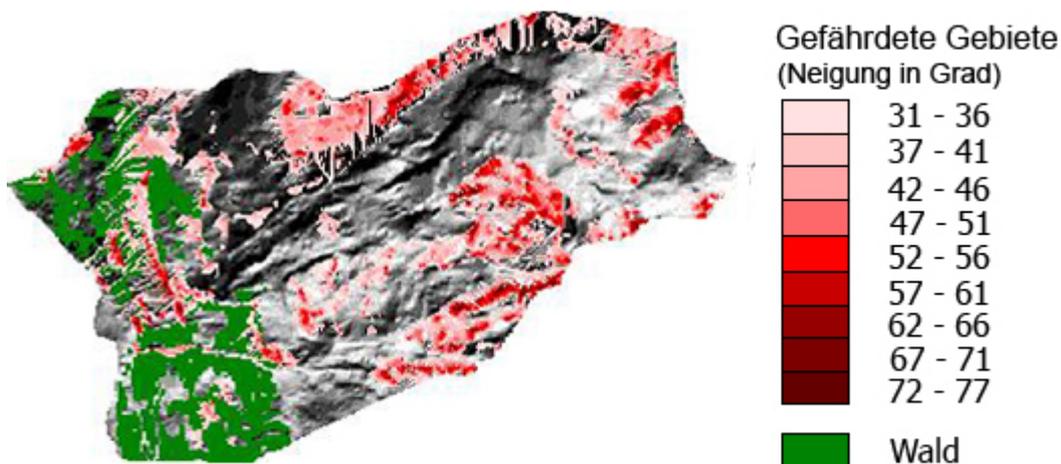
## Geländeanalyse

Perspektivische Abbildung	Bild	Perspektivische Geländedarstellung
Falllinie	Linie	Pfad entlang der steilsten Neigung

Mit Hilfe von Geländemodellen können in einem GIS relativ komplexe Sachverhalte modelliert werden. Hier wird gezeigt, wie man mit einem GIS Gebiete ausscheiden kann, die von Steinschlag bedroht sind. Ausgangsdaten sind folgende Datensätze:

- digitalisierte Felsgebiete (Polygondatensatz),
- digitalisierte Waldflächen (Polygondatensatz),
- ein digitales Geländemodell.

Die Steinschlagmodellierung geht folgendermassen vor sich: Die digitalisierten Felsgebiete sind potenzielle Anrissgebiete. Von jedem Pixel, das sich innerhalb eines Felsgebietes befindet, wird die Falllinie bestimmt, da angenommen wird, dass sich fallende Steine in etwa entlang der Falllinie talwärts bewegen. Der simulierte Steinschlag kommt zum Stillstand, wenn das Pauschalgefälle das erste Mal kleiner als 31 Grad wird (dieses Abbruchkriterium wurde für Ingenieur Anwendungen empirisch ermittelt). In Waldgebieten kommt ein Stein schneller zum Stillstand (Bäume wirken als Hindernisse); daher kann man dort den Schwellenwert des Pauschalgefälles höher setzen, beispielsweise auf 33 Grad. Die untenstehende Abbildung zeigt das Resultat einer solchen Analyse in der Umgebung der Gemeinde Saas Baalen. Rot eingefärbt sind die steinschlaggefährdeten Gebiete, wobei der Farbton das resultierende Pauschalgefälle in Grad repräsentiert.



*Steinschlaggefahr in der Gemeinde Saas Baalen*

In der folgenden Matrix, welche Anwendungsgebiete und Geländeinformationen einander gegenüberstellt, können Sie anklicken, welche Information in welchem Anwendungsgebiet welche Wichtigkeit hat (wiederholtes Anklicken verändert die Symbolgrösse entsprechend der Legende). Mit dem Knopf „Prüfen“ können Sie jederzeit Ihre Antworten mit einem Vorschlag aus (1991) vergleichen. Das heisst, Sie müssen nicht unbedingt die gesamte Tabelle füllen, um Ihre (Teil-) Lösung zu überprüfen. Beachten Sie auch, dass der Vorschlag von Weibel und Heller nur eine mögliche Bewertung darstellt. Ihre Bewertung kann durchaus davon abweichen. Wesentlich ist vor allem, dass Sie sich überlegen, weshalb wohl gewisse Informationsprodukte als wichtiger erachtet werden können als andere.

Dieses Element (Animation, Video etc.) kann nicht dargestellt werden und ist nur in der Onlineversion sichtbar. [\[link\]](#)

[Vergrößern](#)

### 1.1.2. Übung

Sie haben die Aufgabe, mit einem GIS die räumliche Verteilung der potentiellen Sonneneinstrahlung in der Schweiz zu modellieren. Diskutieren Sie mit Ihren Mitsstudenten- und studentinnen, welche Informationen aus einem Geländemodell es dazu braucht. Benutzen Sie dazu das Diskussionsforum.

# 1.2. Geomorphometrie

Die Geomorphometrie beschäftigt sich mit der quantitativen Beschreibung und Analyse der Erdoberfläche. Zu diesem Zweck werden aus digitalen Geländemodellen verschiedene Geländeparameter abgeleitet. Neigung, Exposition und Krümmung (auch Krümmung genannt) des Geländes gehören zu den Informationen, die am häufigsten aus Geländemodellen extrahiert und in verschiedensten Anwendungen eingesetzt werden. Als Beispiele seien die Verwendung der Exposition in vegetationsgeographischen Fragestellungen, die Modellierung von potentiell alpinem Permafrost (verwendet die Höhe, Exposition und Neigung) oder die Modellierung von Lawinengefahren (Neigung, Exposition) erwähnt. In dieser Unit wird darauf eingegangen, wie diese Informationen definiert sind. Weiter werden die grundlegenden Verfahren vorgestellt, mit der man die Neigung, Exposition und Krümmung aus Geländemodellen berechnen kann.

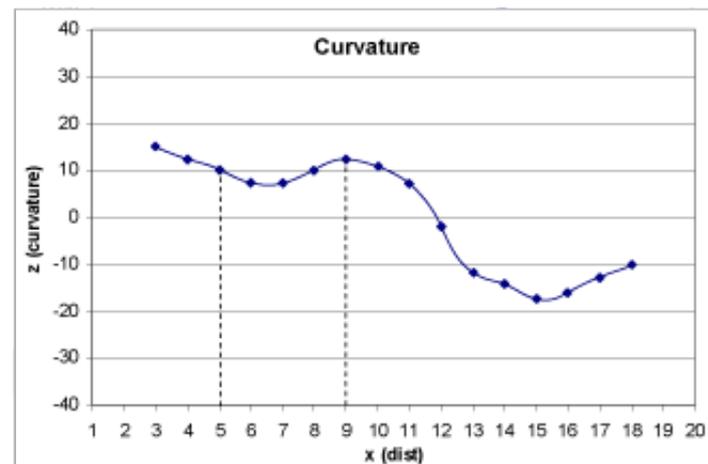
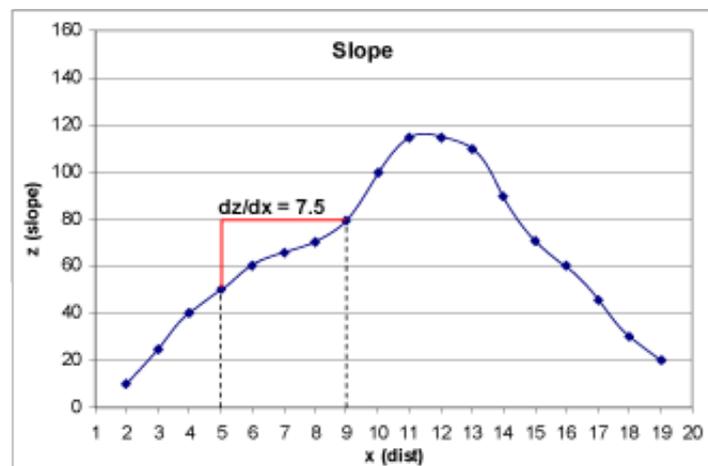
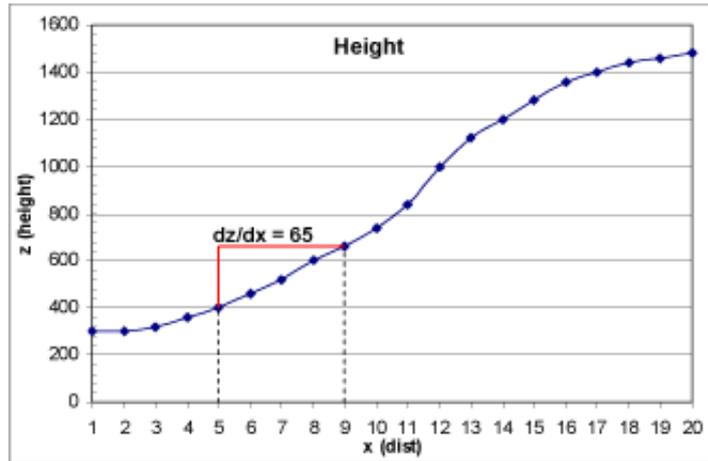
## 1.2.1. Neigung

Auf einer (Gelände-)Oberfläche ist die Neigung (oder auch: Hangneigung) an einem Punkt gegeben durch die Tangentialebene. Das steilste Gefälle auf dieser Tangentialebene bezeichnet man als Neigung (engl. slope). Die Neigung lässt sich somit berechnen, wenn man die Ableitungen der Oberfläche in der Richtung der x-Koordinate und diejenige in Richtung der y-Koordinate kennt.

Um die Neigung aus einem Höhenmodell zu berechnen, braucht man daher eine Methode, mit der man Ableitungen aus den Höhenwerten schätzen kann. Die gängigste Art, dies für ein gitterbasiertes Geländemodell zu tun, ist unter dem Namen „finite Differenzen“ bekannt (Horn 1981).

Um das Prinzip der finiten Differenzen zu erläutern, sei zuerst auf den eindimensionalen Fall eines Profils (statt einer Oberfläche) zurückgegriffen. Die folgende Abbildung zeigt, wie durch Bildung des Quotienten der Differenzen der Höhe ( $dz$ ) und in der Ebene ( $dx$ ) zuerst die erste Ableitung (slope), und davon ausgehend die zweite Ableitung (curvature) geschätzt werden kann. Die gewählte Schrittweite in x-Richtung ist in diesem Fall gleich 4. Das heisst, es wird die finite Differenz bezgl. der beiden zweiten Nachbarn nach links bzw. nach rechts vom zentralen Punkt aus gebildet. Diesem zentralen Punkt wird sodann der Wert der Ableitung zugewiesen. In der Abbildung sind der Zentralpunkt sowie  $dz$  und  $dx$  entsprechend rot markiert.

x	height	slope	curvature
1	300		
2	300	10	
3	320	25	15
4	360	40	12.5
5	400	50	10
6	460	60	7.5
7	520	65	7.5
8	600	70	10
9	660	80	12.5
10	740	100	11.25
11	840	115	7.5
12	1000	115	-2.5
13	1120	110	-11.25
14	1200	90	-13.75
15	1280	70	-16.25
16	1360	60	-15
17	1400	45	-12.5
18	1440	30	-10
19	1460	20	
20	1480		



Für den zweidimensionalen Fall einer Oberfläche gibt (Horn 1981) die Formeln zur Schätzung der Neigung mittels finiten Differenzen:

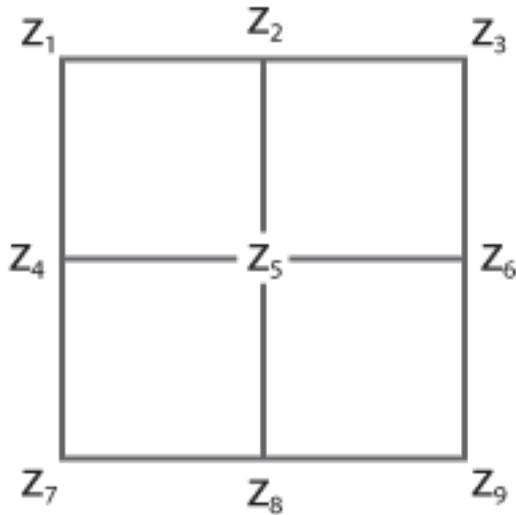
$$Slope = \arctan \sqrt{\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dy}\right)^2}$$

mit

$$\frac{dz}{dx} = \frac{(z_3 - z_1) + 2(z_6 - z_4) + (z_9 - z_7)}{8\Delta x}$$

$$\frac{dz}{dy} = \frac{(z_9 - z_3) + 2(z_8 - z_2) + (z_7 - z_1)}{8\Delta y}$$

Die Nummerierung der Punkte in der 3-3-Nachbarschaft um den Zentralpunkt ( $z_5$ ) zur Bildung der Differenzen ist aus der nachstehenden Abbildung ersichtlich. In den Formeln der finiten Differenzen oben fällt auf, dass die Differenzen, die durch den Zentralpunkt führen, doppelt gewichtet sind.



In einem linear interpolierten dreiecksbasierten Geländemodell können ebenfalls mit wenig Aufwand Richtungsableitungen berechnet werden. Die Höhe innerhalb einer Dreiecksfacette kann bestimmt werden durch die Ebenengleichung  $z = ax + by + c$ , wobei  $x$ ,  $y$  und  $z$  die Koordinaten des Punktes sind, für den man die Höhe berechnen möchte. Durch die drei Eckpunkte einer Dreiecksfacette können  $a$ ,  $b$ ,  $c$  berechnet werden (3 Gleichungen, 3 Unbekannte). Somit hat man die Ableitung (Neigung) in  $x$ -Richtung ( $a$ ) und die Ableitung in  $y$ -Richtung ( $b$ ) bereits gefunden.

### 1.2.2. Exposition

Unter Exposition (engl. aspect) versteht man die Richtung (im Uhrzeigersinn von Norden = Azimut) des steilsten Gefälles der Tangentialebene. Wiederum benötigt man die Ableitungen in  $x$ - und  $y$ -Richtung zur Berechnung, wie sie für die Berechnung der Hangneigung schon gebildet wurden (Horn 1981):

$$\text{Aspect} = \arctan\left(\frac{b}{a}\right)$$

mit

$$a = \left(\frac{dz}{dx}\right)$$

$$b = \left(\frac{dz}{dy}\right)$$

Zusätzlich muss man für die Berechnung unterscheiden, ob die Werte dieser Ableitungen negativ, null oder positiv sind ("mod" bezeichnet die Modulo-Division; ergibt den Divisionsrest):

$$Aspect = \begin{cases} \arctan \frac{b}{a} \bmod 360, & \frac{dz}{dx} \in \mathbb{R}, \quad \frac{dz}{dy} < 0 \\ \arctan \frac{b}{a} + 180, & \frac{dz}{dx} \in \mathbb{R}, \quad \frac{dz}{dy} > 0 \\ 90, & \frac{dz}{dx} < 0, \quad \frac{dz}{dy} = 0 \\ 270, & \frac{dz}{dx} > 0, \quad \frac{dz}{dy} = 0 \\ \text{nicht definiert}, & \frac{dz}{dx} = 0, \quad \frac{dz}{dy} = 0 \end{cases}$$

### 1.2.3. Krümmung

Krümmung (engl. curvature) ist die Krümmung (d. h. die zweite Ableitung) einer Oberfläche an einem bestimmten Punkt in eine bestimmte Richtung. Bei digitalen Geländemodellen sind insbesondere die Profilkrümmung (Krümmung in Richtung des steilsten Gefälles) und die Plankrümmung (Krümmung in Richtung der Höhenlinie) von besonderem Interesse. Die Krümmungswerte sind negativ bei Konvexität (erhabene Formen) und positiv bei Konkavität (Hohlformen). Die gebräuchlichste Methode, Krümmungen in Rastermodellen zu berechnen, wird in (1987) beschrieben. Es wird ein lokales Polynom vierter Ordnung mit neun Parametern verwendet, das durch alle neun Punkte in der 3x3-Nachbarschaft des Zentralpunktes geht, wie dies die folgende Abbildung schematisch zeigt (inkl. Nummerierung der Punkte für die Formeln). Dann können Plan- und Profilkrümmung für den Zentralpunkt  $z_5$  mit folgenden Formeln berechnet werden:

$$Z = f(x, y) = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$

mit

$$A = \frac{\frac{z_1+z_3+z_7+z_9}{4} - \frac{z_2+z_4+z_6+z_8}{2} + z_5}{L^4}$$

$$B = \frac{\frac{z_1+z_3+z_7+z_9}{4} + \frac{z_2-z_8}{2}}{L^3}$$

$$C = \frac{\frac{z_1+z_3+z_7+z_9}{4} + \frac{z_4-z_6}{2}}{L^3}$$

$$D = \frac{\frac{z_4+z_6}{2} - z_5}{L^2}$$

$$E = \frac{\frac{z_2+z_8}{2} - z_5}{L^2}$$

$$F = \frac{-z_1 + z_3 + z_7 - z_9}{4L^2}$$

$$G = \frac{-z_4 + z_6}{2L}$$

$$H = \frac{z_2 - z_8}{2L}$$

$$I = z_5$$

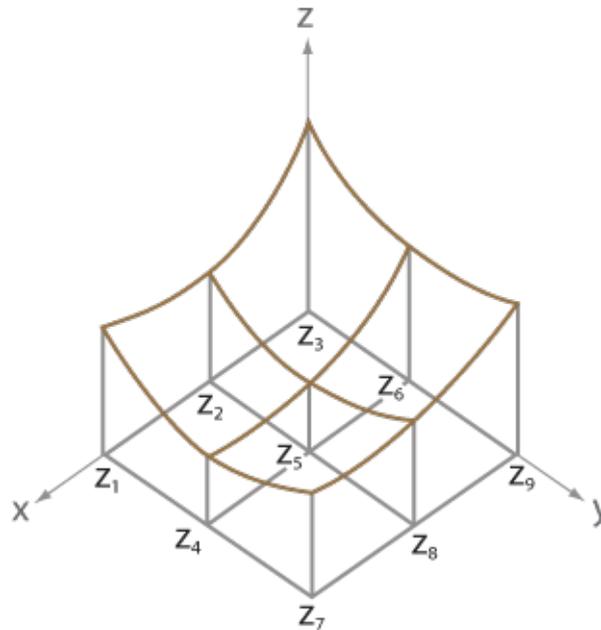
$L$  = Maschenweite des Quadratgitters [m]

$$\text{Slope} = -(G^2 + H^2)^{1/2}$$

$$\text{Aspect} = \arctan\left(\frac{-H}{-G}\right)$$

$$\text{Profile Curvature} = \frac{-2(DG^2 + EH^2 + FGH)}{G^2 + H^2}$$

$$\text{Planform Curvature} = \frac{2(DH^2 + EG^2 + FGH)}{G^2 + H^2}$$



In der untenstehenden Abbildung sehen sie eingefärbte 3D-Ansichten eines Geländes. Ihre Aufgabe ist es nun, herauszufinden, welche abgeleitete Information hier eingefärbt worden ist.

**Dieses Element (Animation, Video etc.) kann nicht dargestellt werden und ist nur in der Onlineversion sichtbar. [link]**

### 1.2.4. Diskussion

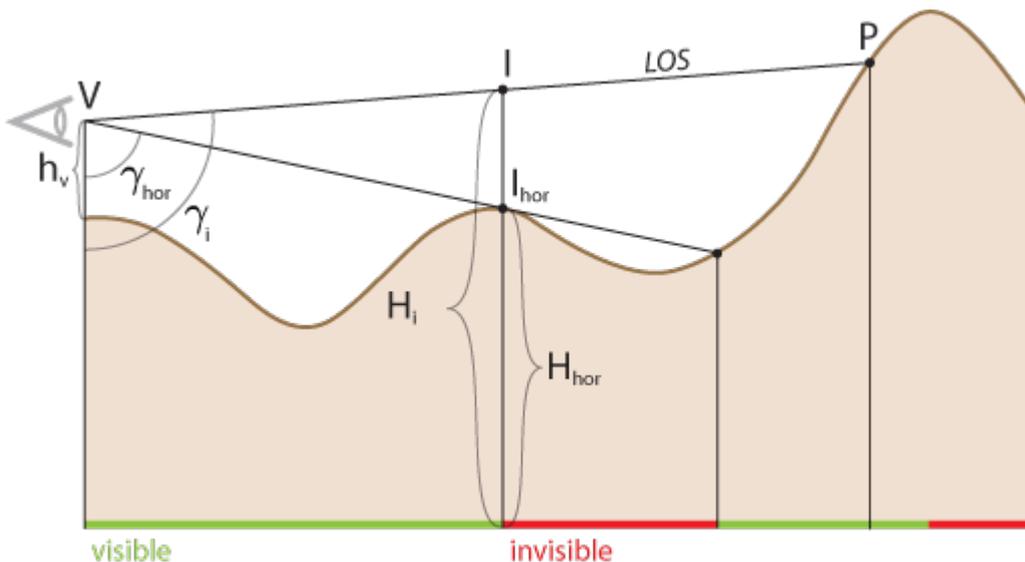
In dieser Unit wurde Ihnen unter anderem gezeigt, wie sich aus einem regelmässigen Gitter Ableitungen schätzen lassen. Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile der vorgestellten Methode mit Ihren Mitstudenten- und studentinnen und benutzen Sie dazu das Diskussionsforum.

## 1.3. Sichtbarkeitsanalyse

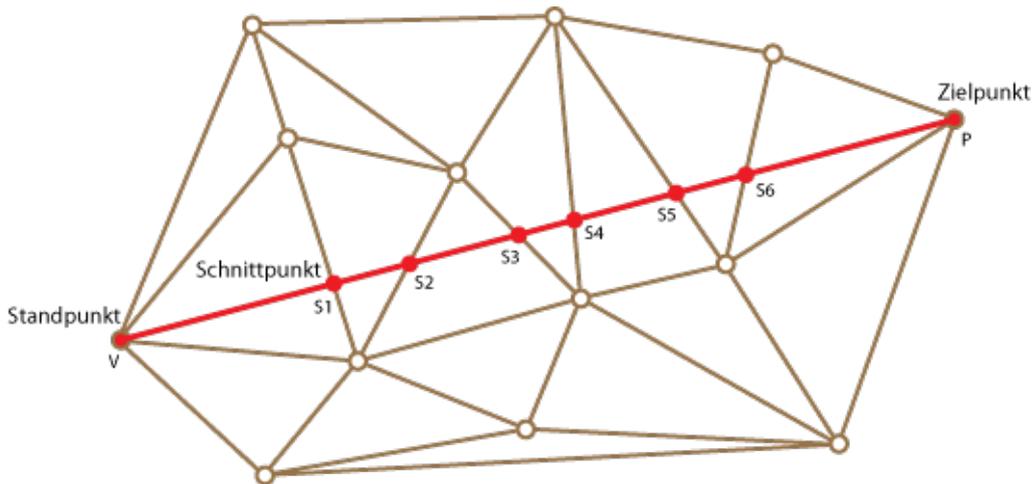
Digitale Geländemodelle können für viele Ingenieur- und Planungsanwendungen eingesetzt werden. Als Beispiel wird in dieser Unit näher auf die Sichtbarkeitsanalyse eingegangen. Bei einer Sichtbarkeitsanalyse wird, ausgehend von einem digitalen Höhenmodell und einem gegebenen Punkt, berechnet, welche anderen Punkte im Gelände sichtbar sind. Das Prinzip von Sichtbarkeitsberechnungen wird zuerst im eindimensionalen Fall gezeigt und dann auf den zweidimensionalen Fall übertragen.

### 1.3.1. Berechnung der Sichtbarkeit

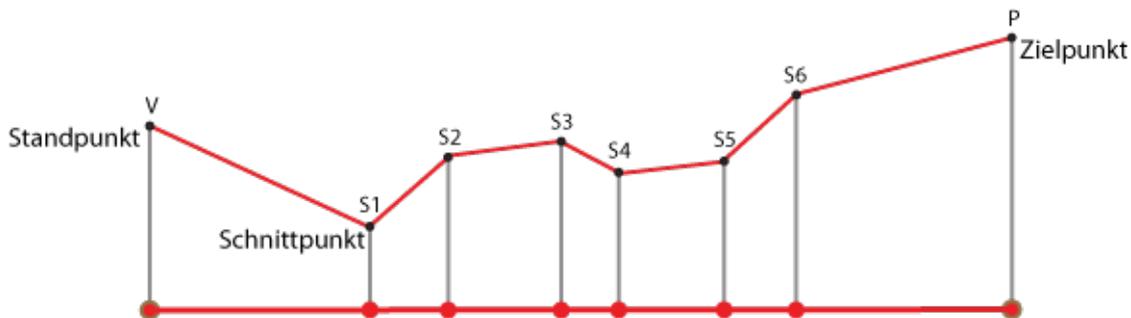
Im eindimensionalen Fall eines Profils wird zur Ermittlung der Sichtbarkeit eines Zielpunkts berechnet, ob ein Punkt zwischen dem Standort  $V$  und dem Zielpunkt  $P$  höher liegt als die Verbindungslinie (d. h. die Sichtlinie; engl. line of sight = LOS). Ist dies der Fall, so ist die Sichtlinie  $LOS$  blockiert und somit der Zielpunkt nicht sichtbar, andernfalls ist der Zielpunkt sichtbar. Am einfachsten programmiert man einen solchen Test, indem man prüft, ob die Neigung der Linie zwischen dem Standpunkt  $V$  und dem überprüften Zielpunkt  $P$  auf dem Profil grösser oder kleiner als diejenige der Linie zum letzt-gespeicherten Horizontpunkt  $I_{hor}$  ist. Oder anders gesprochen, ob der Vertikalwinkel  $\gamma_i$  zum aktuell überprüften Punkt grösser (= sichtbar) oder kleiner (= unsichtbar) ist als der Vertikalwinkel  $\gamma_{hor}$  des letzten Horizonts.



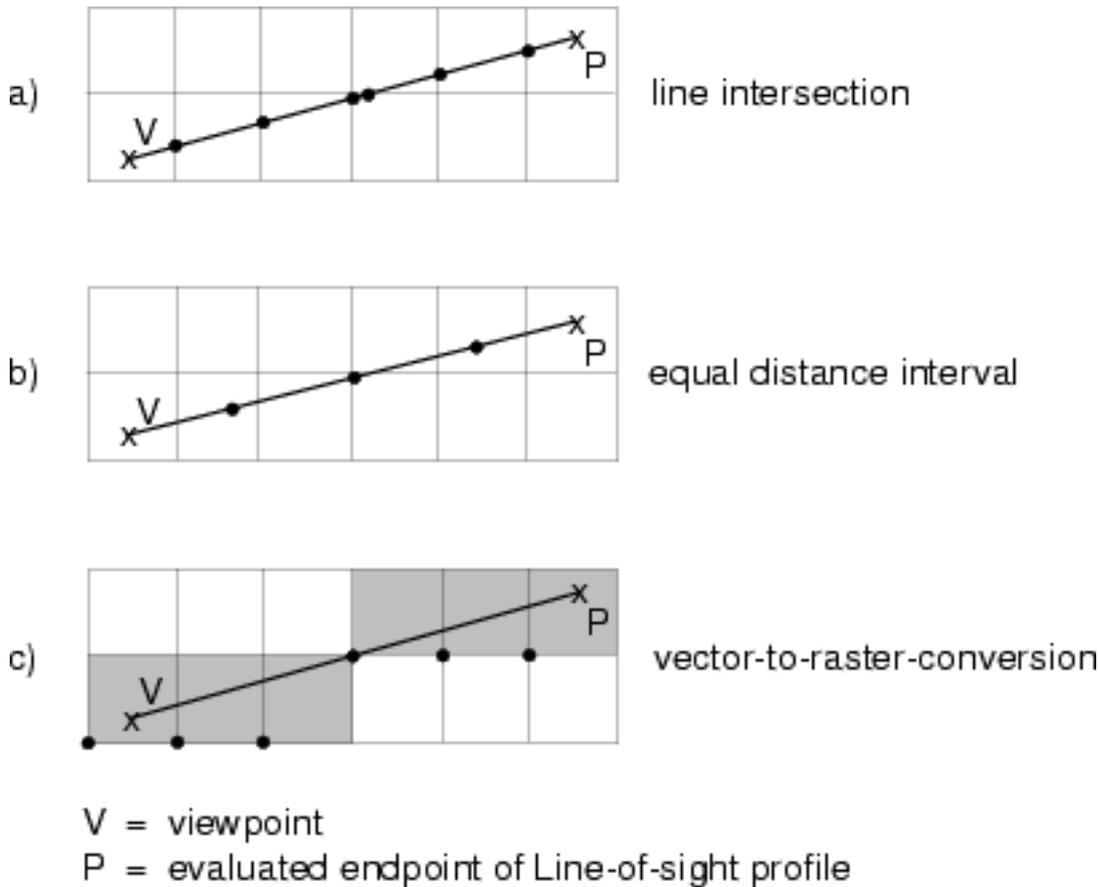
In einem linear interpolierten dreiecksbasierten Geländemodell müssen zuerst die Höhen von den Schnittpunkten der Verbindungslinie (von Standort und Zielpunkt) und der Dreiecksvermaschung berechnet werden, wie dies die nächste Abbildung zeigt.



Die Höhen an den Schnittpunkten  $S_1$  bis  $S_n$  können durch lineare Interpolation aus den Höhen der beiden Dreieckspunkte berechnet werden, die die betreffende Dreieckskante beschliessen. Als Resultat ergibt sich ein Profil wie im eindimensionalen Fall (siehe Abbildung unten). Auf diesem Profil kann nun derselbe Algorithmus für die LOS-Ermittlung wie oben angewendet werden.



Ermittlung der Profile zwischen Standpunkt V und Zielpunkt P in einem gitterbasierten Geländemodell (Raster): Hier kann, analog zum dreiecksbasierten Fall, die Verbindungslinie mit den Kanten der durch das Gitter gebildeten Quadrate geschnitten und ein Profil erstellt werden (Abbildung a). Da die Berechnung der Schnittpunkte sehr rechenintensiv sein kann, gibt es Näherungsalgorithmen, um ein Profil zu berechnen. In der untenstehenden Abbildung werden zwei davon gezeigt: In Abbildung b) wird entlang der Sichtbarkeitslinie die Höhe in regelmässigen Abständen abgefragt und gespeichert. Da jede Rasterzelle genau eine Höhe hat, muss somit nur berechnet werden, in welcher Rasterzelle der betreffende Zwischenpunkt liegt. In der Lösung von Abbildung c) wird der Sichtstrahl zuerst gerastert und dann die Höhe der so entstandenen Rasterzellen mit denjenigen des Geländemodells verglichen.



Sichtbarkeitsberechnungen gelangen in verschiedenen Anwendungen zum Einsatz. Ein erstes Beispiel ist die Platzierung eines Aussichtsturms. Mit einem digitalen Geländemodell können innerhalb sehr kurzer Zeit verschiedene Standorte geprüft werden. Ausserdem kann die Berechnung mit verschiedenen Turmhöhen durchgeführt werden (Variation von  $h_v$ ). Ein weiteres Beispiel ist die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen (z. B. zur Planung von Mobilfunkantennen). Hier ist zu beachten, dass das Gebiet, in welchem elektromagnetische Signale empfangen werden können, nicht genau mit dem sichtbaren Gebiet übereinstimmt. Im GIS wird dies in der Regel dadurch korrigiert, dass die Höhe eines Punktes einen bestimmten Betrag unter der Sichtbarkeitslinie sein muss, damit an diesem Punkt das Signal nicht empfangen werden kann. Die Höhe dieses Betrages ist abhängig von der Wellenlänge. Ein letztes Beispiel stammt aus der Wildtierbiologie. Ein GIS kann hier eingesetzt werden, um ein optimales Gebiet zur Wiederansiedlung von Tierarten auszuwählen. Das Rocky-Mountain-Bighorn-Schaf beispielsweise hält sich (unter anderem) bevorzugt in Gebieten auf, welche nur von wenigen Orten aus gesehen werden können. Dies reduziert die Wahrscheinlichkeit, von einem Raubtier entdeckt zu werden.

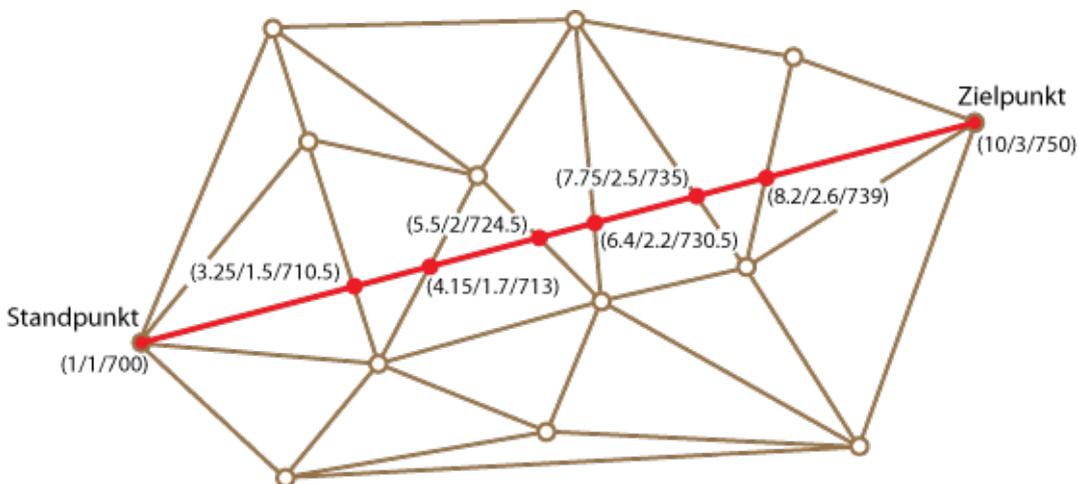
Der untenstehende Kartenausschnitt zeigt die Umgebung des Türlersees in der Nähe von Zürich (Schweiz). Wenn Sie in die topographische Karte hineinklicken, können Sie sehen, welche Punkte vom markierten Betrachterstandort (roter Punkt) aus sichtbar sind und welche nicht. Nach Eingabe einiger Punkte erscheint ein Knopf „Karte einblenden“, mittels dessen die gesamte Sichtbarkeitskarte eingeblendet wird. Ist der Ort Aeugst vom Betrachtungsort aus einsehbar?

Dieses Element (Animation, Video etc.) kann nicht dargestellt werden und ist nur in der Onlineversion sichtbar. [\[link\]](#)

Wie bereits erwähnt, werden (leicht modifizierte) Sichtbarkeitsberechnungen mit digitalen Geländemodellen eingesetzt, um die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen zu berechnen. Dies wird von verschiedenen Mobiltelefonanbietern dazu genutzt, Karten zu erstellen, auf welchen die Gebiete eingefärbt sind, wo man mit einem Mobiltelefon Empfang hat. Auf der Internetseite der Telekommunikationsfirma **Salt** können Sie sich ein Beispiel dazu anschauen für das Gebiet der Schweiz. Suchen Sie weitere ähnliche Beispiele im Internet.

### 1.3.2. Übung

In der untenstehenden Abbildung sehen Sie ein Profil mit Höhen und Distanzen. Berechnen Sie mit dem Taschenrechner, ob der Zielpunkt vom Startpunkt aus sichtbar ist oder nicht.

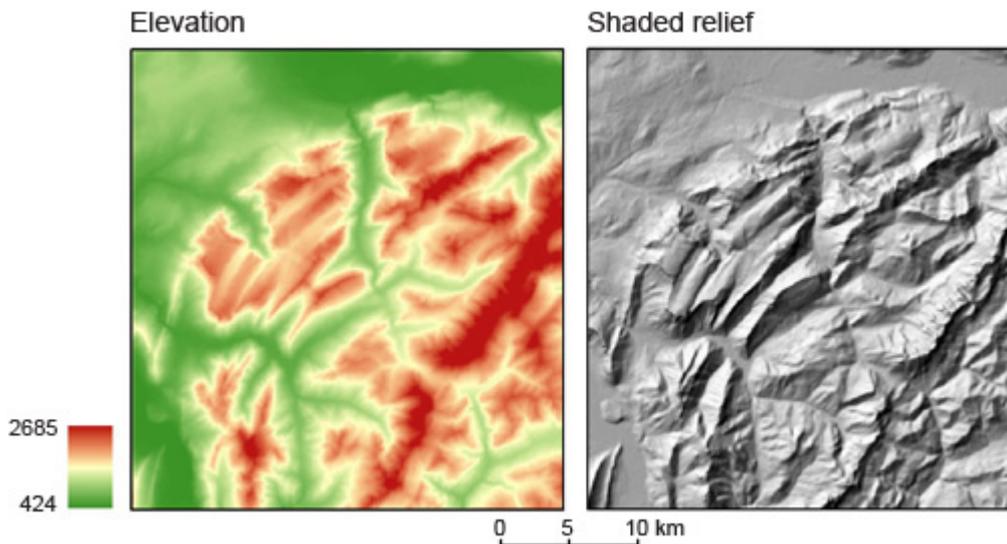


### 1.4. Geländeschattierung

Manchmal ist das Relief in topographischen Karten schattiert um einen besseren Eindruck der dritten Dimension zu erzielen. Für solch eine „schattierte Reliefkarte“ (shaded relief map, hillshading) setzen wir für gewöhnlich eine Lichtquelle in einem Winkel von 45° über dem Horizont aus Nordwestrichtung voraus. Obwohl diese Konstellation sehr unrealistisch für die nördliche Hemisphäre ist, wissen wir aus Erfahrung, dass diese Sonnenposition den besten Eindruck der dritten Dimension des Geländes vermittelt. Die Helligkeit einer Schattierung von einem gegebenen Oberflächenelement (entweder eine Rasterzelle oder ein TIN-Abschnitt) ist abhängig von den folgenden Eigenschaften:

- Exposition und Neigung des Oberflächenelements.
- Die Licht reflektierenden Eigenschaften des Oberflächenelements.

Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für eine Reliefschattierung in einer Karte. Die hellsten Gebiete sind nord-west orientiert, während die dunkelsten Gebiete, der Sonne entgegen, süd-ost orientiert liegen.



*Hypsographie (links), Reliefschattierung (rechts). Quelle: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*

#### 1.4.1. Schattierungsmethode

##### Grid

Eine Methode der gitterbasierten Reliefschattierung in Karten ist von Horn vorgeschlagen worden (Burrough et al. 1998). Im ersten Schritt sind dabei die Hangneigungen  $p$ ,  $q$  für jede Zelle in x- (ost-west) und y- (süd-nord) Richtung zu berechnen:

$$p = \frac{dz}{dx}$$

$$q = \frac{dz}{dy}$$

Im zweiten Schritt kann mit diesen Werten die Reflexion wie folgt approximiert werden:

$$R(p, q) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \frac{(p' + a)}{\sqrt{(b^2 + (p' + a)^2)}}$$

mit:

$$p' = \frac{p_0 p + q_0 q}{\sqrt{(p_0^2 + q_0^2)}}$$

wobei  $p'$  die Hangneigung entgegengesetzt der Lichtquelle ist. Z.B. ist für eine Lichtquelle im  $45^\circ$  Winkel im Nordwesten:

$$p_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

und

$$q_0 = -\frac{1}{\sqrt{2}}$$

Der Parameter  $a$  bietet die Wahlmöglichkeit des Grauwertes für horizontale Oberflächen und  $b$  ermöglicht den Anteil an Veränderung des Grauwertes mit der Oberflächenneigung. Zu empfehlen ist  $a=0$  und

### TIN

Reliefschattierungen in Karten werden mit TIN's ähnlich wie oben mit Grid beschrieben erstellt. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Reflektion für jede Dreiecksfläche anstatt für jede Rasterzelle ermittelt wird.

### 1.5. Zusammenfassung

Wichtige Informationen für viele räumliche Modellierungen lassen sich bereits mit einfachen Methoden aus digitalen Geländemodellen extrahieren. Diese Methoden sind standardmässig in vielen kommerziellen GIS verfügbar und werden bereits seit Jahren in verschiedensten Anwendungen eingesetzt. In dieser Lektion haben wir zunächst einige wesentliche Informationsprodukte betrachtet, die sich aus digitalen Geländemodellen extrahieren lassen. Danach haben wir zum einen drei wichtige Masse der Geomorphometrie (Hangneigung, Exposition, Krümmung) und zum anderen die Berechnung der Sichtbarkeit von Geländepunkten erläutert. Die vorgestellten Methoden sind sowohl auf gitterbasierte Geländemodelle (Raster) wie auch auf TIN anwendbar. Der dreidimensionale Eindruck des Geländemodells wird besonders gut mit einer Geländeschattierung erzeugt. Dabei wird die Reflexion aufgrund der Hangneigung und des Sonnenstandes ( $45^\circ$  NW) für die jeweilige Dreiecksfläche im TIN oder für die Rasterzelle im Grid berechnet und entsprechend hell eingefärbt.

## 1.6. Literaturempfehlungen

- **Burrough, P. A.; McDonnell, R. A.**, 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. New York: Oxford University Press.
- **Weibel, R.; Heller, M.**, 1991. Digital terrain modelling. In: **Maguire, D. J.; Goodchild, M. F. ; Rhind, D. W.**, ed. *Geographic Information Systems - Vol. 1: Principles*. Harlow Longman.
- **Wilson, J.; Gallant, J.**, 2000. *Terrain Analysis. Principles and Applications*. New York: John Wiley and Sons.

## 1.7. Bibliographie

- **Bernhard, L.; Weibel, R.**, 1999. Modelling snowmelt using a digital terrain model and GIS-based techniques. In: **Dikau, R., Saurer, H.**, ed. *GIS for Earth Surface Systems*. Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 25-46.
- **Burrough, P. A.; McDonnell, R. A.**, 1998. *Principles of Geographical Information Systems*. New York: Oxford University Press.
- **Fisher, P.**, 1996. Reconsideration of the Viewshed Function in Terrain Modelling. *Geographical Systems*, vol. 3, no.1, 33-58.
- **Horn, B.**, 1981. Hill shading and the reflectance map. In: *Proceedings of the IEEE*, vol. 69. p. 14-47.
- **Hugentobler, M.**, 2000. Fortpflanzung von Unsicherheiten in dreiecksbasierten digitalen Geländemodellen mit Intervallarithmetik. *Geoprocessing Series*, 38, 55 pp., Zürich: Geographisches Institut der Universität Zürich.  
Herunterladen: <http://www.geo.uzh.ch/de/units/giva/services/geoprocessing-series/>
- **Johnson, T. ; Swift, D.**, 2000. A Test of a Habitat Evaluation Procedure for Rocky Mountain Bighorn Sheep. *Restoration Ecology*, vol. 8, no. 4S, p. 47-56.
- **Kidner, D. B.; Ware, J. M.; Sparkes, A. J.; Jones, C.B.**, 2000. Visibility Analysis with the Multiscale Implicit TIN. *Transactions in GIS*, vol. 4, no. 4, 379-408.
- **SRTM. Shuttle Radar Topography Mission** [online]. Available from: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> [Accessed 2009-12-14].
- **Swisstopo**, 2000. Landeskarte der Schweiz - Blatt Albis 1111, 1:25000. Bern: Swisstopo. [Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA057224)]
- **Utelli, H.**, 1999. Die Möglichkeiten von GIS bei der Beurteilung der Steinschlaggefahr im alpinen Bereich. *Bulletin für angewandte Geologie*, 4 (1), 3-17.
- **Weibel, R.; Heller, M.**, 1991. Digital terrain modelling. In: **Maguire, D. J.; Goodchild, M. F. ; Rhind, D. W.**, ed. *Geographic Information Systems - Vol. 1: Principles*. Harlow Longman.
- **Wilson, J.; Gallant, J.**, 2000. *Terrain Analysis. Principles and Applications*. New York: John Wiley and Sons.
- **Wood, J.**. *LandSerf* [online]. Available from: <http://www.landserf.org/> [Accessed 2005-10-08].
- **Zevenbergen, L.; Thorne, C.**, 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12 (1), p. 47-56.