

**WAP**

# **Erstellung von digitalen Geländemodellen in GIS (DGM)**

CZERMAK Stefan  
LANDERER Claudio  
SCHORN Roland  
ZWINGENBERGER Gerhard

17. Juli 2002

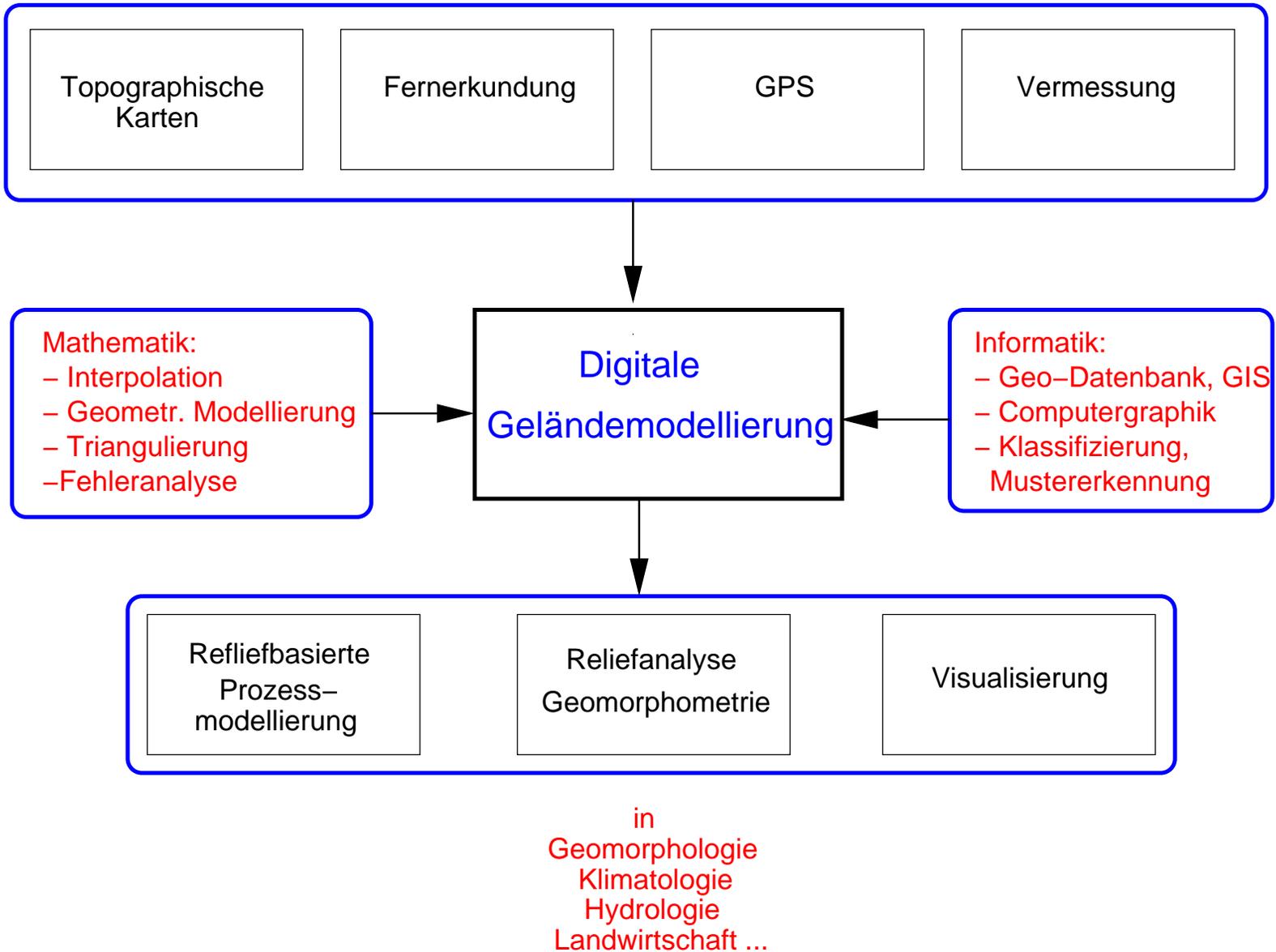
# Inhalt

- [Einleitung](#)
- [Datenerfassung für DGM](#)
- [Datenmodelle und Datenstrukturen](#)
- [Mathematische Grundlagen](#)
- [Zusammenfassung](#)

# Einführung - Digitale Geländemodellierung

- Repräsentation der Erdoberfläche
- 3D - Visualisierung
- Quantitative Untersuchung der Oberflächenformen
- Modellierung reliefbasierter Prozesse
- Mathematik und Informatik spielen eine grosse Rolle!
- Daten (x,y,z)
- Modelle für unbekannte Bereiche
- Algorithmen und Datenstrukturen

# Überblick - Digitale Geländemodellierung



## Anwendungsbereiche - Digitale Geländemodellierung

- Erosionsmodellierung, hydrologische Modellierung
- Standortfrage (z.B.: Windkraft)
- Visualisierung der Oberfläche
- Schaffung virtueller Welten
- uvm ...
- [Zum nächsten Abschnitt ...](#)

## Datenerfassung

- Unterscheidung der Daten in Höhendaten (regelmäßig oder unregelmäßig verteilt) und Strukturinformation (Tiefenlinien, Grate).
- Reine Rasterdatensätze bestehen aus regelmäßig angeordneten Höhendaten (Matrix der Höhenwerte).
- Einteilung in Primärdatenerhebung ...
  - ★ Unmittelbare Erfassung der Daten am Objekt oder an dessen unverarbeitetem Abbild (Bild)
  - ★ Fernerkundung
  - ★ Vermessung
  - ★ GPS
- ... und Sekundärdatenerhebung:
  - ★ Mittelbare Erfassung ausgehend von Daten, die bereits in verarbeiteter Form vorliegen.
  - ★ Digitalisierung (Topographische Karten)

## Topographische Karten

- Topographische Karten sind eine sekundäre Quelle. Die Datenerfassung von einer sekundären Quelle bedeutet Digitalisierung.
- Manuelle Digitalisierung
  - ★ Ist heute noch immer die einfachste und billigste Möglichkeit um Daten aus einer Karte zu digitalisieren.
  - ★ Man scannt die Karte ein und digitalisiert mit Hilfe eines GIS Höhenlinien und -punkte, sowie Vektor- und Punktdaten.
  - ★ Vektor- und Punktdaten aus der Karte mit Hilfe eines Digitalisierungstabletts extrahieren.
- Halbautomatische Digitalisierung
  - ★ Mit eigenen Mustererkennungsverfahren können Höhenlinien aus den gescannten Karten erfasst werden.
  - ★ Fast immer ist eine umfangreiche Nachbereitung notwendig.

## Fernerkundung - Photogrammetrie

- Die Photogrammetrie ist ein Messverfahren, bei dem Lage und Form von Objekten anhand von fotografischen Aufnahmen rekonstruiert werden.
- Die Bilder können ohne direkte Objektberührung interpretiert oder fotografisch weiterverarbeitet werden.
- Die Auswertung von Luftbildern ermöglicht es, die gesamte aus dieser Perspektive sichtbare Topographie oder einzelne Objekte nach Lage und nach Höhe in digitaler Form zu erfassen und zum Beispiel als dreidimensionales Modell darzustellen.
- Hauptanwendungsgebiete der Photogrammetrie sind die Herstellung und Ergänzung von topographischen Karten sowie die Gewinnung von Daten für topographische Informationssysteme.
- Beispiele für photogrammetrische Datengewinnung
  - ★ Bildflug
  - ★ Multispektralscanner
  - ★ Radar-Interferometrie



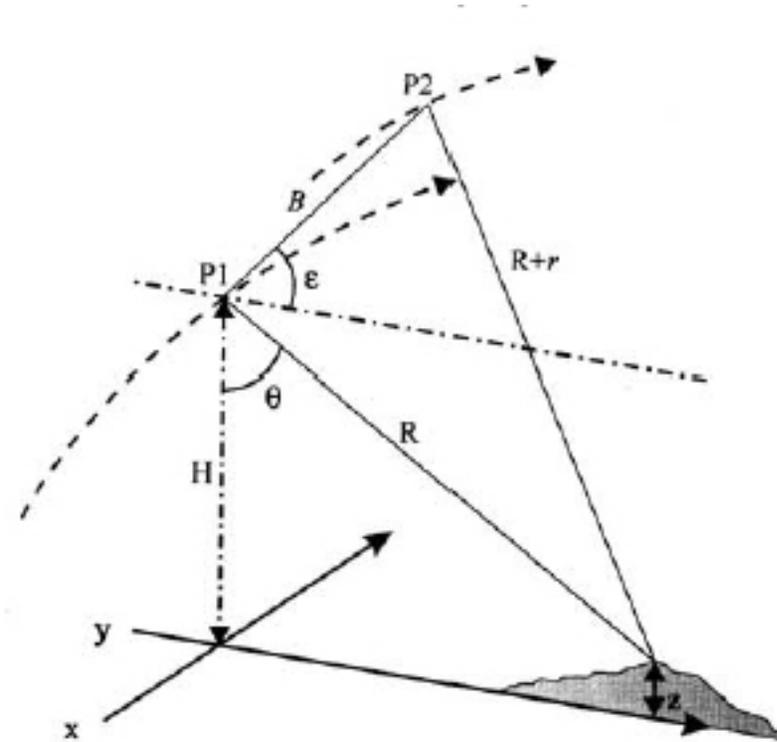
## Fernerkundung: Multispektralscanner

- Entsprechend der physiochemischen Zusammensetzung weist jedes Material ein charakteristisches Spektrum auf.
- Bei multispektralen Scannern erfolgt die Messung synchron in mehreren Spektralbereichen.
- Außer sichtbarem Licht wird insbesondere infrarotes Licht genutzt, da im IR markante Spektraleigenschaften auftreten.
- Falschfarbenbilder zur Sichtbarmachung der Reflexionswerte des infraroten Lichtes.
- Reflektierte Signale werden in digitale Rasterdaten überführt.
- Systeme:
  - ★ Landsat - TM: Amerikanisches Multispektralscannersystem
  - ★ SPOT: Französischer Multispektralscanner

## Fernerkundung: Radar-Interferometrie

- Radar-Fernerkundung: Radarwellen werden ausgesandt und empfangen.
- Übertragung der Radarwellen ist unabhängig von Bewölkung und Tageslicht.
- Kombination von 2 Radar-Aufnahmen
- Entweder mit 2 Antennen oder gleichzeitig (Tandem”),
- oder mit derselben aus 2 verschiedenen Positionen im Orbit.
- Also 2 Positionen P1 und P2 durch Grundlinie B getrennt.

## Fernerkundung: Radar-Interferometrie cont'd



# GPS

- Navigation Satellite Timing And Ranging Global Positioning System des US- Verteidigungsministeriums.
  
- Besteht aus:
  - ★ Weltraumsegment: 24 Satelliten + Reservesatelliten;
  - ★ Kontrollsegment: Masterkontrollstation in Colorado Springs sowie in Hawaii, Ascension Island, Diego Garcia und Kwajalein;
  - ★ Benutzersegment: Satellitenempfangsanlage aus Empfänger und Antenne;
  
- Funktionsweise:
  - ★ Die Position der Satelliten ist genau bekannt (Kommunikation mit Bodenstation).
  - ★ Die Satelliten senden Signale aus (Ort + Zeit).
  - ★ Für die Positionsbestimmung im dreidimensionalen Raum werden Signale von 4 solchen Satelliten benötigt.
  - ★ Moderne GPS-Empfänger stehen mit bis zu 12 Satelliten in Kontakt und wählen die besten Signale aus.

## GPS cont'd

- Selective Availability
  - ★ Bis 2.Mai 2001 wurden Satellitensignale bewusst gestört um die Genauigkeit zu verringern.
  - ★ Früher: horizontal +/- 100m, vertikal +/- 160m;
  - ★ Heute: horizontal +/- 20m, vertikal +/- 30m;
  
- Einschränkungen:
  - ★ In Gebäuden können GPS-Empfänger nicht eingesetzt werden.
  - ★ Im Wald und tiefen Tälern ist die Genauigkeit stark reduziert, oder es können keine Messungen gemacht werden.

## Differentielles GPS (DGPS)

- Deutlich erhöhte Genauigkeit durch feste Bodenstation mit bekannten Koordinaten (Korrektursignal).
- Fehler können eliminiert werden, da die genaue Position der Bodenstation bekannt ist und diese die Differenz (Korrekturwert) an den GPS-Empfänger weitergibt.
  - ★ Entweder direkt durch Funk,
  - ★ oder durch nachträgliches Eliminieren der Störungen.
- Genauigkeit ca. 1-10m

## Vermessung

- Sehr genau und sehr aufwendig.
- [Zum nächsten Abschnitt ...](#)

## Was ist ein Datenmodell?

- Eine Auswahl von Beschreibungen und Darstellungen ...
- ... verknüpft durch Regeln welche die Modellierung der “Wirklichkeit” im Computer ermöglichen sollen.
- Immer (noch) eine Abstraktion der Wirklichkeit.

## Geländedatenmodelle

- Rasterdatenmodelle
- Vektordatenmodelle
- Dreiecksvermaschung (Triangulated irregular network - TIN)
- Netzwerkdatenmodelle
- Computer-aided design (CAD)
- Bilddatenmodelle (Image)

## Rasterdatenmodelle

- Sehr beliebte Datenstruktur
- Inhalt: z.B. Matrix der Höhenwerte, Eckpunkte des gerasterten Gebiets, Maschenweite;
- Aus algorithmischer Sicht einfach und effizient.
- “Synergieeffekte”: Grafikformate, Matrixalgebra;
- Nachteil: Geringe Speichereffizienz, da in ”glatten”Gebieten zu viele, in “rauhem” zu wenige Werte (kann durch Kompressionsverfahren reduziert werden)
- Regelmäßiges Gitter täuscht gleichmäßige Verfügbarkeit von Information vor
- Gefahr des Aufpixelns (wie bei den Schriftarten)

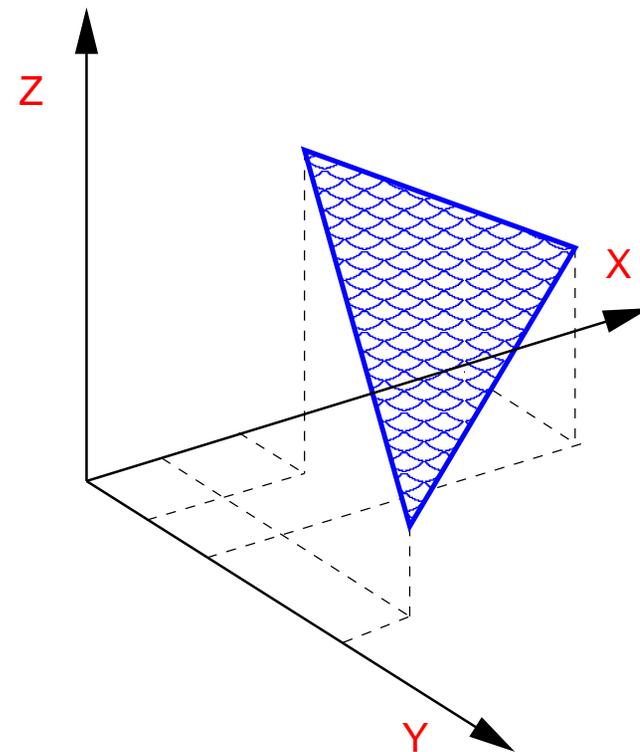
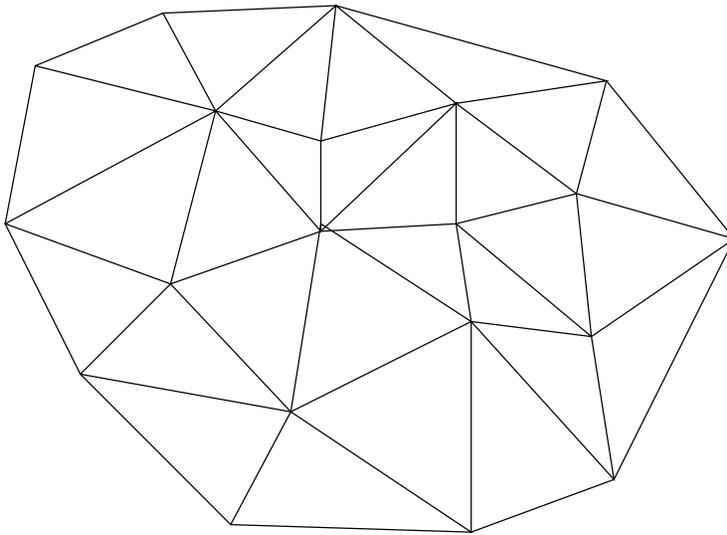
# Vektordatenmodelle

- Vektormodell besteht aus verschiedenen Features:
  - ★ Punkt
  - ★ Linie
  - ★ Polygon
- Aufbauend auf den Koordinaten der Datenpunkte (Knoten) und den sie verbindenden Kanten.

## Dreiecksvermaschung (TIN)

- Repräsentation einer Triangulierung über:
  - ★ Knoten
  - ★ Kanten
  - ★ Dreiecke
- Zusätzlich Höhenwerte.
- Verdichtung der Dreiecke (Information)wo es notwendig ist.
- Beziehungen zwischen Dreiecken können definiert werden.

## TIN - Beispiel



- [Zum nächsten Abschnitt ...](#)

## Mathematische Grundlagen

- Geländemodelle sind **mathematische Repräsentationen** der Erdoberfläche.
- Sie bestehen aus:
  - ★ **Punkten** und **Höhen** auf der Erdoberfläche. →  $x$ - und  $y$ -Koordinaten,  $z$ -Wert
  - ★ einer **topologischen Struktur**. → Nachbarschaftsbeziehungen (zB Punkte auf der selben Tiefenlinie)
  - ★ einer **Formfunktion**. → Interpolation, Approximation
- Mit anderen Worten: Ein Geländemodell besteht aus Daten, einer Struktur und einem Modell.
- Man geht dabei von stückweise gegebenen Primärdaten aus ...
  - ★ trifft eine Vereinbarung hinsichtlich der zugrundeliegenden Funktion,
  - ★ setzt Interpolations- und Glättungsvorschriften fest
  - ★ und gelangt so zu einem digitalen Modell für das Gelände (DGM).

## DGM aus mathematischer Sicht

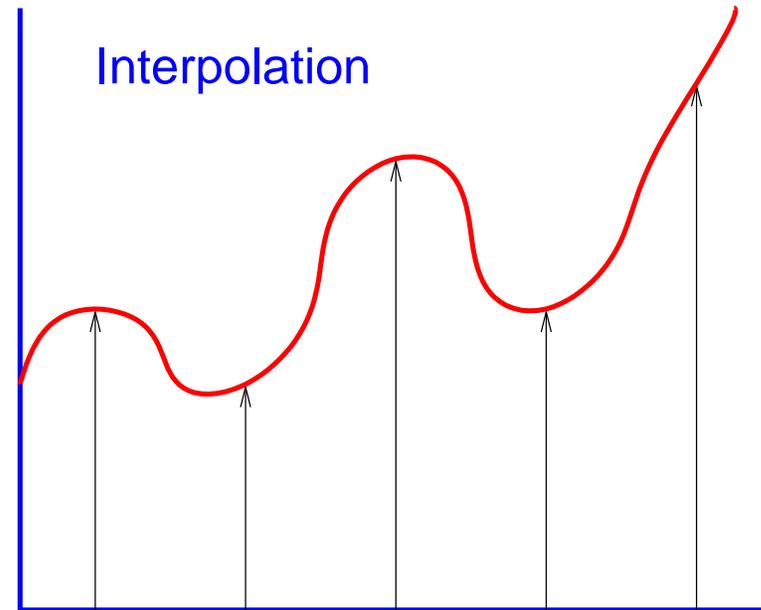
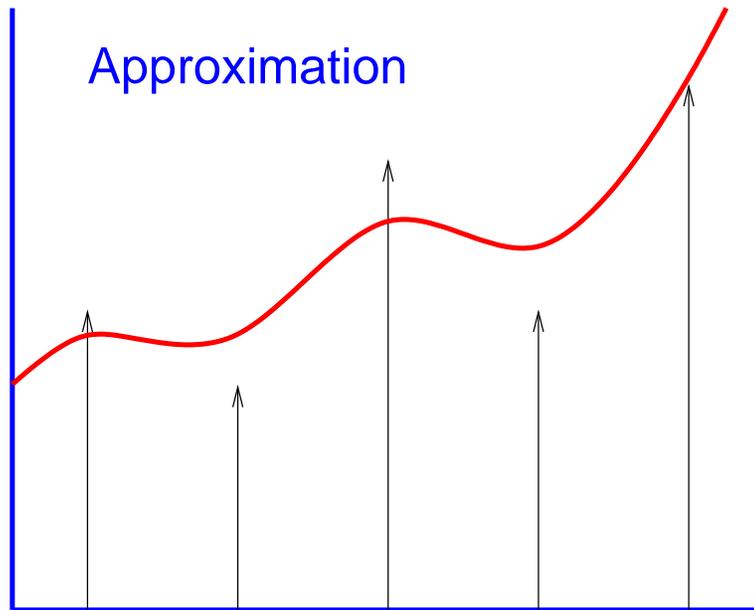
- Geländeoberfläche: Funktion  $f(x)$ ,  $x \in R^2$ .
- Gegeben:  $N$  Stützstellen  $x_1, \dots, x_N \in R^2$  sowie Beobachtungen  $f(x_1), \dots, f(x_N)$ .
- Gesucht: eine "Vorhersage"  $\hat{f}(x)$  von  $f(x)$  an einer beliebigen Stelle  $x \in R^2$ .
- An diese Vorhersagevorschrift  $\hat{f}$  werden bestimmte Bedingungen gestellt, um eine realistische Repräsentation der Geländeoberfläche zu erreichen ...
- **Interpolation:** In den Knoten soll die Vorhersage mit den Beobachtungen exakt übereinstimmen, dh

$$\hat{f}(x_i) = f(x_i), \quad i = 1, \dots, N.$$

- **Approximation:** In den Knoten braucht die Vorhersage lediglich "ungefähr" mit den Beobachtungen übereinzustimmen:

$$\hat{f}(x_i) \approx f(x_i), \quad i = 1, \dots, N.$$

# Approximation - Interpolation



## Eigenschaften der Vorhersagefunktion $\hat{f}$

- Oft ist  $\hat{f}$  von der Form

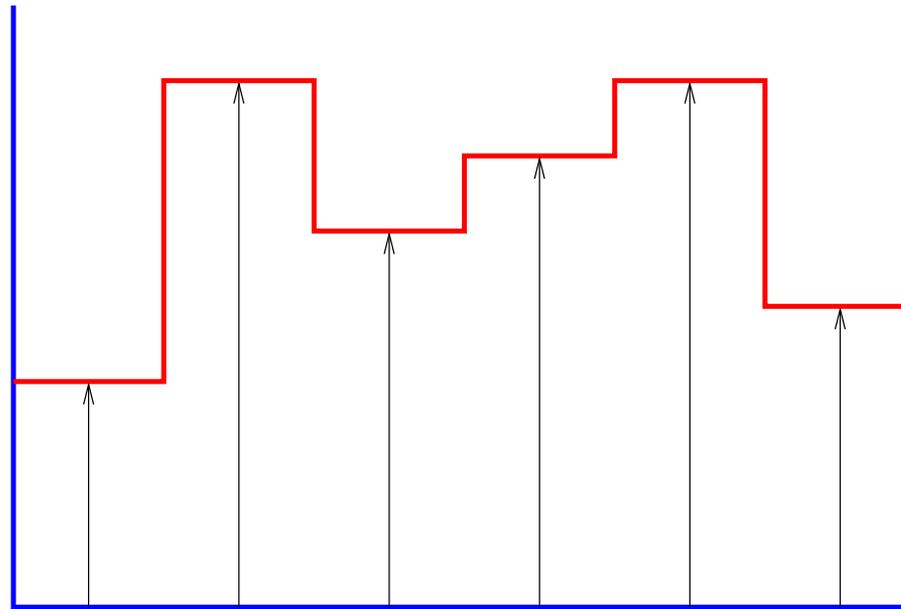
$$\hat{f}(x) = \sum_{i=1}^N w(x, x_i) f(x_i),$$

dh die Beobachtungen werden irgendwie gewichtet.

- $\hat{f}$  hängt also nicht direkt von der unbekanntem Funktion  $f$  ab, sondern
  - ★ von den bekannten Knoten  $x_1, \dots, x_N$
  - ★ und den Beobachtungen  $f(x_1), \dots, f(x_N)$ .
- **Modellannahmen** sind nötig:
  - ★ *Glattheit (smoothness)*: Wie oft soll  $\hat{f}$  stetig differenzierbar sein (Reliefanalyse setzt zB Existenz von *Hangneigung* und *Wölbung* voraus).
  - ★ Das Modell soll achsenunabhängig sein.
  - ★ Die Stützpunkte sollen nur lokalen Einfluss ausüben.
  - ★ Übermäßiges Oszillieren soll vermieden werden.

## Interpolationsarten: Stückweise konstante Interpolation

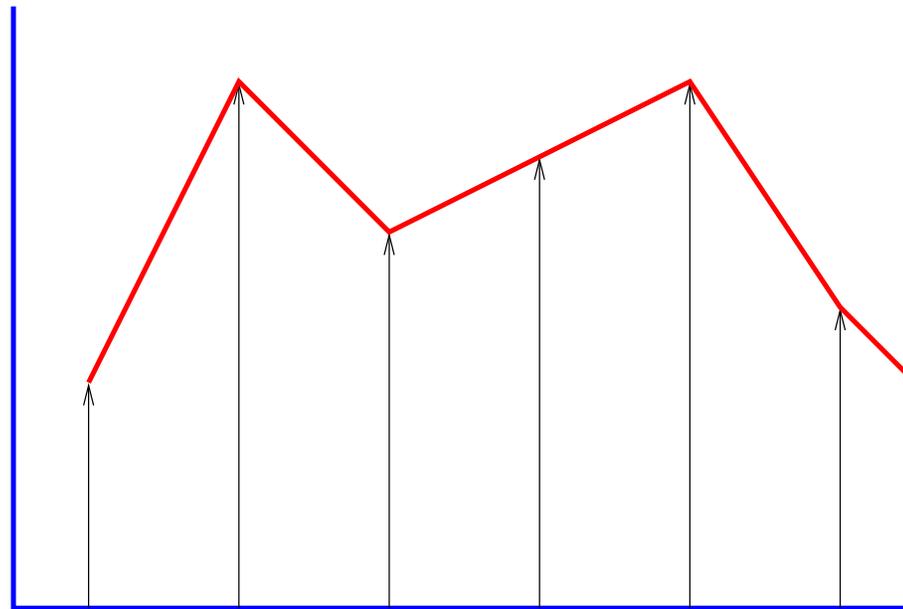
- Man übernimmt in einer Umgebung der Beobachtungsstelle  $x_i$  einfach den beobachteten Wert  $f(x)$ .



- Die Umgebung besteht dabei meist aus **Thiessen-Voronoi-Polygonen**.
- Man erhält dann die **Nearest-Neighbor-Methode**:  $\hat{f}(x) := f(x_i)$  falls  $d(x, x_i)$  minimal (Problem: nicht stetig!).

## Interpolationsarten: Stückweise lineare Interpolation

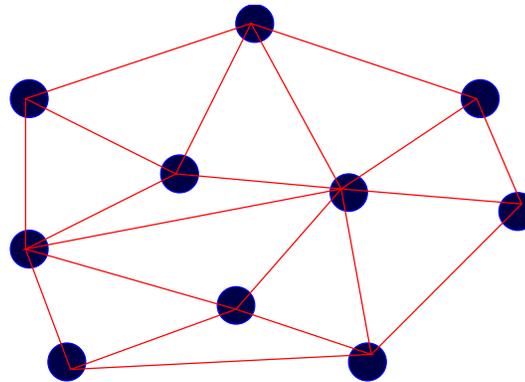
- Man verbindet zwei benachbarte Punkte einfach durch Geradenstücke (eindimensional).



- Eigenschaften: zwar stetig, aber ebenfalls nicht differenzierbar und damit keine Hangneigungen, keine Wölbungen berechenbar.
- Zweidimensionaler Fall: Man verbindet **benachbarte Punkte** durch Dreiecksflächen  
...

# Triangulierung

- Frage: Was sind benachbarte Punkte? Lösung: Man zerlegt die Definitionsmenge in lauter Dreiecke.



- Dabei gibt es viele Möglichkeiten wie zB die Delaunay-Triangulierung
- Achtung: natürliche Nachbarschaftsverhältnisse sollten durch Triangulierung nicht zerstört werden. Tiefenlinien, Grate, Kanten usw bleiben durch die Wahl von fixen Kanten (**breaklines**) erhalten.
- Lineare Interpolation über Dreiecke einer Delaunay-Triangulierung besitzt minimale "Rauhigkeit" der Interpolierenden.

## Polynomiale Interpolation und Approximation

- Geringe Glattheit bisheriger Methoden ist oft nicht zufriedenstellend → Polynome lösen dieses Problem.
- Das Approximationsproblem

$$\text{minimiere } \sum_{i=1}^n \left( f(x_i) - \hat{f}(x_i) \right)^2$$

ist für  $n \geq r$  durch geeignete Wahl der Koeffizienten des Polynoms eindeutig lösbar.  
Für  $n = r$  erhält man ein **interpolierendes Polynom**.

- Eigenschaften
  - ★ Die Interpolierene hängt von allen  $n$  Beobachtungen ab (**globales Verfahren**).
  - ★ Für hohe Polynomgrade neigt das Interpolations- oder Approximationspolynom zum Oszillieren.
- Idee: Der Polynomgrad wird von der Anzahl der Stützstellen entkoppelt → man geht zu **stückweisen Polynomen** niedrigen Grades über ...

## Polynomiale Spline Interpolation

- Ein **polynomialer Interpolationsspline** vom Grade  $r$  zu einer gegebenen Triangulierung ist
  - ★ eine Funktion  $\hat{f}$ , die (global!)  $(r-1)$ -mal stetig differenzierbar ist und
  - ★ auf jedem Teilgebiet der Triangulierung ein Polynom vom Grad  $\leq r$  ist.
- Randbedingungen in den Knoten stellen die Eindeutigkeit sicher (wie: Interpolierende ist in den Knoten weder konvex noch konkav).
- Meist werden kubische Splines verwendet ( $r = 3$ ).
- Diese sind global zweimal stetig differenzierbar, Neigung und Wölbung existieren.
- Stückweise lineare Interpolation ist ein Spezialfall davon ( $r = 1$ ).
- Hohe Polynomgrade neigen zum Oszillieren (auch kubische Splines können Maxima in den Daten übersteigen).
- [Zur Zusammenfassung ...](#)

# Zusammenfassung

## 1. Einleitung (Überblick, Anwendungsbereiche)

## 2. Datenerfassung

- Topographische Karten
- Vermessung
- Fernerkundung (Photogrammetrie, Bildflug, Multispektralanalyse)
- GPS und DGPS

## 3. Datenmodelle

- Rasterdatenmodelle (GRID), Vektordatenmodelle (TIN)
- CAD, Netzwerkdatenmodelle

## 4. Mathematische Grundlagen

- Geländemodell als mathematische Funktion
- Voronoi und Delaunay (TIN)
- Approximation
- Interpolation (Splines, stückweise linear bzw konstant)

**ENDE**

Erstellt im Rahmen der Lehrveranstaltung

**WISSENSCHAFTLICHE ARBEITSTECHNIKEN &  
PRÄSENTATION**

an der Universität Salzburg.