



Studiengang :Geoinformatik und Geodäsie

Masterarbeit

**Dreidimensionale Erfassung der beiden Hallen der
Fahrzeugwerk FWW GmbH in Neubrandenburg mit
einem 3DLaserscannersystem HDS6000**



Erstbetreuer: Prof. Dr. -Ing. Wilhelm Heger

Zweitbetreuer: Prof. Dr. -Ing. Hans-Jürgen Larisch

eingereicht von : Ayman Ajlani <gg06w01@hs-nb.de>

eingereicht am 27.November 2008

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2008-0073-5

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Vorbemerkung	2
3 Physikalische Grundlage	4
3.1 Wellenlänge.....	4
3.2 Albedo	5
3.2.1 Albedoarten	5
4 Die elektronische Streckenmessung	6
4.1 Impulslaufzeit	6
4.1.1 Prinzip des Impulsverfahrens	6
4.1.2 Genauigkeit des Impulsverfahrens	7
4.2 Phasenvergleichsverfahren	7
4.2.1 Prinzip des Phasenvergleichsverfahrens	7
4.2.2 Vorteile des Phasenvergleichsverfahrens	9
4.2.3 Nachteile des Phasenvergleichsverfahrens	9
4.3 Triangulationsverfahren	10
5 Laser	11
5.1 Entstehung des Lasers	11
5.2 Prinzip des Lasers	12
5.3 Der Laser als Sensor und seine Vorteile	14
5.4 Absorption	15
5.5 spontane Emission	15
5.6 stimulierte Emission	16
5.7 Interferenz	17
5.8 Kohärenz	17
5.9 Polarisation	19

5.10 Strahldivergenz	20
5.11 Einfarbigkeit	21
5.12 Reflexion des Laserstrahls an Oberflächen	21
5.12.1 Reflexionsarten	21
5.12.2 Reflexionskoeffizient	22
5.12.3 Einfluss der Objektseigenschaften	23
5.12.4 Einfluss der Rauhigkeit und der Farbe des Objekts	24
5.12.5 Einfluss von Zielgeometrie	25
5.13 Klassifizierung des Lasers nach DIN EN 60825-1	26
6 Bauwerksaufnahme mit geodätischen Methoden	27
6.1 Handaufmaß	27
6.2 Tachymetrisches Verfahren	28
6.2.1 Polaraufnahme mit Reflektor	29
6.2.2 Polaraufnahme ohne Reflektor	30
6.3 Photogrammetrisches Verfahren	32
6.3.1 Stereophotogrammetrie	33
6.4 Laserscanning	35
6.5 Kriterien für die Auswahl des Aufnahmeverfahrens	38
7 Laserscanning	39
7.1 Scanner	39
7.2 Laserscanner	39
7.2.1 1D-Laserscanner	39
7.2.2 2D-Laserscanner	40
7.2.3 3D-Laserscanner	40
8 Koordinatensysteme Bei der Datenerfassung	42
8.1 Das „Scannereigene Koordinatensystem“ (SOCS für Scanner Own Coordinate System)	42
8.2 Das Projektkoordinatensystem (PRCS für PProject Coordinate System)	42
8.3 Das globale Koordinatensystem (GLCS für GLobal Coordinate System)	42

9 Terrestrische Laserscanning (TLS)	43
9.1 Aufbau und Funktionsweise von TLS	43
9.2 Anforderung des TLS	44
9.3 Klassifikation des TLS	44
9.3.1 Klassifikation nach dem Gesichtsfeld	44
9.3.2 Klassifikation nach dem Distanzmessprinzip	45
9.4 Technische Kriterien des TLS	46
9.4.1 Genauigkeit	46
9.4.2 Intensität	47
9.4.3 RGB-Farbwert	47
9.4.4 Abtastrate/Auflösung	47
9.4.5 Zeit	48
9.4.6 Datenmenge	48
9.4.7 Strahldivergenz	49
9.4.8 Messgeschwindigkeit	49
9.5 Marktübersicht der terrestrischen Laserscannern	50
9.6 Auswahlkriterien für Laserscanning-Systeme	53
10 Leica Geosystems	54
10.1 HDS-Systeme	54
10.1.1 Leica ScanStation	54
10.1.1.1 Zubehör	55
10.1.1.2 Systemeigenschaften.....	55
10.1.2 HDS2500,HDS3000.....	56
10.1.3 HDS6000	56
10.1.3.1 HDS6000 und seine Zubehöre	59
10.1.3.2 Laserklasse des HDS6000.....	59
10.1.3.3 Anwendungsbereiche des HDS6000	60
10.1.3.4 Sehfeld	60
10.1.3.5 Scanauflösung.....	61
10.1.3.6 Spiegel.....	61
10.1.3.7 Laptop zum Scannen	61

10.1.3.8 Batterie	62
10.1.3.9 Umgebungstemperatur	62
10.1.3.10 Ungünstige Witterungsbedingungen	63
10.1.3.11 Ungünstige Oberflächen	63
10.1.3.12 Ziele	63
10.1.3.13 Verbindungen	64
10.1.3.14 Netzwerk	64
10.1.3.15 Verantwortungsbereiche	64
11 Leica HDS-Software	65
11.1 Cyclone 5.8 Software	65
11.2 Leica CloudWorx	65
11.3 Leica COE Datenübertragung.....	65
12 Scannen von Fahrzeugwerkehallen	66
12.1 Ausrüstung	66
12.2 Arbeitsabläufe des Projektes	66
12.2.1 Vorbereitungen	66
12.2.2 Feldarbeiten	67
12.2.2.1 Anbringung der Targets am Objekt	67
12.2.2.2 Etablierung eines Referenzsystems	68
12.2.2.3 Scannen mit HDS6000	70
12.2.2.3.1 Cyclone Navigator	71
12.2.2.3.2 Scan Control	73
12.2.2.3.3 ModelSpace	76
12.2.2.4 Erkennen von Targets	76
12.2.3 Auswertungen	77
12.2.3.1 Säuberung der Punktfolgen	78
12.2.3.2 Registrierung mit der Software Cyclone	79
12.2.3.2.1 Registrierung über Passpunkte	80
12.2.3.2.2 Registration über Objektpunkte	83

13 Beschreibung der Modellierung	88
14 Fazit	93
15 Abbildungsverzeichnis.....	94
16 Tabellenverzeichnis.....	97
17 Quellenverzeichnis.....	98
Danksagung	100
Selbständigkeitserklärung.....	101

1. Einleitung

Ziel dieser Masterarbeit ist die Erfassung beider Hallen der Fahrzeugwerke FWW GmbH in Neubrandenburg mit einem 3D Laserscannersystem HDS6000. Die gewonnenen Informationen der Aufnahme dienten zur Erstellung eines dreidimensionalen Abbildes der Hallen, des eingebauten Brückenkrans und der Stütze. Die örtlichen Arbeiten unterteilten sich in die Passpunktbestimmung der Targets und in die dreidimensionale Erfassung des Objekts. Die Passpunktbestimmung erfolgte mit der Technik der reflektorlosen Tachymetrie und die dreidimensionale Erfassung mit dem HDS-6000 Laserscanner der Firma Leica. Die Auswertung erfolgte mit dem Programm Cyclone 5.8, in dem die Verknüpfung der einzelnen Scans sowie die komplette Modellierung durchgeführt wurde. Die ausgereifte Software bietet dem Benutzer verschiedene Varianten für die Verarbeitung von Punktwolken und zur Erstellung von 3D-Modellen an. Auch war eine Kombination aus Tachymetrie und Laserscanning über eine Passpunktbestimmung hinaus vorteilhaft. Dies hat die Modellierung vereinfacht und die Genauigkeit gesteigert.

Einleitend erfolgt eine Darstellung der physikalischen Grundlagen und der theoretischen Grundlagen der Laserstrahlung, ihrer Entstehung und ihrer Eigenschaften sowie die Zusammenstellung der geodätischen Methoden für die Objekterfassung insbesondere TLS. Im Folgenden werden auch die Arten sowohl der Koordinatensysteme im Bereich TLS als auch des Laserscanners nach dem Laserscanning Prinzip beschrieben. Des Weiteren wird die Geräteübersicht und HDS-Systeme beschrieben, speziell die verwendeten HDS6000 der Firma Leica sowie die dafür benötigten Leica HDS-Software. Dem schließt sich die Darstellung der Registrierung und der erfolgreichen Modellierung der erfassten Punktwolken an.

2. Vorbemerkung

Das vorliegende Glossar stellt eine Sammlung von Begriffen bereit, die in dieser Masterarbeit verwendet werden.

A

Abweichung → Messwert minus → Sollwert

Auflösevermögen

Kleinste unterscheidbare Differenz zweier eng beieinander liegender Messwerte eines EDM-Instruments. Wegen Abschwächung und Verzerrung des Messstrahles beim Durchgang durch die Atmosphäre (Dunst und Luftflimmern) ist die Auflösegenauigkeit nicht allein vom Messverfahren des EDM Instruments abhängig, sondern auch vom Zustand der Atmosphäre und von der Entfernung.

D

Distanz **d**

Länge des Messweges: Messwert einschließlich der erforderlichen Korrekturen. Durch Addition von Reduktionen werden Distanzen in Strecken überführt.

E

EDM-Instrument

Elektrooptischer Distanzmesser (EDM), ein geodätisches Instrument zur Messung von Distanzen im Nahbereich bis etwa 1 km nach dem Impulsmessverfahren oder dem Phasenmessverfahren. Auch Streckenmessgerät genannt

elektrooptische Distanzmessung

Messung des Abstandes zwischen zwei Punkten mit einem EDM-Instrument .

I

Impulsmessverfahren

Messverfahren eines EDM-Instruments, das auf der Laufzeitmessung von Impulsen beruht.

M

Messverfahren

Praktische Anwendung eines Messprinzips und einer Messmethode

P

Phasenmessverfahren

Messverfahren eines EDM-Instruments, das auf dem Phasenvergleich modulierter Strahlung beruht.

3D-Punktwolke

Menge von Punkten, welche die Oberflächengeometrie eines dreidimensional vermessenen Objekts beschreibt .

R

Reflektor

Bidirektionales Umlenksystem zur Rücksendung eines ankommenden Messsignals, meist in Form eines Tripelspiegels (Tripelprisma). Das ausfallende Signal ist stets parallel zum einfallenden Signal. Reflektoren können auch aus Kunststoff oder reflektierender Folie (Retroreflektoren oder Reflexfolien) bestehen sowie omnidirektional als Rundum-Prisma (360°-Reflektor) gestaltet sein. [1]

3. Physikalische Grundlage

3.1 Wellenlänge

Als Wellenlänge, Symbol λ (griech.: Lambda), wird der kleinste Abstand zweier Punkte gleicher Phase einer Welle bezeichnet. Dabei haben zwei Punkte die gleiche Phase, wenn sie sich in gleicher Weise begegnen, d. h. wenn sie im zeitlichen Ablauf die gleiche Auslenkung (Amplitude) und die gleiche Bewegungsrichtung haben. [2]

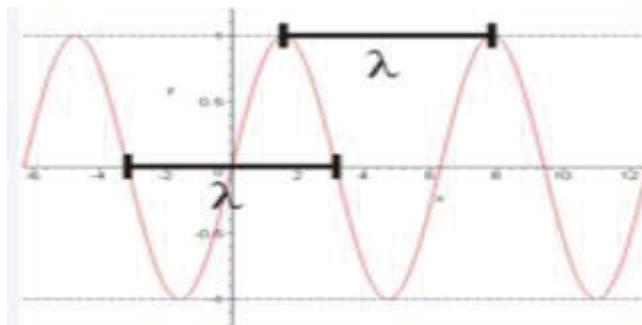


Abb. 3.1: Wellenlänge

Es gilt

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

wobei c die Ausbreitungsgeschwindigkeit oder die Phasengeschwindigkeit und f die Frequenz der Welle ist.

- λ = Wellenlänge z. B. einer elektromagnetischen Welle

- $c = \frac{c_0}{n}$

- wobei c_0 = Geschwindigkeit von Licht im Vakuum (Lichtgeschwindigkeit) = $299.792.458 \text{ m/s} \approx 300.000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
- n = Faktor der Phasengeschwindigkeit (z. B.: Brechzahl)

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektrischen Signalen über metallische Leiter (z. B. Kupferkabel) ist ca. 3 % geringer als die Lichtgeschwindigkeit im freien Raum. [2]

3.2 Albedo

Die Albedo (lateinisch *albedo* = „Weißheit“; v. lat. *albus* = weiß) ist ein Maß für das Rückstrahlvermögen von diffus reflektierenden, also nicht selbst leuchtenden Oberflächen. Sie wird bestimmt durch den Quotienten aus reflektierter zu einfallender Lichtmenge.

3.2.1 Albedoarten

Das Verhältnis der Rückstrahlung zur Einstrahlung liegt zwischen 0 bis 1. Je größer der Anteil der reflektierten Strahlung ist, desto heller ist die Oberfläche und um so höher ist die Albedo.

Tab.3.1: Albedowerte verschiedene Oberflächen

Material	Albedo
Frischer Schnee	0,80 – 0,90
Alter Schnee	0,45 – 0,90
Wolken	0,60 – 0,90
Wüste	0,30
Savanne	0,20 – 0,25
Felder (unbestellt)	0,26
Rasen	0,18 – 0,23
Wald	0,05 – 0,18
Asphalt	0,15
Wasserfläche (Neigungswinkel > 45°)	0,05
Wasserfläche (Neigungswinkel > 30°)	0,08
Wasserfläche (Neigungswinkel > 20°)	0,12
Wasserfläche (Neigungswinkel > 10°)	0,22

Glatte Oberflächen wie Wasser, Sand, Schnee haben einen relativ hohen Anteil spiegelnder Reflexion, ihre Albedo ist deshalb stark abhängig vom Einfallsinkel der Sonnenstrahlung (siehe Tab.3.1). Die Albedo ist außerdem abhängig von der Wellenlänge des Lichts.[3]

4. Die Elektronische Streckenmessung

Für viele Vermessungsarbeiten bedeutet die elektronische Streckenmessung eine Steigerung der Arbeitsproduktivität und die Ablösung der bekannten optischen und mechanischen Streckenmessverfahren.

Die Vorteile dieser Messmethode liegen bei:

- den großen Streckenmessbereichen
- einer von der Streckenlänge unabhängigen Streckenmessgenauigkeit
- Messungen auch unter ungünstigen Lichtverhältnissen
- Zeitersparnis bei Messungen von lagen Strecken und in bewegtem Gelände

Als elektronische Streckenmessung wird die Streckenmessung mit elektromagnetischen Wellen bezeichnet. Sie beruht auf der Bestimmung der Laufzeit eines von elektromagnetischen Wellen übertragenen Signals, welches am Anfangspunkt der zu bestimmenden Strecken von einem Messgerät (Sender) ausgesandt und am Endpunkt, von einem auf den Sender abgestimmten Reflektor, auf den Anfangspunkt zurückgeworfen und dort von einem Empfänger aufgenommen wird.

Zur Streckenmessung mittels elektromagnetischer Wellen gibt es drei Verfahren:

- das Impulsmeßverfahren
- das Phasenvergleichsverfahren
- Triangulationsverfahren [4]

4.1 Impulslaufzeit

4.1.1 Prinzip des Impulsverfahrens

Geräte, wie der HDS2500 3D Laserscanner, welche die Distanz nach dem Impulslaufzeitverfahren messen, bestehen im Wesentlichen aus einem Sender, Empfänger und einem Laufzeitmesser.

Vom Sender des Gerätes wird ein extrem kurzer Lichtimpuls mit bekannter Fortpflanzungsgeschwindigkeit c ausgesandt, am Ende der Strecke reflektiert und vom Empfänger(Lichtsensor) aufgenommen. Durch Messung der Laufzeit t des Impulses lässt sich die im Hin- und Rückweg, also doppelt durchlaufende Strecke d ermitteln:[5]

$$2d = c \cdot t \quad \text{oder} \quad d = \frac{c \cdot t}{2}$$

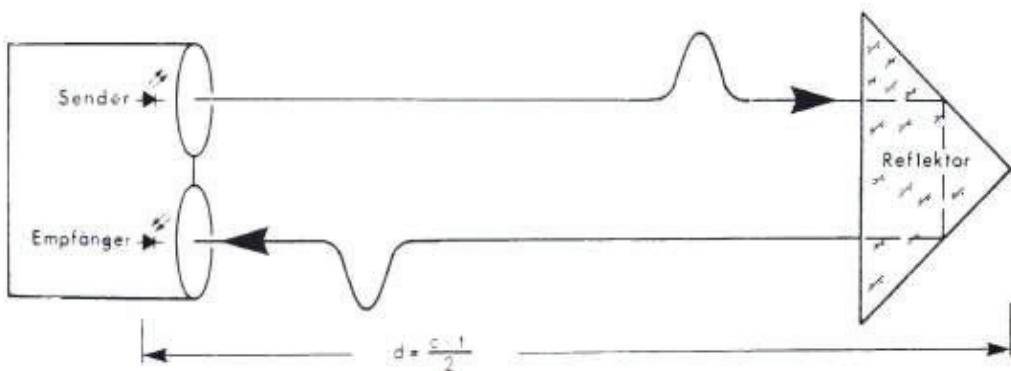


Abb.4.1: Prinzip der Distanzmessung mit Lichtimpulsen

4.1.2 Genauigkeit des Impulsverfahrens

Die Genauigkeit des Verfahrens hängt von der Genauigkeit ab, mit der zum einen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bekannt ist und zum anderen die Laufzeit t bestimmt werden kann. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit C_0 einer elektromagnetischen Welle im Vakuum wird beim Durchgang durch ein Medium hauptsächlich in Abhängigkeit von der Dichte des Mediums verringert. Mit dem durch den Brechungsindex n ausgedrückten Verringerungsverhältnis und der Wellengeschwindigkeit C_0 im Vakuum ergibt sich die Geschwindigkeit C des Lichtes im jeweiligen Medium zu:

$$C = C_0 / n$$

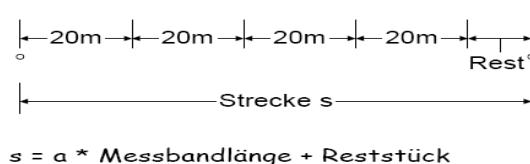
Vorteil des Impulsverfahrens ist, daß mit ihm zwei Ziele unterschiedlicher Entfernung gleichzeitig ermittelt werden können.

Nachteil des Impulslaufzeitverfahrens, anderen Verfahren gegenüber, ist die relativ geringe Messgeschwindigkeit. [5]

4.2 Phasenvergleichsverfahren

4.2.1 Prinzip des Phasenvergleichsverfahrens

- zum Vergleich mechanische Streckenmessung mit Messband



Das Phasenvergleichsverfahren (PVV) verwendet als Maßstab (oben Messband) eine Wellenlänge λ einer elektromagnetischen Welle.

Das Verfahren beruht darauf, daß jedem Schwingungszustand einer harmonischen Welle ein eindeutiger Phasenwinkel zugeordnet werden kann.

Um die Strecke nun zu bestimmen werden kontinuierliche harmonische Wellen unter einem bestimmten Phasenwinkel φ_A ausgesandt und am Reflektor reflektiert. Der Empfänger nimmt dann die reflektierte Welle unter dem Phasenwinkel φ_E auf, der von der durchlaufenden Strecke $2S$ und der Laufgeschwindigkeit abhängig ist. In einem Phasenmesser wird die Phasendifferenz $\Delta\varphi$ zwischen ausgesandter und reflektierter Welle gemessen.

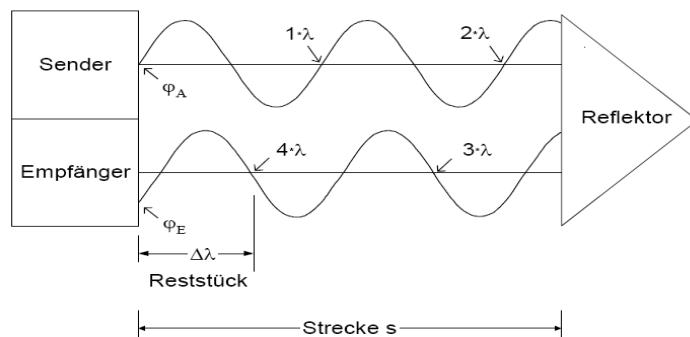


Abb.4.2: Prinzip der Distanzmessung mit Phasenvergleichsverfahren

Für die Strecke gilt dann:

$$2*s = a * \text{Wellenlänge} + \text{Reststück} = a * \lambda + \Delta\lambda$$

wobei a = Anzahl der ganzzahligen Wellenlängen und $\lambda = c/f$

- im Gegensatz zum Impulsverfahren wird beim PVV ein (für mehrere Sekunden) kontinuierliches Signal abgestrahlt

- d.h. dass...

o sich der Phasenwinkel Φ_A entsprechend der Frequenz ständig ändert,

o aber gleichzeitig ändert sich auch der am Empfänger eintreffende Phasenwinkel φ_E

- die Differenz $(\varphi_E - \varphi_A)$ bleibt (im Rahmen der Verfahrensgenauigkeit) konstant

- daraus lassen sich folgende Aufgaben ableiten:

- Bestimmung der Anzahl a der vollen Wellenlängen :

Die Zahl wird automatisch durch aufeinanderfolgende Verwendung leicht veränderte Modulationsfrequenz bestimmt.

- Bestimmung des Reststückes $\Delta\lambda$ durch Messung der Phasendifferenz ($\Phi_E - \varphi_A$) : $\Delta\lambda = (\varphi_E - \varphi_A) \cdot \lambda / (2\pi)$ [5]

4.2.2 Vorteile des Phasenvergleichsverfahrens :

- das Verfahren ist sehr ausgereift
- das Verfahren ist unempfindlich gegen kurzzeitige Messungsunterbrechungen z.B. durch vorbeifahrende Fahrzeuge, sich im Zielstrahl bewegende Blätter .
- kompakte und preiswerte Geräte [6]

4.2.3 Nachteile des Phasenvergleichsverfahrens :

- längere Meßzeiten gegenüber dem Impulsmeßverfahren
- aufwendigere Optik und leistungsfähigere Stromversorgung gegenüber dem Impulsmeßverfahren

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit C_0 im Vakuum wurde aus genauen Labormessungen zu $C_0 = 299\,792\,485 \text{ m/s}$ bestimmt und als eine universelle Naturkonstante festgelegt.

Falls die Laufzeit t auf 1 Nanosekunde genau gemessen wird, resultiert daraus eine Streckenmessgenauigkeit von lediglich 15 cm für die Einzelmessung, die zwar für extrem lange Strecken, wie zum Beispiel zum Mond, jedoch nicht für geodätische Messungen ausreicht. Deshalb wird bereits seit Ende der vierziger Jahre im Vermessungswesen überwiegend das Phasenvergleichsverfahren angewandt, obwohl das Impulslaufzeitverfahren durch die direkte Messung der Laufzeit einen im Prinzip einfacheren Geräteaufbau ermöglicht.

Bei den heutigen Instrumenten wird der Einfluss der Ungenauigkeit einer Einzelmessung auf das Ergebnis der Distanzmessung dadurch herabgesetzt, dass durch eine Mittelung über in schneller Folge ausgeführte Einzelmessungen die Auflösung in den Millimeter-Bereich gebracht wird. Somit ist dieses Messverfahren gut für die reflektorlose Distanzmessung geeignet. [6]

4.3 Triangulationsverfahren

Das Triangulationsverfahren ist ein eher geometrisch motiviertes Verfahren. Ein Triangulationslaser besteht aus einer Basis, an deren Enden einerseits ein Laser, andererseits eine positionsempfindliche Photodiode angebracht ist (**Abb. 4.3**).

Die Länge der Basis muss sehr genau bekannt sein. Das Laserlicht wird auf das Zielobjekt gerichtet. Das reflektierte Licht gelangt über ein optisches System auf die Photodiode. In Abhängigkeit von der Zielobjektentfernung ergibt sich eine Verschiebung x des abgebildeten Leuchtpunktes auf der Photodiode. Mit dieser Verschiebung x und der Basis b ist die Entfernung r bestimmt. [7]

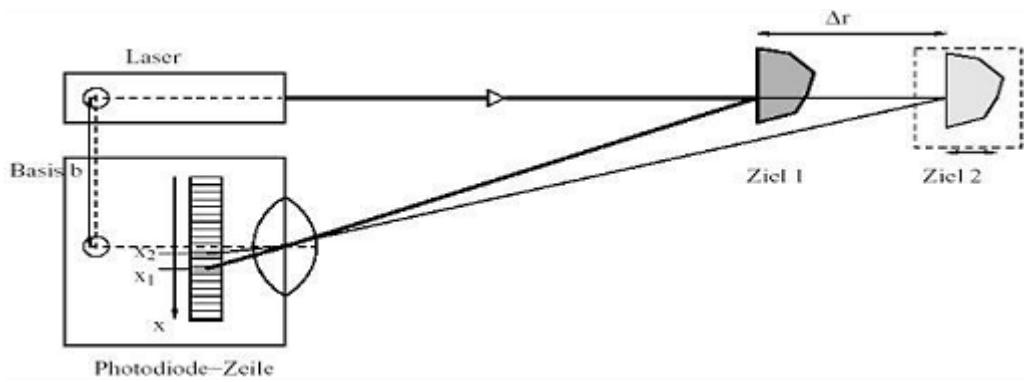


Abb.4.3 : Aufbau eines Triangulationsentfernungsmessers

5. Laser

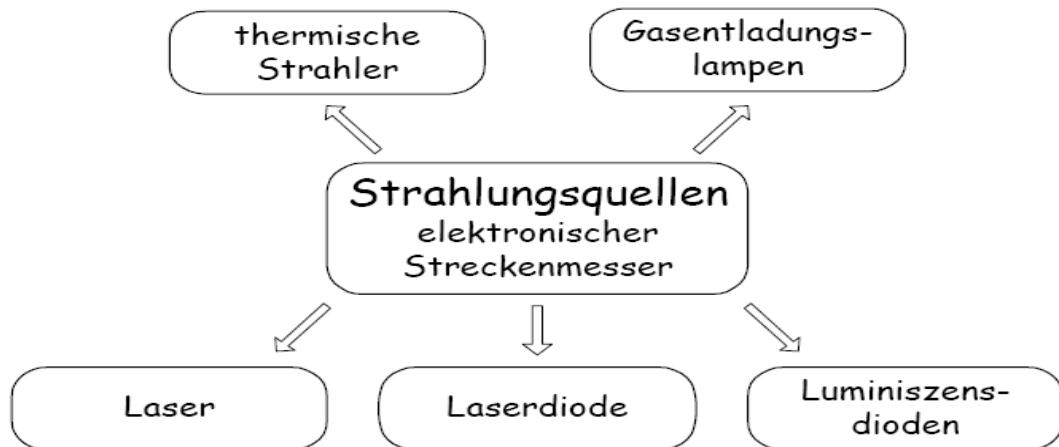


Abb.5.1: Strahlungsquellen

Das Wort Laser ist eine Abkürzung von Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Lichtverstärkung durch angeregte Strahlungsaussendung). Der erste Laser wurde 1960 von Theodore Maiman gebaut. [8]

5.1 Entstehung des Lasers

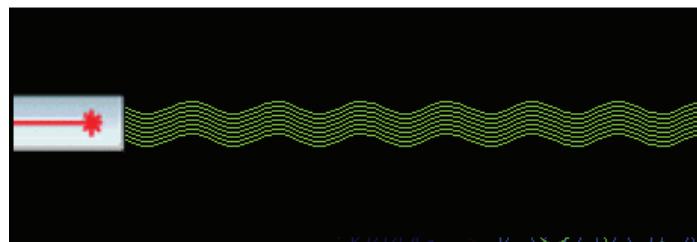
Grundlage für die Entstehung des Lasers war die Deutung des lichtelektrischen Effekts 1921 durch Albert Einstein:

- Die Idee war, dass ein Lichtquant einen angeregten Energiezustand eines Atoms zum resonanten Abstrahlen eines zweiten Lichtquants bringt, d.h. stimuliert. Beide Lichtquanten besitzen dann die gleiche Phasenlage und Energie.
- mit der Entdeckung des Laser-Prinzips und der Entwicklung entsprechender Strahlungsquellen ergab sich die Möglichkeit, energiereiche und effiziente Strahlungsquellen einzusetzen (Gaslaser, Festkörperlaser, Halbleiterlaser)
- insbesondere Gaslaser z.B. Helium-Neon-Laser (He-Ne-Laser) werden eingesetzt
 - mit Wellenlänge $\lambda = 632.8\text{nm}$
 - können kontinuierlich strahlen oder Impulse hoher Energiedichte aussenden (Einsatz für Impulsverfahren)

- erzeugen kohärentes, monochromatisches, stark gebündeltes, energiereiches, linear polarisiertes Licht (mit Ausgangsleistung von 5mW können 30-60km lange Strecken gemessen werden). [8]

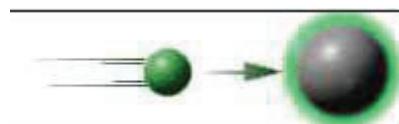
5.2 Prinzip des Lasers

Ein Laser ist eine Lichtquelle, die elektromagnetische Strahlung durch stimuliertes Emission erzeugt.

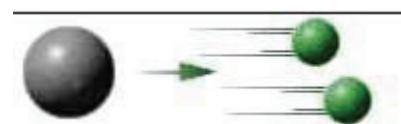


Diese Strahlung besitzt in der Regel eine große räumliche Kohärenz, wodurch es sich besonders gut zu einem gebündelten Laserstrahl kollimieren lässt. Aufgrund der ebenfalls großen zeitlichen Kohärenz des Laserlichtes eines kontinuierlichen Lasers ist dieser in der Lage, extrem monochromatisches (einfarbiges) Licht zu liefern.

Bekanntlich werden um den Atomkern kreisende Elektronen durch eine externe Energiequelle (je nach Lasertypen) auf ein höheres Energieniveau angehoben (Pumpen)

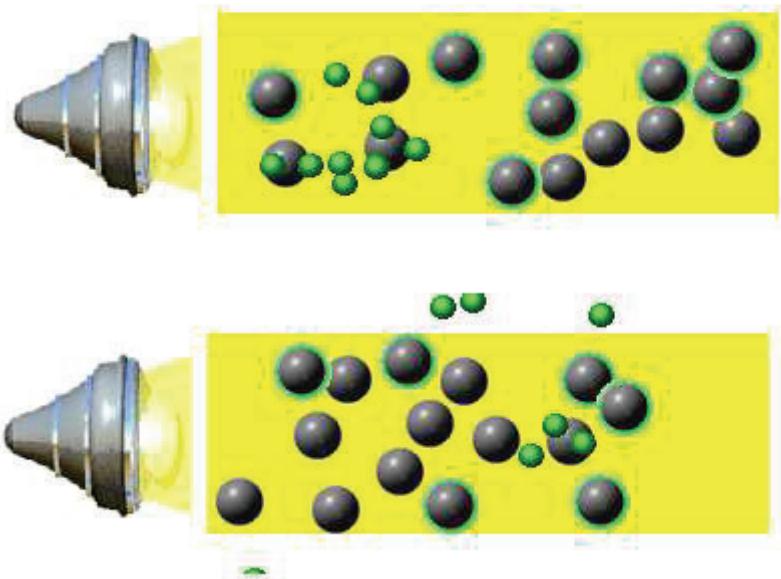


Bei Rückkehr auf sein ursprüngliches, energieärmeres Niveau, wird seine aufgenommene Energie in Form von Lichtstrahlung freigesetzt.

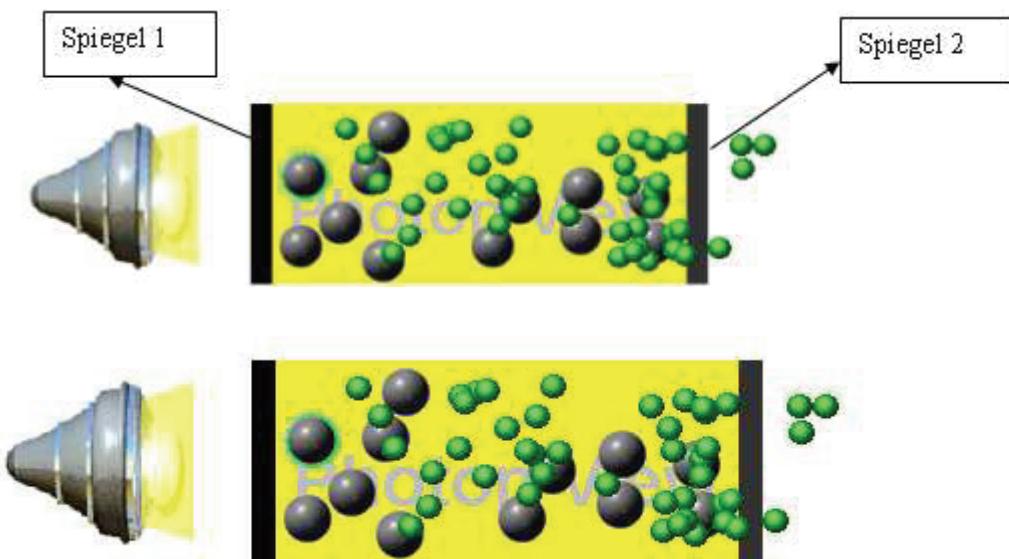


Trifft dieser Strahl auf ein anderes, energiereiches Elektron, veranlasst er dessen sofortige Entladung .

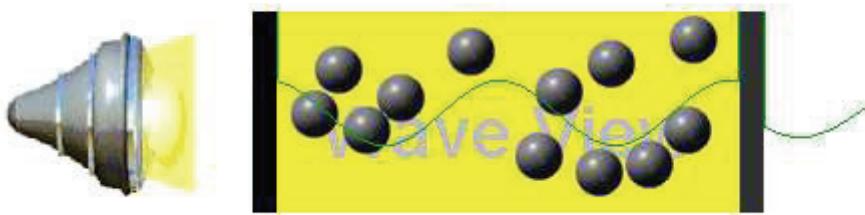
Es tritt eine Kettenreaktion ein, bei der sich die Elektronen so entladen, dass ein energiereicher Lichtstrahl von gleicher Wellenlänge entsteht



Weitere Verstärkung entsteht, indem er von zwei parallel angeordneten Spiegeln hin- und hergeworfen wird und dabei weitere Entladungen auslöst



Es werden nur die Lichtstrahlen reflektiert, die senkrecht auf die Spiegel treffen diese treten dann an dem 50% durchlässigen Spiegel aus .



das Laserlicht wird als Teilchen oder als Wellen angezeigt. [8]

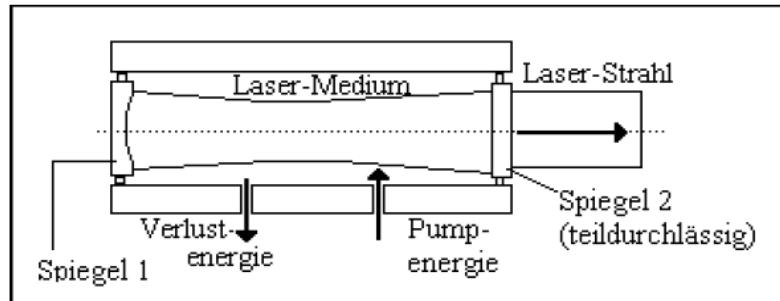


Abb.5.2: Prinzip des Lasers

5.3 Der Laser als Sensor und seine Vorteile

Die Lasertechnik erobert sich, wie zum Beispiel in der Meßtechnik, immer neue Anwendungsfelder.

Vorteile optischer Messverfahren mit Laser sind:

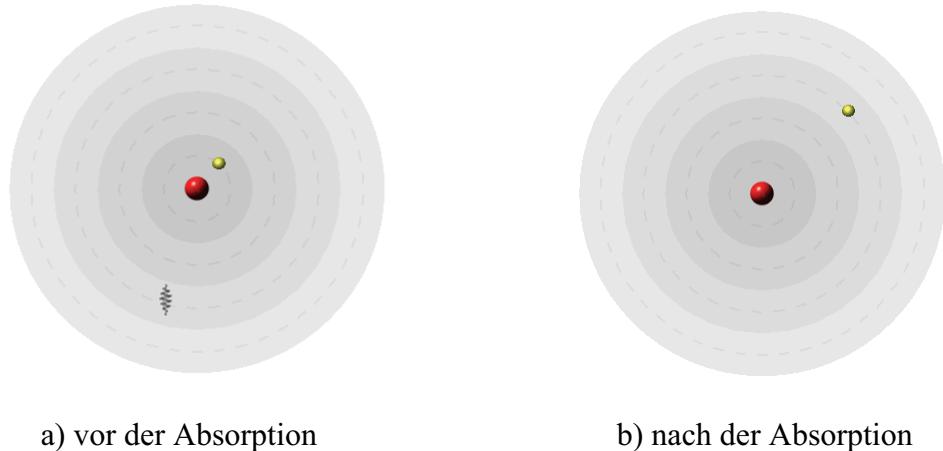
- Hohe lokale Auflösung: Laserstrahlung lässt sich hervorragend bündeln, fokussieren und ausrichten.
 - Störungsfreiheit: Beeinflussung des Messobjektes kann in fast allen Fällen ausgeschlossen werden.
 - Kurze Messzeiten: Der Kontakt mit dem Messobjekt erfolgt in Lichtgeschwindigkeit.
 - Elektromagnetische Verträglichkeit: Elektrische und magnetische Felder beeinflussen Photonen nicht. Lichtstrahlen durchdringen sich ungehindert. Der optische Teil des Messsystems sendet keine elektromagnetischen Störungen aus.
 - Hoher Messabstand: Die Verwendung von Lasern mit ihrer gerichteten Strahlung erlaubt die Überbrückung großer Messabstände.
- Eines von vielen Einsatzgebieten für Laser in der aktuellen Praxis ist das der

Abstandsmessung. [8]

5.4 Absorption

Bei der **Absorption** wird ein Photon von Materie (zum Beispiel von einem einzelnen Atom oder Molekül oder auch von einem Festkörper) absorbiert. Die Energie des Photons sorgt dafür, dass die Materie in einen höheren Energiezustand angeregt wird.

Zum Beispiel kann ein Elektron in ein höheres Energieniveau (größeren Bahn) gehoben werden.



a) vor der Absorption

b) nach der Absorption

Abb.5.3: Absorption

Der Quotient aus absorbiert und gesamter, ausfallender Strahlungsenergie wird als Absorptionskoeffizient bezeichnet. Vom Verhältnis der absorbierten zu den reflektierten Wellenlängen wird das bestimmt, was unser Auge als Farbe eines Körpers empfindet. Ein Gegenstand, der alle auftreffende Strahlung absorbiert, wird als schwarzer Körper bezeichnet.[8]

5.5 spontane Emission

Bei der **spontanen Emission** geht dieser angeregte Zustand spontan, das heißt ohne äußere Einflüsse, wieder in seinen (normalen) niedrigeren Energiezustand über. Die Energiedifferenz wird in Form eines Photons abgestrahlt. Zeitpunkt der Aussendung und Richtung des Photons sind zufällig verteilt. [8]



a) im Augenblick der spontanen Emission

b) nach der spontanen Emission

Abb.5.4:spontane Emission

5.6 stimulierte Emission

Bei der **stimulierten Emission** wird durch ein bereits existierendes Photon die Aussendung eines weiteren Photons angeregt, dieses besitzt die gleichen Eigenschaften (Frequenz, Phase, Polarisation und Ausbreitungsrichtung). Es ergibt sich also eine Verstärkung des Lichtes.

Die induzierte Emission spielt in der Laserphysik eine große Rolle .

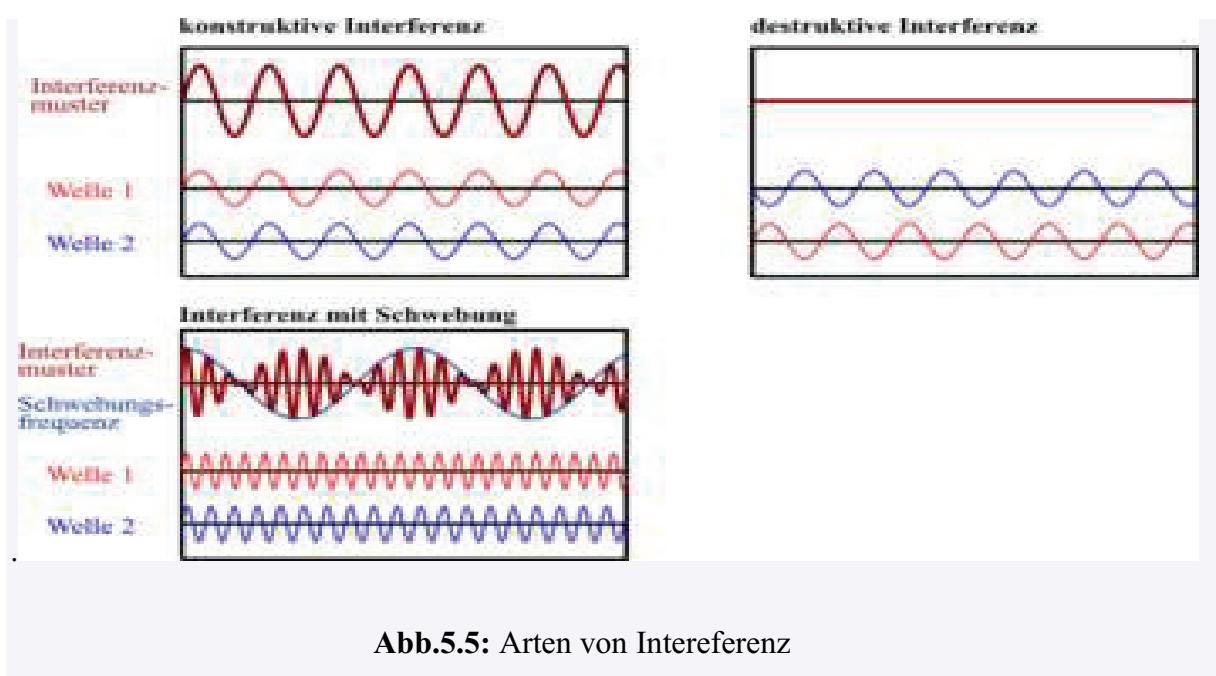
Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Photon, durch Absorption, ein Elektron auf ein höheres Niveau anhebt, ist genauso hoch, wie die Wahrscheinlichkeit, dass es eine stimulierte Emission auslöst. Um eine Verstärkung von Licht zu erreichen, müssen daher mehr Elektronen im höheren Niveau liegen als im niedrigen, sodass, aufgrund der Besetzung, die Wahrscheinlichkeit für die stimulierten Emission höher ist als für die Absorption. Diesen Zustand nennt man **Besetzungsinverson**.

In einem technischen Laser wird das Licht durch eine Anordnung zweier Spiegel immer wieder durch das Gebiet, in dem Besetzungsinverson (im aktiven Medium z. B. " Nd:YAG-Kristall" oder " CO2- Gas") herrscht, geleitet. Eine solche Anordnung nennt man **optischen Resonator (Abb.5.2)** .[8]

5.7 Interferenz

Interferenz beschreibt die Überlagerung von zwei oder mehr Wellen nach dem Superpositionsprinzip (d.h. durch Addition der Amplituden, nicht der Intensitäten). Sie tritt bei allen Arten von Wellen auf, also Schall, Licht, Materiewellen, usw.

Löschen sich die Wellen dabei gegenseitig aus, so spricht man von destruktiver Interferenz (**Abb.5.5** oben rechts). Verstärken sich die Amplituden, so spricht man von konstruktiver Interferenz (**Abb.5.5** oben links). Das Muster aus Stellen konstruktiver und destruktiver Interferenz wird als Interferenzmuster bezeichnet.



Die Interferenz zweier Wellen gleicher Frequenz, aber mit entgegengesetzter Ausbreitungsrichtung führt zu einer stehenden Welle, auch Stehwelle genannt.[9]

5.8 Kohärenz

Kohärenz (v. lat.: cohaerere = zusammenhängen) bezeichnet in der Physik eine Eigenschaft von Wellen, die stationäre (zeitlich und räumlich unveränderliche) Interferenzerscheinungen ermöglicht. Allgemeiner beschreibt die Kohärenz die Gesamtheit der Korrelationseigenschaften zwischen Größen eines Wellenfeldes .

Nähere Beschreibung

Damit bei Überlagerungen bestimmter Teilwellen Interferenzphänomene beobachtet werden können, müssen die Zusammensetzungen dieser Wellen bestimmte Bedingungen erfüllen, die

mit Kohärenz zusammengefasst werden. Zwei Wellen sind kohärent, wenn sie eine feste Phasenbeziehung haben, im anderen Fall inkohärent.

In der Natur auftretende Wellen, seien es Lichtwellen, Schallwellen oder Wasserwellen, können aus verschiedenen Frequenzanteilen, Phasen und Ausbreitungsrichtungen zusammengesetzt sein. Eine Möglichkeit diese Zusammensetzung zu interpretieren ist Folgende: Jeweils zwei Teilwellen können zu einander kohärent sein, wie unten dargestellt, und ein zeitlich stabiles Interferenzmuster erzeugen. Alle diese Interferenzmuster (Intensitäten) können sich entweder gegenseitig verstärken (vollständige Kohärenz), teilweise auslöschen (partielle Kohärenz) oder vollständig zu einer mittleren Intensität auslöschen (Inkohärenz).

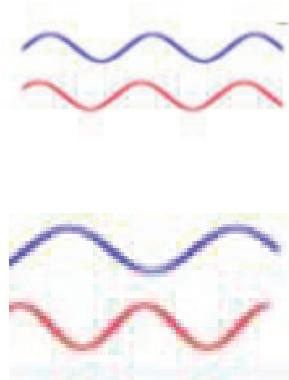


Abb.5.6: Oben: kohärente Wellenzüge mit konstanter Phasendifferenz ;
Unten: inkohärente Wellenzüge .



Abb.5.7: Links: räumlich und zeitliche kohärente Welle - die Phase ist sowohl in zeitlicher Richtung als auch in räumlicher Richtung ohne Sprünge und vollkommen vorhersagbar.
Mitte: ausschließlich räumliche Kohärenz .
Räumliche Kohärenz liegt vor, wenn entlang einer Raumachse eine feste Phasendifferenz (ohne Sprünge) besteht und entlang der Zeitachse die Phase der Welle unvorhersagbar springt
Rechts: ausschließlich zeitliche Kohärenz.

Zeitliche Kohärenz liegt vor, wenn entlang der Zeitachse eine feste Phasendifferenz (ohne Sprünge) besteht und entlang der Raumachse die Phase der Welle unvorhersagbar springt.[10]

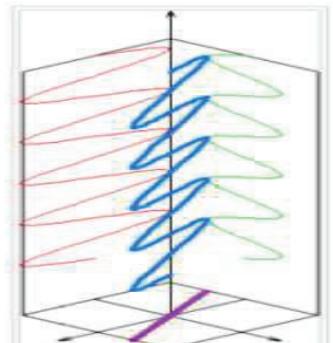
5.9 Polarisation

Die Polarisation ist eine Eigenschaft optischer Wellen, welche die Richtung des Amplitudenvektors des elektrischen Feldes beschreibt, und zwar im Vakuum oder in optisch-isotropen Medien (Gasen, Flüssigkeiten, kubischen Kristallen) in Bezug auf den Wellenvektor.

Man unterscheidet drei Arten von Polarisation, die man durch Richtung und Betrag des Amplitudenvektors in einem festen Raumpunkt beschreiben kann:

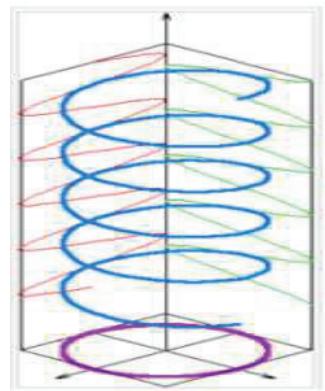
- lineare Polarisation:

Der Amplitudenvektor zeigt immer in eine feste Richtung und die Auslenkung ändert bei Voranschreiten der Welle ihren Betrag und ihr Vorzeichen periodisch (mit fester Amplitude).



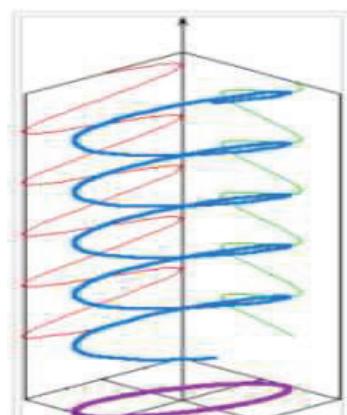
- zirkulare Polarisation

(auch als drehende Polarisation bezeichnet):
Der Amplitudenvektor dreht sich bei Voranschreiten der Welle mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um den Wellenvektor und ändert seinen Betrag dabei nicht.



- elliptische Polarisation:

Der Amplitudenvektor rotiert um den Wellenvektor und ändert dabei periodisch den Betrag. Die Spitze des Feldvektors beschreibt dabei eine Ellipse. Die Polarisation von Laserstrahlen ist definiert und üblicherweise linear.[11]



5.10 Strahldivergenz

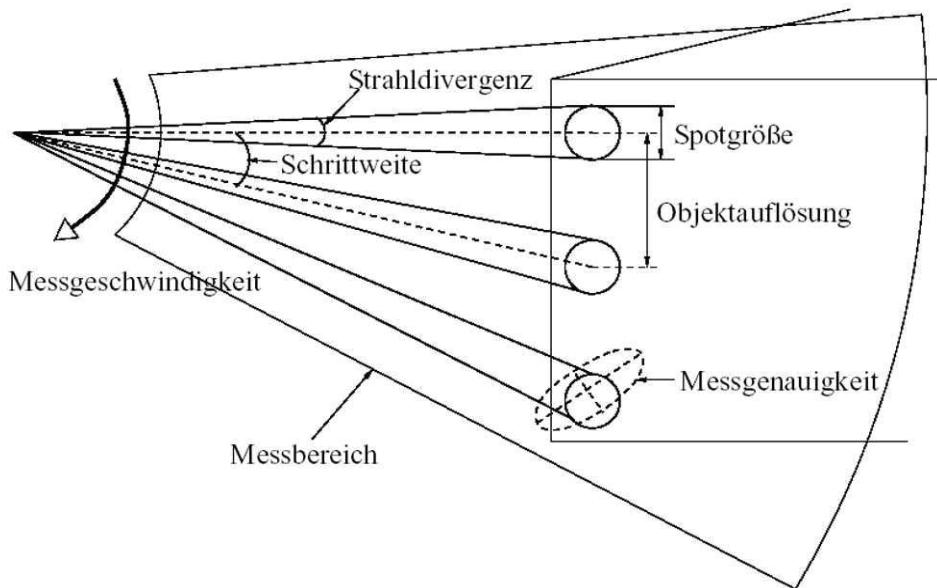


Abb.5.8: Strahldivergenz

Laser senden Strahlenbündel hoher Parallelität aus und eignen sich daher gut für die Messtechnik.

Der Öffnungswinkel eines Laserstrahles gibt an, wie parallel das Licht verläuft. Dieser wird in Grad oder Radian angegeben.

Die Ursache für die Strahldivergenz ist die Beugung des Lichts beim Austritt aus dem Laser.

Der Beugungseffekt einer elektromagnetischen Welle ist abhängig von der Wellenlänge. Je kürzer die Wellenlänge desto geringer ist der Beugungseffekt.

Die Strahldivergenz eines Lasers kann verbessert werden, indem das Licht mit Hilfe von Sammellinsen gebündelt wird. Nachteilig ist, dass dabei die Intensität um das zehn- bis hundertfache verringert wird.

Die Strahldivergenz hat Einfluss darauf inwieweit Ecken und Kanten ausgerundet werden. Je kleiner die Strahldivergenz ist desto präziser kann das Zielobjekt durch einen Punkt idealisiert werden. Eine kleine Strahldivergenz führt daher zu besseren Ergebnissen.

Da es sich bei Laserstrahlung um räumlich kohärente Strahlung handelt, kann durch Bündelung (Fokussierung) eine sehr viel höhere Leistungsdichte erreicht werden als bei gewöhnlichen Lichtquellen (z.B. Kohlebogenlampen). Wegen der guten Strahlqualität der

meisten Laserquellen wird ein Laserstrahl durch Beugung im Vergleich zu anderen Lichtstrahlen geringer aufgeweitet. [18]

5.11 Einfarbigkeit

Laserlicht ist meistens monochrom (einfarbig), d.h. es besteht aus nur einer einzigen Wellenlänge, mit einer schmalen Bandbreite.

5.12 Reflexion des Laserstrahls an Oberflächen

5.12.1 Reflexionsarten

Man unterscheidet 4 Arten von Reflexionen: Retroreflexion, regulärer (spiegelnde) Reflexion, diffuser Reflexion, und diffuser Reflexion mit Spiegelung.

1) Retroreflexion

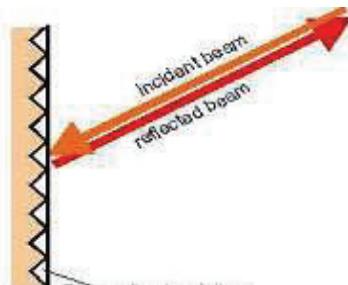


Abb.5.9-1:Retroreflexion

Der Strahl wird in sich selbst reflektiert

2) reguläre (spiegelnde) Reflexion

Von reguläre Reflexion spricht man, wenn die Oberfläche der reflektierenden Fläche glatt ist. Für die reguläre Reflexion gilt das Reflexionsgesetz bei dem der Einfallswinkel gleich dem Ausfallwinkel (Reflexionswinkel) ist (**Abb.5.9-2**). Ein senkrecht auf einen Spiegel einfallender Strahl würde in sich selbst reflektiert werden, da Einfallwinkel und Ausfallwinkel gleich 0 wären.

Eine Oberfläche ist spiegelnd, wenn ihre Unebenheiten klein gegenüber der Wellenlänge des Lichts sind. Glas und Metallflächen bilden überwiegend regulär, d.h. spiegelnd Oberfläche. Dazu können auch im Einzelfall andere glatte oder polierte Oberflächen wie Kunststoff- oder Lackoberflächen von Möbeln, Tür- und Fensterrahmen gehören.

3) diffuser Reflexion

Von diffuser Reflexion spricht man, wenn die Oberfläche der reflektierenden Fläche uneben (rau) ist, die Einfallsloten an den einzelnen Punkten also nicht mehr parallel zueinander verlaufen. Der auftreffende Strahl wird entsprechend dem Gesetz von Lambert in alle Richtungen reflektiert (**Abb.5.9-2**). Bei den meisten Oberflächen, die dem Nutzer im Rahmen einer Bauaufnahme begegnen, ist diffuse Reflexion anzunehmen.

Teilweise wird auch auf Flächen zu messen sein, die diffus mit Spiegelung reflektieren.

Die Art der Reflexion hat nur eine Auswirkung auf die Streckenmessung.[17]

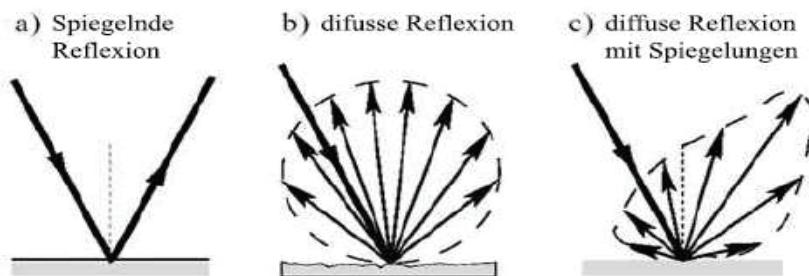


Abb.5.9-2: Reflexionsarten

5.12.2 Reflexionskoeffizient

das Verhältnis zwischen der zurückgestreuten und der eingestrahlten

Lichtleistung wird als Reflexionskoeffizient bezeichnet. Werte für die Reflektanz können nur empirisch bestimmt werden.

Die Reflexionseigenschaften werden durch den Reflexionskoeffizienten ρ charakterisiert. Je nach Beschaffenheit des Materials kann ρ bei einer diffusen Reflexion zwischen 0 und 1 (bzw. 0%-100%) betragen. Bei Spiegel- und Retroreflexion kann ρ um ein Vielfaches höher sein (**Tab.5.1** und **Tab.5.2**).

Tab.5.1: Reflexionskoeffizienten für spiegel- und retroreflektierende Materialien
bei einer Wellenlänge von $0.9 \mu m$

MATERIAL	REFLEXIONSKOEFFIZIENT
Reflektorfolie 3M2000X	1250%
Undurchsichtiges weißes Plastik	110%
Undurchsichtiges schwarzes Plastik	17%
Durchsichtiges Plastik	50%

Tab.5.2: Reflexionskoeffizienten für diffus reflektierende Materialien bei einer Wellenlänge von $0.9 \mu m$

MATERIAL	REFLEXIONSKOEFFIZIENT
Weiße Papier	bis zu 100%
Bauholz	94%
Schnee	80-90%
Bierschaum	88%
Weiße Mauerwerk	85%
Kalkstein	bis zu 75%
Bedruckte Zeitung	69%
Papiertaschentuch, 2-lagig	60%
Laubbäume	typ. 60%
Nadelbäume	typ. 30%
Karbonat Sand (trocken)	57%
Karbonat Sand (nass)	41%
Sandstrand	typ. 50%
Raue Ladeplatte	25%
Beton	24%
Asphalt mit Kieselsteinen	17%
Lava	8%
Schwarzer Neopren	5%
Schwarze Gummireifenwand	2%

Einfluss auf den zur Messung verwertbaren rückkehrenden Signalanteil haben die Materialeigenschaften, die Rauigkeit und Farbe des Objekts, die Zielgeometrie und die Strahldivergenz (bei Laserdistanzmessung sehr klein).

5.12.3 Einfluss der Objektseigenschaften

Die Oberflächenbeschaffenheit und verschiedene Materialien können zu systematischen Effekten führen, insbesondere stark reflektierende Materialien (z.B. Metall, Reflektoren, andere spiegelnde Oberflächen) führen dazu, dass das Distanzmesssystem übersteuert und keine plausiblen Distanzen ermittelt werden können. Als Parameter für die Objekteigenschaften gelten aber nicht nur Oberflächenbeschaffenheit und Farbe, sondern auch die Feuchtigkeit. So können aufgrund der Intensität auch trockene und feuchte Flächen unterschieden werden. Andere Materialien wie Styropor oder Marmor lassen den Laserstrahl bis zu einigen Millimetern eindringen und führen ebenfalls zu systematischen Effekten.

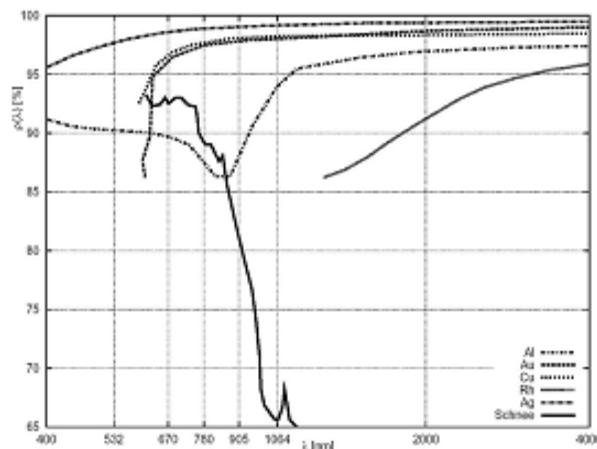


Abb.5.10: Spektrale Reflektanz einiger Spiegelmaterialien

5.12.4 Einfluss der Rauhigkeit und der Farbe des Objekts

- Die Rauigkeit einer Oberfläche hat direkten Einfluss auf das Reflexionsverhalten.

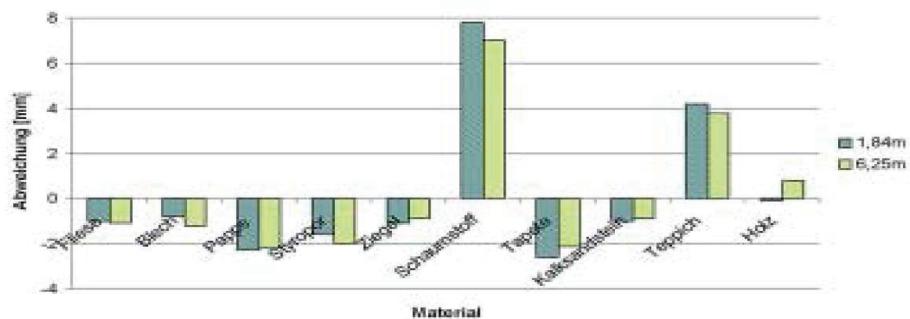


Abb.5.11: Einfluss der Rauigkeit auf die reflektorlose Entfernungsmessung

So führt eine große Rauigkeit, des Materials, zu deutlichen Messabweichungen.

- Die Farbe eines Materials hängt davon ab, welche Wellenlängen durch das Material absorbiert und welche reflektiert werden. Die Materialfarbe hat Einfluss auf die Streckenmessung indem sie die Empfangsleistung des zurückkehrenden Lichtes beeinflusst.[18]

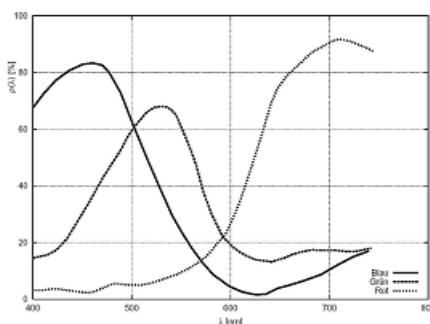


Abb.5.12: Einfluss der Farbpigmenten

5.12.5 Einfluss von Zielgeometrie

- Wegen der Strahldivergenz trifft der Messstrahl flächenhaft auf das Objekt (Leuchtkreis oder Leuchtellipse).

Beim DISTO (Laserentfernungsmesser) beträgt die Divergenz 40mgon, das entspricht ca. 2cm auf 30m Entfernung.

- Die typischen Ausprägungen der Reflexionsflächen im Zusammenhang mit Strahldivergenz können für Bauwerke in vier Klassen eingeteilt werden:

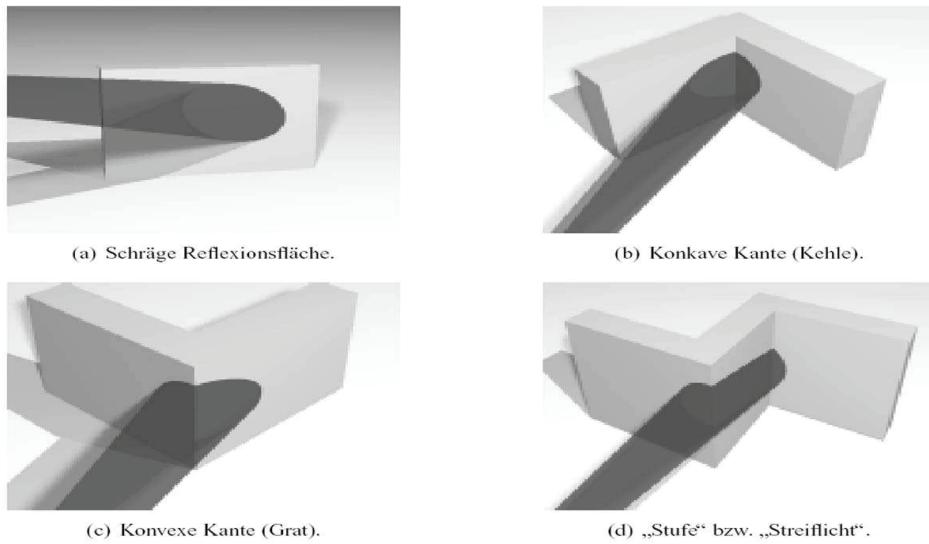


Abb.5.13: Reflexionsflächen im Zusammenhang mit der Strahldivergenz

- Pauschalisiert kann festgestellt werden:

Streckenmessungen auf eine konvexe Kante oder Ecke werden systematisch zu kurz gemessen.

Streckenmessungen auf eine konkave Kante oder Ecke werden systematisch zu lang gemessen.

Diese Abweichungen steigen mit der Entfernung (da die Strahldivergenz einen größeren Leuchtkreis verursacht).

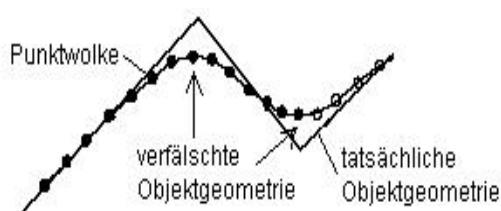


Abb.5.14: Ausrundungseffekt bei der reflektorlosen Entfernungsmessung

Ziele, die Stufen darstellen oder extremes Streiflicht führen meist zu grob falschen Messergebnissen.[12]

5.13 Klassifizierung des Lasers nach DIN EN 60825-1

Entsprechend der Gefährlichkeit für den Menschen sind die Laser in Klassen eingeteilt. [15]

Tab.5.3: Laserklassen

Klasse 1	Die zugängliche Laserstrahlung ist ungefährlich, z.B. CD-Player
Klasse 1M	Die zugängliche Laserstrahlung ist ungefährlich, solange keine optischen Instrumente, wie Lupen oder Ferngläser verwendet werden.
Klasse 2	Die zugängliche Laserstrahlung liegt nur im sichtbaren Spektralbereich (400 nm bis 700 nm). Sie ist bei kurzzeitiger Bestrahlungsdauer (bis 0,25 s) ungefährlich auch für das Auge. Eine längere Bestrahlung wird durch den natürlichen Lidschlussreflex verhindert.
Klasse 2M	Wie Klasse 2 solange keine optischen Instrumente, wie Lupen oder Ferngläser verwendet werden.
Klasse 3R	Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge.
Klasse 3B	Die zugängliche Laserstrahlung ist gefährlich für das Auge und in besonderen Fällen auch für die Haut.
Klasse 4	Die zugängliche Laserstrahlung ist sehr gefährlich für das Auge und gefährlich für die Haut. Auch diffus gestreute Strahlung kann gefährlich sein. Die Laserstrahlung kann Brand- oder Explosionsgefahr verursachen.

6 Bauwerksaufnahme mit geodätischen Methoden

Zu Bauwerken zählt man Gebäude, Brücken und andere Ingenieurbauwerke, wie z. B. Tunnel, Verkehrswege, Windräder oder Stützmauern sowie Deponien oder Bergwerke.

Die Gründe, ein Bauwerk zu erfassen (untersuchen, vermessen, dokumentieren) können vielfältig sein:

- Überwachung baulicher Veränderungen
- Bestandspläne für Verkauf oder Wertermittlung
- zum Zweck der Bauforschung oder Denkmalpflege

Im Vermessungswesen gibt es mehrere Methoden um das erwünschte Ergebnis zu erreichen.

Je nach Form, Lage und Beschaffenheit des aufzunehmenden Bauwerks sollte man sich für eine Methode oder die Kombination verschiedener entscheiden.

Die Erfassung von Bauwerken kann erfolgen als:

- Handaufmaß
- Tachymetrisches Verfahren
- Photogrammetrisches Verfahren
- Laserscanning

Im Folgenden werden diese Methoden erläutert. Anschließend erfolgt eine Übersicht über die Vor- und Nachteile der jeweiligen Verfahren (**Tab. 6.1**). [18]

6.1 Handaufmaß

Ein Handaufmaß macht nur bei einfach strukturierten Gebäudegeometrien Sinn und findet beispielsweise Anwendung im reinen Flächenmanagement, da die Genauigkeitsanforderungen geringer sind und ein 2D bzw. Modell dafür ausreicht.

Das händische Aufmaß bedient sich einfachster Messmittel wie Gliedermessstab, Bandmaß, Winkelprisma etc.

Im Angesicht des Messobjektes werden Längenmessungen am Objekt abgegriffen und sogleich in einer Feldskizze niedergeschrieben bzw. zu einer Rohzeichnung verarbeitet.

Nur kurze Entfernungen können mit vertretbarer Genauigkeit gemessen werden. Winkel müssen über Spannmaße abgeleitet oder kontrolliert werden, was einen erheblichen Aufwand

bedeutet. In der Summe aller Messungen weist das Handaufmaß eine ungünstige Fehlerfortpflanzung auf.

Mit Handlaserentfernungsmessern können Entfernungen bis 30m von einer Person gemessen werden, wobei ebenfalls der Vorteil der gleichzeitigen Sach- und Geometriedatenerfassung gegeben ist.

Die gewonnenen Informationen und Erkenntnisse werden als freigestaltbare Skizze festgehalten, die auch künstlerischen Ansprüchen genügt.

Die Messdaten können auch digital in einem angeschlossenen Feldrechner (Digitales Feldbuch) weiterverarbeitet werden. Der Aufnehmer skizziert dabei direkt am Bildschirm den Grundriss oder Schnitt. Bei der anschließenden ausgleichenden Berechnung der Geometrie auf Dreiecksbasis können neben den gemessenen Strecken auch zusätzliche Bedingungen wie Rechtwinkligkeiten, Fluchten oder Parallelitäten berücksichtigt werden.

Fehlerhafte oder vergessene Maße können so vor Ort erkannt werden und lassen sich unmittelbar korrigieren.

Ein dreidimensionales Aufmaß über einfache Streckenmessungen ist nicht wirtschaftlich durchführbar, sobald die Objektgeometrie viele Variationen in der Höhe aufweist.

Daher wird das Handaufmaß meist nur in der Ebene der Grundrisse und Schnitte zweidimensional getrennt in Lage und Höhe ausgeführt.

Das Handaufmaß lohnt sich bei einfachen Strukturen und überall dort, wo nicht erst aufwendig ein Bezugssystem geschaffen werden muss, oder dort, wo die Zugänglichkeit für andere Methoden nicht gegeben ist und wird häufig aber auch als Ergänzung zu anderen Methoden eingesetzt. [17]

6.2 Tachymetrisches Verfahren

Zum Innenaufmaß der Gebäude werden neben dem Handaufmaß heute überwiegend geodätische Geräte eingesetzt. Mit modernen Tachymetern werden gleichzeitig Horizontalrichtung, Vertikalwinkel und die Strecke über einen elektrooptischen Entfernungsmesser bestimmt (**Abb.6.1**). Früher waren die so bestimmten Punktkoordinaten am Computer zu einer Zeichnung weiter zu entwickeln,

Heute kann das Tachymeter an ein digitales Feldbuch angeschlossen werden. Die Messwerte werden vom Tachymeter in den Rechner übertragen, berechnet und können gleich in einem CAD-Programm zu einer Zeichnung weiterverarbeitet werden. Tachymetrische Verfahren

arbeiten an sich dreidimensional, was ein entscheidender Vorteil gegenüber dem Handaufmaß ist.

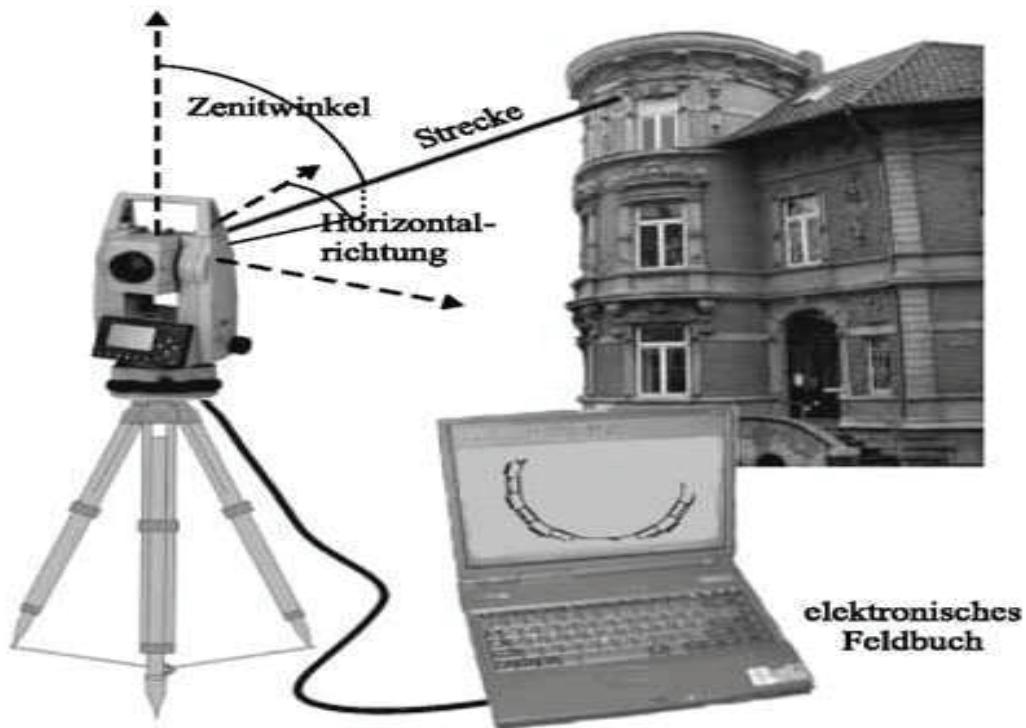


Abb.6.1: Tachymetrisches Verfahren

Eingeschränkt wird die Anwendbarkeit der tachymetrischen Methode dadurch, dass eine freie Sicht auf die Objektpunkte vorhanden sein muss und, dass während der Messungen ein stabiler Gerätestandpunktes notwendig ist. Voraussetzung für die Messungen ist weiterhin das Vorhandensein eines übergeordneten Bezugssystems, in das jeder Standpunkt stationiert und orientiert werden kann.

Durch die Horizontierung der Tachymeter werden diese bezüglich der Schwerkraftrichtung orientiert mit der Folge, dass die Z-Koordinate der Objektpunkte identisch ist mit der (”Meeres-“) Höhe des Punktes. Diese vermeintliche Selbstverständlichkeit ist bei anderen Methoden mitunter nicht gegeben. Hierzu zählen insbesondere das Handaufmaß und photogrammetrische Verfahren. Beim Handaufmaß muss daher der Bezugshorizont, z. B. durch ein Senklot oder eine Wasserwaage, realisiert werden. [18]

6.2.1 Polaraufnahme mit Reflektor

Ein wenig unattraktiv geworden ist das Polarverfahren mit einem Tachymeter, bei dem die Streckenmessung mit einem Reflektor (Spiegel, Prisma) ausgeführt werden muss. Die zu

bestimmenden Messpunkte müssen hierbei mit dem Reflektor aufgehalten bzw. signalisiert werden. Hochpunkte sind nur unter Benutzung von Hilfsmitteln, wie Leitern, Gerüsten oder langen Reflektorstäben erreichbar.

Der Reflektor kann in der Regel nicht mit seinem Zentrum über dem idealen Eckpunkt aufgehalten werden. Daher werden spezielle Exzenterhalter(”Gebäudeprisma“) für das Prisma mit einer definierte Längs-oder Querexzentrizität benutzt. Eine besondere Variante sind Stäbe mit zwei oder drei Prismen, so genannte Kanalmessstäbe oder Extenderstäbe. Mit ihnen können verdeckte oder schwer zugängliche Punkte aufgehalten werden (**Abb.6.2**).



Abb.6.2: Messung mit Kanalmessstab

Damit kann die Genauigkeit gesteigert werden, da die relative Genauigkeit der Streckenmessungen im Nahbereich zur Winkelmessgenauigkeit teilweise unakzeptabel sein kann. [18]

6.2.2 Polaraufnahme ohne Reflektor

Moderne Tachymeter können Strecken messen, ohne das ein Reflektor aufgehalten werden muss. Man spricht dabei von reflektorloser „berührungslose“ Streckenmessung. Für die Messstrahlen des Tachymeters muss die Oberfläche nur ausreichend genug reflektionsfähig sein. Durch Verwenden von sichtbarem Laserlicht für das Streckenmessgerät wird die Visurlinie für den Beobachter sichtbar. So erlauben diese Geräte, dass Messpunkte ohne Blick durch das Zielfernrohr allein durch den Laserstrahl angezielt werden können. Ein schnelles Abtasten der diskreten Eckpunkte wird so unterstützt. Reflektorlose Tachymeter werden verstärkt zur Vermessung von Innenräumen eingesetzt.

Die reflektorlose Entfernungsmessung kann fehlschlagen, wenn

- das Licht in der Atmosphäre zu stark gedämpft wird, weil Nebel, Staub oder Abgase die Sicht behindern oder weil die Zielentfernung zu groß ist.
- das Ziel zu wenig Licht reflektiert (absorbierende Farbe oder spiegelnde Reflexion),
- der Laserstrahl durch das Sonnenlicht überstrahlt wird, was die Sichtbarkeit des Leuchtflecks auf dem Objekt stark einschränken kann. Deshalb sind reflektorlose Tachymeter häufig im Außenbereich nicht so effektiv einsetzbar .
- das Ziel zu viel Licht reflektiert, sodass die Messelektronik außerhalb ihres Abstimmreiches arbeiten müsste. Diese Blendung tritt z.B. auf, bei Messung auf einen Retroreflektor.

Das reflektorlos arbeitende Tachymeter ist die einfachste, vielleicht sogar die einzige Möglichkeit die Passpunkte koordinatenmäßig zu bestimmen.

Für ein Objekt, dass in der Regel aus klaren Formen besteht, ist eine geringe Punktanzahl zur vollständigen Darstellung der Geometrie notwendig. Mit Hilfe spezieller Software ist zum einen eine gleichzeitige Erfassung der Sachdaten und der Gebäudegeometrie realisierbar und zum anderen sind Plausibilitätskontrollen direkt vor Ort möglich, da das Modell während der Messung entsteht und sofort mit der Realität verglichen werden kann.

Die Einzelpunktgenauigkeit ist mit wenigen Millimetern recht gut und homogen, praktisch unabhängig von der Objektgröße.

Das berührungslose, reflektorlose Aufmaß unterscheidet sich bei einzelnen Messaufgaben vom Messen zum Reflektor oder zu Reflexmarken, indem gerade diejenigen Zielpunkte, an denen die Auftraggeber besonders interessiert sind, sich häufig in räumlichen Ecken oder an Kanten befinden, die aber schwierig anzumessen sind. Dies lässt sich leicht erklären, da der wirksame Strahlquerschnitt, auch Messfleck genannt, am Objekt kein Punkt ist, sondern eine gewisse Größe aufweist, die sich in Abhängigkeit von der Entfernung, vom Instrument zum Messpunkt verändert.

Beim Anzielen einer Innenecke wird der Messfleck zum Teil auf die begrenzenden Seitenflächen fallen und wird von dort vor Erreichen der Ecke reflektiert, sodass die reflektierte Strahlung ein Mischsignal darstellt, welches immer zu einer verkürzten Distanz führt (**Abb.6.3 Mitte**).

Bei einer Außenkante sind die Verhältnisse genau umgekehrt, weshalb hier eine zu große Distanz erreicht wird (**Abb.6.3 links**).

Fällt ein Teil des Messflecks auf eine Kante, der andere Teil auf einen weiter entfernten Hintergrund, dann kommt es auch hier zu einer Mischung der Signalteile, die zu einer

falschen Distanzanzeige führen (Abb.6.3 rechts). Welche Entfernung tatsächlich auf dem Display erscheint, hängt von dem Distanzunterschied zwischen der Vorder- und Hintergrundfläche, der Reflektivitätsdifferenz dieser Flächen sowie dem Unterschied der Fleckflächen ab. Es kommt also bei derartig gewählten Punkten zu Messfehlern.

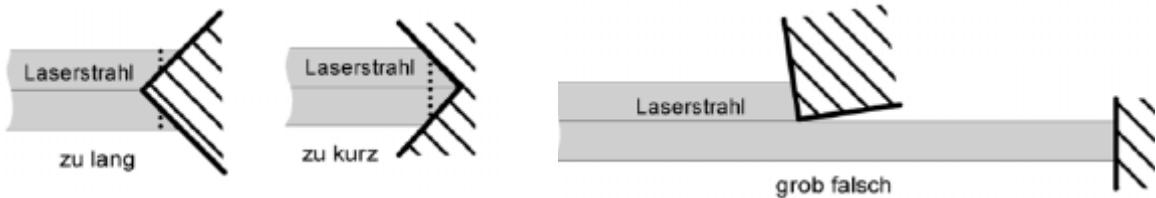


Abb.6.3: Messverhalten an Kanten

Die Probleme bei der Messung von Ecken und Kanten bei der reflektorlosen Tachymetrie können umgangen werden, indem diese durch die Schnittbildung von Ebenen konstruiert werden. Das Problem der Nichtmessbarkeit bei zu geringem Abstand zum Objekt kann durch eine Kombination mit dem Handaufmaß behoben werden. .[18]

6.3 Photogrammetrisches Verfahren

Photogrammetrische Verfahren stützen sich auf photographisch erzeugte Abbildungen, Photos oder Videobilder, um die Lage, Größe und Form von Objekten zu bestimmen. Die Messungen werden nicht direkt am Objekt, sondern indirekt aus deren Abbildern im Photo vorgenommen. Die Erfassung von Objektgeometrien durch ein photogrammetrisches Verfahren beinhaltet zwei Stufen. In der ersten Stufe ist das Photo vor Ort in der Art einer originären Erfassung herzustellen; d.h. das Objekt ist zu photographieren. In der zweiten Stufe werden die interessierenden Objektmerkmale aus dem Photo im Sinne einer sekundären Erfassung bestimmt.

Das Ableiten von Geometrieinformationen aus Photos setzt voraus, dass die Abbildungsvorschrift sehr genau bekannt ist. In der Regel werden daher Kameras benutzt, die annähernd eine ideale zentralperspektivische Abbildung gewährleisten.

Das Photographieren ist, bis auf die Auswahl des Bildausschnittes, ein physikalischer Vorgang, sodass Photos die darauf abgebildeten Objekte objektiv dokumentieren. Ein Photo stellt ein Informationsträger sehr hoher Dichte dar und kann zu beliebiger Zeit und mehrmals unter verschiedenen Aspekten ausgewertet werden. Der Informationsträger Photo hält das vom Objekt zum Zeitpunkt des Photographierens reflektierte Umgebungslicht fest. Es werden

somit ausschließlich radiometrische Informationen in einem wohldefinierten Bezugssystem (Bildkoordinatensystem) gespeichert.

Der photographische Meßvorgang ist dem menschlichen Sehen nachempfunden, so dass die abgebildete Farb- und Helligkeitsinformation unmittelbar durch den Betrachter interpretiert werden können. Diese Tatsache hat wohl auch dazu beigetragen, dass das photogrammetrische Verfahren bereits am Ende des 19. Jahrhundert hohe Anerkennung bei der Denkmalpflege fand.

Die zeitliche Trennung zwischen Aufnahme und Auswertung erlaubt die Vermessung von zerstörten oder bereits untergegangenen Gebäuden. Dieser Aspekt der Rekonstruktion von Gebäuden ist für die Denkmalpflege äußerst interessant.

Zur Aufnahme schwierig zu erreichender Abschnitte können Hubgeräte, Fesselballon, etc. eingesetzt werden.

Die Detailerkennbarkeit und Genauigkeit der photogrammetrischen Auswertung ist wesentlich von der photographischen Auflösung und dem Bildmaßstab abhängig. Die Photogrammetrie kann nicht zur Erfassung von Objekten eingesetzt werden, bei denen die Oberfläche ohne Struktur ist, die sich im Abbild abzeichnen kann, oder wenn das Objekt durchsichtig ist. Andere Erfassungsmethoden wie z. B. das Laserscanning haben hier keine Probleme. Oftmals wird hervorgehoben, dass mittels Photogrammetrie flächenhaft vermessen werden kann. Dies gilt nur dann, wenn die Objektoberfläche an jeder Stelle abbildbare Strukturen z. B. Farbveränderungen aufweist.

Die größten Schwächen der photogrammetrischen Verfahren liegen darin begründet, dass

- für eine ausreichende Beleuchtung des Objektes zu sorgen ist, insbesondere im Gebäudeinneren. Das kann mittels zusätzlicher aktiver Beleuchtung durch Blitzgeräte überwunden werden.
- durch die Abbildung die Tiefeninformation der Objektgeometrie verloren geht.

Das kann mittels Stereophotogrammetrie überwunden werden (Kap.6.3.1).[18]

6.3.1 Stereophotogrammetrie

Zu den Verfahren der Stereophotogrammetrie bzw. Mehrbildauswertung lassen sich alle diejenigen photogrammetrischen Verfahren zusammenfassen, bei denen die dritte Dimension aus den Messphotos zurück gewonnen wird.

Für jeden mindestens in zwei überdeckenden Photos abgebildete Objektpunkt können Koordinaten im übergeordneten Bezugssystem berechnet werden.

Vorab sind die Photos zu orientieren, d.h. es sind die jeweiligen Aufnahmestandpunkte und Aufnahmerichtungen der Photos koordinatenmäßig zu ermitteln, so kann über ein modifiziertes dreidimensionales Vorwärtseinschneiden im Angesicht der Photos dreidimensional gemessen werden.

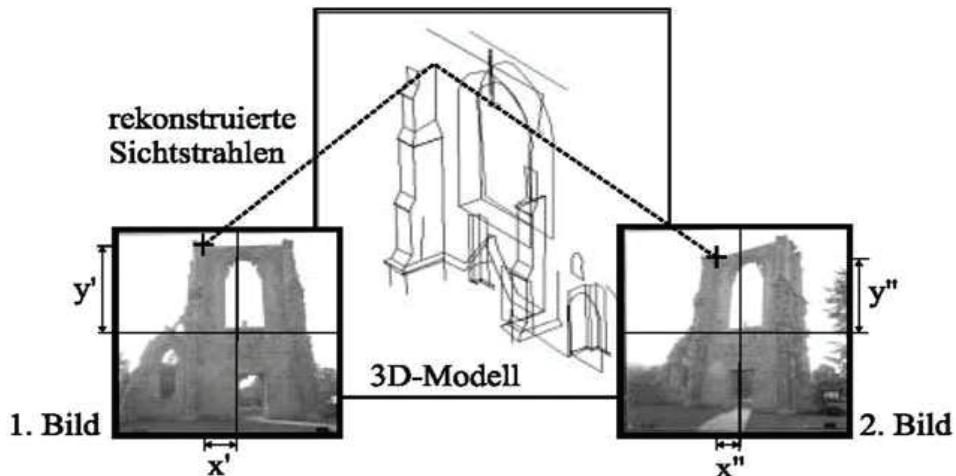


Abb.6.4: Prinzip der Stereo-/Mehrbildphotogrammetrie

Hierzu sind Passpunkte erforderlich, deren Koordinaten bekannt sein müssen. Die Orientierungen werden üblicherweise in einem Guss durch eine Bündelblockausgleichung, bei der zugleich auch Restsystematiken der Messkamera eliminiert werden können, bestimmt.

Jeweils ein Stereopaar orientierter Photos kann stereoskopisch betrachtet werden. Der Betrachter erhält so einen virtuellen Raumeindruck und kann über eine Messmarke beliebige Punkte anmessen.

Der Einsatz der Stereophotogrammetrie lohnt bei Objekten mit hoher Informationsdichte, anspruchsvollen Formen und wenn hohe Genauigkeiten gefordert werden.

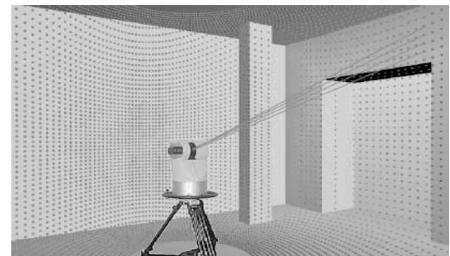
Die Aufnahme des einzelnen Objekts mit Hilfe der Photogrammetrie ist grundsätzlich ein denkbarer Lösungsweg. Dieses Aufnahmeverfahren stellt in diesem speziellen Fall einen sehr großen Bearbeitungsaufwand dar. Gegen eine photogrammetrische Aufnahme sprach der Arbeitsaufwand, der in Verbindung mit Mengen von Bildaufnahmen steht, die nötig sein würden, um alle Objektpunkte zu erfassen. In jeder Aufnahme müssten genügend Paßpunkte (Messmarken) zu sehen sein, um eine spätere Auswertung möglich zu machen. Diese Marken müssten in regelmäßigen Raster über die gesamte Objektanlage verteilt sowie lage- sowie höhenmäßig bekannt sein. [18]

6.4 Laserscanning

Das 3D-Laserscanner-Verfahren, oder kurz Laserscanning, ist erst seit wenigen Jahren in der Praxis anzutreffen.

Es basiert auf der reflektorlosen Entfernungsmessung, wobei der Zielstrahl durch Spiegel in horizontaler und vertikaler Richtung abgelenkt wird. Damit lässt sich die Objektoberfläche punktweise in einem feinen Raster abtasten. Die Koordinaten werden aus der Streckenmessung und den Ablenkungen des Zielstrahls berechnet.

Es wird in dem nächsten Kapitel ins Laserscanning und terrestrische Laserscanning mehr vertieft werden. [18]



Tab. 6.1: Vor- und Nachteile der Methoden der Bauwerksaufnahme

Methode	Vorteile	Nachteile
<u>Handaufmaß</u>	-gleichzeitigen Sach- und Geometriedatenerfassung - einfacher Messmittel wie Gliedermessstab Bandmaß, Winkelprisma -direkte Kontakt mit dem Bauwerk	- ungünstige Fehlerfortpflanzung -Ein dreidimensionales Aufmaß ist nicht durchführbar

<p><u>Tachymetrisches Verfahren</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> -Hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit -dreedimensionale Messung -berührungslos bei reflektorloser Messung; Objekt muss nicht zugänglich sein aber sichtbar -Bedienung nur durch eine Person bei reflektorloser Messung möglich - schnelle Messung und große Punktdichte -Fertigstellung der Zeichnung vor Ort (Beobachten, Analysieren und Dokumentieren) -aus den Messpunkten lässt sich die Topologie erstellen (Linien & Flächen) 	<ul style="list-style-type: none"> -eine freie Sicht auf die Objektpunkte muss vorhanden sein -nur einzelne Punkte messbar - Probleme bei der Messung von Ecken und Kanten
<p><u>Photogrammetrisches Verfahren</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> -hohe Genauigkeit -hohe Auflösung -kurze Aufnahmezeiten -große Menge an Farbinformation -relativ geringe Datenmengen -exakte Erfassung der Textur eines Objektes -exakte Erfassung von Kanten - Die Fotos eignen sich zur Dokumentation - Das berührungslose Vermessen ist auch möglich wenn das Messobjekt <ul style="list-style-type: none"> – schwer zugänglich, – sehr kompliziert strukturiert, – sehr heiß, – sehr kalt, – sehr weich, – sehr empfindlich, – sehr giftig oder radioaktiv ist. 	<ul style="list-style-type: none"> -hohe Kosten durch spezielle Auswerte-programme -3D-Koordinaten erhält man nur dann, wenn ein Punkt in mindestens 2 Bildern sichtbar ist -die Orientierung der Aufnahmen erfolgt meist erst während der Datenverarbeitung -große Abhängigkeit von den äußereren Lichtverhältnissen

Laserscanning

- Eine Maßstabsgenauigkeit des 3D-Modells von 1:1,
- die schnelle automatische Erfassung bei einem ruhenden Objekt bzw. einem ruhenden Standpunkt, sodass nicht gezielt diskrete Objektpunkte angemessen werden, sondern in eher zufälliger Weise die Messpunkte ausgewählt werden.
- eine berührungslose aktive Messung,
- die Unabhängigkeit der Messergebnisse vom Umgebungslicht,
- sehr schnell ein detailliertes Oberflächenmodell mit einer Genauigkeit von wenigen Millimetern erzeugt werden kann
- Es eignet sich für die Vermessung sehr schwer zugänglich, kompliziert strukturiert, sehr heiß/kalt, sehr weich, sehr empfindlich, sehr giftig/radioaktiv Objektgeometrien.
- sehr hohe Punktdichte an der Objektoberfläche
- 3D-Koordinaten erhält man direkt; deshalb ist die Standpunktplanung wesentlich einfacher, weil auch jene Teile der Objektoberfläche erfasst werden können, die nur in einem Scan sichtbar sind
- die Orientierung der Aufnahmen ist schon im Felde möglich
- optimal zur Beschreibung komplexer Oberflächen-geometrie .
- Es liegen keine Details über Farbgebung, Textur, Material etc. vor,
- eine schwere Analyse der Punktfolgen, die für die Modellierung wichtigen Eckpunkte werden so in der Regel nicht aufgemessen. Es ist daher eine umfangreiche und zeitintensive Auswertung der Punktfolge vorzunehmen, wenn es gilt Eckpunkte und Kanten des Objekts zu bestimmen.
- hohen Anschaffungskosten.
- eine gleichzeitige Erfassung der Sachdaten ist nicht möglich.
- Derzeitige terrestrische Laserscannersysteme verfügen noch über eine geringe Reichweite von einigen Dekametern.
- Das Verhältnis zwischen Erfassung- und Auswertungsaufwand liegt in der Regel mindestens bei 1:10

6.5 Kriterien für die Auswahl des Aufnahmeverfahrens

Die Auswahl der geeigneten Erfassungsmethode ist mindestens abhängig von den folgenden Kriterien:

- **feststehende Kriterien:**

- Analyse der Gebäude
 - Größe, Form, Komplexität und Erreichbarkeit des Gebäudes
 - vorhandene Gefährdung für die Messenden
- verfügbare Messzeit
- Kostenrahmen

- **zielabhängige Kriterien:**

- Verwendungszweck
- zu erhebende Sachdaten
- Detaillierungsgrad der Daten
- geforderte Genauigkeit der Daten
- Dimension des Modells

Zusammenfassend hat sich gezeigt, dass kein Standardverfahren zur Bestandserfassung für Bauwerke existiert. Vielmehr müssen individuell bei jedem Vorhaben die äußeren Gegebenheiten und das Ziel, dass mit dem System verfolgt werden soll, analysiert und ein geeignetes Verfahren ausgewählt werden. Die Kombination verschiedener Messverfahren ist oftmals die effizienteste Erfassungsmethode. Nur so kann die Stärke der einzelnen Methoden überhaupt greifen, wenn zugleich die Schwachpunkte durch die Wahl einer weiteren Methode im speziellen überwunden werden kann. [13]

7 Laserscanning

Laserscanner finden gegenwärtig immer mehr Anwendung in Forschung und Industrie. Mit verschiedenster Funktionalität kommen sie dabei zum Einsatz. [14]

7.1 Scanner

Scannen ist die Bezeichnung für einen Vorgang, bei dem automatisch ein reales Objekt berührungslos abgetastet „gescannt“ wird und dabei die Abtastinformationen geliefert werden. [14]

7.2 Laserscanner

Laserscanner sind Scanner, die mit Hilfe eines Lasers den Abtastvorgang durchführen. Solcher Abtastvorgang ist ein-, zwei- oder dreidimensional. Die Abtastinformationen können abgelegt werden und stehen damit für eine spätere Verarbeitung zur Verfügung. [13]

7.2.1 1D-Laserscanner

Eindimensionaler Scan bedeutet, einen einzelnen Strahl in eine bestimmte Richtung auszusenden und die Messergebnisse zu ermitteln. 1D-Laserscanner finden überall ihren Einsatz, wo es wichtig ist, präzise Abstände zu ermitteln oder zu kontrollieren. Einige Beispiele für diese Einsatzgebiete sind: Beobachtung von Objektbewegung/-neigung, Beobachtung von Geländebewegung oder das einfache Vermessen von Wohnräumen. Der Aufbau dieser 1D-Laserscanner besteht aus einem Strahler und einem Detektor. Ein Teil des am Hindernis reflektierten Strahls gelangt zum Detektor zurück. Mit Hilfe des Laufzeit- oder Phasenverfahrens wird der Abstand ermittelt (Abb.7.1). [14]

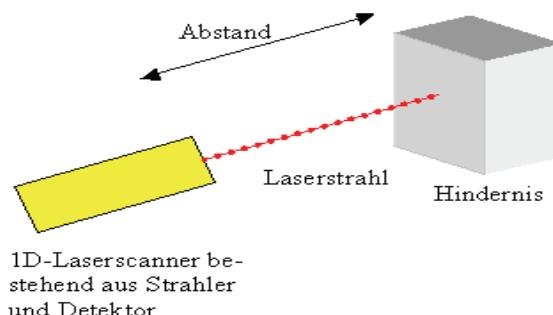


Abb.7.1: Prinzip 1D-Laserscanner

7.2.2 2D-Laserscanner

Aufgrund ihres zunehmenden Einsatzes verringert sich ihr Preis ständig. Ein Laser tastet die Umgebung in einem bestimmten Winkel in der Ebene bis zu einer festgelegten Entfernung ab. Das Abtasten geschieht oft mit Hilfe eines rotierenden Umlenkspiegels (**Abb.7.2**).

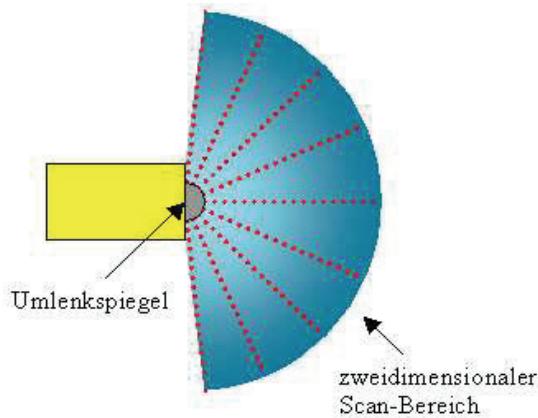


Abb.7.2: Prinzip 2D-Laserscanner

Eine verbreitete Anwendung ist die Erstellung von Karten einer Umgebung. Hierbei ist ein 2D-Laserscanner auf einem fahrenden Roboter angebracht. [14]

7.2.3 3D-Laserscanner

3D Laserscanner existieren in unterschiedlichen Formen. Sie haben alle die Aufgabe, von einem realen Objekt oder einer Umgebung ein dreidimensionales digitales Abbild zu schaffen (**Abb.7.3**).

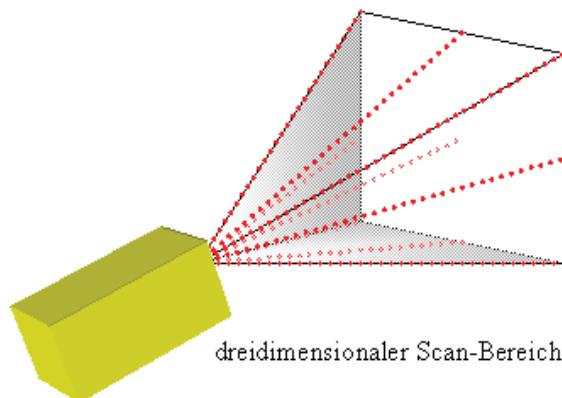


Abb.7.3: Prinzip 3D-Laserscanner

Im Folgenden sind drei grundlegende verwendete Techniken aufgeführt:

- Der Laser ist auf einem festen Punkt positioniert und dreht sich horizontal und vertikal in einem bestimmten Winkel.

- Der Laser ist auf einer beweglichen Vorrichtung angeordnet und bewegt sich um das zu scannendem Objekt.
- Der Laser ist fest installiert und das Objekt befindet sich auf einer drehbaren Vorrichtung. Die Anwendungsbereiche der zweiten und dritten Variante beschränken sich auf kleine bis mittelgroße Objekte. Die erste Variante dagegen eignet sich auf Grund ihres räumlichen Scan-Bereichs für komplette Umgebungen und Objekte größerer Ordnungen, zum Beispiel Häuser, Landschaften und Innenräume .

Als Ergebnis liefern sie 3D-Punktwolken, die dann weiterverarbeitet werden können.

Dieser Punktwolke kann digital gesehen, in Scheiben geschnitten, für Abstandsmessung, Volumenberechnungen und Solid Modeling. [14]

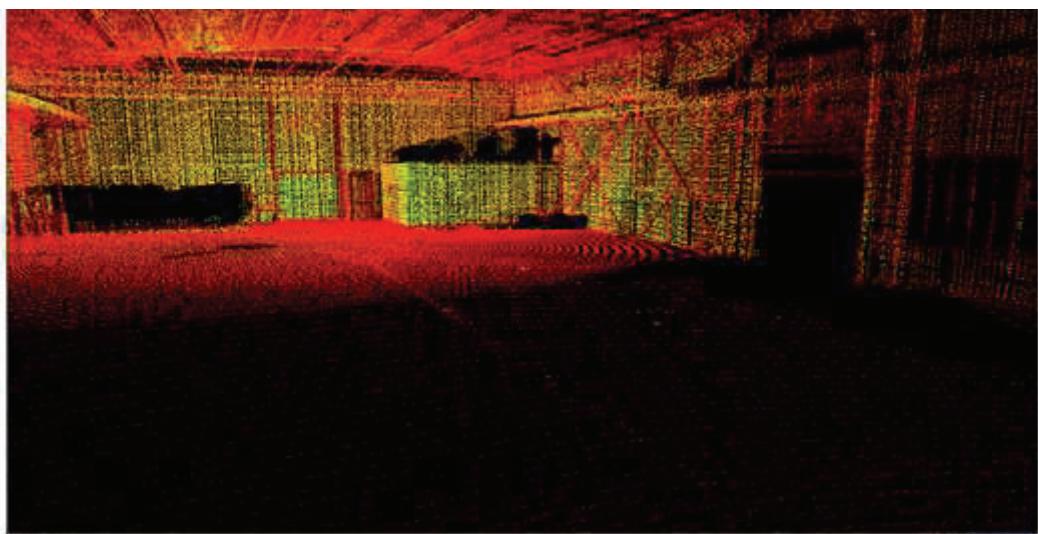


Abb.7.4: Beispiel 3D-Punktwolke

Die Nutzung von 3D-Laserscannern wird in der Zukunft besonders an Bedeutung gewinnen.

8 Koordinatensysteme Bei der Datenerfassung

Bei der Datenerfassung hat man es mit einer Reihe unterschiedlicher Koordinatensysteme zu tun. Es soll alle Koordinatensysteme kurz erklärt werden. [15]

8.1 Das „Scannereigene Koordinatensystem“ (SOCS für Scanner Own Coordinate System)

Der Laserscanner liefert seine Rohdaten im scannereigenen Koordinatensystem SOCS (Abb.8.1). Dabei handelt es sich um kartesische (x, y, z) oder Polarkoordinaten (r, ϑ, φ) sowie Zusatzinformationen (Intensität, Zeitpunkt). [15]

8.2 Das Projektkoordinatensystem (PRCS für Project Coordinate System)

Das Projektkoordinatensystem wird vom Nutzer festgelegt und ist meist parallel zu örtlichen Gegebenheiten (Gebäudekanten, Straßenverlauf,...) (Abb.8.1). [15]

8.3 Das globale Koordinatensystem (GLCS für Global Coordinate System)

Das globale Koordinatensystem GLCS ist dem PRCS übergeordnet. Üblicherweise wird das Landeskoordinatensystem verwendet (Abb.8.1). [15]

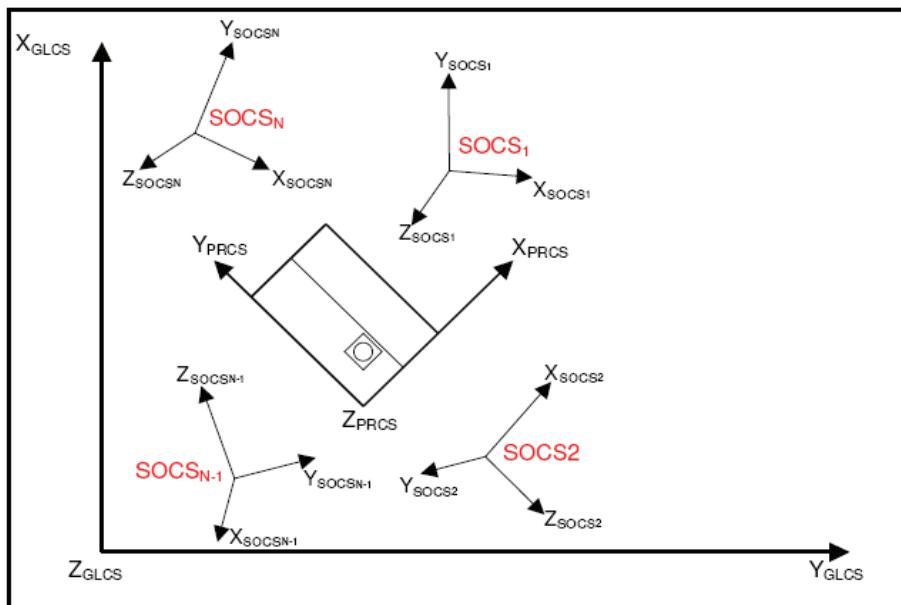


Abb.8.1: Koordinatensysteme GLCS, PRCS und mehrere SOCS

9 Terrestrische Laserscanning (TLS)

Ende der 90er Jahre erhielt das Verfahren des terrestrischen Laserscannings Einzug in das Vermessungswesen. Anfangs nur im Nahbereich einsetzbar, kann inzwischen auch ein Entfernungsbereich von mehreren hundert Metern erfasst werden.

Die Bezeichnung "terrestrisch" dient zur Unterscheidung vom flugzeuggetragenen "airborne" Laserscanning, das zur Erfassung der Erdoberfläche aus der Luft eingesetzt wird.

Vom Standort des Laserscanners aus werden in einem je nach System unterschiedlich großen Gesichtsfeld viele tausend Streckenmessungen mit einem elektrooptischen Laser-Entfernungsmesser durchgeführt.

Mittels eines kontrolliert abgelenkten Laserstrahls wird der Objektraum schrittweise in einem regelmäßigen Raster abgetastet und dreidimensional erfasst (Horizontal- und Vertikalrichtung sowie der Raumstrecke). Dieses wird durch Umlenaprismen, -spiegel oder Schrittmotoren im Gerät erreicht. Typische Schrittweiten (Winkelauflösung) betragen $1 / 4^\circ$ bis 1° .

Das terrestrische Laserscanning (TLS) ist ein aktives Messsystem, d.h. das System sorgt selbst für die Beleuchtung und ist nicht auf natürliche Beleuchtung angewiesen..

Die bestehenden Hard- und Softwarelösungen sind in den letzten Jahren für einen terrestrischen Einsatz des Laserscanning weiterentwickelt und optimiert worden. Zahlreiche Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die Methode damit eine interessante Option für die Vermessung von Objekten geworden ist. [23]

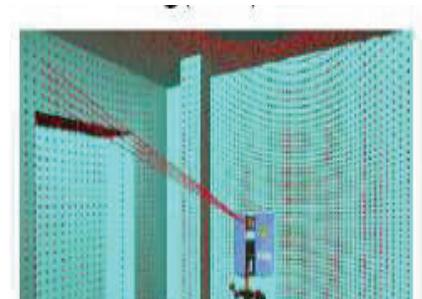


Abb.9.1: Rasterpunkt darstellung des Laserscannings

9.1 Aufbau und Funktionsweise von TLS

Die beim Laserscanning auszuführende, flächenhafte und bildgebende Distanzmessung mit ihrer ungeheuren Zahl von Einzelmessungen verlangt äußerst effektive und schnell arbeitende Sensoren sowohl für die Entfernung- als auch für die Winkelmessung. Für die schnelle Abtastung von Objekten wird das Prinzip der Ablenkung über einen Planspiegel genutzt. Der Planspiegel ist senkrecht zum Strahlengang angeordnet und wird über einen Schritt- oder Servomotor gedreht (**Abb.9.2**).

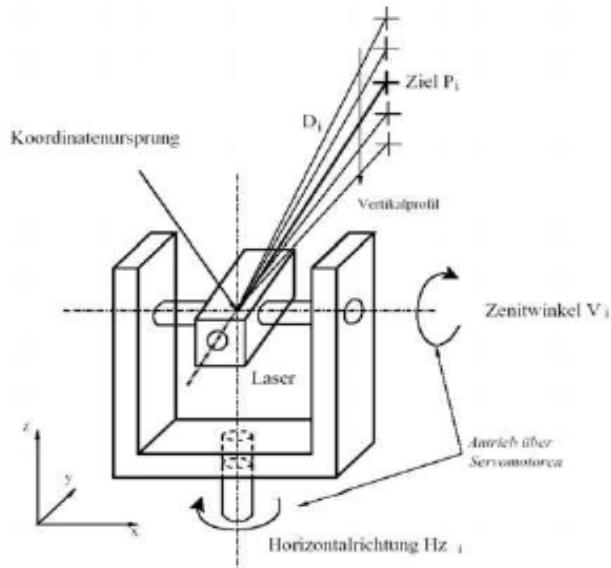


Abb.9.2: Das Abtastsystem über ein Planspiegel

Um dreidimensional abzutasten, müssen zwei Planspiegel verwendet werden, deren Rotationsachsen rechtwinkelig zu einander ausgerichtet sein sollten, um einen möglichst großen Abtastbereich zu erhalten. Weiterhin ist es möglich, Prismen als Ablenkeinheit zu benutzen. [23]

9.2 Anforderung des TLS

Ein geeignetes Laserscanningssystem erfüllt die folgenden wesentlichen Anforderungen:

- hinreichende Punktdichte
- Genauigkeit im cm- bis dm-Bereich
- schnelle Ergebnisse der Volumenmodellierungen
- problemlose Erstellung von Lageplänen aus den Messdaten
- weitgehende Witterungsunabhängigkeit
- vergleichsweise geringe Kosten von Messung und Auswertung

9.3 Klassifikation des TLS

Eine Klassifikation der verschiedenen terrestrischen Laserscanner kann nach verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen werden:

9.3.1 Klassifikation nach dem Gesichtsfeld

Wenn als Unterscheidungskriterium das Gesichtsfeld (Sehfeld) gewählt wird, lassen sich zwei

Bauformen von Laserscannern unterscheiden, und zwar Panorama-Scanner und Kamera-Scanner. Eine Mischform stellt der «Hybrid»-Scanner dar.

Bei den Kamera-Scannern z.B. HDS2500, erfolgt die Abtastung in einem begrenzten Bereich ($40^\circ \cdot 40^\circ$), ähnlich wie bei einer Photokamera. Ein Scanner dieser Bauart wird auch wie eine Photokamera auf das Messobjekt hin ausgerichtet (**Abb.9.3** links).

Ein Panorama-Scanner verfügt dagegen über ein Gesichtsfeld von 360° , weshalb er sich besonders gut für das Scannen von Innenräumen eignet (**Abb.9.3** rechts). [23]

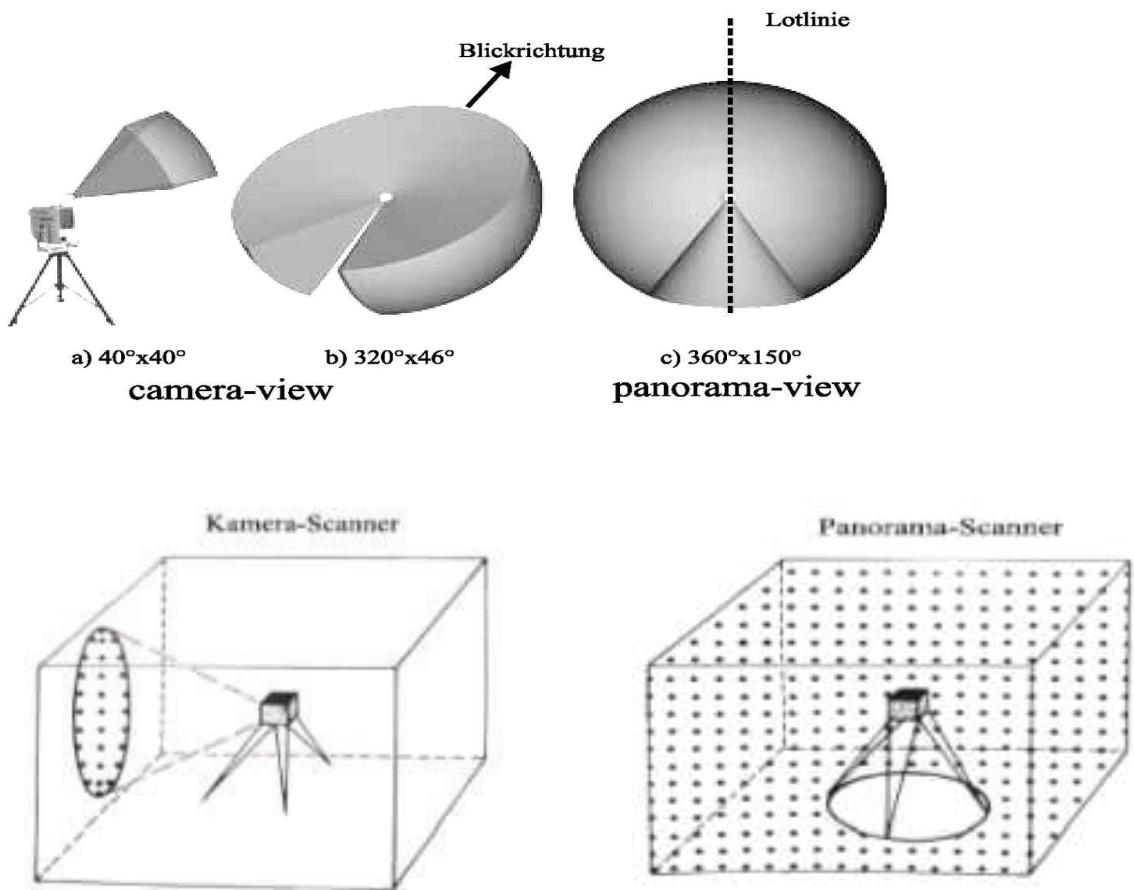


Abb.9.3: Klassifikationen von Laserscannern nach Sehfeld

9.3.2 Klassifikation nach dem Distanzmessprinzip

Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist das Messprinzip, dass der Scanner für die Distanzmessung benutzt. Die Bestimmung der Distanz zu jedem einzelnen Auftreffpunkt des Laserstrahls im Objektraum erfolgt nach den aus der elektrooptischen Distanzmessung bekannten Verfahren: Pulslaufzeitverfahren, Phasenvergleichsverfahren.

Das Distanzprinzip ist mit der Reichweite sowie mit der Genauigkeit korreliert (**Tab.9.1**).

Die meisten Laserscanner verwenden das Impulslaufzeitverfahren. Damit lassen sich Distanzen bis zu mehreren hundert Metern mit einer Genauigkeit von 1 cm messen.

Geräte die mit dem Phasenvergleichsverfahren z.B. HDS-6000 arbeiten dagegen nur auf Distanzen von weniger als 100 m. Diese haben aber eine höhere Genauigkeit von einigen Millimetern.

Tab.9.1: Klassifikationen von Laserscannern nach Distanzmessprinzip und Reichweite

Messprinzip	Reichweite	Distanzgenauigkeit	Hersteller
Impulslaufzeitverfahren	≈1000m	> 10mm	Mensi, Riegl, Leica HDS-2500, Callidus
Phasenvergleichsverfahren	< 100m	< 10mm	Zöller-Fröhlich, IQ Sun
Triangulationsmethode	< 10m	< 1mm	Minolta, Mensi

In der Bauwerksvermessung kommen in der Regel Scanner zum Einsatz, die nach dem Laufzeitverfahren arbeiten. Grund dafür ist die Möglichkeit, wesentlich höhere Reichweiten mit einem augensicheren Laser (Laserklasse 1) erzielen zu können.

Die geräteabhängige Reichweite hängt zwar vom Messprinzip ab, ist aber auch von der spezifischen Leistungsdichte des Laserlichts (Laserleistung und Strahldivergenz), der Güte der Empfangsoptik und natürlich von der Reflexionsfähigkeit des Zielobjekts und dem AuftrieFWWinkel abhängig. [23]

9.4 Technische Kriterien des TLS

9.4.1 Genauigkeit

Die Genauigkeit der Messergebnisse bei einem realen Scannvorgang wird im Wesentlichen durch die Oberflächenbeschaffenheit des zu scannenden Objekts und die Sichtverhältnisse der Luft, oder in anderen Umgebungen durch die optischen Eigenschaften des Mediums, in dem sich der Laser bewegt, bestimmt. Gleichzeitig erfolgt eine Beeinflussung der Genauigkeit durch den Fehler, der dem Gerät inhärent ist.

Entscheidend für die Genauigkeit ist aber auch der Orientierungsfehler, der bei der Transformation der Scans in ein äußeres Koordinatensystem entstehen kann, der stark auf der Erfahrung und der Sorgfalt des Nutzers beruht.

Die Messgenauigkeit ist in Strecken- und Richtungsgenauigkeit zu unterscheiden. Die Richtungsgenauigkeit wird durch die Ablenkeinheiten bestimmt. Die Streckenmessgenauigkeit ist abhängig von dem benutzten Streckenmessverfahren. Das Phasendifferenzverfahren hat deutliche Vorteile (höhere Genauigkeit) dem Impulslaufzeitverfahren gegenüber.

Sehr hohe Genauigkeiten von ca. 1mm sind zurzeit nur im Nahbereich mit dem Triangulationsverfahren möglich (**Tab.9.1**). [18]

9.4.2 Intensität

Einige Scanner bieten neben der Aufnahme geometrischer Daten die Möglichkeit, weitere Objektinformationen aufzuzeichnen. Ein wichtiger Parameter ist die Intensität des empfangenen Signals. Ihr Wert hängt von Auftreffwinkel, von der Entfernung und von den Oberflächeneigenschaften des Objektes ab. Je höher der Intensitätswert des reflektierten Signals, desto präziser ist die Distanz. Diese Abhängigkeiten machen den Intensitätswert zu einem guten Hilfsmittel für eine erweiterte Interpretation der geometrischen Daten. Retroreflektierende Folien weisen zum Beispiel eine deutlich höhere Intensität als natürliche Materialien auf. Daher eignen sie sich gut zur Identifizierung von Passpunkten im Gelände. [18]

9.4.3 RGB-Farbwert

Einige Scanner zeichnen auch den RGB-Farbwert der Zielpunkte auf. Dieser wird über einen coaxialen Pixelsensor ermittelt, der die Information simultan zur Richtungs- und Entfernungsmeßung aufnimmt. Diese Methode ermöglicht die Präsentation der Punktwolken einer aufgenommenen Szene als fotorealistisches 3D-Modell. Darüber hinaus ist sie ein nützliches Werkzeug zum Auffinden und Auswerten geologischer Strukturen. [18]

9.4.4 Abtastrate/Auflösung

Für die sphärisch abtastenden Laserscanner können verschiedene Schrittweiten (stepping rate) für die beiden Ablenkinkel H und V gewählt werden. Bevorzugt werden möglichst kleine Abtastraten, um das Messobjekt möglichst fein räumlich auflösen (diskretisieren) zu können. Dem entgegen steht, dass die Messzeit quadratisch mit der Erhöhung der Abtastrate ansteigt. Für eine detaillierte Vermessung sind eine hohe Auflösung der Winkel- und der Streckenmessung erforderlich. Die Auflösung der Streckenmessungen hat sich an der

Messgenauigkeit zu orientieren und wird meist so gewählt, dass für den gesamten Entfernungsbereich eine möglichst kleine Speichergröße erforderlich ist. [18]

9.4.5 Zeit

Die Zeit, die für einen Scan-Vorgang von einem Laserscanner benötigt wird, ist von Typ zu Typ unterschiedlich.

Die gewählte Auflösung sowie die Detailtreue der 3D-Umgebung beeinflussen die Berechnungszeit. Die Geschwindigkeit des Rechners und der Verbrauch von Rechenkapazität durch andere laufende Anwendungen wirken global auf die Reaktionszeit. [18]

9.4.6 Datenmenge

Als Ergebnis eines Scan-Vorgangs liegt eine 3D-Punktwolke vor (**Abb.7.4**). Jeder einzelne Punkt wird durch ein Tripel bestimmt. Das Tripel steht für eine Position im Raum und besteht aus je einem Wert für X-, Y- und Z-Koordinate. Diese Werte besitzen eine Größe von 64 Bit. Der erforderliche Speicherplatz für einen Punkt berechnet sich wie folgt:

$$3 * 64 \text{ Bit} = 192 \text{ Bit} / 8 = 24 \text{ Byte} .$$

Ein **Tabelle 9.2** zeigt eine Übersicht der entstehenden Datenmenge und ihrer Übertragungszeiten bei steigender Punktanzahl. [18]

Tab.9.2: Datenmenge und Übertragungszeit bei steigender Punktanzahl

Anzahl der Punkte	Entstehende		Übertragungszeit bei	
	Datenmenge		100 MBit/s	
1	24	Byte	0,0018	Millisekunden
10	240	Byte	0,0183	Millisekunden
100	2.400	Byte	0,1831	Millisekunden
1.000	24.000	Byte	1,8311	Millisekunden
10.000	235	KByte	0,0183	Sekunden
100.000	2.344	KByte	0,1831	Sekunden
1.000.000	23.438	KByte	1,8311	Sekunden
10.000.000	229	MByte	18,3106	Sekunden

9.4.7 Strahldivergenz

Räumliche Auflösung sollte auf die Strahldivergenz abgestimmt sein (mindestens doppelte Strahldivergenz). Sonst können unerwünschte Korrelationen entstehen. [18]

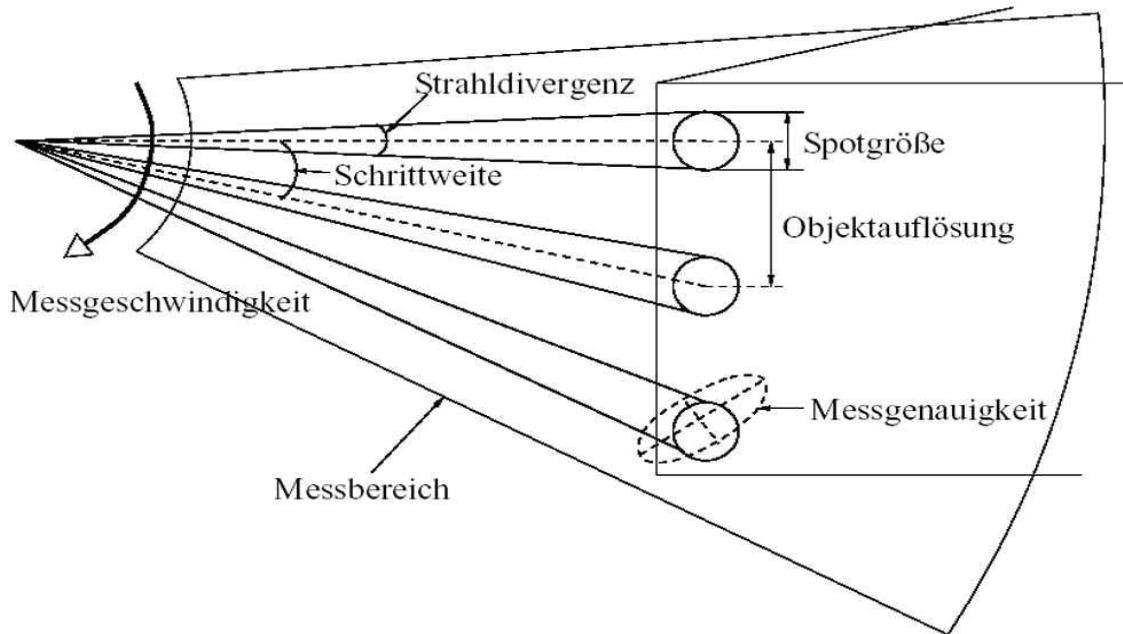


Abb.9.4: Strahldivergenz und Auflösung

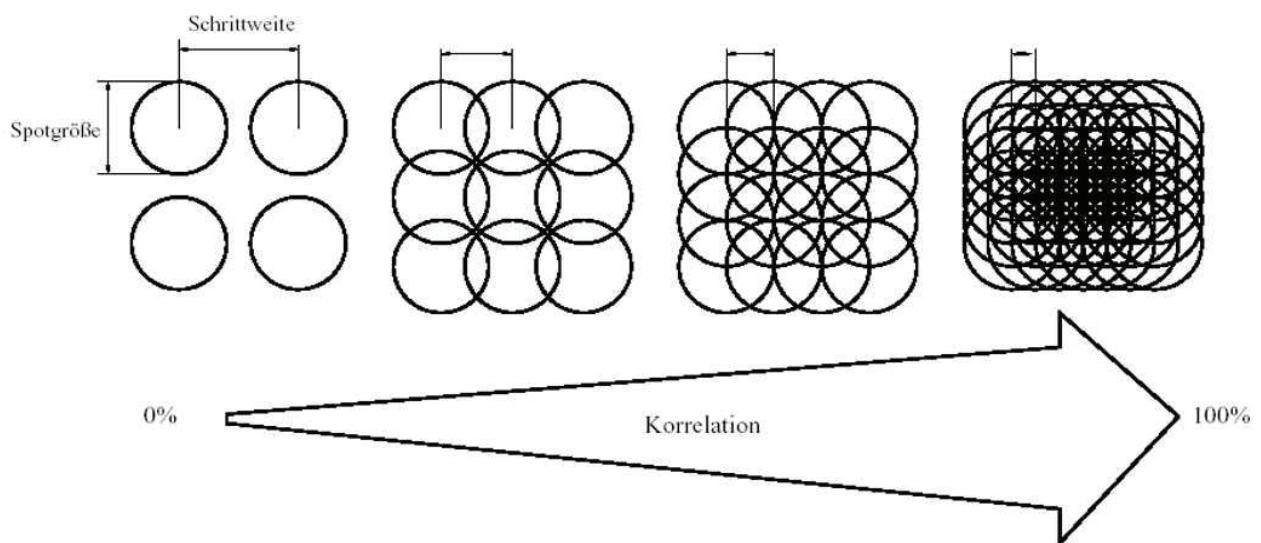


Abb.9.5: Zusammenspiel von Schrittweite und Spotgröße

9.4.8 Messgeschwindigkeit

Die Messgeschwindigkeit hängt von der Art der Abtastung und dem eingesetzten Streckenmessverfahren ab. Eine mechanische Ablenkung des Laserstrahls über

Schrittmotoren benötigt weit mehr Zeit als eine Ablenkung durch einen kontinuierlich rotierenden Spiegel oder Prisma. Die Messrate beim Impulslaufzeitverfahren ist aufgrund der benötigten "Messpause" zwischen den Impulsen begrenzt und geringer als bei einem im Dauerstrichverfahren arbeitenden Streckenmessgerät. [18]

9.5 Marktübersicht der terrestrischen Laserscannern

Die folgenden Tabellen zeigen Menge von Laserscannern, die für die Aufnahme der Bauwerke geeignet sind (**Tab.9.3-1**, **Tab.9.3-2**, **Tab.9.3-3**), (**Abb.9.6**).

Tab.9.3-1: Geräteübersicht-Terrestrische Laserscanner

Scanner	Riegl LMS Z-210i	Riegl LMS Z-420i	I-SiTE 4400	Optech ILris 3D
Reichweite	max 400m	max 800m	max 400m	max 800m
Messrate	8000 pts/sec	8000 pts/sec	4400 pts/sec	2000 pts/sec
Ausschnitt	80° x 360°	80° x 360°	80° x 360°	40° x 40°
Laserklasse	1	1	3R	1
Strahlöffnung	3 mrad	0,25	2 mrad	29mm bei 100m
Schrittweite - horizontal	0,01°	0,01°	-	Punktabstand <2,6mm auf
- vertikal	0,01°	0,008°	-	100m
Genauigkeit - Entfernung	25mm+20ppm	10mm+20ppm	50mm	-
- Winkel (Hz)	0,005°	0,0025	-	-
- Winkel (V)	0,005°	0,002	-	-
Gewicht	13kg ohne Batterie	14,5kg ohne Batterie	14,5kg mit Batterie	12kg ohne Batterie

Tab.9.3-2: Geräteübersicht-Terrestrische Laserscanner

Scanner	Callidus	Cyrax 2500	Mensi
Hersteller	<p>Callidus</p>  <p>Precision Systems GmbH Halle / Deutschland</p>	<p>Cyra Technologies Inc. Oakland CA / USA</p> 	<p>Mensi</p>  <p>Fontenay-sous- Bois / Frankreich</p>
Messverfahren	Impulsverfahren	Impuls- verfahren	Triangularverfahr en
Scanbereich	360° * 140°	40° * 40°	46° * 320°
Reichweite	150 m	100 m	50 m
Typische Genauigkeit	± 5 mm bei Entfernungen bis 30 m	± 4 mm	± 0,2 mm
Frequenz	28 000 Hz	-	-
Wellenlänge	905 nm	532 nm	-
Vertikalauflösung	0,25°, 0,5°, 1°	0,0003° ≈ 0,25 mm Punktabstand bei 50 m	benutzerdefiniert bis zu 0,1 mrad
Horizontalauflösung	0,0625°, 0,125°, 0,5°, 1°	0,0003° ≈ 0,25 mm Punktabstand bei 50 m	benutzerdefiniert bis zu 0,1 mrad
max. Punktdichte	3.456.000	-	-
Punktintensitäten	keine	Zielmarkenerfassung möglich	jeder Messpunkt erhält über ein Kamerasytem eine Farbkodierung
Messdauer	max. ca. 15 Minuten inkl. Datenspeicherung über Ebene möglich in nachfolgenden Versionen: über Zielmarken	-	-
Transformation		über Zielmarken über Regelkörper (Kugeln)	über gleichartige Objekte z. B. Kugeln

	über Referenzfreiformflächen		
	über Regelkörper (Kugeln, Zylinder)		
	angeschlossenes Kamerasystem für Dokumentationszwecke	integriertes Kamerasystem für Dokumentationszwecke	integriertes Kamerasystem
Besonderheiten	Neigungssensor Elektronischer Kompass zur Richtungsorientierung		

Tab.9.3-3: Geräteübersicht-Terrestrische Laserscanner

Scanner	Riegl	Zoller + Fröhlich Imager 5003	Zoller und Fröhlich Imager 5006
Hersteller	RIEGL Laser Measurement Systems GmbH Horn / Österreich	Zoller + Fröhlich Wangen / Deutschland	Zoller + Fröhlich Wangen / Deutschland
Messverfahren	Impulsverfahren	Phasenvergleichsverfahren	Phasenvergleichsverfahren vom Zenit bis etwa Schrägstellung des Stativs 360°
Scanbereich	333°* 80°	360°* 270°	Max. 79 m
Reichweite	max. 700 m	Max. 53,5 m	± 3 mm auf 20 m
Typische Genauigkeit	± 25 mm	± 2 mm	
Frequenz	28000 Hz	-	-
Wellenlänge	0,9 µm	780 nm	780 nm
Vertikalauflösung	0,072° bis 0,36°	0,018°	0,018°
Horizontalauflösung	0,072° bis 0,36°	0,010°	100.000 Punkte/360°

max. Punktdichte	-	540.000.000	540.000.000
Punktintensitäten	Ja (Graustufenbilder); auch RGB Intensitäten möglich	Ja (Graustufenbilder)	Ja (Graustufenbilder)
Messdauer	-	90 Sekunden inkl. Datenspeicherung	ca.100 sec
Transformation	über Zielmarken	über Zielmarken	über Zielmarken



Abb.9.6: weitere Laserscanner

Es wird auch in HDS-Laserscanner besonders HDS6000 in Kapitel 10 mehr vertiefen.

Bei den vorgestellten Messsystemen kann generell festgestellt werden, dass sich die einzelnen Systeme in ihrem Aufbau und ihren Verfahrensweisen sehr voneinander unterscheiden. [26]

9.6 Auswahlkriterien für Laserscanning-Systeme

Die Auswahl des terrestrischen Laserscanners erfolgt nach den Leistungseigenschaften wie Reichweite, Sichtbereich, Winkelauflösung, Erfassungsgeschwindigkeit, Genauigkeiten (Distanz-, Einzelpunkt- oder Objektgenauigkeiten) etc.

Nicht jeder Laserscanner ist für alle Aufgaben gleich gut geeignet. Daher sollte der für den jeweiligen Aufgabenbereich bestmöglich geeignete Laserscanner ausgewählt werden. Gleicher gilt für die Software.

Allerdings soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass es keine guten oder schlechten terrestrischen Laserscanner gibt, sondern lediglich für die jeweilige Aufgabe besser und schlechter geeignete Laserscanner. [27]

10 Leica Geosystems

Mit Sitz in Heerbrugg, Schweiz, Leica Geosystems ist ein global tätiges Unternehmen mit Zehntausenden von Kunden unterstützt von mehr als 2400 Mitarbeitern in 22 Ländern und Hunderten von Partnern in über 120 Ländern auf der ganzen Welt.

Leica Geosystems ist am besten bekannt für seine breite Palette von Produkten zur exakten Erfassung, raschen Modellierung, einfachen Analyse und Visualisierung und Präsentation räumlicher Informationen.[19]



10.1 HDS-Systeme

Für Detail-Engineering und Erhebungen, Leica High-Definition Surveying (HDS)-Systeme sind dem Weg zu gehen .

Zusätzlich zur direkten Kosteneinsparungen, HDS-Systeme bieten wichtig "Mehrwert" Vorteile:

- ♦ Schnellere Ergebnisse
- ♦ Kürzere Taktzeiten Projekt
- ♦ Qualitativ bessere Ergebnisse
- ♦ Higher level-of-Detail
- ♦ Unaufdringlich Datenerfassung

HDS-Produktfamilie : Leica ScanStation , Leica-HDS2500,-HDS3000,-HDS6000 ,diese Produkte werden in dem nächsten Kapitel geklärt. [25]

10.1.1 Leica ScanStation

Rein äußerlich und auch in den meisten Leistungsmerkmalen ähnelt die ScanStation dem Vorgängermodell HDS3000. Als Hauptunterscheidungsmerkmal zum Vorgänger ist der Zwei-Achs-Kompensator zu nennen. Mittlerweile wird vom Hersteller schon das Nachfolgemodell ScanStation 2 vertrieben, mit der laut Herstellerangaben die zehnfache Scangeschwindigkeit gegenüber der ScanStation 1 realisierbar ist. [20]

10.1.1.1 Zubehör

Bis auf den Laptop, welcher auch optional angeboten wird, wird auch dieser Scanner mit allem, für den Betrieb nötigen, Zubehör geliefert. Vom Hersteller Leica wird auch für dieses Gerät externe Batterien, Zielzeichen und Reinigungszubehör angeboten.

A - Leica Scanstation

B - Leica Dreifuß mit optischem Lot

C - robustes Stativ

D - Transportbox, Schutzabdeckungen, Reinigungsset

E – Batterietransportkisten, Batterien, Ladegerät, Ladekabel, Stromversorgungskabel, Verbindungskabel

F - Notebook, Netzwerkkabel [20]



Abb.10.1: Leica ScanStation und Zubehör

10.1.1.2 Systemeigenschaften

Auch dieses Gerät qualifiziert sich aufgrund seines großen Sichtfeldes, $360^\circ \times 270^\circ$, zu einem Panoramascanner. Gemessen wird dieser Bereich durch zwei Messfenster. Das vordere Hauptfenster deckt den Bereich von 45° unter bis 32° über dem Gerätehorizont ab. Durch das obere Fenster, das so genannte „upper window“ wird der Bereich von $22,5^\circ$ über dem Horizont bis zum Zenit realisiert. Komplettiert wird dieser gesamte vertikale Scancbereich von 270° durch die Drehung des Geräteoberbaus über dem Unterbau über die vollen 360° in der Horizontalen. Der integrierte Zwei-Achs-Kompensator, welcher auch in Leica Totalstationen eingebaut ist, ermöglicht auch bei diesem Gerät die Realisierung von Polygonzugmessungen, einer freien Stationierung, der Orientierung mittels bekannter Punkte oder der Absteckung von Punkten. Die interne Kamera mit einer Auflösung von einem Megapixel (1024×1024 Pixel, $24^\circ \times 24^\circ$) ermöglicht eine Voransicht der Umgebung des Scanners. Hierzu wird vor dem Scan das gesamte Sichtfeld durch 111 Digitalphotos aufgenommen und zu einem Panorama (ca. 64 Megapixeln) zusammengefügt. Neben der Voransicht können die Photos auch zur Überlagerung der Punktwolken benutzt werden. Dabei werden die Farbwerte der Punkte den dazugehörigen Bildpunkten entnommen. Für besonders schnelles Festlegen des Scancbereiches verfügt dieses Gerät über einen Quickscanbutton. Dieser ermöglicht das Festlegen der linken und rechten Grenzen des zu scannenden Bereiches mittels Knopfdruck.

Der festgelegte Horizontalbereich wird dann in der Vertikalen vom Zenit bis 45° unter dem Horizont aufgenommen. Die Verriegelung des Horizontalkreises verhindert Transportschäden, muss jedoch vor jeder Messung entriegelt werden.[19]

10.1.2 HDS2500 , HDS3000

Die Eigenschaften von HDS2500, HDS3000 sind in **Tab.10.1** definiert. [23]

Tab.10.1: HDS 2500 , HDS3000

	Leica HDS 2500	Leica HDS 3000
Scanner		
Reichweite	100m	100m
Messrate	1 Million/h	1800 pts/sec
Ausschnitt	$40^\circ \times 40^\circ$	$270^\circ \times 360^\circ$
Laserklasse	2	3R
Strahlöffnung	0.1mm/10m	<6mm bei 50m
Schrittweite		
- horizontal	-	max 20.000 pts/row
- vertical	-	max 5.000 pts/row
Genauigkeit		
- Entfernung	4mm	4mm / 50m
- Winkel (Hz)	3.8mgon	60 microrad.
- Winkel (V)	3.8mgon	60 microrad.
Gerätetyp	Camera-View-Scanner	Panorama-Scanner
Gewicht	12kg ohne Batterie	16kg ohne Batterie

10.1.3 HDS6000

Leica Geosystem setzt einen Leica HDS6000 sowohl zur 3D Erfassung von Verformungen und Schäden an Bauwerken, als auch zur räumlichen Darstellung von komplizierten Strukturen ein.

Mit einer maximalen Abtastrate von 500000 Punkten pro Sekunde können komplexe Szenen

innerhalb weniger Minuten gescannt werden. Die Technologie ermöglicht das Scannen in grellem Licht oder völliger Dunkelheit.

Das volle Sichtfeld des Leica HDS6000 von $360^\circ \times 310^\circ$ und die erhöhte Reichweite reduzieren die Anzahl der Instrumentenaufstellungen und den Aufbau von Zielmarken.

Weitere Eigenschaften von HDS6000 stehen in **Tab.10.3** .

Im Vergleich zu seinen beliebten Vorgänger (der Leica HDS4500 Scanner) hat der Leica HDS6000 mehrere wichtige Funktionen zur Steigerung der Flexibilität, Portabilität, Genauigkeit, Datenqualität, Geschwindigkeit und Produktivität der Laser- Scanning:

- ♦ 50% größere Reichweite, basierend auf Mehrdeutigkeit Intervall
- ♦ Neues kompaktes Design: Scanmodul, Bedieneinheit, Datenspeicher und Stromversorgung sind in einem Instrument integriert. Das Aufstellen und Transportieren des Scanners wird dadurch vereinfacht und beschleunigt. Zur Qualitätskontrolle vor Ort kann der Anwender den HDS6000 optional über PDA oder Laptop mit der Leica Cyclone SCAN Software ansteuern.
- ♦ Neuer Neigungssensor ermöglicht klassische Vermessungsmethoden, wie die Polygonierung und Freie Stationierung
- ♦ Drei flexible Steuerungsmöglichkeiten: Integriertes Bedienfeld mit Display, kabelloser PDA oder Laptop zur absoluten Qualitätskontrolle
- ♦ Höhere Genauigkeit bei jeder Einzelmessung
- ♦ Doppelte Scandichte: Verdoppelung der Scan-Dichte ermöglicht eine erhöhte Reichweite, in denen kleinere Objekte und Ziele lassen sich exakt modelliert.
- ♦ Ultra-Hochgeschwindigkeits-Scannen - reduziert die benötigte Zeit [22][28]

Tab.10.2: Masse & Gewicht

Instrument	Masse [mm] (T x B x H)	Gewicht [kg]
Scanner mit Batterie	190 x 294 x 351.5	14
Batterieladegerät	241 x 127 x 152.4	2.5
Externe Batterie	240 x 260 x 300	17

Tab.10.3: Eigenschaften des HDS6000

<p>HDS6000 Kompakter,phasen-basierter,ultra-schneller,zweiachs- Laserscanner</p> <p>Scanner</p> 	
Hersteller	Leica Geosystems
Reichweite	79 m bei 90% Albedo 50 m bei 18% Albedo
Sichtfeld	360 x 310 Grad
Laserklasse	Class 3R (IEC EN60825-1)
Genauigkeit	4 mm bei 90% Albedo
Entfernung	5 mm bei 18% Albedo 5 mm bei 90% Albedo 6 mm bei 18% Albedo
Winkel	
Horizontal	125 Mikro-radian
Vertikal	125 Mikro-radian
Messverfahren	Phasenvergleichsverfahren
Wellenlänge	650, 690 nm
Spotgrösse	3 mm bei Austritt (nach Gaussscher Definition) + 0.22 mrad Divergenz; 8 mm bei 25 m; 14 mm bei 50 m
Scangeschwindigkeit (Abtastrate)	Bis zu 500'000 Punkte/Sekunde
Stromversorgung	Batterien: 24 V DC Stromversorgung Batterieladegerät: 90 - 260 V AC Externe Batterie: 24 V DC
Stromverbrauch	50 W
Betriebsdauer	Batterie: 1,5 Stunden Externe Batterie: 4 Stunden
Batterietyp	Batterie: Integriert, Li-ion

10.1.3.1 HDS6000 und seine Zubehör

HDS6000 und seine Zubehör werden vom Hersteller Leica Geosystem geliefert.

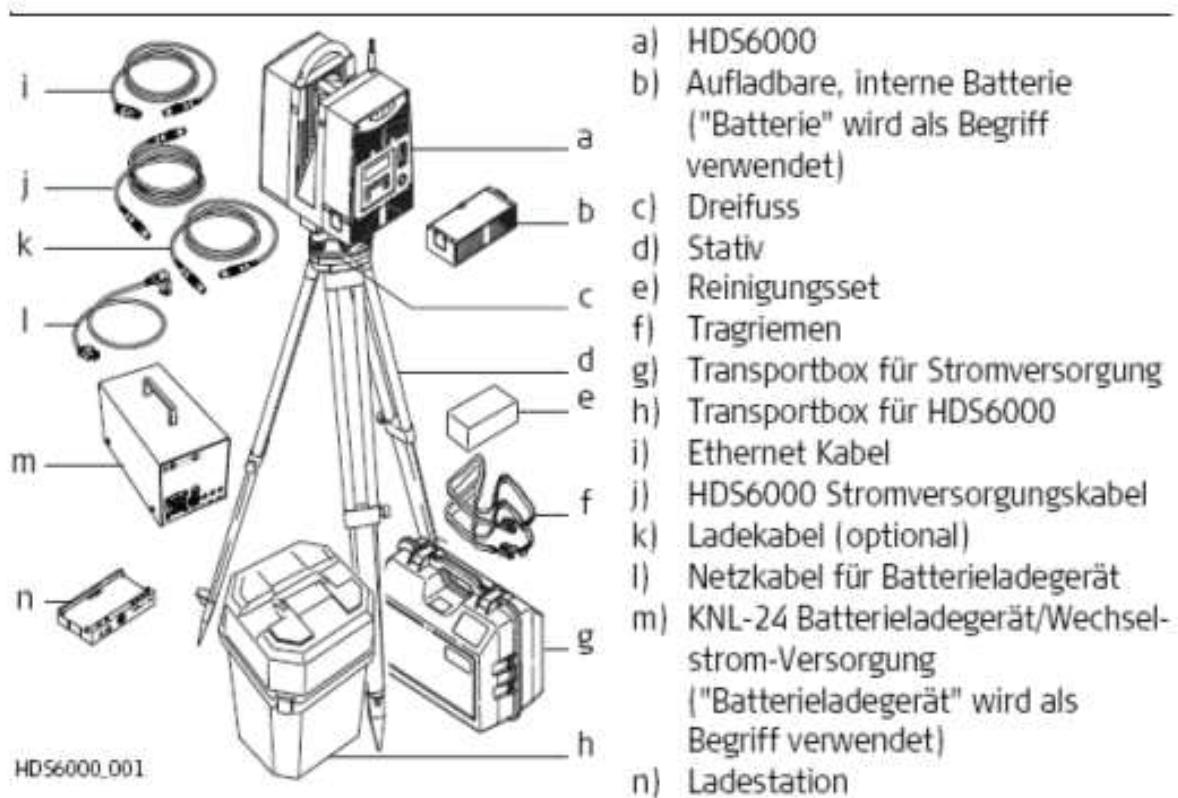


Abb.10.2: Instrumentenbestandteile [22]

10.1.3.2 Laserklassen des HDS6000

Der integrierte Laser im Produkt erzeugt einen sichtbaren, roten Laserstrahl, der aus den Fenstern austritt. Das Produkt entspricht der Laserklasse 3R (**Tab.10.4**).

Aus Sicherheitsgründen wird den direkten Blick in den Strahl dieser Laser immer als gefährlich betrachtet. [22]

Tab.10.4: Laserklasse 3R

Beschreibung	Wert
Maximale durchschnittliche Strahlungsleistung	4.75 mW
Höchstwert der Strahlungsleistung	30 mW
Impulsdauer	260 µs (max)
Wiederholfrequenz	12.5 Hz (min)
Strahldivergenz	± 0.11 mrad

10.1.3.3 Anwendungsbereiche des HDS6000

HDS6000 eignet sich für:

- Komplexe Strukturen
- 3D-Oberflächen-Modelle
- Interferenz Kontrolle
- Architektur
- Historisches Archiv
- Reverse Engineering [22]

10.1.3.4 Sehfeld, Feld of View (FoV)

Das HDS6000 hat ein System mit "rotierendem Spiegel", das ein Sichtfeld von 360 x 310 Grad abdeckt (**Abb.10.3**).

Für eine hohe Scan-Rate wird der Spiegel in eine gleichmäßige Rotation versetzt. Der Spiegel rotiert um eine Achse und lenkt den normal auf diese Achse eintreffenden Laserstrahl ab. Durch die gleichmäßige Rotation des Spiegels wird auch der Laserstrahl gleichmäßig abgelenkt. Es entsteht damit eine vertikale Scan-Zeile (**Abb.10.4**). [22]

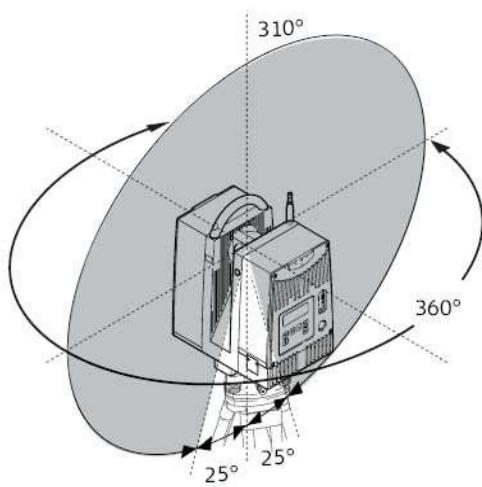


Abb.10.3:Sehfeld (FoV)

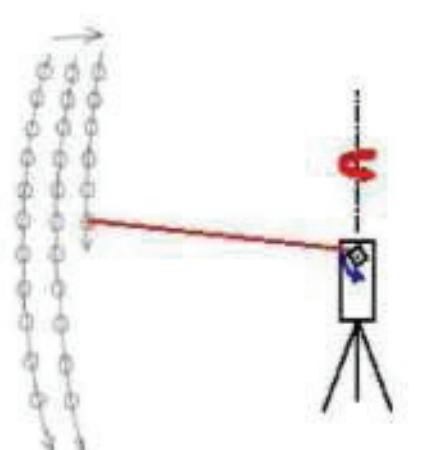


Abb.10.4:vertikale Scan-Zeile

10.1.3.5 Scanauflösung

Tab.10.5: Auswahl der Auflösungsstufe

	Auflösungsstufe				
	Ultra High	Highest	High	Middle	Preview
Schrittweite	H = 0.009° V = 0.009°	H = 0.018° V = 0.018°	H = 0.036° V = 0.036°	H = 0.072° V = 0.072°	H = 0.228° V = 0.228°
Punktabstand in 25 m	H = 3.9 mm V = 3.9 mm	H = 7.9 mm V = 7.9 mm	H = 15.9 mm V = 15.9 mm	H = 31.4 mm V = 31.4 mm	H = 125.7 mm V = 125.7 mm
Pixel/Linie, Punkte/360°	40'000	20'000	10'000	5'000	1'250
Linien	20'000	10'000	5'000	2'500	625
Datengrösse für HDS6000 (komprimiert)	ca. 2'400 MB	ca. 800 MB	ca. 200 MB	ca. 50 MB	ca. 3 MB
Scandauer	26 min 40 sec	6 min 44 sec	3 min 22 sec	1 min 40 sec	0 min 25 sec

Bei den Auflösungstufen Highest, High und Middle kann das Messrauschen reduziert und die Messzeit verlängert werden. [22]

10.1.3.6 Spiegel

Verschmutzungen auf dem Spiegelglas, wie z.B. eine Staubschicht, Kondenswasser oder Fingerabdrücke, können massive Messfehler zur Folge haben. [22]

10.1.3.7 Laptops zum Scannen

Der Laptop eignet sich für Scannen, wenn er die folgenden Bedingungen erfüllt:

Tab.10.6: Laptop (Computer) zum Scannen [22]

Komponenten	Minimale Ausstattung
Prozessor	1.7 GHz Pentium M oder grösser
Systemspeicher RAM	1'024 MB oder grösser (SDRAM)
Festplatte	40GB oder grösser, (5'400RPM oder schneller)
Netzwerkverbindung	Ethernet/Modem Kombination

Datenverbindung	Ethernet
Bildschirm	SXGA+ (64MB oder grösser, Video RAM empfohlen)
Betriebssystem	Windows XP Professional (SP1 oder höher) Windows 2000 (SP3 oder höher mit den aktuellsten Sicherheits-patches)
Dateisystem	Zusätzliche Batterie, zwei bevorzugt
Stromversorgung	Windows XP Professional (SP1 oder höher) Windows 2000 (SP3 oder höher mit den aktuellsten Sicherheits-patches)

10.1.3.8 Batterien

- Die Batterie muss geladen werden, bevor sie zum ersten Mal verwendet wird, weil sie mit einem sehr niedrigen Ladezustand geliefert wird.
- Der zulässige Temperaturbereich für das Laden von Batterien liegt zwischen 0°C und 40°C / +32°F und 104°F (**Tab.10.7**).
- Niedrige Betriebstemperaturen reduzieren die verfügbare Kapazität, sehr hohe Betriebstemperaturen reduzieren die Lebensdauer der Batterie.
- Es ist normal, dass die Batterie während des Ladevorgangs warm wird. Bei den von Leica Geosystems empfohlenen Ladegeräten ist es nicht möglich, die Batterie zu laden, wenn die Temperatur zu hoch ist.[22]

10. 1.3.9 Umgebungstemperatur

Tab.10.7: Temperaturbereich des HDS6000

Typ	Temperaturbereich bei Betrieb [°C]	Lagertemperatur [°C]
HDS6000	0 bis +40	-20 bis +50
Batterieladegerät	0 bis +40	-20 bis +50
Batterie	0 bis +40	0 bis +50
Externe Batterie	0 bis +40	0 bis +50

- Liegt die Temperatur ausserhalb des spezifizierten Bereiches, wird eine Fehlermeldung ausgegeben. Es kann trotzdem gemessen werden, die Messgenauigkeit liegt aber nicht mehr innerhalb der Spezifikation.

Gegenmassnahme: HDS6000 warmlaufen / abkühlen lassen.

- Bei Überschreitung des oberen Temperaturgrenzwertes wird der HDS6000 abgeschaltet, um eine Beschädigung der Elektronik zu vermeiden.

Gegenmassnahme: HDS6000 an einem kühlen Ort abkühlen lassen.

- Wird der HDS6000 von einer kalten (z.B. vom Lager) in eine warme und feuchte Umgebung gebracht, kann das Glasfenster am Drehspiegel oder im Extremfall sogar die interne Optik beschlagen. Das führt zu Messfehlern.

Gegenmassnahme: Grosse Temperaturunterschiede meiden; dem HDS6000 Zeit zur Akklimatisierung geben.[22]

10.1.3.10 Ungünstige Witterungsbedingungen

- Nebel, Regen oder Schneefall führen zu starken Entfernungsmessfehlern, weshalb unter diesen Bedingungen nicht gemessen werden sollte!
- Von direktem Sonnenlicht angeleuchtete Oberflächen weisen ein erhöhtes Entfernungsrauschen und damit eine größere Messunsicherheit auf.
- Werden Objekte bei starkem Gegenlicht oder hellem Scheinwerfer gescannt, kann es passieren, dass der optische Empfänger des HDS6000 so geblendet ist, dass in diesem Bereich keine Messdaten gespeichert werden können. Ein "schwarzes Loch" erscheint in dem Bild.[22]

10.1.3.11 Ungünstige Oberflächen

- Stark reflektierend (poliertes Metall, glänzende Farbe)
- Stark absorbierend (schwarz)
- Durchsichtig (klares Glas)
- Grün (Komplementärfarbe zu rotem Laserstrahl)

Solche Oberflächen vor dem Scannen mit Farbe beschichten.[22]

10.1.3.12 Ziele

- Die Ziele sollen gleichmäßig über den gesamten Scancbereich in verschiedenen Höhen verteilen.
- Die Mindestanzahl an Zielen liegt bei drei Stück pro Scan. [22]

10.1.3.13 Verbindungen

Der HDS6000 ist ausgestattet mit:

- Netzwerkanschluss
- USB 2.0 Schnittstelle
- Bluetooth Schnittstelle

Diese Anschlussmöglichkeiten erlauben eine externe Steuerung des HDS6000. Weil der HDS6000 über eine eigene IP-Adresse verfügt, kann das Instrument auch über Internet gesteuert sowie die Firmware aktualisiert werden. Die erfassten Daten werden auf der internen Festplatte des HDS6000 gespeichert. Die Kapazität der internen Festplatte beträgt mindestens 60 GB und kann somit Daten von bis zu zwei Tagen Dauerscannen speichern. Die Daten der internen Festplatte können per Ethernetkabel auf ein Notebook/PC oder mit USB-Kabel auf eine externe Festplatte übertragen werden.[22]

10.1.3.14 Netzwerke

Um eine Kommunikation zwischen einem Notebook/PC und dem HDS6000 aufzubauen, muss jedes der Geräte in der Lage sein, dem anderen Gerät Daten zu schicken (Netzwerk). Damit diese Daten bei der richtigen Gegenstelle ankommen, muss die Gegenstelle eindeutig benannt (adressiert) werden. Dies geschieht in IP-Netzen mit einer IP-Adresse. Der HDS6000 unterstützt DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol). Wenn der automatische Bezug einer IP-Adresse am Client (DHCP Client) eingestellt ist, kann der HDS6000 ohne weitere Konfiguration in ein Netzwerk eingebunden werden.

Ein DHCP Server des Netzwerks weisst automatisch dem DHCP Client (HDS6000) eine IP-Adresse zu. Ist der HDS6000 mit einem Ethernetkabel nur mit einem Notebook, ohne weiterführendes Netzwerk, verbunden, dann ist der HDS6000 ein DHCP Server. Der HDS6000 weisst dem Notebook/PC beim Starten eine dynamische IP-Adresse zu. [22]

10.1.3.15 Verantwortungsbereiche

Hersteller des Produkts Leica Geosystems AG, CH-9435 Heerbrugg, kurz Leica Geosystems, ist verantwortlich für die sicherheitstechnisch einwandfreie Lieferung des Produktes inklusive Gebrauchsanweisung und Originalzubehör. [22]

11 Leica HDS-Software

Terrestrisches Laserscanning setzt sich jedoch nicht nur aus der Hardware – dem terrestrischen Laserscanner – zusammen, sondern bedeutet auch die Aufbereitung und Modellierung der Punktfolge, die Abbau von technischen Informationen, Steuerung des Scanners mit entsprechender Software, die Leica Geosystems anbietet.

Ob Sie eine bereits bestehende, komplexe Industrieanlage umplanen, ein Gelände vermessen oder ein historisches Bauwerk dokumentieren – Sie benötigen zuverlässige Messergebnisse. High-Definition Surveying Scannersysteme und ihre Software liefern Ihnen dafür die exakten Daten. [21]

11.1 Cyclone 5.8 Software

Die Cyclone-Software wurde von Cyra für den effizienten Betrieb aller der Leica HDS-Scanning-Systeme entwickelt.

Cyclone-Software dient zur Erfassung, Prozessierung von Punktfolgen und zur Integration der Informationen in konventionellen CAD-Anwendungen. [20]

11.2 Leica CloudWorx

Die Leica CloudWorx Produktfamilie bietet eine Punktfolge-Plug-in-Fähigkeit für viele der beliebtesten CAD-Systeme wie AutoCAD, Microstation.

AutoCAD-Anwender können mit Hilfe von Leica CloudWorx für AutoCAD und MicroStation effizient arbeiten mit großen Punktfolgen direkt über AutoCAD und MicroStation -Werkzeuge und-Befehle. [21]

11.3 Leica COE Datenübertragung

Cyclone Object Exchange (COE) ist ein Software-Dienstprogramm für den Austausch von Daten zwischen Cyclone-Software und AutoCAD (2000 oder höher) und MicroStation - Software.

Diese robuste Datenübertragung Software minimiert Daten und reduziert zeitaufwendig Büroarbeit, die ansonsten werden benötigt, um Prozess-Modelle von Punktfolgen in AutoCAD oder MicroStation zu generieren. [21]

12 Scannen von Fahrzeugwerkehallen

12.1 Ausrüstung

Für das Arbeiten in der Örtlichkeit mit HDS6000 benötigt man folgende Ausrüstungen:

- 3D-Laserscanner HDS-6000 mit Transportkiste (**Abb.10.2**),
- Das Stativ ,
- Die Versorgungseinheit¹ zur Stromversorgung des Scanners,
- Netzwerkkabel zur Verbindung des Scanners mit dem Laptop PC,
- Zielzeichen und Laptop/ PC zur Steuerung des gesamten Scanablaufs.

Der Laptop ist mit Intel Centrino Duo-Prozessor (je 1,83 Gigahertz), ein 1,5 Gigabyte Arbeitsspeicher, eine ATIM Radeon X1400 Grafikkarte und eine Netzwerkkarte versehen.

Dieses Zubehör wurde als Hardwareoption von der Firma Leica Geosystems geliefert und uns von der Hochschule Neubrandenburg zur Verfügung gestellt. [22]

12.2 Arbeitsabläufe des Projektes

Der Arbeitsablauf für Laserscanning-Projekte kann in drei Hauptphasen eingeteilt werden: Vorbereitungen, Feldarbeiten und Auswertungen. Das zeitliche Verhältnis von der Auswertung zur Feldarbeit kann dabei 10:1 erreichen oder sogar noch grösser ausfallen.

12.2.1 Vorbereitungen

Da momentan keine universal einsetzbaren Laserscanner auf dem Markt erhältlich sind, muss vor der Durchführung jedes Laserscanning-Projektes abgeklärt werden, ob mit dem zur

¹ Die Versorgungseinheit ist mit zwei Batterien ausgestattet, die unabhängig von einander genutzt werden. Erst wenn die erste leer ist wird die zweite zum Einsatz, so dass man die erste, leere Batterie, wieder aufladen kann, ohne die laufende Messung beenden zu müssen. Den aktuellen Ladestand der Batterien kann man beim Anschalten des Scanners oder vom Laptop ablesen. Bei voller Ladung der Batterie und einer Durchschnittstemperatur von 20°C, beträgt die des Herstellers angegebene Arbeitszeit 4 Stunden .[22]

Verfügung stehenden Laserscanner die zu vermessende Hallen aufgenommen werden können. Dabei spielen die Ausdehnung den Hallen (kleine Halle:17*36.3 m, große Halle:19.3*73.9 m) sowie die Distanzen zwischen gescannten Punkten und Laserscanner eine entscheidende Rolle. Für das Scannen den beiden Hallen wurde Laserscanner HDS6000 zur Verfügung gestellt.

Ebenso war es wichtig, vorgängig eine grobe Planung der durchzuführenden Aufnahmestandpunkte zu bestimmen, um die ungefähre Zahl der benötigten Targets abschätzen zu können. Mit der Optimierung der Anzahl Scannerstandpunkte kann die Datenmenge reduziert und Nachmessungen vermieden werden.

12.2.2 Feldarbeiten

12.2.2.1 Anbringung der Targets am Objekt

Für die Messungen mit dem Leica HDS6000 benötigt man bestimmte Zielmarken, die sogenannten Black&White-Targets.

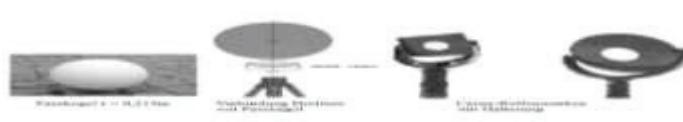


Abb.12.1:Übersicht Targets

Die White-Black Targets sind in den Hallen gleichmäßig über den gesamten Scanbereich an verschiedenen Höhen verteilt und mit Klebsmittel befestigt.

Es war von Bedeutung, dass von jedem Aufnahmestandpunkt mindestens 3 besser 4 Passpunkte gescannt werden können. Das Anfertigen von Feldbüchern und die Vergabe von Punktnummern war Unverzichtbar, um nicht die Orientierung zu verlieren und sie zu einem späteren Zeitpunkt wieder erlangen zu können. Insgesamt dauerte die Anbringung der ungefähr 50 Targets und ihre Nummern in den beiden Hallen 4 Stunden .

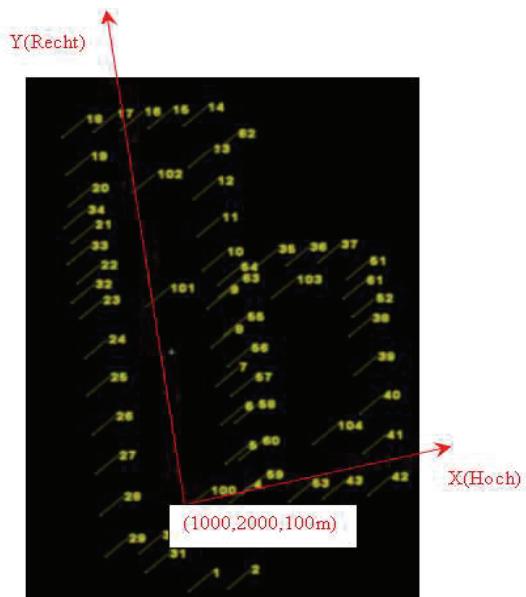


Abb. 12.2 :Aufnahmestandpunkte , Passpunkte , koordinatensystem

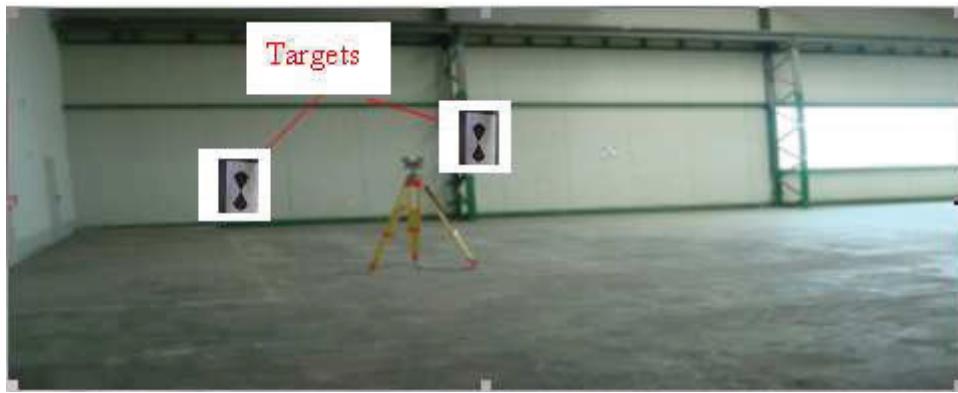


Abb.12.3: Targets an die Wand , Stütze

12.2.2.2 Etablierung eines Referenzsystems

Bevor mit der eigentlichen Messung mit dem Laserscanner begonnen wurde, mussten im Vorfeld ein Bezugssystem einrichten .Da dieser aber keinen Anschluss an ein bekanntes Bezugssystem hat, wurde ein örtliches (übergeordnetes) System eingeführt. Dieses System hat seinen Ursprung am Standpunkt 100s. Um negative Koordinaten zu vermeiden, wurden für diesen Punkt folgende Koordinaten festgelegt X(Hoch) = 1000,000 m; Y(Rechts) = 2000,000 m; Z(Höhe) = 100,00 m (**Abb.12.3**)

Danach wurden die Koordinaten von Standpunkten 101s-104s und Targetskoordinaten durch Tachymeter in Lage und Höhe für spätere Verknüpfung der einzelnen Standpunkte beim Laserscanning bestimmt, ins HDS6000 importiert und später im Büro ausgelesen (**Tab.12.1**).

Tab.12.1: Ausgelesene Standpunkten- und Targetskoordinaten

Stand-Punkt	Targets-nummer	X (meter)	Y(meter)	Z(meter)
100		1000.000	2000.000	100.000
	1	1011.879	1998.507	101.037
	2	1012.112	2003.364	101.035
	3	1006.125	2005.187	100.115
	4	999.866	2005.501	100.199
	5	993.984	2005.796	100.949
	6	987.988	2006.093	100.916
	26	987.226	1989.588	99.255
	27	993.195	1989.319	100.268

	28	999.485	1989.016	99.307
	29	1005.477	1989.007	100.777
	30	1005.679	1993.139	100.307
	31	1008.368	1993.660	101.149
101		968.344	1999.218	99.901
	7	981.998	2006.375	100.097
	8	976.025	2006.661	100.331
	9	970.012	2006.944	101.616
	10	964.015	2007.233	101.585
	23	969.222	1990.453	100.944
	24	975.220	1990.185	99.278
	25	981.210	1989.878	101.082
102		949.670	2000.001	99.963
	11	958.042	2007.515	100.168
	12	952.040	2007.796	100.327
	13	946.064	2008.079	98.703
	62	944.061	2011.899	98.893
	14	940.019	2008.159	101.115
	15	939.776	2003.456	101.063
	16	939.580	1999.772	101.120
	17	939.395	1996.106	101.075
	18	939.253	1991.882	100.039
	19	945.245	1991.605	99.317
	20	951.225	1991.319	101.318
	34	953.990	1990.148	99.156
	21	957.225	1991.031	101.428
	33	959.957	1989.860	99.173
103		969.254	2015.718	99.954
	51	967.697	2025.819	99.796
	61	970.867	2024.621	101.111
	52	973.745	2025.525	100.118
	38	976.867	2024.326	100.931

	56	979.317	2008.242	101.248
	55	974.409	2008.474	101.091
	63	968.334	2008.767	101.011
	32	966.215	1989.565	99.094
	22	963.221	1990.743	99.212
	54	966.486	2008.853	101.004
104		992.584	2017.339	99.932
	39	982.871	2024.029	101.069
	40	988.845	2023.745	101.074
	41	994.869	2023.467	99.818
	42	1001.165	2022.811	100.625
	43	1000.899	2017.023	100.746
	53	1000.710	2012.855	100.314
	59	998.550	2007.316	101.071
	60	993.547	2007.564	101.141
	58	987.968	2007.831	101.235
	57	983.827	2008.028	101.399
	35	964.428	2014.017	101.122
	36	964.630	2018.169	101.129
	37	964.816	2022.176	101.401

12.2.2.3 Scannen mit HDS6000

Es soll bei der Aufstellung des HDS6000 sichergestellt werden, dass sich keine Gegenstände innerhalb der messbaren Scanningdistanz befinden, damit die Störpunkte so gering wie möglich vermieden werden.

Nach Wahl des Standpunktes, baut man das Stativ in der gewünschten Höhe auf, ein stabiler Stand sollte garantiert sein. Als nächstes fixiert man den Scanner, mit der am HDS6000 dafür vorgesehenen Fixierschraube auf dem Stativ.

Nun muss das Glas am Scankopf auf Sauberkeit geprüft, die Batterie in den Laserscanner gebracht werden.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, die Scannertransportbox unterhalb des Stativs aufzubauen, um die Abschattungen durch diese möglichst gering zu halten. Auf der

Transportbox wurde daraufhin der Laptop zur Bedienung aufgebaut und mit dem Scanner mittels Netzwerkkabel verbunden.

Dann sollte die An-/Aus-Taste drücken und für mindestens eine Sekunde gedrückt halten.

Das Gerät fährt hoch. Diese Phase dauert etwa 20sec. Während dieser Phase rotieren die vertikalen Spiegel. Schließlich wird das System-Menü im Display angezeigt und ein akustisches Signal ertönt. Der Aufbau und das Hochfahren der Scanner dauerte ungefähr 10 Minuten.

Beginnend mit Standpunkt 100s, dann folgt 101s, 102s, 103s, 104s wurde der Scanner aufgebaut. Von diesen Standpunkten wurden die beiden Hallen und alle sichtbaren Passpunkte aufgenommen.

12.2.2.3.1 Cyclone Navigator

Nach dem Starten des Laptops kann die Cyclone-Software gestartet werden

Wenn das Programm nach wenigen Sekunden nicht reagiert hat, ist ein Fehler aufgetreten, der manuell gesucht und behoben werden muss; Kabel prüfen, IP-Adresse prüfen, das Programm noch nicht reagiert, Programm neu starten .

Das Programm startet mit dem so genannten Cyclone-Navigator (**Abb.12.5**).

Im Navigator werden all jene Prozesse gesteuert, die mit der Erstellung und Verwaltung der Daten zu tun haben.

Vor Beginn eines Scannens ist die Einrichtung einer Datenbank samt dazugehörigen Projekten im Navigator unter SERVERS nötig. Cyclone Datenbanken werden im Cyclone Verzeichnis als *.imp Dateien abgelegt (Halle FWW.imp). In der Objekthierarchie folgen als nächstes die Projektordner (komplett_neu) welche wiederum die einzelnen ScanWorlds und falls verwendet, bekannte Punktkoordinaten (known Coordinates) enthalten. Die gescannten Daten eines Standpunkts werden in einer ScanWorld gespeichert, die für jeden neuen

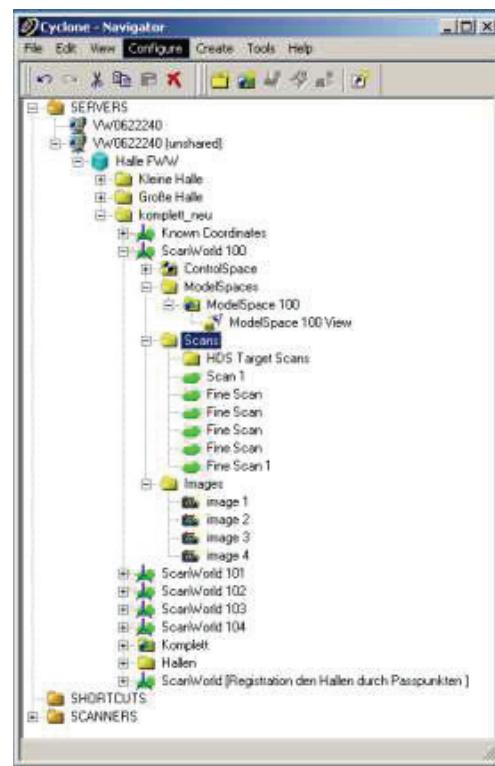


Abb.12.4: Cyclone Navigator

Instrumentenstandpunkt mit dem Befehl New Position (neu ScanWorld) angelegt werden muss. Im Ganzen waren 5 Aufnahmerichtungen (ScanWorlds) nötig um die beiden Hallen zu erfassen.

Eine ScanWorld besteht im Einzelnen aus einem ControlSpace, einem ModelSpace, Scans, und Images (**Abb.12.5**).

● **ControlSpace**

Wenn ein ScanWorld erstellt wird, wird eine untergeordnete ControlSpace automatisch innerhalb der ScanWorld in den Navigator-Fenstern erstellt.

Der ControlSpace ist eine Kopie der ModelSpace und dient als zusätzliche Sicherung der Punktwolken. Im Controlspace bleiben die ursprünglichen Informationen erhalten, diese können vom Nutzer aber geändert werden. Wird im Controlspace etwas gelöscht so ist dies dauerhaft für das Projekt gelöscht.

● **ModelSpaces**

Im ModelSpace werden alle gescannten Daten, eines ScanWorlds, in Form von Punktwolken abgespeichert. Um die Punktwolken eines ModelSpace betrachten und bearbeiten zu können, muss man einen ModelSpace View, sozusagen die Ansicht eines ModelSpaces, anlegen .

The primary ModelSpace folder contains various ModelSpaces. A ModelSpace contains certain information from the Database that has been processed, modeled , or changed in a specific way . The objects that are actually worked on are called ModelSpace Views.

This is where you will make all changes to the point cloud or create models based on the points.

● **Scans**

Sollen in einer Ausrichtung mehrere Scans oder das Scannen von Passpunkten, so genannten Tie-Points stattfinden, ohne das die Aufnahmerichtung verändert wird, können diese in einer ScanWorld unter Scans separat abgespeichert werden. Die Zahl der durchgeführten Scans innerhalb einer ScanWorld ist nicht begrenzt. Es können beliebig viele einzelne Scans in einer ScanWorld zusammengefasst werden, solange sich die Position des Scanners nicht verändert.

● **Images:**

Alle Fotos, der integrierten Digitalkamera, einer Aufnahmerichtung sind unter Images gespeichert. Die Fotos können zur Erleichterung, für die spätere Bearbeitung, von Nutzen sein.

Shortcuts

The Shortcuts folder maintains a list of shortcuts to objects that you frequently use. For instance, you may create a shortcut to a ModelSpace or a particular ModelSpace View that is

several folders deep in the database, and thus, enable instant access without having to navigate down to the actual folder location in the database. [24]

12.2.2.3.2 Scan Control

Diese Systemkomponente ermöglicht dem Anwender die Steuerung aller gängigen Puls- und Phasenscanner der Firma Leica mittels Laptop oder PDA(Personal Digital Assistant). Die Ansicht bestimmter Szenen lässt sich in diesem Modus durch die Rotation und den Zoom ändern. Alle wichtigen Einstellungen können in den „Scanner Control Panel“ vorgenommen werden. Die wichtigsten Funktionen sind im Folgenden erläutert.

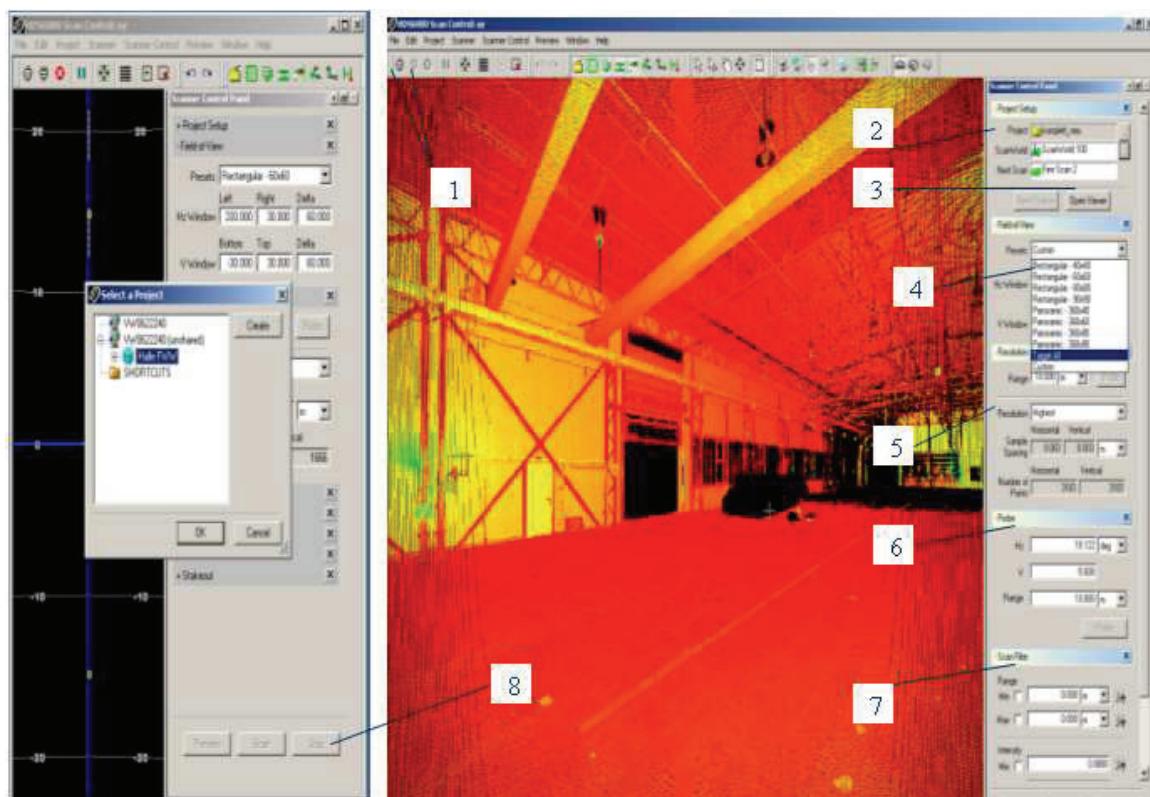


Abb.12.5-1: ScanControl Benutzeroberfläche ,Teil1

- 1 .Connect/Disconnect Buttons: verbindet/trennt Scanner und Laptop
- 2 .Project Setup : In order to start scanning, you must first select or create a project folder(Komplett_neu) in which to store scan data . You then need to select or create a Scan World (ScanWorld 100,101,102,103,104) within that project folder .
From the Scanner Contrrl window header menu select Project /Select a Project .The Select a Project for Scan Data dialog appears .
You can create a new project for your scan data by clicking Create , and then selecting the

newly created project .

You can navigate or browse to an existing project and then click OK. Your destination project is then selected .

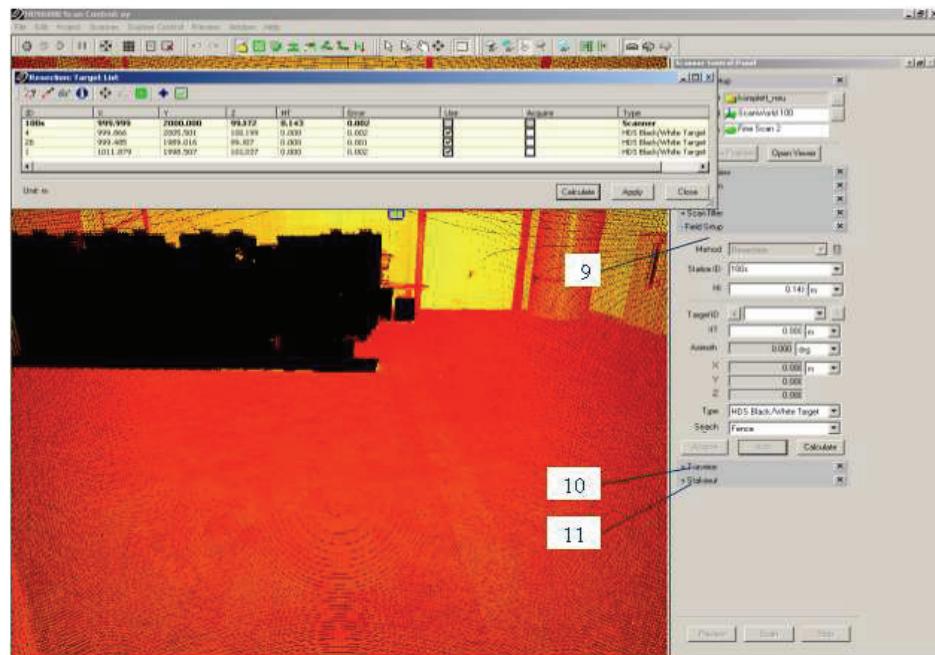


Abb.12.5-2: ScanControl Benutzeroberfläche ,Teil2

3 .Open Viewer Button: Ansicht der gemessenen Punkte im ModelSpace .

4. Field of View window: To target the entire scene in the Scan Control window , select Target All from the Scanner Control menu. The scan target appears in the Scan Control window .To target only a portion of the scene , create a target region by dragging one of the Target cursors over the area in which you are interested .

A number of preset target modes can be selected from the Presets dropdown .When you enter targeting settings manually , the setting automatically changes to Customs .

in the Range field was selected 10m

5. Resolution: die Punktdichte wird hier eingestellt .

Die Auflösung bei der Aufnahme den Hallen wurde stets highest gewählt (Punktzahl 3183 * 3183), um zu gewährleisten, dass auch entfernte Details aufgenommen wurden und Simple Spacing war : 0.003 m für Horizontal und Vertikal .

6. Probe: löst eine Probemessung(Hz, V, D) aus

7. Scanfilter: Punkte können nach Intensität oder Entfernung gefiltert werden .

8. Preview/Scan/Stop Button: startet/stoppt des Scans .

9 .Field Setup :Es steht verschiedene Verfahren im Cyclone –Programm für Transformation oder sogenannte Registrierung . Eine der Verfahren heißt freie Stationierung (Resection)

Das Verfahren der freien Standpunktwahl bedeutet Aufnahme oder Absteckung von einem frei wählbaren Standpunkt aus. Dieses Verfahren erlaubt eine große Bewegungsfreiheit im Gelände. Man kann den Standpunkt in erster Linie nach topographischen Gesichtspunkten aussuchen. Voraussetzung für das Verfahren ist, dass von jedem frei wählbaren Instrumentenstandpunkt aus, mindestens zwei, besser drei, nach Koordinaten bekannte Punkte, im übergeordneten System, sowie die aufzunehmenden oder abzusteckenden Punkte gut sichtbar sind. Bei dem Prinzip der Freien Stationierung werden vom Instrumentenstandpunkt aus die Richtungen und Strecken zu den sichtbaren Festpunkten gemessen. Es folgt die Umwandlung der Polarkoordinaten (Richtungen, Strecken) der Anschlusspunkte in ein orthogonales Koordinatensystem, in dem der Instrumentenstandpunkt den Nullpunkt bildet. Über eine Helmerttransformation (7 Parameter) werden die Standpunktkoordinaten in das Koordinatensystem der Festpunkte transformiert.

Helmert-Transformation

Die Helmert-Transformation (nach Friedrich Robert Helmert, 1843-1917; auch: 7-Parameter-Transformation) ist eine Koordinatentransformation für dreidimensionale kartesische Koordinaten, die in der Geodäsie häufig zur verzerrungsfreien Umrechnung von einem in ein anderes ebenfalls dreidimensionales System genutzt wird:

$XT = C + \mu RX$

XT ... transformierter Vektor

X ... Ausgangsvektor

Die Parameter sind:

C ... Verschiebungsvektor. Enthält die drei Verschiebungen entlang der Koordinatenachsen

μ ... Maßstabsfaktor

R ... Drehmatrix. Besteht aus drei Drehwinkeln rx, ry, rz. [24]

Berechnung der Parameter

Wenn die Transformationsparameter unbekannt sind, können sie über identische Punkte (also Punkte, deren Koordinaten vor und nach der Transformation bekannt sind) berechnet werden. Da insgesamt 7 Parameter (3 Verschiebungen, 1 Maßstab, 3 Verdrehungen) zu bestimmen sind, müssen zumindest 2 Punkte und von einem 3. Punkt eine Koordinate (z. B. die z-

Koordinate) bekannt sein. Damit entsteht ein Gleichungssystem mit sieben Gleichungen und ebensovielen Unbekannten, das gelöst werden kann.

10. Traverse: Einstellungen zur Messung eines Polygonzuges

11. Stakeout: ermöglicht das Abstecken von Punkten

Nach dem Eingaben der schon beschriebenen Voreinstellungen wurde von jedem Standpunkt eine Preview (Voransicht) erstellt.

12.2.2.3.3 ModelSpace

Diese Systemkomponente ist wohl eine der wichtigsten im Rahmen der Datenaufbereitung. Hierzu stehen verschiedenste Werkzeuge zur Verfügung. Geöffnet wird der ModelSpace, die Benutzeroberfläche, entweder über den Navigator oder direkt im Scanmodus über den Button „**Open Viewer**“. Im ModelSpace kann sich der Benutzer frei durch die gescannten Punktwolken bewegen. Die Freiheitsgrade beinhalten Verschieben, Drehen, Zoomen und können durch die beiden Maustasten sowie des Scrollrades bewerkstelligt werden. Weiterhin kann der Nutzer einen oder mehrere Punkte der Punktwolke auswählen und diese bearbeiten. Die Geschwindigkeit des Arbeitens auf dieser Oberfläche hängt maßgeblich mit der Punktmenge zusammen. [24]

12.2.2.4 Erkennen von Targets

Targets sind Passpunkte, die zur späteren Orientierung (Verknüpfung) der Einzelscans benötigt werden. Ein kugelförmiges Target wird als sphere Target und ein planares Target als Tie-Point genannt (**Abb.12.2**).

Die White-Black Targets besitzen sehr hohe Reflexionswerte, welche ihr Erkennen erleichtern. Es ist sinnvoll das Scannen&Erkennen von Targets gleich im Gelände vorzunehmen und auch die Passpunktnummern korrekt zu vergeben.

Es gibt zwei Möglichkeiten, die Erkennung der Targets durchzuführen:

a) halbautomatisch :

- ⇒ Nach der Fertigstellung des Scans durch Betätigen der Taste Open Viewer den ModelSpace-Viewer öffnen
- ⇒ die Targets nacheinander mit einem Fenster merkieren und im **Scan Control Fenster <Scanner Control> <Acquire Targets>** wählen .
- ⇒ im darauf erscheinenden „Acquire-Target-Fenster“ den Button **Acquire Black/White Targets From Fence** betätigen .

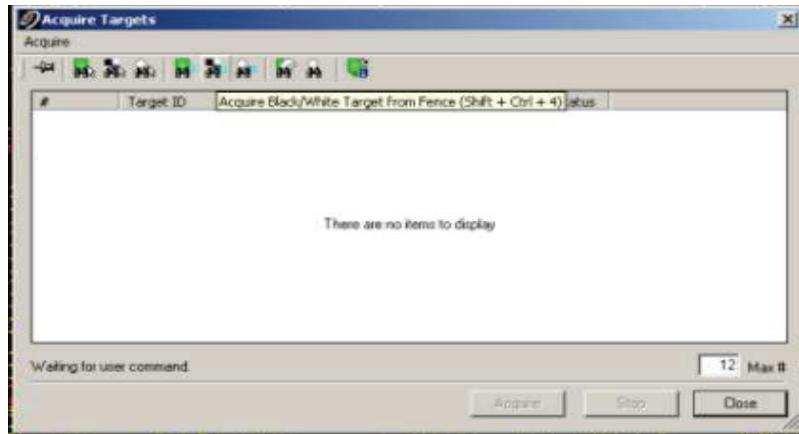


Abb.12.6: AcquireTargets Fenster

b) automatisch :

- ⇒ Nach der Fertigstellung des Scans durch Betätigen der Taste Open Viewer den Model Space Viewer öffnen, die gesamte Punktwolke markieren
- ⇒ im **Scan Control Fenster <Scanner Control> <Acquire Targets>** wählen . im darauf erscheinenden "Acquire-Target-Fenster" den Button **Search Tie-Points From Selected Cloud** betätigen .

Der weitere Verlauf der beiden Varianten unterscheidet sich nicht mehr, die erkannten Targets können nun mit einer Punktnummer für spätere Verknüpfungen versehen werden, und nach Bestätigung beginnt der Feinscan der Marken. Feinscan bedeutet, dass sich durch einen kleineren Aufnahmebereich sowohl die mögliche Auflösung erhöht, als auch die Punktdichte des Scans. Im Anschluss wird der Mittelpunkt der Marken, aus den Feinscans, berechnet und mit einem Kreuzsymbol (Vertex) markiert.

Ermöglicht wird dies durch Best-Fit-Algorithmus, welcher anhand der zwei Schnittlinien (Reflexionsunterschied Schwarz/Weiß) der Targets und der Ebene des Aufnahmebereiches eindeutig einen Punkt im dreidimensionalen Raum bestimmen kann.

Die Dauer der einzelnen Feinscans betrug durchschnittlich 2-4 Minuten und die der restlichen Objektgeometrien für jeden Standpunkt 10-15 Minuten . [24]

12.2.3 Auswertungen

Die Auswertung der ScanWorlds der jeweiligen Standpunkte umfasst sowohl die Bereinigung als auch die Registrierung der Punktwolken . Welcher Schritt zuerst kommt, ist dem Nutzer

selbst überlassen. Bei diesem Projekt wurden zunächst die Scans bereinigt und dann miteinander verknüpft, dies wird im Büro durchgeführt.

12.2.3.1 Säuberung der Punkt wolken

Jede Punkt wolke enthält Fehlmessungen, welche zum Beispiel durch Reflexionen an vorbeifahrenden Fahrzeugen oder an Fußgängern, die den Scanbereich durchqueren entstehen. Diese Fehlermessungen (Störpunkte) sollen ausgeschlossen werden. Ebenso werden die nicht benötigte Objekte (überflüssigen Punktinformation) in der Punkt wolke gelöscht. Dies ist wichtig, um die Datenmenge so gering wie möglich zu halten.

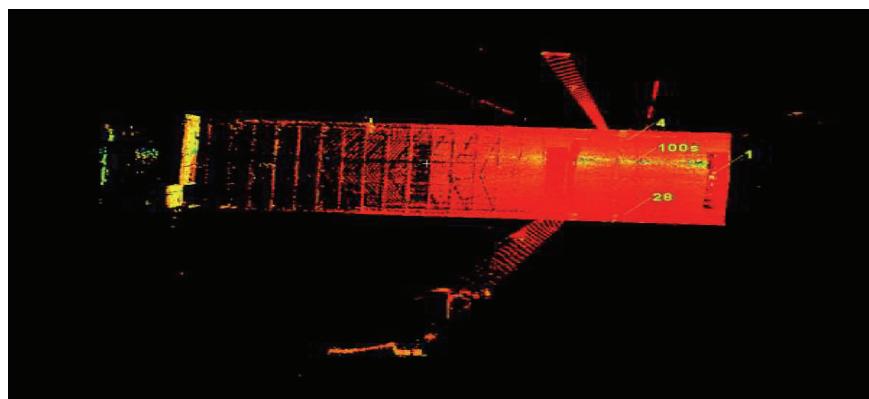


Abb.12.7: Punkt wolke der ScanWorld 100s

Um die Störpunkte zu entfernen, wird ein Fenster mit der rectangular fence Taste markiert.

- Mit **Edit /Fence/DeleteOutside** [Shift + O] werden die Störpunkte gelöscht, die außerhalb des Fensters liegen
- Mit **Edit /Fence/Delete Inside** [Shift + I] werden die Störpunkte gelöscht, die innerhalb des Fensters liegen
- Ein weiteres Hilfsmittel um Störpunkte zu löschen, ist die Segmentierung. Dies ist ein Verfahren für die Partitionierung der Punkt wolke in einzelne Wolken, die individuell schnell bearbeitet wird.

Um die Punkt wolke zu segmentieren:

- Mit **pick Mode** die Punkt wolke selektieren.
- Mit **Fence Mode** ein Fenster markieren.
- **Create Object /Segment Cloud /Cut by Fence** wählen.

Die Punkte, die innerhalb des Fensters liegen, sind jetzt separates Stück vom Rest.

Die Tatsache, dass das Scannersystem für unterschiedliche Materialien unterschiedliche Intensitätswerte registriert, kann die Säuberung erheblich erleichtern.

Während der Bereinigung kam es zu langen Bearbeitungszeiten und zu einigen Programmabstürzen von Cyclone.

Ergebnis der Säuberungen waren unvollständige Punktwolken, da die herausgeschnittenen störenden Objekte zahlreiche Lücken in den Hallenpunktwolken hinterließen. Für die Weiterbearbeitung, insbesondere für die spätere Modellierung, stellte dies ein Problem dar.

[24]

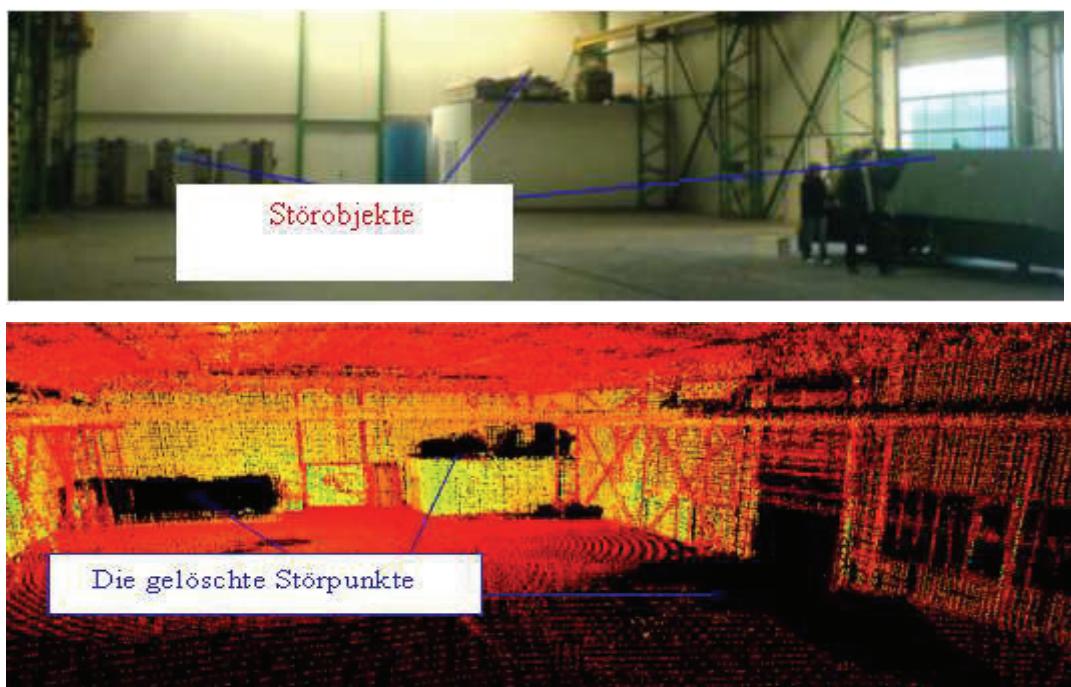


Abb.12.8: eine bereinigte Punktwolke

12.2.3.2 Registrierung mit der Software Cyclone

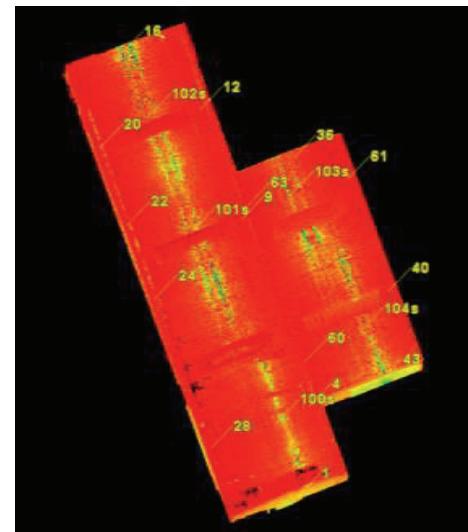
Da ein örtliches übergeordnetes Koordinatensystem für alle Standpunkten in diesem Projekt eingeführt wurde (Abb.12.3) , reichte nur Kopieren der gesäuberten Punktwolken von den dazugehörigen einzelnen ModelSpace und in einen gemeinsamen ModelSpace (komplett) einfügen um die beiden Hallen darstellen zu können .

Die Darstellung der beiden Hallen konnte auch mit der Registrierung realisiert werden .

Die von verschiedenen Standpunkten aus aufgenommenen
Punktwolken (ScanWorlds des Projektes komplett_neu)

wurde in ein gemeinsames übergeordnetes (einheitliches) Scannerkoordinatensystem transformiert .

Die Verknüpfung der ScanWorlds der einzelnen Punkt wolken konnte in Cyclone-Software mit Hilfe von Zwangsbedingungen² über zwei Arten durchgeführt werden, zum einen die Registrierung über gescannte Passpunkte (TiePoints) ,die durch Tachymeter bestimmt wurden und zum anderen die Registrierung über Objektpunkte.



- Einlesen der zu registrierenden ScanWorlds (<ScanWorld><Add ScanWorld>)

oder entsprechender Button ()

- Setzen der sogenannten **“Home-ScanWorld“** (Bezugskoordinatensystem), auf die alle anderen transformiert werden (<Scan World><Set Home Scan World>) oder entsprechenden Button ()

- automatische Erfassung aller innerhalb der zu registrierenden Scan Worlds erkannten

Targets mit <Constraint><Auto-Add Constraint> oder entsprechendem Button ()
ebenfalls ist manuelle Erfassung ist möglich:

die Control Spaces der entsprechenden Scan Worlds Öffnen und manuelles Picken der gewünschten Targets, anschließend <Constraint><Add Constraint>

Um die identischen Passpunkte in der ScanWorlds zu sehen, klicken Sie auf die Constraint-List (Abb.12.12)

Constraint ID	Scenewelt	Scenewelt	Type	Weight	Height	Error
TargetID: 5	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 100	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 4	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 100	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 20	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 100	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
Auto [TargetID: 28 - unis...	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 100	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 9	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 101	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 22	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 101	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 24	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 101	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 12	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 102	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 16	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 102	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 20	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 102	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 31	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 103 (Levelled)	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 63	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 103 (Levelled)	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 36	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 103 (Levelled)	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 40	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 104 (Levelled)	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 43	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 104 (Levelled)	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0
TargetID: 60	Known Coordinates (Levelled)	ScanWorld 104 (Levelled)	Coincident: Winkel-Winkel	0.0	1.0000	nv/0

Abb.12.11: Constraint-List

- optional kann mit <Constraint><Set Weight> oder entsprechendem Button () eine Gewichtung der einzelnen Punkte vorgenommen werden

- Starten der Registrierung mit <Registration><Register> oder entsprechendem Button

()

Über den „**Register**“-Button wird die gesamte Verknüpfung berechnet und die daraus resultierenden Fehler der einzelnen Passpunkte zwischen den unterschiedlichen Scanworlds und die „**Home ScanWorld**“ in **Error Vector** gezeigt (Abb.12.13) .

Registration: Registration für beiden Hallen							
Registration Edit ScanWorld Constraint Cloud Constraint Viewers Help							
Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
TargetID: 1	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 100	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	[0.001, 0.000, 0.000] m
TargetID: 4	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 100	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	[-0.001, 0.001, 0.000] m
TargetID: 28	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 100	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	[0.001, -0.001, 0.000] m
Auto [TargetID: 28 - unlab...]	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 100	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	[0.000, -0.001, 0.000] m
TargetID: 9	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 101	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.005 m	[0.003, 0.003, 0.001] m
TargetID: 22	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 101	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.022 m	[0.021, -0.007, -0.001] m
TargetID: 24	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 101	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.025 m	[0.024, 0.004, 0.000] m
TargetID: 12	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 102	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	[0.000, 0.003, 0.000] m
TargetID: 16	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 102	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	[-0.001, 0.000, 0.000] m
TargetID: 20	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 102	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	[0.000, -0.003, 0.000] m
TargetID: 61	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 103 [Leveled]	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	[0.001, 0.002, 0.000] m
TargetID: 63	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 103 [Leveled]	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	[0.000, -0.002, 0.000] m
TargetID: 36	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 103 [Leveled]	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	[-0.001, 0.000, 0.000] m
TargetID: 40	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 104 [Leveled]	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	[-0.001, 0.002, 0.000] m
TargetID: 43	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 104 [Leveled]	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	[0.001, 0.000, -0.001] m
TargetID: 60	Known Coordinates [Leveled]	ScanWorld 104 [Leveled]	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.003 m	[0.000, -0.003, 0.001] m

Abb.12.12:Fehler der TiePoint Registrierung

- Für Darstellung der Targets-Fehler in einem ModelSpace wurden alle Constraints in der **Constraint List** ausgewählt und **Registration /View Interim Results** angeklickt (Abb.12.14).

Der minimale Fehler der Registrierung der Punktwolken liegt bei 1mm und der max.Fehler bei 2,5 cm.

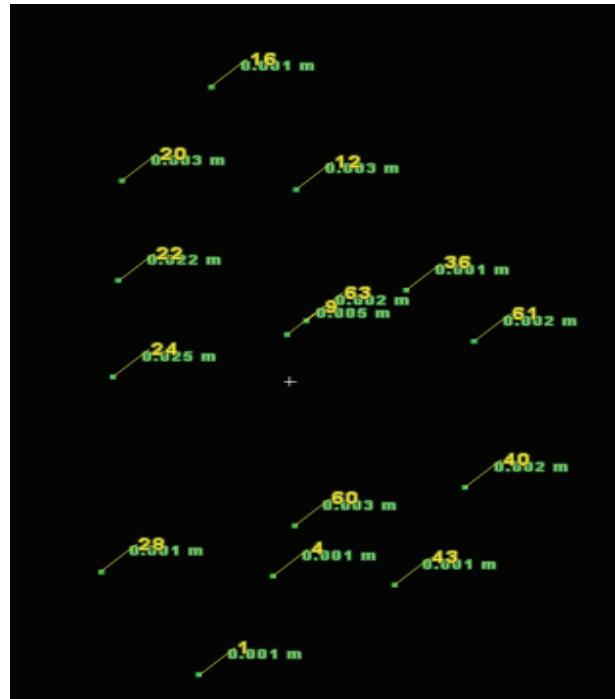


Abb.12.13:TiePoints-Fehler im ModelSpace

- Um visuell zu überprüfen, ob die Registrierung ordnungsgemäß durchgeführt wurde, wurden alle ModelSpaces in **ModelSpace Tab** ausgewählt und den Befehl **Registration /View Interim Results** geführt (Abb.12.15)

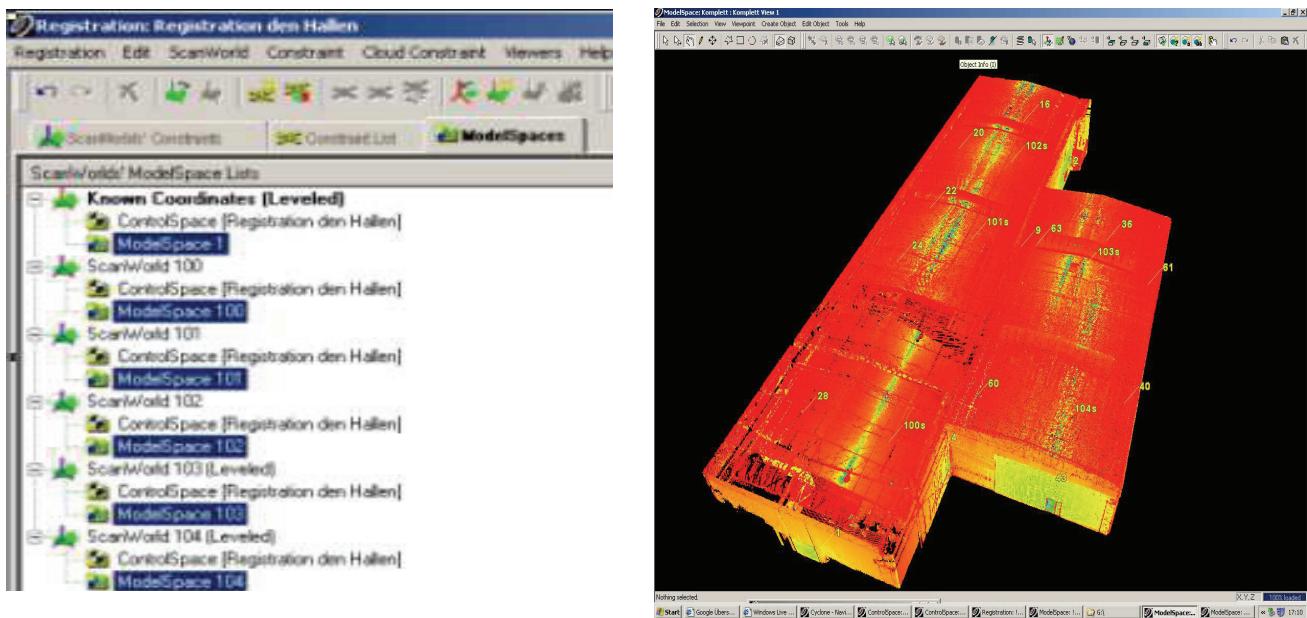


Abb.12.14: die registrierte Punktwolken über TiePoints

- Entspricht das Ergebnis den Anforderungen kann die Registrierung in eine separate Scan-World mit **Registration/CreateScanWorld/ Freeze Registration** (oder entsprechendem Button ()) übernommen werden, ist dies nicht der Fall, kann sie mit **Registration/Unfreeze Registration** (oder entsprechendem Button ()) aufgehoben, verbessert und gegebenenfalls wiederholt werden. Als Resultat einer erfolgreichen Registrierung erhält man eine vollständige Punktwolke des gescannten Objekts.[24]

12.2.3.2.2 Registration über Objektpunkte (Cloud Constraint)

Cloud Constraint können mit den gescannten sich überlappenden Bereiche zwischen zwei Punkt wolken erstellt werden. Bei der Registrierung mit Cloud Constraint, die zwei wichtigsten Faktoren ,die die Wirksamkeit der Constraint bestimmen sind:

- Die Geometrie der sich überlappende Punkte
 - Die Zahl der sich überlappende Punkte

Die Geometrie des überlappenden Punktwolken ist der wichtigste Faktor bei der Verwendung von Cloud Constraint. Zum Beispiel, Punktwolken haben eine 100% Überlappung, aber die Geometrie der Überlappung definiert nur eine einzige Ebene.

Cloud Constraint mit wenig räumlicher Definition zwischen den beiden beteiligten Punktwolken kann zu einer underconstraineden Registrierung führen.

Der zweite Faktor, der die Wirksamkeit einer Registrierung bestimmt ist die Zahl der sich überlappenden Punkte. Je höher die Anzahl der Punkte, die sich überlappen ,desto genauer sind die Cloud Constraints werden. Beide Faktoren bereits erwähnt arbeiten Hand in Hand mit einander.

Ablauf der Registrierung über Objektpunkte :

- Im Navigator das Projekt (Kmplett_neu) auswählen
- Anlegen eines Registration-Ordners (<Create> <Registration>) und Öffnen
- Einlesen der zu registrierenden ScanWorlds (<ScanWorld><Add ScanWorld>)
 - oder entsprechender Button ()
- Setzen der sogenannten **”Home-ScanWorld“** (Bezugskoordinatensystem), auf die alle anderen transformiert werden (<Scan World><Set Home Scan World>) oder entsprechenden Button ()
- Es muss aber vorab bestimmt werden, welche ScanWorlds sich teilweise überdecken, damit dann der **„Cloud Constraints Wizard“** nacheinander die ControlSpaces der jeweiligen Paare in den beiden **„Constraint Viewer’s“** anblendet .



Abb. 12.15: Cloud Constraints Wizard

Der **Cloud Constraints Wizard** ist eine Reihe von Dialogen, die den Benutzer zur Schaffung einiger Cloud Constraints führen.

Der größte Vorteil der Nutzung Cloud Constraints Wizard lässt sich am besten realisiert bei der Arbeit mit vielen ScanWorlds, die mit Cloud Constraints Zusammenhängen.

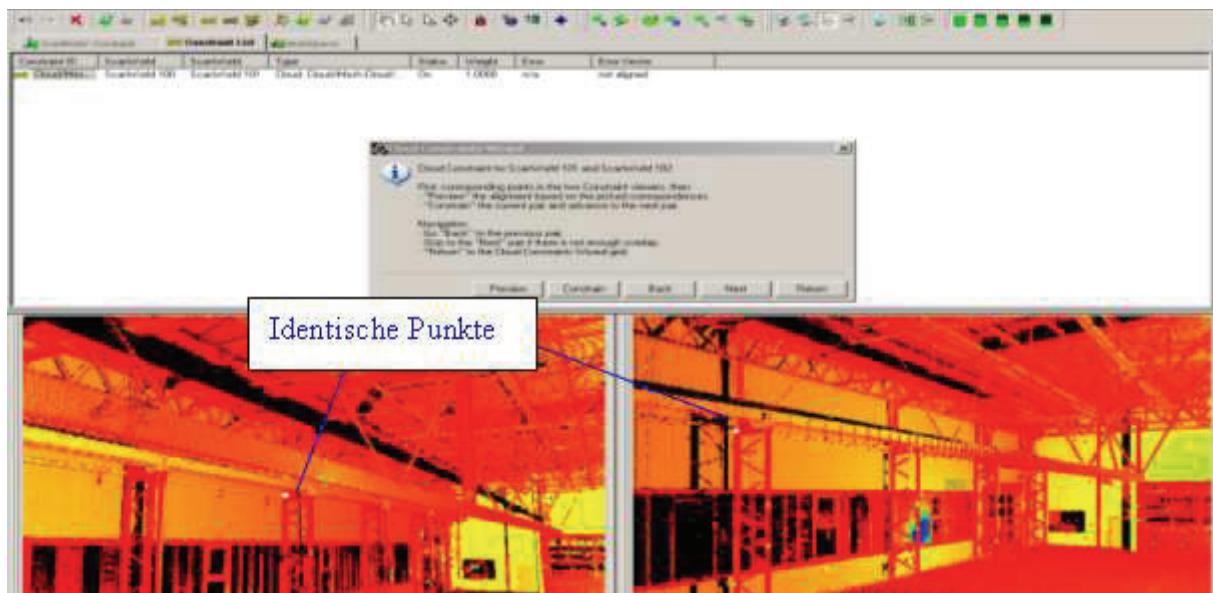


Abb.12.16: Auswahl von identischen Punkten

- Um Cloud Constraint zu erstellen, soll der Benutzer in jedem ControlSpace-Paar drei entsprechenden Punkte markieren, es ist am besten und leichtesten Punkte auf einer Ecke, Kreuzung, zu wählen oder ein besonderes Merkmal, das in beiden Scans erkennbar ist. Die Punkte müssen nicht genau entsprechen, eine grobe Annäherung innerhalb von 10 cm ist ausreichend. Diese Punkte sollen als Startwerte für die Berechnung dienen.
- Nachdem alle ScanWorld-Paare abgearbeitet sind, wird der „**Cloud Constraints Wizard**“ automatisch geschlossen und die Paare („**Constraint ID**“) sind in der „**Constraints List**“ aufgeführt (Abb.12.18).

Constraint ID	ScanWorld 1	ScanWorld 2	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
sc_Cloud/Mesh...	ScanWorld 100	ScanWorld 101	Cloud Cloud/Mesh/Cloud/...	On	1.0000	n/a	not aligned
sc_Cloud/Mesh...	ScanWorld 101	ScanWorld 102	Cloud Cloud/Mesh/Cloud/...	On	1.0000	n/a	not aligned
sc_Cloud/Mesh...	ScanWorld 10...	ScanWorld 10...	Cloud Cloud/Mesh/Cloud/...	On	1.0000	n/a	not aligned

Abb.12.17: Cloud Constraint

- Die Constraints müssen dann markiert werden und die Berechnung wird über „**Optimize Cloud Alignment**“ gestartet. Die Objektpunkt-Registrierung benutzt eine spezielle

Methode des ICP-Algorithmus³.

Optimize Cloud Alignment stellt sicher, dass die Punkte in ScanControl-Paar genau aufeinander abgestimmt wurden.

Diese Funktion bietet eine Möglichkeit für den Benutzer um die Genauigkeit von Cloud Constraints zu inspizieren vor die Registrierung .

- Die Betrachtung der Genauigkeit des Überlappungsbereiches erfolgt über den RMS-Wert⁴. Dieser Wert gibt gleichzeitig die Standardabweichung der Transformationsparameter wieder. Wie in Abbildung zu sehen ist, werden zusätzlich für jedes Paar ein durchschnittlicher, ein minimaler und ein maximaler Fehler angegeben.

Constraint	Scanworld	Scanworld	Function Value (sq m)	RMS (m)	Avg (m)	Min (m)	Max (m)	Point Count	Status
Cloud/Mesh 1	ScanWorld 100	ScanWorld 101	0.00016790	0.017	0.012	0.000	0.082	75066	Aligned
Cloud/Mesh 2	ScanWorld 101	ScanWorld 102	0.00011571	0.015	0.010	0.000	0.092	697433	Aligned
Cloud/Mesh 3	ScanWorld 103 (Leveled)	ScanWorld 104 (Leveled)	0.00007867	0.012	0.007	0.000	0.090	1111666	Aligned

Abb.12.18: Optimize Cloud Alignment Results

Der durchschnittliche Fehler (AVG) hat bei der Betrachtung der Genauigkeit eine geringe Bedeutung, da sich dieser Wert aus allen Fehlern ergibt. Zur Einschätzung der Registriergenauigkeit sollten zusätzlich zum RMS-Wert der minimale (MIN) und maximale (MAX) Fehler betrachtet werden

Der größte RMS-Wert von 1,7cm und ist bei der Verknüpfung zwischen den Standpunkt 100 und 101 aufgetreten. Bei der Verknüpfung zwischen Standpunkt 103 und 104 ist dagegen nur ein RMS-Wert von 1,2 cm entstanden

³ Iterative Closest Point – Algorithmus zur Zusammenführung von Punktwolken

⁴ RMS is the root mean square error of the alignment (Quadratischer Mittelwert)

If the RMS error value is in the 2cm range ,the alignment is likely to be good .

If the scene contains large smooth surfaces such as pipes or concrete bridge structures , the overlap measurement will be very good ,and the RMS may be 6mm or lower ,however , for scans of complex geometry such as a leafy tree or a field of grass , the RMS will be higher since the overlapping points may not always be from the same surface .

- Starten der Registrierung mit <**Registration**><**Register**> oder entsprechendem Button ()
- Um visuell zu überprüfen, ob die Registrierung ordnungsgemäß durchgeführt wurde, wurden alle ModelSpaces in **ModelSpace Tab** ausgewählt und den Befehl **Registration /View Interim Results** geführt (Abb.12.20)

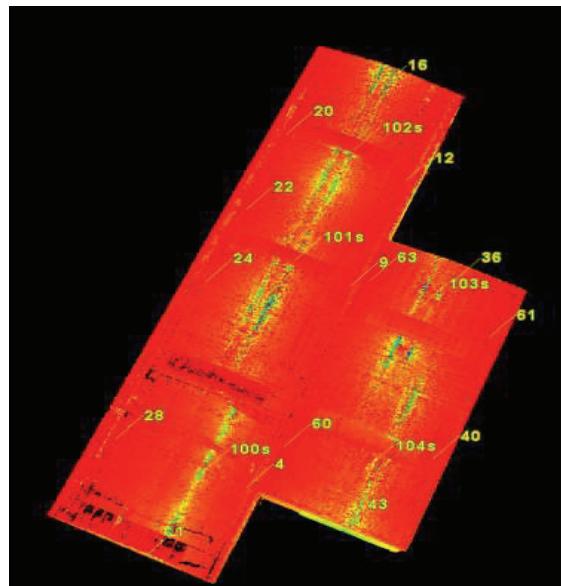


Abb.12.19: die registrierte Punktwolken über Objektpunkte

- Übernehmen der Registrierung in eine Scan World mit <**Registration**><**Create Scan World** ; **Freeze Registration**> oder entsprechendem Button ()
- Verwerfen oder Aufheben der Registrierung mit <**Registration**><**Unfreeze Registration**> oder entsprechendem Button ()

Der Erfolg dieser Form der Verknüpfung hängt stark von der Größe des zwingend erforderlichen Überlappungsbereichs der Punktwolken und von der Güte, mit der sich die Umgebung der markierten Punkte korrelieren lässt, ab.[24]

13 Beschreibung der Modellierung

Grundlegend kann die Modellierung mit dem Cyclone- Programm nach verschiedenen Lösungsansätzen realisiert werden:

I. Modellierung mit Patch Methode

Patch meint die Umwandlung der Punktfolge in eine ausgleichende planare Ebene.

Die Punktfolge einer Ebene sollen markiert werden dann **Create Objekt /Fit To Cloud/Patch**. So wurden die Wände ,Fußboden und die Dächer der beiden Hallen modelliert .

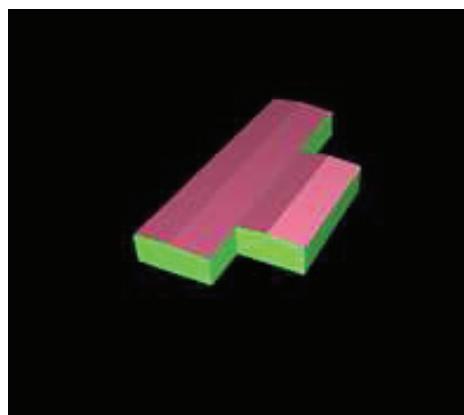


Abb. 13.1: die modellierte Hallen mit Patch Methode

II. Modellierung mit geometrischen Figuren

Mit Hilfe von vordefinierten Modellierungsalgorithmen können mit der „**Fit To Cloud**“-Funktion geometrische Körper (Zylinder, Kegelstumpf, Quadrate usw.) aus einer Punktfolge generiert werden. Ermöglicht wird dies durch die Methode der kleinsten Fehlerquadrate. Bei dieser Modellierungsmethode ist darauf zu achten, dass wirklich nur die Punkte ausgewählt werden, welche für das zu schaffende Objekt wichtig sind .

Bei der schon beide erwähnte Modellierungsmethode stellte sich die Verbindung einzelnen Objekten ,Flächen aber als sehr schwierig heraus. So konnten die Flächen nicht miteinander verbunden werden. Es kam jedoch zu weniger Abstürzen und zu keiner Verzögerung beim Drehen und Zoomen .

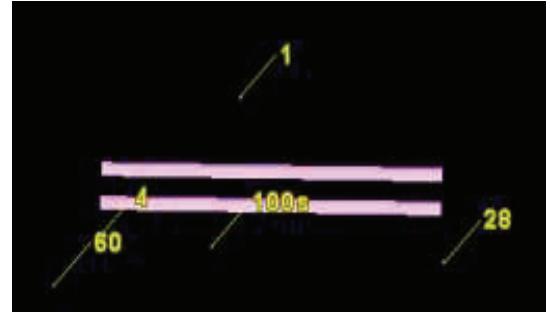
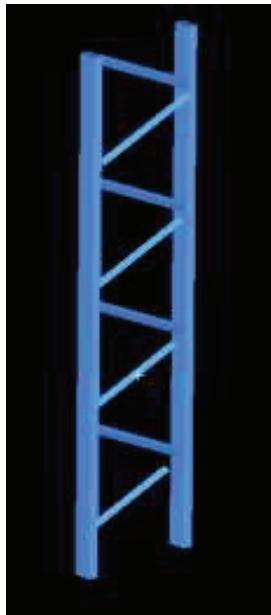


Abb.13.2:modellierte Stütze und Brückenkran nach geometrischen Figuren

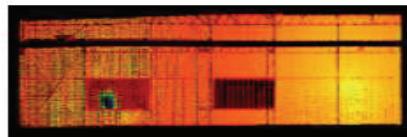
III. Modellierung mit Vermaschung :

Meshes entstehen durch eine Dreiecksvermaschung der Punktwolke. Aufgrund der Aneinanderreihung der einzelnen Dreiecke entsteht der Eindruck einer virtuellen Oberfläche. Das Programm Cyclone unterscheidet drei Arten der Vermaschung:**Basic Mesh, complex Mesh und TIN Mesh.**

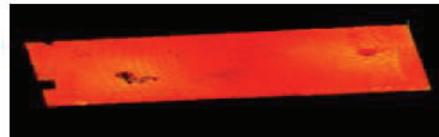
- 1) **Basic Meshing:** Hierbei werden Maschen in Messrichtung erzeugt.
- 2) **Complex Meshing:** Hierbei werden Maschen aus drei angrenzenden Punkten erzeugt, die auf gleiche Ebene liegen.
- 3) **TIN Meshing (Triangulated Irregular Network of lines):** Hierbei werden Maschen aus drei angrenzenden Punkten erzeugt, die sich nicht an die gleichen horizontalen Richtung teilen (Maschen werden senkrecht zur Messrichtung erzeugt). Die Vertikalrichtung gibt das Programm standardmäßig mit der z-Achse vor, der Nutzer kann aber auch die x- oder y- Achse als Vertikalrichtung wählen.

Basic Meshing und Complex Meshing können nicht mit mehr als einem Punktwolke durchgeführt werden, wenn es mehrere ausgewählten Punktwolken vorhanden sind, ist nur die TIN Meshing verfügbar.

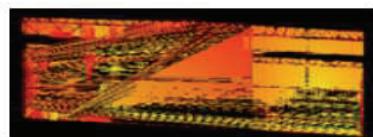
Die Vermaschung ist eine gute Möglichkeit zur Visualisierung von komplexen Oberflächen (zu hohen Punktzahl) und zur Berechnung von Volumen. Meist ist es nötig die, aus der Vermaschung entstandenen Oberflächen nach zu bearbeiten um fehlerhafte Dreiecke (spikes) zu entfernen oder fehlende Dreiecke (holes) zu erzeugen.



Punktwolke von einer Wand



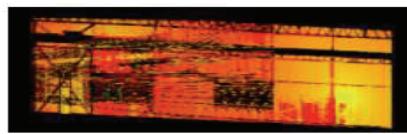
Punktwolke kleine Halle-Fußboden



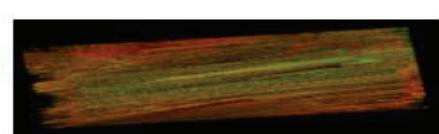
eine Wand mit Basic Mesh



kleine Halle-Fußboden mit Basic Mesh



eine Wand mit Complex Mesh



kleine Halle-Fußboden mit Complex Mesh

Abb.13.3: eine Wand ,ein Fußboden mit Basic und Complex Mesh



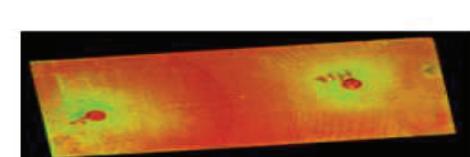
eine Wand mit patch -Methode



kleine Halle-Fußboden mit Patch-Methode



eine Wand mit TIN Mesh



kleine Halle-Fußboden mit TIN Mesh

Abb.13.4: eine Wand ,ein Fußboden mit Patch und TIN Mesh

Die Fußboden und die Dächer von beiden Hallen konnten nur mit der TIN-Methode vermascht und modelliert werden ,die Löcher ,die nach dem Löschen von Störpunkten entstanden wurden,wurden automatisch mit dieser Methode geschlossen .

Hingegen konnten die Wände mit der Basic-Methode und der Complex-Methode modelliert werden. Wie in **Abbildung 13.3** zu sehen ,die Complex Mesh Methode hat mehr Detailierungsgrad im Vergleich zur Basic Mesh Methode .

Bei den Vermischungen zeigten sich einige Probleme. Zum einen kam es nach der Erstellung einer Vermischung beim Drehen und Zoomen zu Verzögerungen, was das Bearbeiten erheblich erschwerte. Zum anderen neigte Cyclone dazu, bei der Erstellung von Vermischungen abzustürzen. [24]

IV. Weiterverarbeitung von Modellen mit SketchUp

Die Punktfolge(z.B die Punktfolgen von einer Stütze) oder die schon mit geometrische Figuren modellierten Hallen wurden als dxf Datei in eine SketchUp-Software importiert .

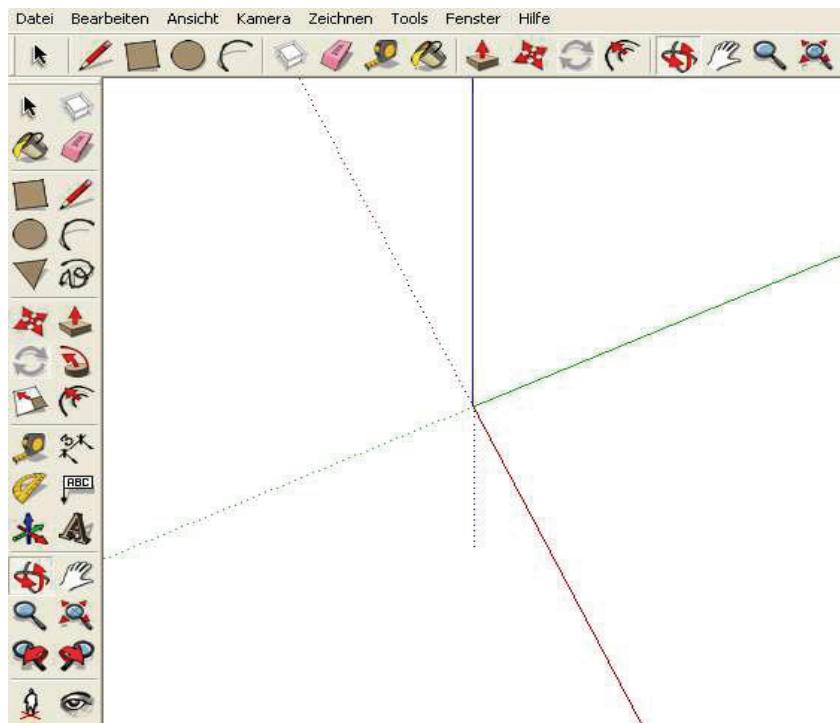


Abb.13.5: SketchUp-Fenster

SketchUp-Software arbeitet sehr ähnlich wie AutoCAD. Die Datenmenge werden erheblich reduziert um Weiterverarbeitung zu ermöglichen (Verbindung von zwei Flächen, Generierung von Grundriss, 3D-Modelle,etc) .

Ein Grundriß von den Hallen hätte die Arbeit mit Sketchup sehr geholfen ,aber leider konnte diese Grundriß nicht besorgt werden ,was die Arbeit sehr erschwerte .

Nach sehr intensiv Zeitaufwand konnten die beiden Hallen modelliert werden

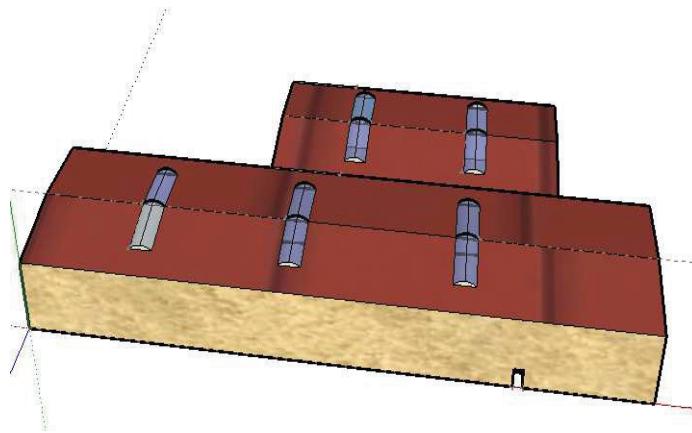


Abb.13.6:die modellierte Hallen mit SketchUp

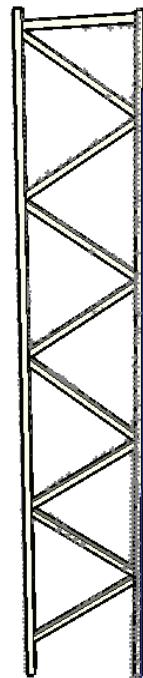


Abb.13.7:Modellierte Stütze mit SketchUp

14 Fazit

In den letzten Jahren hat sich die Laserscanning-Technologie stark entwickelt und ist momentan daran, sich vollständig in die Welt der Vermessung zu integrieren. Neben Faktoren wie Zentrierung, freie Stationierung und Messung von Anschlussrichtungen werden einerseits Entwicklungen im Bereich der Genauigkeitssteigerung, Steigerung der Messdistanz und Senkung der Investitionskosten erfolgen und andererseits wird versucht, die momentan häufig sehr aufwändige Prozessierung der Punktfolge zu verbessern. So werden in näherer Zukunft sicherlich auch Entwicklungen in Richtung «Sensor Fusion» von Tachymetrie und terrestrischem Laserscanning stattfinden. Ein mögliches Resultat wird der scannende Tachymeter sein. Dies entspricht einem Tachymeter mit einer aufsetzbaren Scan-Einheit. Beim HDS6000 konnte festgestellt werden, dass ab einer Strecke von 79 m Fehler stark zunehmen, da der Eindeutigkeitsbereich der Streckenmessung überschritten ist.

Der Vergleich der Registrierungen über Pass- und Objektpunkte ergab keine großen Abweichungen zwischen den ermittelten Koordinaten. Somit ist das Anbringen von Passpunkten am Objekt nicht zwingend notwendig. Zeit und Kosten können dadurch gespart werden.

Um 3D-Laserscanning noch wirtschaftlicher in den verschiedensten Bereichen einsetzen zu können, sollten zukünftig das Verhältnis eins zu zehn des Zeitaufwandes zwischen der Datenaufnahme und der Datenaufbereitung stark verringern.

15 Abbildungsverzeichnis

Abb.3.1:	Wellenlänge	4
Abb 4.1:	Prinzip der Distanzmessung mit Lichtimpulsen	7
Abb 4.2:	Prinzip der Distanzmessung mit Phasenvergleichsverfahren	8
Abb 4.3:	Aufbau eines Triangulationsentfernungsmessers	10
Abb 5.1:	Strahlungsquellen	11
Abb 5.2:	Prinzip des Lasers	14
Abb 5.3:	Absorption	15
Abb 5.4:	spontane Emission	16
Abb 5.5:	Arten von Interferenz	17
Abb 5.6:	kohärente , inkohärente Wellenzüge	18
Abb 5.7:	räumlich und zeitliche kohärente Welle	18
Abb 5.8:	Strahldivergenz.....	20
Abb.5.9-1:	Retroreflexion	21
Abb 5.9-2:	Reflexionsarten	22
Abb 5.10:	Spektrale Reflektanz einiger Spiegelmaterialien	24
Abb 5.11:	Einfluss der Rauigkeit auf die reflektorlose Entfernungsmessung.....	24
Abb 5.12:	Einfluss der Farbpigmenten.....	24
Abb 5.13:	Reflexionsflächen im Zusammenhang mit der Strahldivergenz.....	25
Abb 5.14:	Ausrundungseffekt bei der reflektorlosen Entfernungsmessung.....	25
Abb 6.1:	Tachymetrisches Verfahren.....	29
Abb 6.2:	Messung mit Kanalmessstab.....	30
Abb 6.3:	Messverhalten an Kanten.....	32
Abb 6.4:	Prinzip der Stereo-/Mehrbildphotogrammetrie.....	34
Abb 7.1:	Prinzip 1D-Laserscanner.....	39
Abb 7.2:	Prinzip 2D-Laserscanner.....	40
Abb 7.3:	Prinzip 3D-Laserscanner	40
Abb 7.4:	Beispiel 3D-Punktwolke.....	41
Abb 8.1:	Koordinatensysteme GLCS, PRCS und mehrere SOCS.....	42
Abb 9.1:	Rasterpunktadnung des Laserscannings.....	43
Abb 9.2:	Das Abtastsystem über ein Planspiegel.....	44
Abb 9.3:	Klassifikationen von Laserscannern nach Sehfeld.....	45

Abb 9.4:	Strahldivergenz und Auflösung	49
Abb 9.5:	Zusammenspiel von Schrittweite und Spotgröße.....	49
Abb 9.6:	weitere Laserscanner	53
Abb 10.1:	Leica ScanStation und Zubehör.....	55
Abb 10.2:	Instrumentenbestandteile	59
Abb 10.3:	Sehfeld (FoV).....	60
Abb. 10.4:	vertikale Scan-Zeile.....	60
Abb.12.1:	Übersicht Targets.....	67
Abb.12.2:	Aufnahmestandpunkte ,Passpunkte , koordinatensystem	67
Abb.12.3:	Targets an die Wand , Stütze	68
Abb.12.4:	Cyclone Navigator	71
Abb.12.5-1:	ScanControl Benutzeroberfläche ,Teil1	73
Abb.12.5-2:	ScanControl Benutzeroberfläche ,Teil2.....	74
Abb.12.6:	AcquireTargets Fenster	77
Abb.12.7:	Punktwolke der ScanWorld 100s.....	78
Abb.12.8:	eine bereinigte Punktwolke.....	79
Abb.12.9:	Darstellung der beiden Hallen.....	80
Abb.12.10:	Registration- Fenster.....	80
Abb.12.11:	Constraint-List.....	81
Abb.12.12:	Fehler der TiePoint Registrierung	82
Abb.12.13:	TiePoints-Fehler im ModelSpace.....	82
Abb.12.14:	die registrierte Punktwolken über TiePoints.....	83
Abb.12.15:	Cloud Constraints Wizard.....	84
Abb.12.16:	Auswahl von identischen Punkten	85
Abb.12.17:	Cloud Constraint.....	85
Abb.12.18:	Optimize Cloud Alignment Results.....	86
Abb.12.19:	die registrierte Punktwolken über Objektpunkte.....	87
Abb.13.1:	die modellierte Hallen mit Patch Methode	88
Abb.13.2:	modellierte Stütze und Brückenkran nach geometrischen Figuren.....	89
Abb.13.3:	eine Wand ,ein Fußboden mit Basic und Complex Mesh	90
Abb.13.4:	eine Wand ,ein Fußboden mit Patch und TIN Mesh	90
Abb.13.5:	SketchUp-Fenster.....	91

Abb.13.6: die modellierte Hallen mit SketchUp.....	92
Abb.13.7: Modellierte Stütze mit SketchUp.....	92

16 Tabellenverzeichnis

Tab.3.1: Albedowerte verschiedene Oberflächen	5
Tab.5.1: Reflexionskoeffizienten für spiegel- und retroreflektierende Materialien bei einer Wellenlänge von 0.9 μm	22
Tab.5.2: Reflexionskoeffizienten für diffus reflektierende Materialien bei einer Wellenlänge von 0.9 μm	23
Tab.5.3: Laserklassen.....	26
Tab.6.1: Vor- und Nachteile der Methoden der Bauwerksaufnahme.....	35
Tab.9.1: Klassifikationen von Laserscannern nach Distanzmessprinzip und Reichweite.....	46
Tab.9.2: Datenmenge und Übertragungszeit bei steigender Punktanzahl.....	48
Tab.9.3-1: Geräteübersicht-Terrestrische Laserscanner	50
Tab.9.3-2: Geräteübersicht-Terrestrische Laserscanner	51
Tab.9.3-3: Geräteübersicht-Terrestrische Laserscanner	52
Tab.10.1: HDS 2500 , HDS3000.....	56
Tab.10.2: Masse & Gewicht.....	57
Tab.10.3: Eigenschaften des HDS6000.....	58
Tab.10.4: Laserklasse 3R.....	59
Tab.10.5: Auswahl der Auflösungsstufe	61
Tab.10.6: Laptop (Computer) zum Scannen.....	61
Tab.10.7: Temperaturbereich des HDS6000.....	62
Tab.12.1: Ausgelesene Standpunkten- und Targetskoordinaten	68

17 Quellenverzeichnis

- [1] www.lverma.nrw.de/produkte/dienstleistung/eichungen/Tachymeter/images/EDM_Glossar.pdf
- [2] <http://de.wikipedia.org/wiki/Wellenl%C3%A4nge>
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Albedo>
- [4] <http://home.arcor.de/kuschelweich/doku/prinzip.html>
- [5] http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_geowissenschaften/gi/gg/lehre/vk2/vk2_3vor/scripte/3_phasenvergleichsverfahren_teil_1.pdf
- [6] Witte, B.; Schmidt, H.: Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik f"ur das Bauwesen, 5.Auflage, Heidelberg: H. Wichmann Verlag 2004 .
- [7] http://www.ipf.tuwien.ac.at/diplomatheses/da_jk_06.pdf
- [8] http://www.iap.uni-bonn.de/P2K/TOC__Full.html
- [9] http://de.wikipedia.org/wiki/Interferenz_%28Physik%29
- [10] http://de.wikipedia.org/wiki/Koh%C3%A4renz_%28Physik%29
- [11] <http://de.wikipedia.org/wiki/Polarisation>
- [12] http://www.ipf.tuwien.ac.at/diplomatheses/da_jk_06.pdf
- [13] <http://www1.tu-darmstadt.de/fb/bi/geod/gi/sonstiges/publikationen/diplomarbeiten/jahr2004/palombal/palombal.htm>

- [14] http://easybot.htw-dresden.de/Publications/diploma_vetter.pdf
- [15] http://www.ipf.tuwien.ac.at/diplomatheses/da_jk_06.pdf
- [16] Kuchling, H.: Taschenbuch der Physik, 16. Auflage, Leipzig: Fachbuch Verleih 1999.
- [17] Bethge, K.: Schüler Duden. Physik, 3. Auflage, Mannheim: Dudenverlag 1997.
- [18] Kern, F.: Automatisierte Modellierung von Bauwerksgeometien aus 3D-Laserscanner- Daten, Braunschweig: Technische Universität 2003.
- [19] www.leica-geosystems.com
- [20] Leica ScanStation/HDS3000 User Manuel, Version 2.0 English
- [21] http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/ndef/lgs_3490.htm
- [22] Leica HDS6000 Gebrauchsanweisung , Version 1.0 Deutsch
- [23] Luhmann, T.: Photogrammetrie und Laserscanning. Anwendung für As-Built-Dokumentation und Facility Management, Heidelberg: H. Wichmann Verlag 2002.
- [24] HDS TRAINING MANUAL
- [25] http://www.leica-geosystems.com/hds/en/lgs_5570.htm
- [26] <http://www.carlo-lessel.de/scanner.htm>
- [27] http://www.geomatik.ch/fileadmin/download/2006/Fach/FA_8_2006_1.pdf
- [28] http://www.leica-geosystems.com/corporate/de/ndef/lgs_64228.htm

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen meiner Masterarbeit beigetragen haben. Speziell meiner Betreuer Herrn Prof. Dr. W.Heger und Prof. Dr. -Ing. H. - J. Larisch, für ihre professionelle und geduldige Unterstützung. Sowie für ihre anregenden und hilfreichen Kommentare. Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Yosef ,Kiskemper,Sylla für ihre aktive Hilfe und ihren zuverlässigen Beistand.

Selbständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Masterrarbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form weder veröffentlicht, noch einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Ayman Ajlani

Neubrandenburg, den 27. November 2008