



## 5 Laserscanning

### Einleitung

Laserscanning ist eine Methode der Fernerkundung bei dem ein Objekt von punktwisen Entfernungsmessungen erfasst wird. Im Folgenden werden die Grundlagen erklärt und auf flugzeuggetragenes Laserscanning eingegangen. Bei diesen Systemen werden die Sensoren in einem Flugzeug oder Hubschrauber installiert. Dieses Verfahren dient im allgemeinen zur Erfassung von Geländehöhen und Objekten auf dem Gelände.

### Inhalt

#### 5. Definition

5.1 Definition Laserscanning .....	2
5.2 Plattformen.....	2
5.2.1 Hubschrauber - Plattform .....	3
5.2.2 Flugzeug - Plattform .....	3
5.3 Messprinzipien.....	4
5.3.1 Pulsed Laserscanning .....	5
5.3.2 Continuous wave Laserscanning .....	6
5.4 Messmodi .....	7
5.4.1 Footprint .....	7
5.4.2 First- und last pulse .....	8
5.5 Verschiedene Laserscanning - Systeme .....	13
5.4.1 Abtastprinzipien der Systeme.....	13
5.4.2 Abtastmuster der Systeme .....	15
5.6 Ein Vergleich der Systeme .....	16
5.6.1 Flughöhe, Streifenbreite und Abschattung .....	18
5.7 Literatur.....	19

## 5.1 Definition Laserscanning

**Laser:** Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation  
(„Lichtverstärkung durch angeregte Strahlungsemission“)

Laser erzeugen **kohärente, monochromatische** Lichtstrahlen (nach [Brockhaus, 2000]).

Dabei bedeutet:

**kohärent:** Licht ist kohärent, wenn sich alle seine Wellen bzw. Photonen phasengleich ausbreiten.

→ extrem hohe Intensität  
äußerst geringe Strahlaufspaltung  
hohe Frequenzschärfe

(nach [Brockhaus, 2000])

**monochromatisch** (griech.: einfarbig) hier: Licht mit einem sehr schmalen Frequenzbereich

## 5.2 Plattformen

Beim Laserscanning stehen zwei Flug-Plattformen zur Verfügung

6.2.1 Hubschrauber

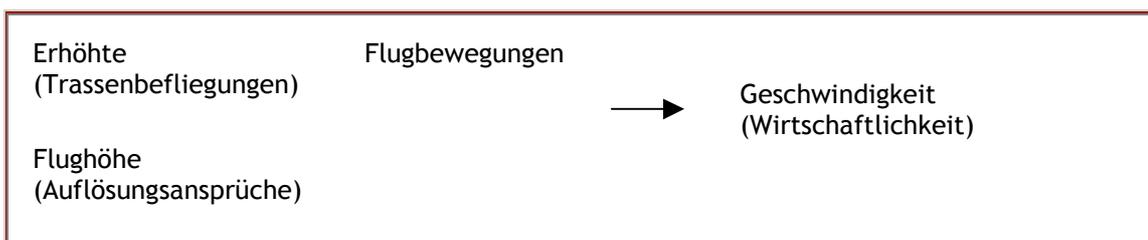
6.2.2 Flugzeug

Die Plattformen unterscheiden sich in ihrer Manövrierfähigkeit.

Der **Hubschrauber** erlaubt eine niedrigere Befliegung (200-300 m). Außerdem sind Richtungsänderungen weniger problematisch als bei einem Flugzeug. Dies wiederum ist nicht ausschließlich ein Vorteil, die großen Schwankungen des Hubschraubers, gerade in geringer Flughöhe können durch INS schlechter erfasst werden.

Das **Flugzeug** ermöglicht es, durch eine höhere Geschwindigkeit und größerer Flughöhe (500 - 1000 m), eine im Vergleich zum Hubschrauber weitaus größere Fläche in der gleichen Zeit zu erfassen.

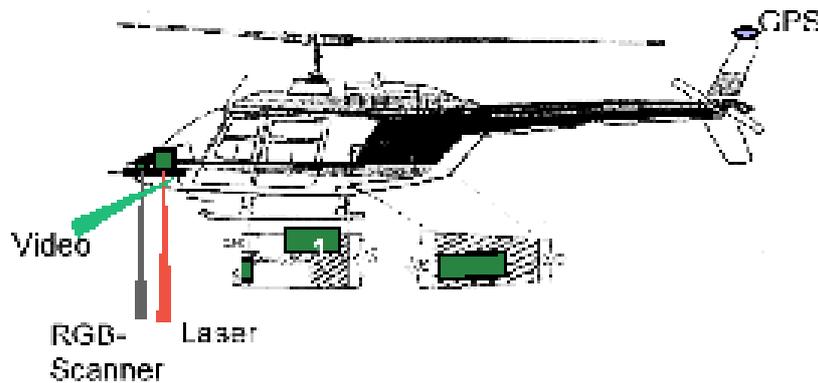
→ Auswahl der Plattform abhängig von der Aufgabenstellung.



### 5.2.1 Hubschrauber-Plattform

- ermöglicht schnelle Höhen- und Richtungsänderungen.
- höhere Auflösung (d. h. mehr Bodenpunkte pro m<sup>2</sup>) durch niedrigere Flughöhe und geringere Fluggeschwindigkeit als Flugzeug.

→ Aufnahme von kleinen Gebieten bei denen eine hohe Beweglichkeit des Systems erforderlich ist, z. B. Bahnlinienverfolgung.



[Lohr & Schaller, 1992]

Typische Fluggeschwindigkeit: 40 - 90 km/h;  
Typische Flughöhe: 200 - 300 m

### 5.2.2 Flugzeug - Plattform

- höhere Geschwindigkeit und höhere Flughöhe ermöglichen größeres Abtastgebiet
- weniger Flugbewegungen, die durch GPS/INS erfasst werden müssen

→ wirtschaftlichere Aufnahme als mit Hubschrauber-Plattform auch größerer Gebiete z. B. topographische Aufnahme (DOM, DHM)



[Optech, 2002]

Typische Fluggeschwindigkeit: 160 - 350 km/h;  
Typische Flughöhe: 500 - 1000 m

### 5.3 Messprinzipien

Es gibt 2 verschiedene Messprinzipien:

6.3.1 pulsed laserscanning

6.3.2 continuous wave laserscanning (continuous wave: „stehende Welle“)

Beiden gemeinsam ist, dass ein Laserstrahl ausgesandt, an einem festem Medium reflektiert und die Reflektion vom Sensor erfasst wird.

Beim Laserscanning ist man an den Positionen der Reflektionspunkte interessiert. Zur Bestimmung der Position eines Reflektionspunktes wird die Entfernung zwischen Sensor und Bodenpunkt unter einer definierten Abstrahlcharakteristik gemessen.



### 5.3.1 Pulsed Laserscanning

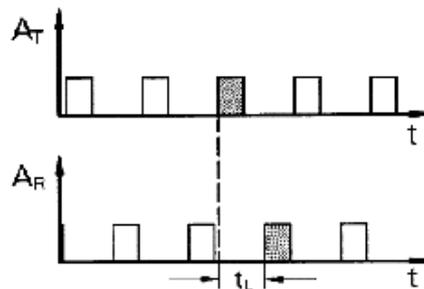
Hierfür wird ein gepulster Laser verwendet, d.h. ein Laser der kontinuierlich, in gleichen Zeitabständen Laserimpulse aussendet. Jeder Impuls hat die gleiche Intensität. (siehe nebenstehende Abbildung). Die Entfernung zwischen Sensor und Reflektionspunkt wird über Laufzeitmessung bestimmt.

$$s = 0.5 \cdot c \cdot t_L$$

s Entfernung Sensor - Reflektionspunkt am Boden

c Lichtgeschwindigkeit

$t_L$  Laufzeit des Laserpulses



[Wehr & Lohr, 1999]

### 5.3.2 Continuous wave laserscanning

Der CW - Laser („stehende Welle“) sendet kontinuierlich ein Signal mit konstanter Schwingungsdauer aus. Mit Hilfe der Phasendifferenz zwischen ausgesandtem und empfangenem Signal wird die Entfernung berechnet.

$$t_L = \frac{\Phi \cdot T}{(2 \cdot \pi)} + n \cdot T \qquad s = 0.5 \cdot s \cdot t_L$$

- Phasendifferenz
- T Signalperiode (=  $\lambda/c$ )
- $t_L$  Laufzeit des Laserimpulses
- s Entfernung Sensor / Reflektionspunkt am Boden
- c Lichtgeschwindigkeit
- n Anzahl der vollständig durchlaufenen Wellenlängen

## 5.4 Messmodi

Im allgemeinen können Laserscanningsysteme in verschiedenen Messmodi betrieben werden. Darunter ist zu verstehen, dass man den Anteil des zurückgekommenen Signals definiert, den man aufzeichnen möchte.

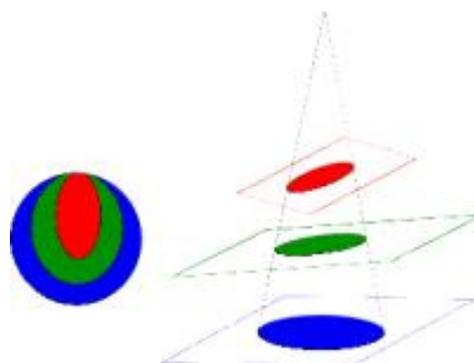
Bevor aber detaillierter auf die verschiedenen Modi eingegangen werden wird, muss zuerst die Ursache näher erläutert werden, warum es überhaupt verschiedene Modi geben kann.

### 5.4.1 Footprint

Dieses Phänomen ist ganz entscheidend dafür verantwortlich, dass verschiedene Laserscanning-Messmodi existieren.

Als Footprint bezeichnet man die von einem Signal am Boden ausgeleuchtete Fläche. Idealerweise würde ein Laserstrahl nur auf genau einen Punkt, d.h. eine sehr kleine Fläche, treffen. Da es aber heute nicht technisch machbar ist, Licht mit genau einer Wellenlänge und genau einer Frequenz herzustellen, sendet ein Laser verschiedene Signale aus, wenn auch das auftretende Frequenzband nur ganz wenige Frequenzen umfasst. Zusätzlich wirkt sich die Atmosphäre auf das Signal aus, so dass es dadurch insgesamt zu einer gewissen Aufweitung des Laserstrahls kommt. In der nebenstehenden Abbildung sind verschiedene Laserfootprints dargestellt.

Dabei dient jeweils die Fläche in der zugehörigen Farbe als Bezugsfläche, auf die der Laserstrahl (schwarz dargestellt) auftrifft. Links in der Prinzipskizze sind die Footprints überlagert dargestellt. Sie unterscheiden sich sowohl in der Größe als auch in der Form. Allgemein handelt es sich bei den Footprints um Kegelschnitte.



### 5.4.2 First- und last pulse

Man kann sich beim Laserscanning zum Beispiel dafür entscheiden, nur den zuerst zurückreflektierten Signalanteil zu registrieren. In diesem Fall spricht man von **"first-pulse"** Laserscanning. Bei dieser Messmethode werden also nur die zuerst vom Laserstrahl getroffenen Bereiche innerhalb des footprints betrachtet, z.B. die obersten Blätter eines Baumes oder die innerhalb des footprints höchstgelegenen Stellen auf Gebäudedächern (vgl. untenstehende Abbildung, rot gezeichneter Teil).



Konzentriert man sich auf den zuletzt zurückgekommenen Signalanteil, spricht man vom **"last-pulse"** Laserscanning. Bei dieser Messmethodik werden nur die tiefsten Stellen innerhalb eines footprints erfasst, z. B. auch der Erdboden innerhalb eines Waldstücks, sofern ein Teil des Laserstrahls durch eine Lücke im Blätterdach eindringen konnte (s. auch [Steinle & Vögtle, 2000]). Diese Durchdringung ist aber im allgemeinen nur bei Laubbäumen möglich, Nadelbäume können meist nicht durchdrungen werden.

Theoretisch ist es möglich jeden beliebigen Signalanteil zu registrieren, z. B. den mittleren Signalanteil, also das nach der Hälfte der Rückstrahldauer empfangene Signal. Allerdings ist die Interpretation dieses Signals sehr schwierig (s. Abbildung auf nächster Seite). Während ältere Scannersysteme meist nur in einem Messmodus betrieben werden konnten (z. B. TopoSys I), können moderne Systeme meist in mehreren Modi gleichzeitig betrieben werden (z. B. TopoSys II, vgl. [TopoSys, 2002]) oder sogar das gesamte zurückkommende Signalspektrum aufzeichnen (vgl. [Wehr & Lohr, 1999], [Baltsavias, 1999]).

Außerdem ist es heute auch möglich, weitere Charakteristiken des Lasersignals zu registrieren, wie z. B. die Signalstärke oder die Signallänge. Diese Größen können für Aussagen über das getroffene Material benutzt werden, z. B. ist die Rückstrahlintensität wesentlich abhängig vom Reflektionsgrad des beleuchteten Materials ([Wehr & Lohr, 1999] geben einige Beispiele hierfür).

Während die zuerst und zuletzt zurückgekommenen Reflektionen (in den Bildern mit 1 und 7 bezeichnet) eindeutig dem höchsten bzw. tiefsten Punkt innerhalb des footprints (rot unterlegt) zugeordnet werden können, ist bei den übrigen Reflektionen eine Zuordnung ungleich schwerer. Während im rechten Teil des Bildes kaum ein Unterschied zwischen der ersten und der letzten Reflektion besteht, und damit auch die "mittlere gemessene Höhe" (4) als Bodenpunkt identifiziert werden kann, ist die Situation im linken Teil sehr viel schwieriger. Die mittlere gemessene Höhe entspricht hier z.B. nicht der mittleren Baumhöhe (blaue Linie), sondern ungefähr der Stammhöhe. Die Information, welche Punkte innerhalb des Baumes getroffen wurden, ist aber nicht verfügbar, so dass eine Interpretation der Messungen 2 bis 6 nicht möglich ist.

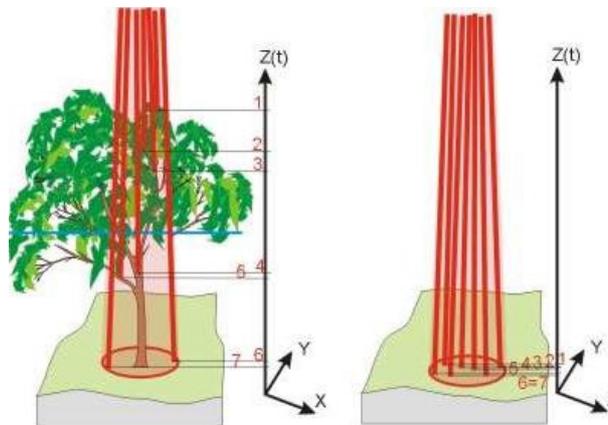
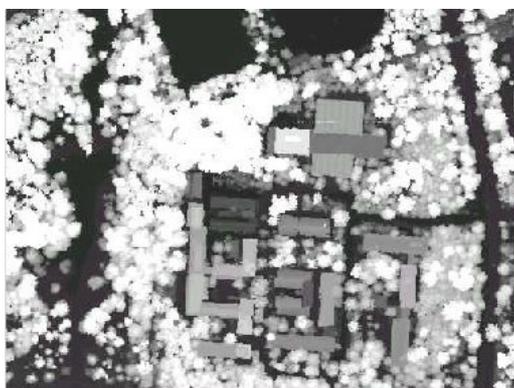


Abbildung zur Interpretationsproblematik;  $Z(t)$  bezeichnet die aus der Zeitmessung  $t$  ermittelte Höhe.

Je nach verwendeter Messmethodik ergeben sich verschiedene Ergebnisdatensätze mit unterschiedlichen Charakteristiken. Möchte man z. B. ein digitales Geländemodell bestimmen, so eignet sich ein last-pulse Datensatz besonders gut, da er schon einen hohen Anteil an Geländepunkten enthält. Ein first-pulse Datensatz ist vor allem in Gebieten mit hohem Baumbestand viel schlechter geeignet, da hier Messungen auf den Bäumen die Geländepunkte überlagern (vgl. untenstehende Abbildung, die den Unterschied zwischen first und last-pulse aufzeigen soll).

### First pulse



Im first-pulse Datensatz werden Geländepunkte stark von Bäumen überlagert.

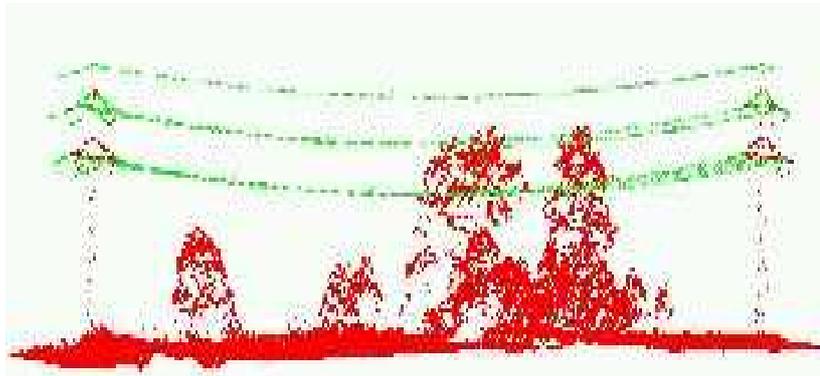
### Last pulse



Der last-pulse Datensatz hat einen großen Anteil an Geländepunkten. Bäume sind kaum zu erkennen.

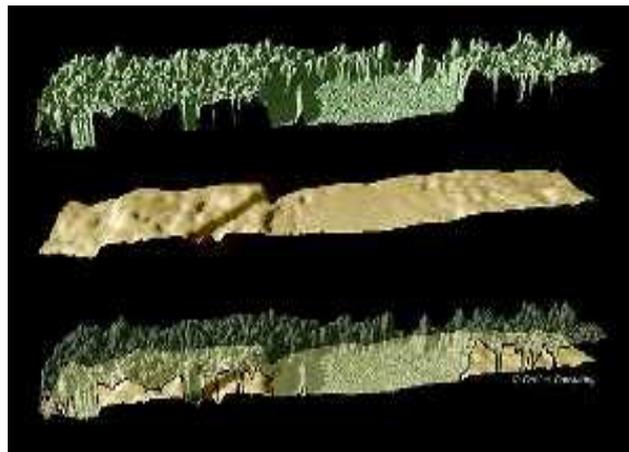
Für andere Anwendungen ist aber gerade der first-pulse Datensatz vorteilhaft, da er im allgemeinen mehr Details enthält. Das kommt daher dass auch kleinere Objekte, im Datensatz enthalten sein können. Dazu müssen sie aber signifikante Reflektionen liefern, d.h. ausreichend starke Rückstrahlsignale.

Ein Beispiel hierfür sind Messungen von Hochspannungsleitungen. Diese sind im allgemeinen in last-pulse Datensätzen nicht zu erkennen, da das darunter liegende Gelände niedriger und gut zu erfassen ist, so dass Reflektionen an den Leitungen in keinem Fall die zuletzt zurückgeworfenen sind. In first-pulse Datensätzen stellen aber gerade sie die zuerst erfassten Reflektionen dar.



Messung von Hochspannungsleitungen

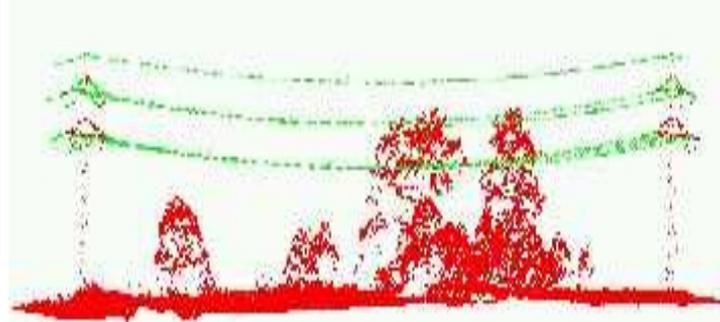
Sinnvoll kann auch die gleichzeitige Erfassung in mehreren Messmodi sein, z.B. um Baumhöhen zu bestimmen ( s. Abb. unten), da dadurch die Vorteile der beiden Methoden gleichzeitig ausgenutzt werden können.



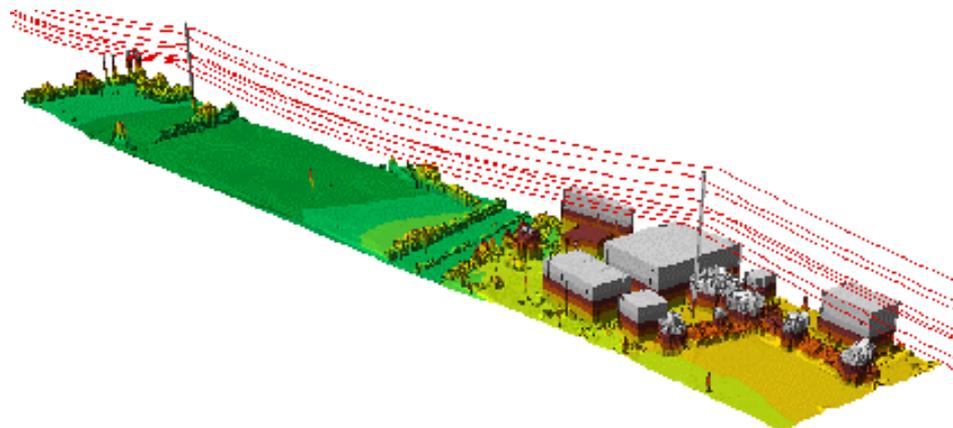
Gleichzeitige Erfassung in mehreren Messmodi

Gleichzeitige Darstellung mehrerer Vertikalprofile durch einen Laserscanning-Höhendatensatz:

Das bedeutet, dass für diese Darstellung mehrere Profile durch einen Höhendatensatz gelegt und die gemessenen Höhen entlang der Profillinien gemeinsam aufgetragen wurden. Einem Punkt im Bild können deshalb mehrere Höhen zugeordnet sein (s. Abb.). Diese Darstellung ist für das Ergebnis einer Leitungsbefliegung besonders gut geeignet, da dadurch die relativ dünn vorhandenen Messwerte auf den Leitungen verdichtet dargestellt werden und der Leitungsverlauf leicht beobachtet werden kann.



In untenstehender Abbildung ist das Ergebnis einer weiteren Verarbeitung aus diesen Höhendaten zu sehen. Hierfür wurden die gemessenen Leitungspunkte zu Linien verbunden und auf die 3D-Darstellung des Höhendatensatzes aufgebracht.



In dieser Abbildung ist ein first-pulse Datensatz zu sehen. Ganz oben ist der Originaldatensatz zu sehen, darunter ein durch Filterung extrahiertes Modell des Geländes dieses Gebietes, und ganz unten die Überlagerung des Geländemodells und der Originaldaten. In der ganz unten stehenden Abbildung ist zu erkennen, dass durch einfache Differenzbildung die Höhen der Vegetation aus dem first-pulse Datensatz ermittelt werden können, falls ein Modell des darunter liegenden Geländes vorliegt. Ein genaueres Geländemodell als das hier verwendete könnte mit einem last-pulse Datensatz erstellt werden, da dieser von vornherein mehr Geländepunkte enthält.



Originaldatensatz

Modell des Geländes

Überlagerung des Geländemodells und der Originaldaten

First-pulse Datensatz

## 5.5 Verschiedene Laserscanning - Systeme

Es gibt heute eine Vielzahl (ca. 30) verschiedener Laserscanning - Systeme, die sich hauptsächlich in Scanmuster und Scanwinkel unterscheiden. Das Scanmuster wird durch unterschiedliche Ablenkung des Laserstrahls realisiert. Die meisten Systeme lenken den Laserstrahl durch sich bewegende Spiegel ab. Dabei gibt es hauptsächlich rotierende, oszillierende und nutierende Spiegel.

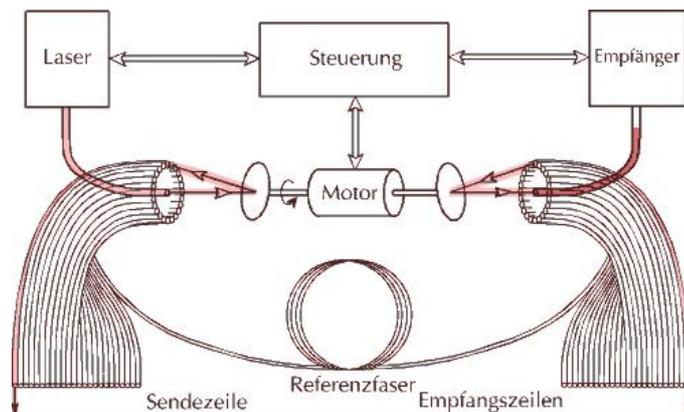
Im folgenden werden drei Systemtypen vorgestellt:

- Glasfaser - System (TopoSys II, TopoSys)
- Oszillierender Spiegel (ALTM, Optech)
- Nutierender Spiegel (ScaLARS, Universität Stuttgart)

### 5.5.1 Abtastprinzipien der Systeme

#### Glasfaser-System (z.B. TopoSys)

Der Laserpuls wird von einem Spiegel so reflektiert, dass er auf die Faser eines Glasfaserbündels abgelenkt wird. Der Impuls gelangt über die Glasfaser zu einer linearen Sendezeile und von dort zur Austrittsoptik. Über die Empfangsoptik gelangt der reflektierte Impuls auf eine Glasfaser eines weiteren Bündels. Von dort wird er auf einen anderen Spiegel transportiert und zum Empfänger abgelenkt. Beide Spiegel werden so bewegt, dass die nachfolgenden Impulse immer genau auf eine Faser weitergeleitet werden. (128 Fasern).



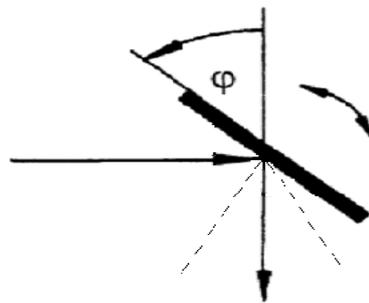
Prinzip des Glasfaser-Systems [TopoSys 2002]

### Oszillierender Spiegel (z.B. ALTM, Optech)

Der oszillierende Spiegel lenkt den Laserstrahl quer zur Flugrichtung ab. Dazu bewegt sich der Spiegel pendelförmig zu seiner Aufhängungsachse. Damit wird erreicht, dass sich der Einstrahl- und somit auch der Ausstrahlwinkel ständig kontrolliert ändern. Der Spiegel wird mit einer Frequenz von bis zu 30 Hz bewegt.



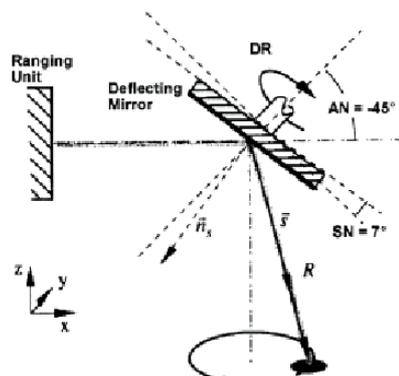
Foto des ALTM-Systems



Scanprinzip des oszillierenden Spiegels (nach [Wehr & Lohr, 1999])

### Nutrierender Spiegel (z.B. ScaLars, Uni Stuttgart)

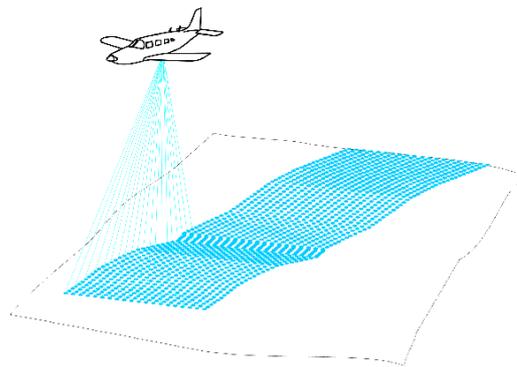
Das Signal (continuous wave) wird vom Sensor abgestrahlt und durch den sich bewegenden Spiegel so abgelenkt, dass am Boden eine kreisförmige Abtastung realisiert wird. Dabei wird der Spiegel sowohl gekippt, als auch gedreht (s. Prinzipskizze). Durch die Flugbewegung wird die kreisförmige Abtastung zu einer elliptischen Abtastung gestreckt.



Skizze eines Nutrierenden Spiegels  
(nach [Wehr & Lohr, 1999])

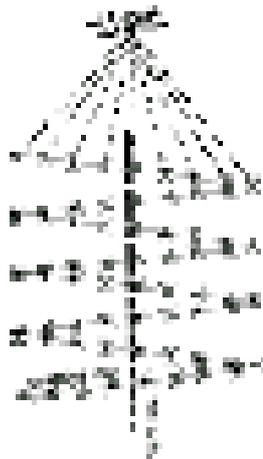
## 5.5.2 Abtastmuster der Systeme

Die verschiedenen Abtastmechanismen erzeugen unterschiedliche Scanmuster am Boden. Das bedeutet, dass die Verteilung der Messpunkte, bezogen auf eine ebene Fläche, für die Systeme jeweils charakteristisch ist. So gibt es z.B. Laserscanner die zickzackförmige Verteilungen der Messpunkte haben oder auch solche, die spiralförmige Linien erfassen. Rechts können Sie verschiedene Systeme wählen und bekommen dann das jeweils charakteristische Scanmuster angezeigt.



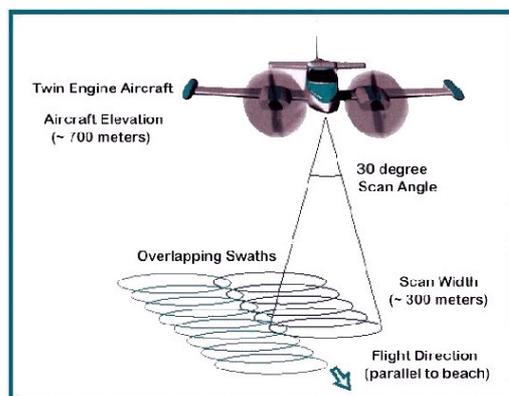
### Glasfasersystem (TopoSys)

Scanmuster des TopoSys-Glasfasersystems; es werden nebeneinanderliegende Linien durch die Messpunkte gebildet, also quasi Profile gemessen



### Oszillierender Spiegel (ALTM)

Scanmuster des ALTM-Systems mit oszillierendem Spiegel; durch den oszillierenden Spiegel ergibt sich eine zeilenweise Abtastung quer zur Flugrichtung, die zusammen mit der Flugbewegung in einer zickzackförmigen Abtastung resultiert (Sternchen im obigen Bild deuten die Messpunkte an)



### Nutierender Spiegel (ScaLars)

Scanmuster des ScaLars-Systems mit nutierendem Spiegel; der nutierende Spiegel erzeugt eine kreisförmige Abtastung, die durch die Flugbewegung zu einer Ellipse verzerrt wird; durch die Überlagerung der einzelnen "Skankreise" entsteht ein spiralförmiges Muster

## 5.6 Ein Vergleich der Systeme

In diesem abschließenden Kapitel werden die drei vorgestellten Systeme verglichen. Dieser Vergleich soll zeigen, dass je nach Aufgabengebiet jeder Ansatz Vorteile aber auch Nachteile besitzt. Zuerst werden in einer Tabelle die technischen Spezifikationen überblicksmäßig zusammengestellt. Anschließend werden die Systeme anhand von zwei Zusammenhängen verglichen:

- Zusammenhang zwischen Flughöhe und Streifenbreite
- Zusammenhang zwischen Streifenbreite und Abschattung

Es soll nicht der Eindruck entstehen, dass diese Zusammenhänge ausreichen, um eine endgültige Entscheidung für oder gegen ein System treffen zu können. Für weitere Vergleichspunkte sollte man zusätzliche Literatur hinzunehmen (z. B. [Baltsavias, 1999]).

### Systemspezifikationen:

Name des Systems/ Herstellers	TopoSys II / TopoSys	ALTM 1025 / Optech	ScaLars /Uni Stuttgart
Lasermesssystem:	gepulst	gepulst	CW-Modul
Scan-Winkel (°):	14	0 - 40	27.2 u. 38
Abtastbreite (m):	0.25 * h	0 - 0.7 * h	0.48 u. 0.69 * h
Footprint (m):	0.3 (h:600 m)	0.3 (h:1000 m)	1.4 (h: 700 m)
Fluggeschwindigkeit (km/h):	250	250	270
Abtastgebiet (km <sup>2</sup> /h):	3 - 20	1.5 - 14.5	80
Entfernungsgenauigkeit (cm):	1	15	10
Lagegenauigkeit (m):	< 0.5 ‰ * h	0.5 (h: 500m)	1 (h: 700m)
max. Flughöhe (m):	1600	1000	700
Wellenlänge des Signals (µm):	1,55	1,047	0,81
Messdichte (Punkte/m*m):	3 - 25	0,5 - 200	0 - 5
Sensorgroße (cm):	47x53x53	30x35x40	50x50x85
Sensorgewicht (kg):	28	23	56

**Anmerkungen zur Tabelle:**

**Lasermesssystem:** Hier wird angegeben, welches der beiden (s. Kapitel 6.3) Messverfahren benutzt wird

**Scan-Winkel:** Damit wird der Öffnungswinkel des Systems bezeichnet; Das ist der Winkel zwischen den in einer Scanzeile (quer zur Flugrichtung) am weitesten liegenden Laserstrahlen, also der Winkel, der entscheidend die Breite des aufgenommenen Gebiets bestimmt.

**Abtastbreite:** Breite des Messtreifens, d.h. die Entfernung zwischen den beiden äußersten Messpunkten der Scanzeile (quer zur Flugrichtung).

**Footprint:** Pro Messung beleuchtetes Gebiet, d.h. der durch die Aufweitung des Messsignals am Boden beleuchteter Fleck.

**Fluggeschwindigkeit:** Wert für die typisch geflogene Geschwindigkeit

**Abtastgebiet:** Das in einer Zeiteinheit umfassendes Gebiet; dies stellt aber nur einen Durchschnittswert dar, je nach Aufnahmeverhältnissen kann dieser Wert stark variieren

**Entfernungsgenauigkeit:** Hiermit bezeichnet man die Genauigkeit der Distanzmessung zwischen dem Sensor und den Messpunkten; es handelt sich also um keine Genauigkeit der in einem Höhendatensatz enthaltenen Punkte! Jene Genauigkeit sind typischerweise um einiges schlechter, da zur Berechnung der Messpunktkoordinaten auch Positionierungskoordinaten und während der Auswertungsprozesses auftretende Ungenauigkeiten beitragen.

**Lagegenauigkeit:** Genauigkeit, die nach dem Auswerteprozesses vorliegende Höhepunkte; diese Komponente bezeichnet die Genauigkeit in der Lage, also die Genauigkeit in der Position des Höhepunktes (typischerweise als X- und Y-Koordinaten bezeichnet).

**max. Flughöhe:** Höhe, in der man mit diesem Messsystem maximal geflogen werden kann. Bei der Größeren Höhe ist generell das Signal/Rauschverhältnis zu schlecht, d.h. es kann bei einem ankommenden Signal nicht mehr genau gesagt werden, ob es sich um ein ausgesandte Messsignal handelt, oder um zufällig auftretende Strahlung aus der Umgebung.

**Wellenlänge des Signals:** Die Wellenlänge des Signals entscheidet über die Entfernungsgenauigkeit, aber auch über die Beeinflussung des Signals durch Wetterbedingungen etc. mit.

**Messdichte:** Dies gibt den Bereich an, wie viel Messpunkte sich minimal bis maximal in einer Flächeneinheit durchschnittlich befinden. das wird entscheidend von der Flughöhe und dem Öffnungswinkel bestimmt. Aber auch bei ein und derselben Messung gibt es durch variierende Flugbewegung, aber auch topographische Verhältnisse, Gebiete in denen sich mehr Punkte pro Flächeneinheit befinden und solche, wo Messpunktdichte geringer ist.

### 5.6.1 Flughöhe, Streifenbreite und Abschattung

Die verschiedenen Scansysteme haben unterschiedliche Öffnungswinkel. Dieser Winkel definiert zusammen mit der Flughöhe die Streifenbreite am Boden:

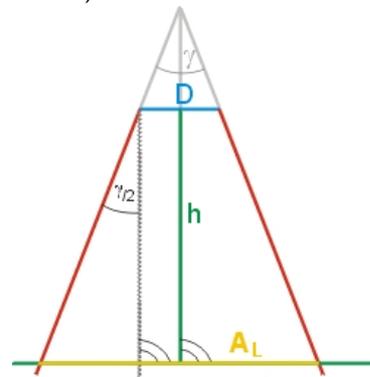
$$A_L = D + 2 \cdot h \cdot \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right)$$

$A_L$  = Streifenbreite, d.h. beleuchteter Bereich am Boden

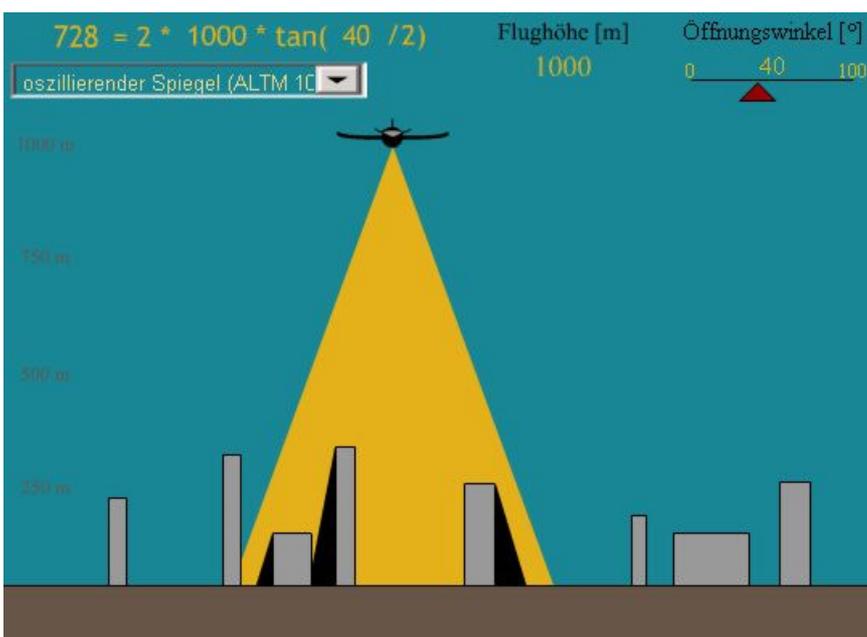
$D$  = Breite des aussendenden Scanelements (z.B. Scanzeile)

$h$  = Flughöhe

$\gamma$  = Öffnungswinkel des Systems



Je nach Öffnungswinkel und Flughöhe ändern sich aber auch die sogenannten Abschattungsbereiche. Das sind jene Stellen, die bei einer Aufnahme vom System nicht erfasst werden können, aber innerhalb der Streifenbreite liegen. Ursache für Abschattungen können z.B. hohe Gebäude sein, die vom Sensor aus gesehen andere Bereiche überlagern.



Auswirkungen des Öffnungswinkel und der Flughöhe auf Streifenbreite und Abschattungseffekte

## 5.7 Literatur

**Albertz J. 2001:** *Einführung in die Fernerkundung*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, 2001.

**Axelsson P. 2000:** "DEM Generation from laser scanner data using adaptive tin models". In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (IAPRS), Vol. XXXIII, Amsterdam 2000, Seite 110-117.

**Baltsavias E. P. 1999(1):** "Airborne laser scanning: existing systems and firms and other resources". In: ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Nr. 54, März 1999, S. 164-198.

**Baltsavias E. P. 1999(2):** "Airborne laser scanning: basic relations and formulas". In: ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Nr. 54, März 1999, S. 199-214.

**F.A. Brockhaus 2000:** *Der Brockhaus in einem Band*. 9., neu bearbeitete Auflage. Und online im Internet: URL: <http://www.iicm.edu/meyers> [Stand: 18.02.2002].

**Crombaghs, M.J.E., Brügelmann, R. und de Min, E.J. 2000:** "On the adjustment of overlapping strips of laseraltimeter height data". In: IAPRS, Vol.XXXIII, Part B3, Amsterdam 2000.

**Friess P. 1990:** "Kinematische Kamera-Positionierung mit GPS für die Aerotriangulation". In: Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung (ZPF) 5/1990, S.134-143.

**GeoLas Consulting 2002:** Online im Internet: URL: <http://www.geolas.com/Pages/galerie.html> [Stand: 20.02.2002].

**von Hansen, W. und Vögtle, T. 1999:** "Extraktion der Geländeoberfläche aus flugzeuggetragenen Laserscanner-Aufnahmen". In: PFG, Heft 4, Seite 229-236.

**Hoss, H. 1997:** "Einsatz des Laserscanner-Verfahrens beim Aufbau des Digitalen Geländehöhenmodells (DGM) in Baden-Württemberg". In: PFG, Heft 2, Seite 131-142.

**Kilian, J., Haala, N. und English, M. 1996:** "Capture and evaluation of airborne laser scanner data". In: IAPRS Vol.XXXI/2, Part B3, Wien 1996, S. 141-146.

**Kraus, K., Pfeifer, N. 1997:** "A new method for surface reconstruction from laser scanner data" In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 32, Part 3-2W3, Seite 80 - 86, Haifa, 1997.

**Lindenberger, J. 1993:** "Laser - Profilmessungen zur topographischen Geländeaufnahme". In: Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 400, München 1993.

**Lohmann, P., Koch, A. und Schaeffer, M. 2000:** "Approaches to the filtering of laser scanner data". In: IAPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam 2000, Seite 540-547.

**Lohr, U. und Eibert, M. 1995:** "The TopoSys Laser Scanner-System". In: Photogrammetrische Woche 1995, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg 1995, S. 263-267.

**Lohr, U. und Schaller, J. 1992:** "Trassenbefliegungen mit dem TopoSys Laserscanner". In: Fritsch (ed.): GIS Geoinformationssysteme 2/99, Seite 3-5. Wichmann-Hüthig Verlag, Heidelberg.

**Optech 2002:** "Laser-based ranging, mapping and detection systems". Online im Internet:  
URL: <http://www.optech.on.ca/> [Stand:18.02.2002]

**Schenk, T. und Csathó, B. 2001:** "Modellierung systematischer Fehler von abtastenden Laseraltimetern". In: Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation (PFG) 5/2001, S.361-373.

**Schiewe, J. 2001(1):** "Ein regionen-basiertes Verfahren zur Extraktion der Geländeoberfläche aus Digitalen Oberflächen-Modellen". In: PFG, Heft 2, Seite 81 - 90.

**Schiewe, J. 2001(2):** "Integration von Digitalen Höhen-Modellen und multispektralen Bilddaten zur automatischen Objekterkennung". In: Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 9, Berlin 2001, Seite 187-194.

**Steinle, E. und Bähr, H.-P. 1999:** "Laserscanning for change detection in urban environment". In: Altan/Gründig (eds.), Third Turkish-German Joint Geodetic Days „Towards A Digital Age", Volume I, S. 147 - 156, Istanbul, Türkei. Und online im Internet:  
URL: <http://ipfu1.bau-verm.uni-karlsruhe.de/Personen/SFB461/c5/publications/pubs.html>  
[Stand: 18.02.2002].

**TopoSys, 2002:** Online im Internet: URL: <http://www.toposys.com> [Stand: 15.01.2002]

**Wehr, A. und Lohr, U. 1999:** "Airborne laser scanning - an introduction and overview". In: ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. 54, März 1999, Seite 68-82.