



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Studiengang Geoinformatik

**3D-Visualisierung vom Skansenløpet-Tunnel mit
Google SketchUp
Von der begleitenden bautechnischen Vermessung
zum 3D-Modell im Internet**

Bachelorarbeit

vorgelegt von: *Draber Thomas*

Zum Erlangen des akademischen Grades

„Bachelor of Engineering“ (B.Eng.)

Erstprüfer: Dipl.-Inform. Jörg Schäfer

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. (FH) Michael Hutton

Bearbeitungszeitraum: 12.Januar 2009 bis 9.März 2009

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2008-0279-6

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Bachelorarbeit ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Neubrandenburg, den

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	5
1.1.	Motivation und Ziel der Bachelorarbeit	5
2.	Projekt „Skansenløpet-Tunnel“	6
2.1.	Beschreibung der Baumaßnahme	7
2.2.	Beschreibung des Bauverfahrens.....	8
2.3.	Begleitende bautechnische Vermessung.....	10
2.3.1.	Beweissicherungsvermessung	10
2.3.1.1.	Brückenmonitoring.....	11
2.3.2.	Erweiterung des Festpunktfeld	12
2.3.3.	Grob- und Feinabsteckung der Trasse	13
2.3.4.	Absteckung der Wandgeometrie	13
2.3.5.	Einrichten des Schalwagens.....	14
2.3.6.	Messung des Grundwasserspiegels.....	15
2.3.7.	Kontrollvermessung und Dokumentation.....	15
3.	Grundlagen.....	16
3.1.	Koordinaten und Koordinatensystem.....	17
3.1.1.	Vergleich UTM-System und 3°-Gauß-Krüger-System	18
3.1.2.	NN1954 und NGO1948	19
3.1.3.	ETRS89	21
3.2.	Daten	22
3.2.1.	DXF, DWG und GSI-Daten.....	23
3.3.	3D-Modell.....	25
3.3.1.	Mögliche Zielgruppen und ihre Anforderungen.....	26
3.4.	Google SketchUp.....	28
3.4.1.	Besonderheiten von Google SketchUp 6 und Google SketchUp Pro 6.....	29
3.4.2.	Google Earth.....	32

4.	3D – Tunnelmodell	33
4.1.	Anforderungen an das 3D-Tunnelmodell	34
4.2.	Manuelle Verarbeitung der Daten in Google SketchUp	36
4.2.1.	Verarbeitung der Koordinaten und Konstruktion durch Maßketten.....	37
4.2.2.	Erzeugung der Wandgeometrie	38
4.2.3.	Konstruktion der Außenhülle	39
4.2.4.	Konstruktion der Straße und des Gehwegs.....	41
4.2.5.	Graphische Gestaltung der Oberfläche	42
4.2.6.	WINK-Tutorial	43
4.3.	Darstellung im Internet.....	44
4.3.1.	Sicherheitsaspekte	45
4.3.2.	Interaktives 3D-PDF-Dokument.....	47
4.3.3.	Einbindung in die Google 3D-Galerie	49
4.3.4.	Positionierung des 3D-Modells in Google Earth mit SketchUp.....	51
4.4.	Einsatz und Ausblick des 3D-Tunnelmodells	53
4.4.1	Präsentationsmodell für Kunden.....	54
4.4.2	Einbindung in 3D-Navigationssystemen	55
5.	Automatisierte Verarbeitung von Daten in Google SketchUp.....	56
5.1.	Importieren von Dateien im DWG-/DXF-Format	56
5.2.	Ruby-Skripte	62
6.	Zusammenfassung und Fazit	63
7.	Glossar	65
8.	Abbildungsverzeichnis.....	68
9.	Tabellenverzeichnis.....	69
10.	Liste der benutzten Abkürzungen.....	70
11.	Quellenverzeichnis	71
12.	Anhang	76

1. Einleitung

1.1. Motivation und Ziel der Bachelorarbeit

Bereits im 19. Jahrhundert hat die Speicherung von optischen Informationen einen Anstoß durch die Erfindung der Fotografie und des Films erfahren. Im 20. Jahrhundert eröffnete die Bildkommunikation durch die starke Entwicklung der elektronischen Technologie (Fernsehen, Video- und Computertechnik) neue Möglichkeiten.

Die 3D-Visualisierung (dreidimensionale Veranschaulichung) bezeichnet die Aufbereitung von Daten und Informationen zu anschaulichen, räumlichen Körpern bzw. Objekten. Diese 3D-Modelle dienen nicht nur als einfache Darstellung (z.B. Illustration), sondern auch als Kommunikationsmittel zwischen dem Entwickler und Kunden. [8]

In der vorliegenden Bachelorarbeit wird am Beispiel der Baumaßnahme „Skansenløpet-Tunnel“ eine dreidimensionale Veranschaulichung des Bauwerks mit dem „Level of Detail 3“ vorgenommen. Die Visualisierung erfolgt mit der freizugänglichen Designsoftware Google SketchUp. Durch die manuelle Verarbeitung von Daten aus technischen Zeichnungen, mit Bezug zur bautechnischen Vermessung und deren Beschreibung, wird die Veranschaulichung realisiert. Alternativ widmet sich ein Kapitel der automatisierten Visualisierung mit SketchUp. Um ein möglichst breites Publikum zu erreichen, erfolgt die Darstellung des 3D-Tunnelmodells im Internet. Zielgruppen könnten zukünftige Studenten der Hochschule Neubrandenburg sein. Die Arbeit kann auch anderen Studenten als Anregung für fortführende wissenschaftliche Arbeiten dienen.

Ziele der vorliegenden Arbeit:

- Überblick über das Bauvorhaben des „Skansenløpet-Tunnel“
- Überblick über die begleitende bautechnische Vermessung während der Baudurchführung „Skansenløpet-Tunnel“
- Vorstellung der verwendeten Software
- Überblick zum Thema „3D-Modelle“
- Technische Baupläne mit Google SketchUp erfassen
- Tutorial mit der Bildbearbeitungssoftware WINK zur Erstellung eines 3D-Gebäudemodells mit Google SketchUp
- Verarbeitungsalternativen für Daten in Google SketchUp
- Zusammenfassung und Fazit

2. Projekt „Skansenløpet-Tunnel“

Mit mehr als 165.000 Einwohnern ist Trondheim, nach Oslo und Bergen, die drittgrößte Stadt Norwegens. Durch die geographische Lage nimmt sie eine besondere Position als Verkehrs- und Handelsknotenpunkt zwischen dem Norden und dem Süden des Landes ein. Zum einen verläuft die Autobahn E6 als Hauptverkehrsweg durch diese Region und das Stadtzentrum, und zum anderen hat Trondheim eine wichtige Rolle als Hafenstadt für den nationalen und internationalen Schiffsverkehr. Zusätzlich sorgt die Anbindung an das Eisenbahnnetz und der ca. 35 km östlich entfernte Flughafen Trondheim Værnes für weitere Verkehrsbelastungen. Durch den daraus resultierenden Schmutz und Lärm ist die Innenstadt besonders betroffen.

Um eine Entlastung zu erreichen, wird im Rahmen des „E6 North Relief Road Projects“ eine Umgehungsstraße entlang der Hafengebiete Ila, Brattøra und Nyhavna gebaut. (s. Abb. 1)



Abb. 1: Rote Markierung → E6 North Relief Road Project [1]

2.1. Beskrivelse der Baumaßnahme

Die Bilfinger Berger AG ist als Generalunternehmer mit dem Bau des „Skansenløpet-Tunnel“ in Trondheim beauftragt. Die Baumaßnahme wird im Rahmen der Umgehungsstraße E6 ausgeführt und kreuzt einen Schifffahrtskanal, den Skansenkanal. Die Trassenführung verläuft im unmittelbaren Bereich anstehender Bebauung (Wohn-, Industriegebäude, Brücke). Im östlichen Bereich durchfährt das Bauwerk die im Zuge der Baumaßnahme hergestellte Aufschüttung (Aushubmaterial der westlichen Baugruben). [2]

Der Tunnel hat eine Länge von 720m. Diese setzt sich aus 215 m Ost- und Westrampe, als Ein- und Ausfahrt, und 505 m Tunnel zusammen (s. Abb. 2). Desweiteren ist das Bauwerk in sechs Baugruben („Byggegropp“) eingeteilt, welche ursprünglich die Reihenfolge der Arbeiten verdeutlichen sollen. Das besondere an diesem Bauablauf ist, dass er in offener Bauweise erfolgt, dem „Cut-and-Cover“ Prinzip.

Ziel dieser Maßnahme ist die Herstellung eines schlüsselfertigen, zweispurigen Straßentunnels aus Stahlbeton mit seiner technischen Ausstattung für die norwegische Straßenbaubehörde Statens Vegvesen, die bei diesem Projekt als Auftraggeber und Bauherr fungiert.

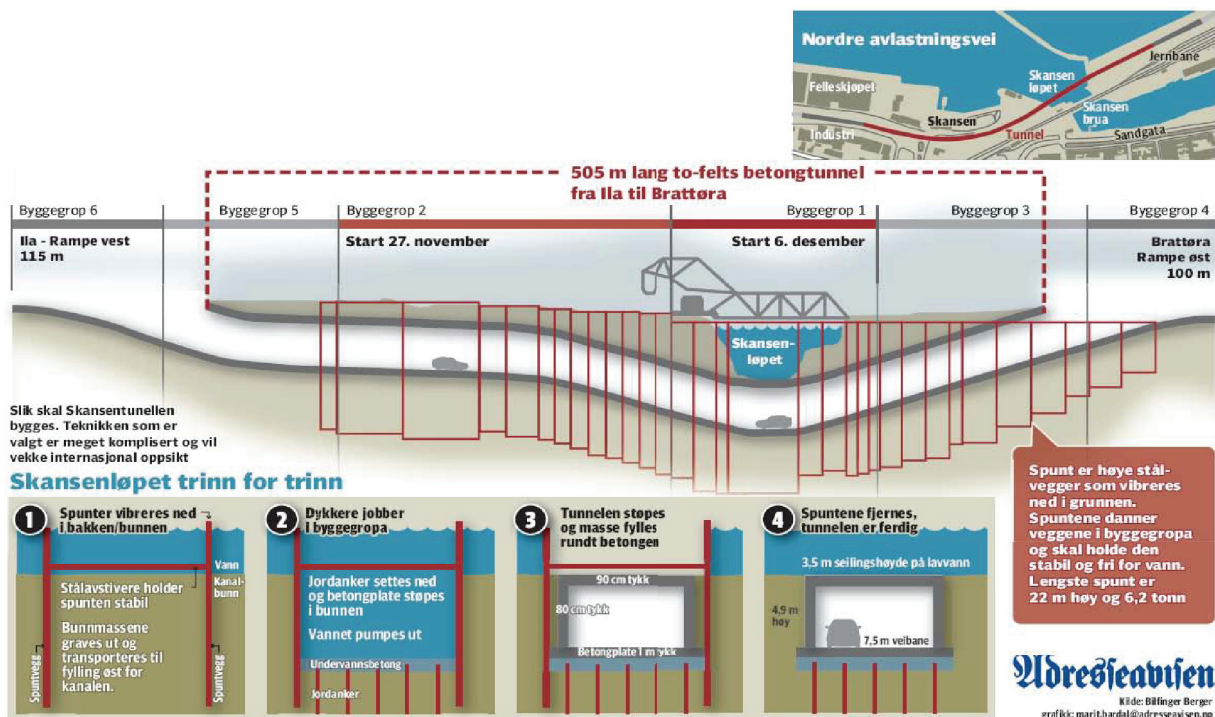


Abb. 2: Übersicht zur Baumaßnahme [1]

2.2. Beschreibung des Bauverfahrens

Die Gründe für die offene Bauweise des „Skansenløpet-Tunnel“ sind zum Einen der relativ weiche Boden und zum Anderen die geringeren Kosten als z.B. beim bergmännischen Tunnelbau (geschlossene Bauweise) mittels Bohr- und Sprengvortrieb.

Bevor das eigentliche Bauwerk errichtet wird, muss eine wasserdichte Baugrube geschaffen werden, da Grundwasser oder Meereswasser zu Baustörungen führen können. Dies erfolgt mit Hilfe von Spundwänden (s. Abb.3.a), Gurtungen und Steifen (s. Abb.3.b). Anschließend wird die Grube ausgehoben (s. Abb.3.c). Mit Einstabpfählen (s. Abb.3.d), Unterwasserbeton (s. Abb.3.e) und den Einsatz von Pumpen wird die Baugrube relativ trocken gehalten (s.S.10 Abb.4). Nachdem das Bauwerk errichtet ist (s. Abb.3.f), beginnt die Verfüllung (s. Abb.3.g) und anschließend das Entfernen der Spundwände, Gurtungen und Steifen.

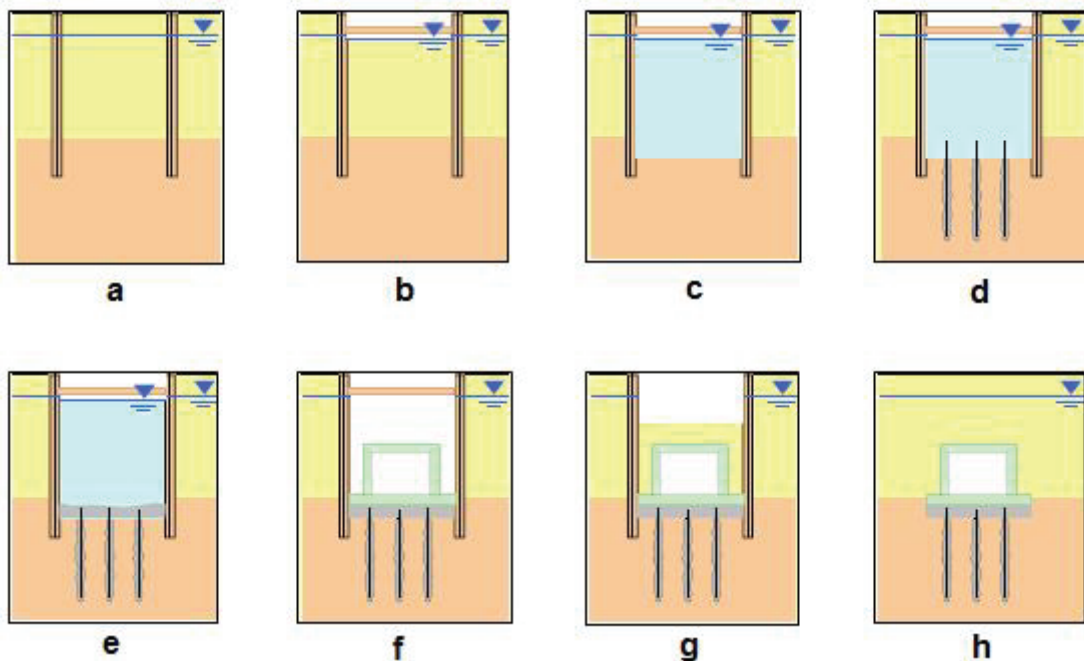


Abb. 3: Bauverlauf nach dem „Cut-and-Cover“ Prinzip



Abb. 4: Baugrube (Schritt a bis f aus Abb. 3) ohne Bauwerk [1]

I	Spundwand
II	Steife
III	Gurtung
IV	UW-Beton
V	Einstabpfahl (GEWI)

Tab. 1: Legende zu Abb. 4

Bei einem Bauwerk dieser Größe muss viel Platz geboten und geschaffen werden, um die dafür vorgesehenen Mengen an Materialien verarbeiten zu können, die den später auftretenden Belastungen durch bspw. Verkehr oder dem Auftrieb des Grundwassers standhalten müssen.

Die Hauptmassen, die während der Baumaßnahme verarbeitet bzw. ausgehoben wurden, können aus der folgenden Übersicht (Tab. 2) entnommen werden.

5.000 m	Fugenbänder
22.000 m	Einstabpfähle d=50 mm (GEWI)
23.000 m ²	Spundwand, Länge bis 21,7 m
10.000 m ³	Unterwasserbeton
26.000 m ³	Stahlbeton
70.000 m ³	Aushub
260 to	Aussteifung
360 to	Gurtung
3.000 to	Bewehrung

Tab. 2: Hauptmassen der Baumaßnahme [2]

2.3. Begleitende bautechnische Vermessung

Bei einem Bauvorhaben müssen vor, während und nach dem Bauablauf Vermessungsarbeiten vorgenommen werden.

In den folgenden Unterpunkten werden die wichtigsten Aufgaben im Wesentlichen beschrieben.

Für die eigentliche Visualisierung und Erzeugung des 3D-Modells sind die Informationen zur Feinabsteckung der Trasse für die Modellierung der Straße (Kapitel 2.3.3.), sowie die Absteckung der Wandgeometrie (Kapitel 2.3.4.) und das Einrichten des Schalwagens (Kapitel 2.3.5.) für das Erzeugen der Bodenplatten, Wände und Decken von Bedeutung, da die verwendeten Koordinaten sowohl bei der Baumaßnahme als auch bei der 3D-Visualisierung benutzt werden.

Die übrigen Unterkapitel von 2.3. spielen nur bei der bautechnischen Vermessung eine wesentliche Rolle und haben keinen Einfluss auf die Erzeugung des 3D-Modells.

2.3.1. Beweissicherungsvermessung

„Baumaßnahmen können Schäden an Bauwerken verursachen, die sich in unmittelbarer Umgebung befinden. Um eine klare Aussage treffen zu können, ob die festgestellten Schäden bereits vor Baubeginn vorhanden waren oder durch das Bauvorhaben entstanden sind ist es notwendig, vor Baubeginn eine Beweissicherung durchzuführen.“ [3]

Die bei dieser Baumaßnahme erforderliche Grundwasserabsenkung sowie Rüttel- und Verdichtungsarbeiten können bei angrenzenden Bauten (Wohn-, Industriegebäude, Brücke) zu Schäden führen, die für das ausführende Unternehmen erhebliche Mehrkosten verursachen können.

Diese Beweissicherungsvermessungen wurden auch während des Bauablaufes an den markanten Punkten durchgeführt. Die Wohn- und Industriegebäude wurden nivellitisch und das Brückenbauwerk terrestrisch überwacht.

2.3.1.1.Brückenmonitoring

Während im Bereich der Hafendurchfahrt die Spundbohlen mit Hilfe eines Vibrationsbären (Baumaschine zum Rammen und Ziehen von Spundbohlen) gezogen wurden, mussten Kontrollmessungen an der Brücke vorgenommen werden, zum Einen die horizontale und die vertikale Bewegung und zum Anderen die Schwingungen selbst an der Klappbrücke.



Abb. 5: Eisenbahn-Klappbrücke

Die Brückenüberwachung erfolgt während dieser „Zieharbeiten“ mit einem vom örtlichen Vermesser gestellten Messinstrument (Tachymeter). Bei jeder Messung wurden drei Fixpunkte mit bekannten Koordinaten für die freie Stationierung und sieben Messpunkte an der Brücke zur Überwachung der horizontalen und vertikalen Bewegung anvisiert. Um eine höhere Genauigkeit der Messwerte zu erhalten, wird in mehreren Vollsätzen gemessen. Die gemessenen Werte werden in ein GSI-Format abgespeichert und anschließend mit dem vermessungstechnischen Programm CAPLAN ausgewertet. Die erste Messung des Projekts wird als Soll-Messung betrachtet und die folgenden Messungen werden mit dieser verglichen.

2.3.2. Erweiterung des Festpunktfeld

Da es sich bei der Baumaßnahme „Skansenløpet-Tunnel“ um eine Wanderbaustelle handelt, muss auf dieser von jedem Standpunkt aus eine freie Stationierung gewährleistet sein. Um eine hohe Dichte an Festpunkten zu erhalten, werden auf der Baustelle und ggf. an umliegende Bauwerke Hilfspunkte angebracht, um ein Bezugssystem zu realisieren. Diese Hilfspunkte können bspw. Flachprismen („Reflektortapes“) oder Nivellementsbolzen sein.

Durch die ständigen Bauarbeiten (z.B. Rüttel- und Verdichtungsarbeiten) ist es nicht ausgeschlossen, dass sich die Koordinaten der Vermessungspunkte ändern. Dazu müssen die Koordinaten regelmäßig überprüft und neu bestimmt werden.

Natürliche (Bäume, Sträucher, usw.) sowie unnatürliche Hindernisse (Fahrzeuge, Baumaterialien, Schalung) aber auch die Wirtschaftlichkeit (Zeitersparnis) sind Faktoren, die für eine Verdichtung des Festpunktfeldes sprechen.

2.3.3. Grob- und Feinabsteckung der Trasse

Eine Trasse ist „eine im Gelände durch Pfähle, Schnüre, Furchen oder Ähnliches markierte Linienführung für einen Verkehrsweg (Straße, Eisenbahn, Kanal). Die Linienführung einer Straße ist durch Lage (Lageplan) und Höhe (Höhenplan) festgelegt.“ [8]

Grobabsteckung:

Bei der Grobabsteckung wird an diesem Beispiel der Verlauf der Spundwände markiert. Hierfür dienen bspw. farbige gekennzeichnete Eisenstangen oder Holzpflocke.

Feinabsteckung:

Die eigentliche Absteckung der Straße erfolgt erst, nachdem die Bodenplatten, Wände und Decken betoniert sind. Zuerst wird der Verlauf des Kantsteins (Bordstein) in Lage auf der Bodenplatte markiert. An dieser Markierung wird die Schalung für den Bordstein angebracht und auf eine vorgegebene Höhe betoniert. Nach dem Betonieren wird an der Innenseite des Kantsteins die Höhe für den Quergefällebeton angerissen. Grund für das Quergefälle ist die Kurvenlage des Straßentunnels, damit die Fahrzeuge nach Fertigstellung der Straße, aufgrund der Radialkräfte, nicht von der Fahrbahn abkommen. An der Höhe der OK-Bankett, die an der Tunnelwand markiert wird, kann sich auch beim Einbau der Schächte (z.B. Sandfänge, Wasserhydranten) orientiert werden, um im späteren Straßenbau Absätze/Stufen zu vermeiden. Durch das flächendeckende Aufmessen der OK des Gefällebetons und einem SOLL-IST-Vergleich der Höhen kann eine Aussage getroffen werden, die es ermöglicht, stellenweise zu entscheiden, ob mehr oder weniger Asphalt benötigt wird als geplant oder eventuell Abtragungen des Betons vorgenommen werden müssen, um auf die vorgegebene Höhe der OK-Asphalt nach dem Asphaltieren zu gelangen.

2.3.4. Absteckung der Wandgeometrie

Bei der Absteckung der Wandgeometrie wird die Lage der Eckpunkte der Innen- und Außenwand des Tunnelsegments bereits auf der Sauberkeitsschicht (dünne Betonschicht zwischen UW-Beton und Bodenplatte) mit Vermessungsnägeln markiert. An der Spundwand wird die Höhe der OK-Bodenplatte in der dazugehörigen Achse (Blockfuge bzw. Blockmitte) angerissen.

2.3.5. Einrichten des Schalwagens

Der Schalwagen, auch Gleitwagen genannt, ist eine zusammengebaute und zusammengekoppelte Fahr- und Schalungseinheit. Die Schalung selbst ist eine bautechnische Hilfskonstruktion aus Holz, Stahl, Aluminium oder Kunststoff, die den eingebrachten Beton bis zum Erhärten aufnimmt. Ein Schalwagen wird abschnittsweise verwendet, ist während des Betonierens fest installiert und somit unbeweglich. Besonders kostengünstig (Zeit, Material) ist der Einsatz von Gleitschalung, wenn sich der Grundriss des Bauwerks kaum oder gar nicht verändert. [6][8][9]



Abb. 6: Schalwagen beim Aufbau

Die richtige Einrichtung des Schalwagens ist eine wichtige Aufgabe im Tunnelbau. Hierfür muss dieser vermessungstechnisch in die vorgegebene Höhe gebracht und die richtige Achse für die Blockfuge angegeben werden. Der Schalwagen wird dementsprechend hoch oder runter geschraubt.

Während des Einrichtens war es nicht nötig, die Wandgeometrie vorzugeben, da diese bereits beim „Abstecken der Wandgeometrie“ (s. Kapitel 2.3.4.) abgesteckt wird.

2.3.6. Messung des Grundwasserspiegels

Während der Baumaßnahme ist es erforderlich, den Grundwasserspiegel regelmäßig und an verschiedenen Stellen zu messen, denn bei Projekten solcher Art kann bei falscher Planung und fehlerhaften Berechnungen das Bauwerk durch den Auf- bzw. Abtrieb des Grundwasserniveaus sich selbst und auch Gebäude und Bauwerke in unmittelbarer Umgebung beschädigen.

Um den Stand des Grundwassers zu bestimmen, wurden Bohrungen auf der Nord- und Südseite der Baugrube zur Errichtung von Grundwassermessstellen (Brunnen) vorgenommen, deren geographische Lage und Höhe terrestrisch bestimmt wurde. Mit Hilfe eines Kabellichtlot es wird das Level der Grundwasseroberfläche ermittelt, indem die abgelesene Länge von der Höhe der Oberkante der Messstation subtrahiert wird.

Anhand dieser Messungen, der Uhrzeit und einer Übersicht der Gezeiten kann ermittelt werden, ob der Grundwasserpegel konstant ist und sich „beruhigt“ hat.

2.3.7. Kontrollvermessung und Dokumentation

Jede vorgenommene vermessungstechnische Arbeit muss im Anschluss kontrolliert und für den Bauherren sowie das ausführende Unternehmen dokumentiert werden, um durchgeführte Vermessungen auf Fehler zu überprüfen oder sie zu einem späteren Zeitpunkt nachvollziehen zu können. Die Kontrolle der ausgeführten Arbeiten wird terrestrisch oder nivellitisch vorgenommen und im Innendienst als „AS-Built“ dokumentiert, welches den SOLL-IST-Bestand aufweist.

Die nachfolgenden Bauteile wurden flächendeckend aufgemessen. Durch Interpolation der Höhen durch die Lage wurde ein SOLL-IST-Vergleich aufgestellt:

- OK- und UK-Decke
- OK-Bodenplatte
- OK-Kantstein
- OK-Gefällebeton
- OK-Bankett
- OK-Schächte
- OK-Asphalt
- Innenwand
- Mauer der Ost- und Westrampe

3. Grundlagen

Die Koordinaten und technischen Zeichnungen des Skansenløpet-Tunnel wurden vom technischen Büro der Bilfinger Berger AG in Form von AutoCAD-, PDF- oder auch EXCEL-Dateien geliefert. Sie beziehen sich auf das „Trondheim lokal nett“ und werden ebenfalls für die 3D-Visualisierung benötigt.

Die gelieferten Koordinaten werden in ein vermessungstechnisches Programm (z.B. CAPLAN) übertragen und als GSI-16-Format (s. Kapitel 3.2.1.) abgespeichert. Das Tachymeter TCRP 1201 und das Digitalnivellier Leica DNA03, welche bei dieser Baumaßnahme als Vermessungsinstrumente dienten, sind in der Lage, GSI-16-Daten zu importieren und exportieren.

3.1. Koordinaten und Koordinatensystem

Koordinatensysteme dienen zur Positionsangabe von Punkten in einer Ebene bzw. in einem Raum und werden durch die Koordinaten (Zahlenwerte) eindeutig definiert. Die Zahlenwerte können bei der Ebene durch zwei Längenmaße, zwei Winkel oder ein Längenmaß und einen Winkel angegeben werden. Im Raum ist es ein Längenmaß bzw. Winkel mehr, da im Raum die Höhe als Positionsangabe dazu kommt. Für die Bestimmung von Koordinaten ist jedoch ein Bezugssystem notwendig, welches das geodätische Datum der Lage (Lagerung des Bezugsellipsoiden zum Erdkörper) und dementsprechend eine dazugehörige Abbildungsvorschrift (definierte Ersatzfläche der Erdoberfläche) voraussetzt. Mit Hilfe einzelner Punkte ist es möglich, geometrische Objekte zu beschreiben.

Es gibt unterschiedliche Koordinatensysteme, die allgemein in geradlinige (z.B. kartesische Systeme) und krummlinige Koordinatensysteme (z.B. mit räumlichen Polarkoordinaten) unterschieden werden. Durch Transformationen mit Hilfe verschiedener Parameter ist es aber auch möglich, einen Punkt in verschiedenen Systemen darzustellen. [11]

In Kapitel 3.1.1. werden im Wesentlichen die Gemeinsamkeiten und Unterschiede (Tab. 3) am Beispiel der kartesischen Systeme UTM (Universal Transversal Mercator) und des 3°-Gauß-Krüger-Systems aufgezeigt.

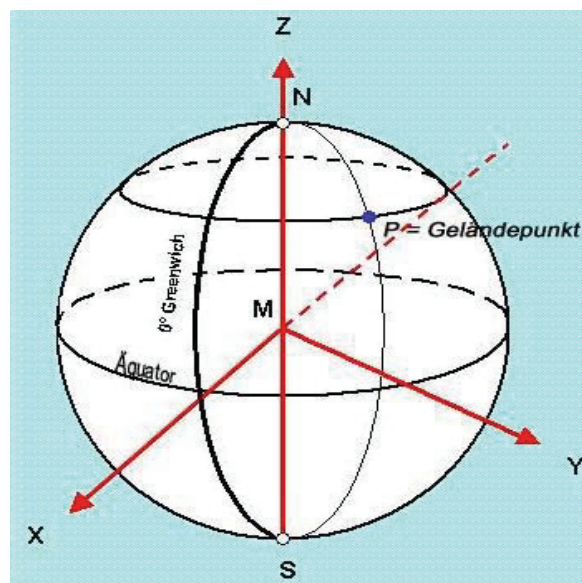


Abb. 7: Globales Koordinatensystem (X;Y;Z) [27]

3.1.1. Vergleich UTM-System und 3°-Gauß-Krüger-System

Gemeinsamkeiten [12]:

- Kartesische Koordinaten
- in Meridianstreifen geteilt
- nicht längentreu (Strecken in Karten sind länger)
 - unterschiedliche Flächenverzerrung
- winkeltreue Abbildungen (konform)
- beziehen sich auf einen Ellipsoiden
- in Ebene abgebildet
- querachsige Zylinderprojektion

Unterschiede:

UTM Koordinatensystem	3°-Gauß-Krüger-Koordinatensystem
Ellipsoid wird in 6° Streifen geteilt, Mittelmeridian (λ_0) wird mit dem Maßstabfaktor 0,9996 abgebildet, 2 längentreue Berührungsmediane, Zone = $(\lambda_0 + 3^\circ) / 6^\circ + 30$	Ellipsoid wird in 3° Zonen (Kz) eingeteilt, Mittelmeridian (λ_0) wird längentreu abgebildet Kz = $(\lambda_0 / 3^\circ)$
Ellipsoid: Hayford	Ellipsoid: Krassowski oder Bessel
Easting E E = Abstand vom Mittelmeridian + $(Zone + 0,5) * 10^6$ m	Rechtswert R R = Abstand vom Mittelmeridian + $(Kz + 0,5) * 10^6$ m
Northing N N = Abstand vom Äquator	Hochwert H H = Abstand vom Äquator
Anfang/Kennzahl: 1. Zone bei 177° westliche Länge	Anfang/Kennzahl: 1. Streifen bei 0° = Greenwich
Begrenzung der Nord-Süd-Ausdehnung bei 80° nördliche und südliche Breite	Keine Begrenzung

Tab. 3: Unterschied zwischen UTM-System und 3°-Gauß-Krüger-System [11][12]

3.1.2. NN1954 und NGO1948

NN1954:

„Definition Höhe:

Eine Höhe ist die Positionsangabe des lotrechten Abstands von einer Referenzfläche. Man benutzt als Höhenreferenzfläche ein Geoid, Quasigeoid oder auch ein geodynamisch angepasstes Referenzellipsoid. Die Höhe dieser Bezugsflächen wird an einem mittleren Meeresspiegel (auch Pegel genannt) festgemacht. Je nach Land oder Anwendung werden unterschiedliche Höhendefinitionen und unterschiedliche Pegel verwendet.“ [13]

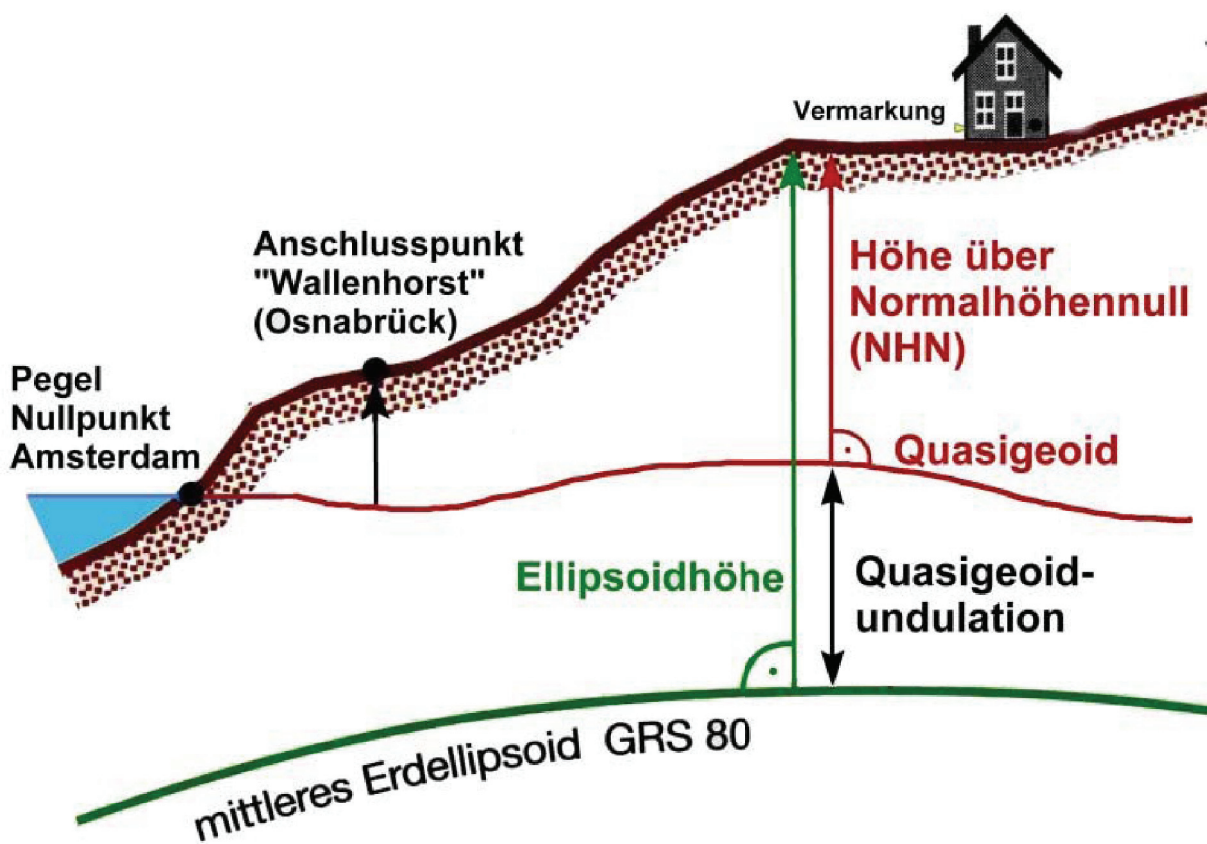


Abb. 8: Höhe mit Bezugsfläche als Beispiel „Amsterdamer Pegel“ [13]

Das norwegische Höhensystem NN1954 bezieht sich auf den mittleren Meeresspiegel. Datum und Nullpunkt dieses Systems befinden sich in Tredge (Südnorwegen). [14][15]

NGO1948:

Das nationale Koordinatensystem Norwegens ist das Norwegische Transversal Mercator NGO1948 Zone 1 – 8 mit dem Bezugspunkt im Observatorium in Oslo, bezogen auf den Bessel-Ellipsoiden. [14][15]

In den größeren Städten von Norwegen sind lokale Festpunktfelder vorhanden, oder es wird für ein Bauvorhaben ein Festpunktfeld angelegt.

Das Netz, worauf der Skansenløpet-Tunnel beruht, ist das „Trondheim lokal nett“, also ein lokales Netz. Die Höhen beziehen sich auf den Nullpunkt des Hafens der Trondheimkommune.

Auf Basis des lokalen Netzes kann eine selbstständige Verdichtung des Festpunktfeldes (s. Kapitel 2.3.2.) vorgenommen werden, um sich weitere Vermessungsarbeiten zu erleichtern.

3.1.3. ETRS89

Nicht nur in Deutschland stellt man auf das dreidimensionale Bezugssystem ETRS89 um, sondern in ganz Europa und somit auch in Norwegen. ETRS89 ist das Europäische Terrestrische Referenzsystem von 1989. Es ist fest mit der eurasischen Platte verbunden und bezieht sich auf den Erdmittelpunkt (Geozentrum). Für die Abbildung der Koordinaten wird das GRS80 (Rotationsellipsoid) als Bezugsellipsoid verwendet.

Das ETRS89 wurde eingeführt, um sich von den ständigen Plattenbewegungen, wie bei dem ITRS (International Terrestrial Reference System), und den sich daraus resultierenden Veränderungen der Koordinaten zu lösen, da wie bereits erwähnt, sich das europäische Referenzsystem auf der festen eurasischen Kontinentalplatte befindet. Aber auch durch die verschiedenen Koordinaten- und Bezugssysteme der Länder in Europa sind u.a. länderübergreifende raumbezogene Projekte, z.B. im Bereich der Wissenschaft, erschwert. Ein europaweites, gleiches Bezugs- und Koordinatensystem würde auf Dauer Zeit und auch Geld sparen.

Realisiert wird das europäische Referenzsystem mit Hilfe von 23 auf dem europäischen Kontinent liegenden ITRF-Referenzstationen (International Terrestrial Reference Frame). Demnach ist das ETRS89 identisch dem ITRS mit dem Datum von 1989, welches derzeit das „genaueste globale terrestrische System“ [16] ist und als Grundlage für Entfernungsmessungen zum Mond, Satelliten oder erdfesten Stationen dient. Ebenso unterscheidet sich das ETRS89 vom WGS84 nur sehr geringfügig und ermöglicht es, GPS-Daten mit modernen topographischen Karten zu verwenden. [11][14][15][16]

Das Kapitel 3.1.3. hat jedoch für die weiteren Ausführungen der Bachelorarbeit keine relevante Bedeutung.

3.2. Daten

Daten sind Informationen bzw. Angaben, die aus Beobachtungen, Messungen oder Ähnlichem gewonnen bzw. abgeleitet werden. Unterschieden werden Daten in analoge (kontinuierliche Funktionen) und digitale Daten (Zeichenfolgen). In Tab. 4 sind im Wesentlichen die Merkmale von analogen und digitalen Daten gegenübergestellt.

Analoge Daten	Digitale Daten
stufenlos (kontinuierlich)	stufenförmig (diskret)
analoge Größe ist stetig veränderbar	stetig veränderbare Werte werden nicht angenommen → in diskrete Einzelschritte aufgelöst
analoge Darstellung durch physikalische Größe, z.B. Temperatur (Kelvin)	wird durch Zeichen repräsentiert, z.B. Ziffern („0“ und „1“)
Bsp.: analoge Zeitanzeige → Uhr mit Zeiger	Bsp.: digitale Zeitanzeige → Uhr mit Ziffern

Tab. 4: Merkmale von analogen und digitalen Daten [10][11]

Mit Hilfe dieser Daten können Darstellungen (Funktionen, Diagramme (s. Abb. 9), Graphiken, usw.) vorgenommen werden, die z.B. Betrachtungen oder Auswertungen von Messungen vereinfachen.

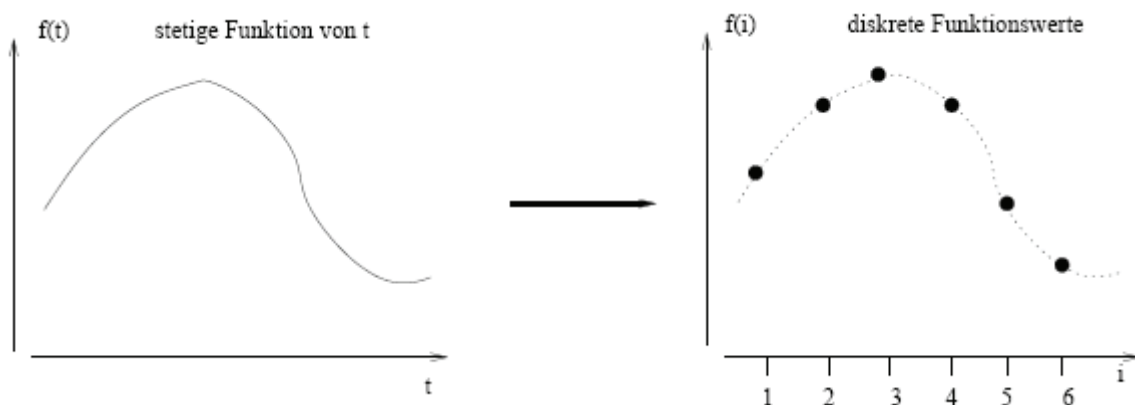


Abb. 9: Links: stetige Funktion (analoge Daten)

Rechts: diskrete Funktionswerte (digitale Daten) [10]

Aus einer stetigen Funktion, die für alle t einen definierten Funktionswert $f(t)$ hat, werden Reihen von diskreten Funktionswerte $f(i)(= f(t_i))$. Nicht jede reelle Zahl ist also digital darstellbar. [10]

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit ist die Darstellung ein 3D-Modell, das manuell anhand von Daten (Koordinaten und Strecken) aus technischen Zeichnungen und Tabellen konstruiert wird, sowie ein Tutorial, welches den Ablauf und die Arbeitsschritte der Konstruktion am Beispiel eines Tunnelsegments aufzeigt.

3.2.1. DXF, DWG und GSI-Daten

Drawing Interchange Format (DXF):

Das DXF („Zeichnungsaustauschformat“) ist ein von der Firma AutoDesk entwickeltes Datenformat, welches zum Austausch von CAD-Daten dient. Es wurde eigens für das CAD-Programm AutoCAD entwickelt. Beschrieben wird ein CAD-Modell in DXF-Dateien mit einer 7-Bit-Codierung (ASCII) als Text.

Durch die einfache Struktur der Dateien haben diese den Vorteil, dass sie mit einfachen Mitteln (z.B. Excel) zu erzeugen, anzusehen und/oder zu bearbeiten sind. Auch zwei- und dreidimensionale Koordinaten oder komplexe Geometrieobjekte werden vom Format unterstützt. Die Dokumentation und Beschreibung der Datenstruktur ist im Gegensatz zum DWG-Format frei zugänglich.

Drawing (DWG):

Das DWG („Zeichnung“) ist ein weiteres, von der Firma AutoDesk entwickeltes Datenformat. Im Gegensatz zum DXF kennzeichnet die Endung „.dwg“ eine Zeichnung, die binär abgespeichert wird.

AutoDesk übernimmt nicht nur die Entwicklung von AutoCAD, sondern auch der Datenformate DXF und DWG. Die Versionsnamen entsprechen den Versionsnamen des CAD-Programms.

Durch das DXF-Dateiformat und diversen Konvertierungsprogrammen können Kompatibilitätsprobleme, die beim Einlesen von DWG-Dateien in ältere CAD-Versionen auftreten können, eingeschränkt oder sogar umgangen werden.

Für die automatische Verarbeitung von Koordinaten mit Google SketchUp sind Dateien in diesem Format (DWG oder DXF) denkbar, da es mit Google SketchUp möglich ist, solche Formate zu lesen, aber auch in der Pro-Version in ein solches zu speichern.

Weitere Ausführungen zu der Verarbeitung von AutoCAD-Dateien werden in Kapitel 5 beschrieben.

GSI Daten:

Das GSI ist ein Wild- / Leica-Instrumentenformat, welches Daten einzelner Punkte in einer Zeile ablegt. Dabei bilden bei dem GSI-8-Format 16 Zeichen ein Datenwort und 10 Datenwörter einen Datenblock. Beim Nachfolger, dem GSI-16, bilden 24 Zeichen ein Datenwort und 12 Datenwörter einen Datenblock. Eine vollgeschriebene Zeile entspricht einem Datenblock.

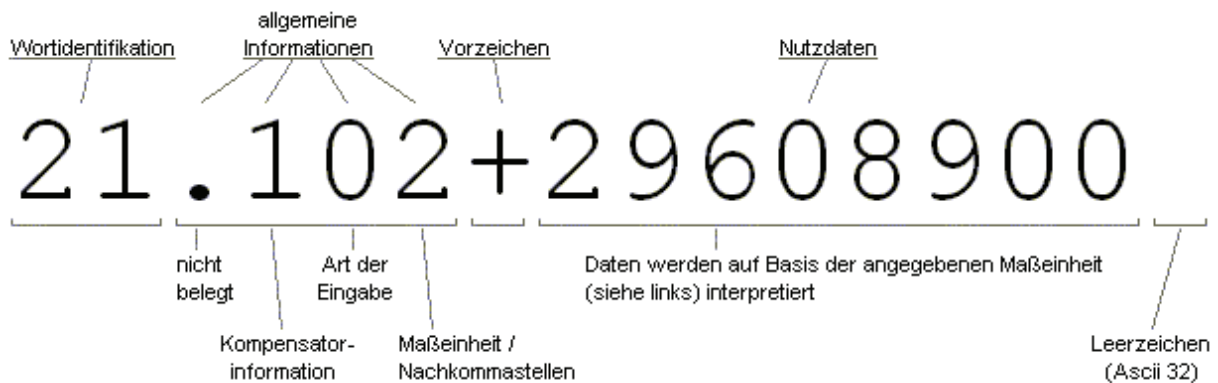


Abb. 10: Beispiel: Aufbau eines Datenwortes am GSI-8-Format [17]

„Bei dem hier gezeigten Datenwort handelt es sich um eine gemessene Horizontalrichtung:

- die Wortidentifikation ist 21, der Zahlencode für eine Horizontalrichtung
- die Maßeinheit zeigt den Wert 2, was für einen Richtungswert in der Einheit gon mit 5 Nachkommastellen steht
- der Datenanteil enthält entsprechend also einen Wert von 296.08900gon.
- Das gezeigte Datenwort liegt im GSI-8-Dialekt vor. Die entsprechende GSI-16-Variante wäre an dieser Stelle 16 Zeichen lang und würde daher bei gleicher Genauigkeit 8 führende Nullen tragen.“ [17]

Datenblöcke werden auch nach ihren Funktionen unterschieden. Daraus resultieren dann Mess-, Code- und Textblöcke, worauf aber nicht näher eingegangen wird, da dieses Datenformat ein Instrumentenformat ist und deshalb nur für die Ingenieursvermessung von Bedeutung, aber für die 3D-Visualisierung mit Google SketchUp ungeeignet ist.

3.3. 3D-Modell

Modelle sind materielle Objekte (z.B. Skulpturen) oder theoretische Konstrukte (z.B. Atommodelle), die zu Untersuchungs- oder auch Demonstrationszwecken des Originals dienen. Es sind bestimmte Eigenschaften bzw. Relationen (Verhalten, Struktur, Funktion) am Modell beschrieben, wobei kostenintensive und aufwendige Untersuchungen am Original verhindert werden können.

Der Anspruch, und die damit verbundene Wichtigkeit eines 3D-Modells, steigt zunehmend an. Worauf es bei Modellen ankommt und inwiefern sie unterschieden und eingesetzt werden, wird in dem folgenden Unterkapitel näher gebracht.

3.3.1. Mögliche Zielgruppen und ihre Anforderungen

„Wer alle seine Kunden mit den gleichen Produkten und Leistungen oder mit den gleichen Werbebotschaften anspricht, dürfte diese kaum erreichen. Denn die Kunden sind sehr unterschiedlich.“ [23]

Bevor es zur eigentlichen Erstellung eines Modells kommt, muss geklärt werden, für welche Zielgruppe(n) es bestimmt ist und was dieser Personenkreis von diesem Modell erwartet.

Eine mögliche Zielgruppe könnten Techniker sein. Sie legen einen besonderen Wert darauf, dass technische Modelle (z.B. die Dampfmaschine s. Abb. 11) soweit wie möglich den Eigenschaften und Relationen des Originals entsprechen. Diese technischen Modelle dienen zur Veranschaulichung von gewissen Strukturen sowie Abläufen und ermöglichen es, Untersuchungen vorzunehmen, die zur Optimierung des Originals beitragen.



Abb. 11: Modell einer Dampfmaschine [21]

Desweiteren gibt es wissenschaftliche und wirtschaftliche Modelle (z.B. Atommodelle, wirtschaftstheoretische Modelle) die auf Grundlage und Wechselwirkung einer Hypothese und deren Beobachtung (Messungen aus Experimenten, Erfahrungen) beruhen. Die Wechselwirkungen tragen auch hier zu einer Verbesserung des Modells und dem Verständnis des Sachverhaltes bei.

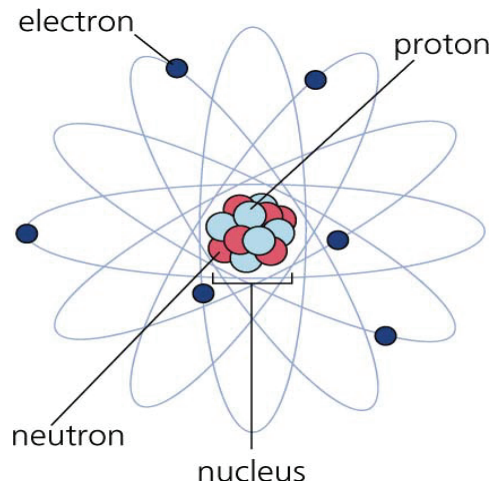


Abb. 12: Rutherford'sches-Atommodell [22]

Bei 3D-Modellen, die demonstrativ eingesetzt werden (z.B. in der Immobilienbranche, Architektenmodelle (s. Abb. 13)) ist es vor allem wichtig, das Produkt optisch hervorzuheben, um den Kunden z.B. mit der „Schönheit“ des Produktes zu locken. Dieses ist mit Hilfe von professioneller Design-/Modellierungssoftware möglich, welches bspw. Gestaltungselemente (z.B. Farben, Licht, Schatten, Spiegelungen an diversen Oberflächen usw.) beinhaltet.



Abb. 13: Architekturskizze der Krankenhauskapelle-Minden [24]

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird ein 3D-Modell des „Skansenløpet-Tunnel“ visualisiert. Das Modell hat einen demonstrativen, aber auch wirtschaftlichen Zweck, worauf aber erst in Kapitel 4 näher eingegangen wird.

3.4. Google SketchUp

„Mit Google SketchUp können Sie 3D-Modelle erstellen, ändern und mit anderen gemeinsam verwenden. Und das Programm ist einfacher zu erlernen, als andere 3D Modellierprogramme“ [18]

Google SketchUp ist eine 3D-Designsoftware, die für die private Nutzung freiverfügbar (kostenlos) ist. Für den professionellen Gebrauch steht das Produkt Google SketchUp Pro zur Verfügung und ist für 311,00 € (Google SketchUp Pro 6) bzw. 381,00 € (Google SketchUp Pro 7 (nur in der Sprache Englisch)) käuflich zu erwerben. (Stand 30.01.2009 14:23 Uhr)

Beide Versionen haben die gleichen Hardware- und Softwareanforderungen und sind auf den Windowsbetriebssystem (2000, XP und Vista) und „Mac OS X® 10.4.1 oder neuer“ (bis auf Mac OS X® 10.5 (Leopard)) einsetzbar.

In Tabelle 5 werden die von Google empfohlenen Systemvoraussetzungen für beide Betriebssysteme aufgelistet:

Windows	Mac
<i>2 GHz Pentium® 4-Prozessor oder neuer</i>	<i>2,1+ GHz G5/Intel.</i>
<i>2 GB RAM</i>	<i>2 GB RAM</i>
<i>500 MB freier Festplattenspeicherplatz. 15 GB für Vista.</i>	<i>400 MB freier Festplattenspeicherplatz</i>
<i>3D-Klasse Videokarte mit 512 MB zugewiesenem Speicher</i>	<i>OpenGL-kompatible Grafikkarte mit 512 MB Videospeicher</i>
<i>Maus mit 3 Tasten und Scrollrad</i>	<i>Maus mit 3 Tasten und Scrollrad</i>

Tab. 5: Empfohlene Systemvoraussetzung beider Betriebssysteme [18]

Im folgenden Kapitel werden die Besonderheiten von der kostenlosen und der gebührenpflichtigen Version von Google SketchUp im Wesentlichen beschrieben.

3.4.1. Besonderheiten von Google SketchUp 6 und Google SketchUp Pro 6

Google SketchUp besitzt eine Vielzahl an Funktionen und Tools mit denen es möglich ist, SketchUp-Modelle zu erstellen. Die für das 3D-Tunnelmodell des „Skansenløpet-Tunnel“ verwendeten Funktionen werden in nachfolgenden Tabelle 6 aufgelistet und beschrieben.

Symbol	Name	Beschreibung
	Linie	Zeichnen von Linien
	Maßband	Längen/Strecken nachmessen
	Auswählen	Auswahl von Linien, Flächen, usw.
	Verschieben/Kopieren	Verschiebt und kopiert Objekte.
	Rotieren	Dreidimensionale Bewegung mit der Kamera.
	Farbeimer	Ermöglicht Farben und Texturen auf Flächen zu legen.
	Aus Gesamtgröße zoomen	Zoomt auf das Gesamte Modell
	Aktuelle Ansicht übernehmen	Übernimmt die Ansicht (Bild) von Google Earth und überträgt sie in SketchUp.
	Gelände umschalten	Übernommenes Bild wird als 3D-Bild dargestellt.
	Modell platzieren	Platziert das SketchUp-Modell in Google Earth.
	Eingabekonsole	Ermöglicht das Eingeben von Längen, Koordinaten usw.
	Standardansichten	Erlaubt die Ansicht auf das Modell von verschiedenen Blickwinkeln
	Layer	Ermöglicht das Erstellen von Layer, um Modellbestandteile in Gruppen zu teilen

Tab. 6: Grundwerkzeuge von Google SketchUp

SketchUp ist, neben den Grundwerkzeugen, mit einer Vielzahl von besonderen Funktionen ausgestattet die, neben den Grundwerkzeugen, zu einer vereinfachten und benutzerfreundlichen Arbeitsweise verhelfen.

„Schnapp“-Funktion:

Mit der „Schnapp“-Funktion ist es möglich, Punkte automatisch auf in der Nähe befindliche Punkte oder Linien zu verschieben, so dass sie zusammenfallen. Die Schnapptoleranz variiert je nach Einstellung des Nutzers.

Mit Hilfe dieser Funktion wird jedes Tunnelsegment „lückenlos“ aneinander gefügt.

Orientierung an den Koordinatenachsen:

Durch die Orientierung an den Koordinatenachsen kann der Nutzer parallel zu diesen Achsen eine Linie zeichnen, die es bspw. Ermöglicht, eine lotrechte Gerade zu erstellen.

Die Koordinatenachsen werden in drei verschiedene Farben (X-Achse in Rot, Y-Achse in Grün und Z-Achse in Blau) dargestellt und bei der Zeichnung einer Parallelen entsprechend der Farbe der Achse gekennzeichnet.

Einstellung der Messgenauigkeit:

Je nach Größe eines Modells, kann die metrische Genauigkeit variieren. Mit SketchUp kann der Genauigkeitsbereich der Längenangaben dementsprechend eingestellt werden.

Import von AutoCAD-Formaten:

Ermöglicht das Importieren von AutoCAD-Formaten für die automatische Datenverarbeitung.

Layer ein- und ausblenden:

Geometrische Objekte können in verschiedene Layer gebracht und ein- bzw. ausgeblendet werden. Dadurch können bei einem umfangreichen Modell Objekte ausgeblendet werden, um so einen besseren Überblick über das Modell zu wahren.

Beibehaltung von sich wiederholenden Längen:

Sich wiederholende Längen werden von SketchUp gespeichert. Dadurch kann der Nutzer bspw. mehrere Linien mit gleicher Länge nacheinander zeichnen, ohne die Länge erneut einzugeben. Eine neue Länge der Linie unterbricht diesen Vorgang.

Zeichnungsvorlagen

Die Zeichnungsvorlagen ermöglichen es in verschiedene Längeneinheiten (Meter, Zoll, Meile, usw.) zu schalten.

Desweiteren besteht die Möglichkeit AutoCAD-Formate in SketchUp zu importieren, worauf aber in Kapitel 5 näher eingegangen wird.

In Tabelle 7 werden die zusätzlichen Funktionssätze von Google SketchUp Pro 6 aufgelistet, die die käufliche Version gegenüber der kostenlosen Version zusätzlich aufweisen kann.

Funktion	Beschreibung
Export von DFX und DWG	Pläne, Schnitte, Ansichten oder das gesamte Modell können in ein CAD-Programm verschoben werden; Layer und Geometrie des Modells bleiben beim Export erhalten
Export von PDF und EPS	Bietet die Möglichkeit, in Vektorbearbeitungsprogrammen weiter zu arbeiten <i>„Für 2D-Bilder, die Auflösungs-unabhängig sein müssen, gibt es nichts Besseres, als das Exportieren in diesen Formaten.“ [18]</i>
Export von 3DS, OBJ, XSI, FBX, VRML und DAE	Modelle werden in 3D-Formate exportiert; Integration von SketchUp in andere 3D-Modellierungsprogramme durch eine Interfunktionsfähigkeit
LayOut (Beta)	Ermöglicht 2D-Präsentationen von SketchUp-Modellen; Vollständig separates Programm

Tab. 7: Zusatzfunktionen und ihre Beschreibung von Google SketchUp Pro 6 [18]

3.4.2. Google Earth

„Mit Google Earth fliegen Sie um die Welt und können Satellitenbilder, Karten, Geländeformationen, 3D-Gebäude und sogar ferne Galaxien im Weltraum betrachten. Sie können ausführliche geografische Inhalte erkunden, interessante Orte speichern und diese mit anderen Nutzern austauschen.“ [19]

Google Earth 5.0 ist ein kostenloses Programm, welches einen virtuellen Globus darstellt und allgemein bekannt ist. Mit einem digitalen Höhenmodell der Erde können sowohl Satelliten- als auch Luftbilder mit digitalen Informationen der Erdoberfläche, den Geodaten, in unterschiedlichen Auflösungen dargestellt werden. [20]

Das 3D-Tunnelmodell kann, wie in Kapitel 4.3.4. beschrieben, in Google Earth mit Hilfe von Google SketchUp positioniert werden. Dadurch kann der „Skansenløpet-Tunnel“ als 3D-Modell auf dem virtuellen Globus betrachtet und evtl. in spätere 3D-Navigationssysteme (s. Kapitel 4.4.2.) eingebunden werden.

4. 3D – Tunnelmodell

Im folgenden Unterkapitel werden die Anforderungen an das 3D-Modell des „Skansenløpet-Tunnel“ aufgezeigt und beschrieben. Da dieser Tunnel nicht nur als Bauwerk zu betrachten ist, sondern auch als Bestandteil eines Straßensystems, kommen mehrere Einsatzgebiete eines solchen 3D-Modells in Frage. Mögliche Einsatzgebiete wären bspw. 3D-Navigationssysteme (s. Kapitel 4.4.2.) oder Präsentationsmodelle für Architekten und Ingenieure (s. Kapitel 4.4.1.). Die eigentliche Darstellung erfolgt im Internet als Demonstrationsmodell im 3D-PDF-Format (s. Kapitel 4.3.2.) für die Hochschule Neubrandenburg und für die Google 3D-Galerie. Ebenso ist in Kapitel 4.2. die Vorgehensweise der manuellen Datenverarbeitung von Koordinaten und Maßketten im Wesentlichen erläutert. Hierzu gibt es ein Tutorial (s. Anhang) mit der Präsentationssoftware WINK, die am Beispiel eines Tunnelsegments den Konstruktionsablauf mit Google SketchUp verdeutlicht.

Das 3D-Tunnelmodell wurde ausschließlich mit der Designsoftware Google SketchUp visualisiert, da die Software leicht zu erlernen und kostenfrei, aber dennoch durch eine breite Palette an Funktionen und Tools anspruchsvoll ist.

4.1. Anforderungen an das 3D-Tunnelmodell

Recherchen im Internet über 3D-Tunnelmodelle haben ergeben, dass derzeitige Modelle von Tunneln hauptsächlich für Computerspiele bzw. Animationen angeboten werden [34] oder Ergebnisse von Laserscannermessungen sind.

3D-Tunnelmodelle, die für Animationen oder Computerspiele geliefert werden, weisen eine hohe detailgetreue Darstellung sowie die Möglichkeit der Erweiterung auf. [34]

Diese Kriterien werden auch für das 3D-Tunnelmodell „Skansenløpet-Tunnel“ gewählt. Durch die Darstellung des Modells im Internet kommt zusätzlich der Aspekt der „geringen Ladezeiten“ dazu, welcher sich dementsprechend auf die Detailtreue auswirkt.

Geringe Ladezeiten:

Trotz der ständigen Optimierung der Internetgeschwindigkeit ist es wichtig, die Ladezeiten für ein 3D-Modell im Internet so gering wie möglich zu halten, um einen schnellen Zugriff auf dieses zu gewährleisten.

Um die Ladezeiten gering zu halten, sollte bereits im Vorfeld geklärt werden, welche Designsoftware für ein 3D-Modell ausreichend und geeignet genug ist für eine Visualisierung. Neuere Versionen einer Software benötigen oftmals weniger Speicher bei der Datensicherung als ältere Versionen, deshalb sollte auch darauf geachtet werden, dass die Software aktuell ist.

Bereits bei der Visualisierung kann das Datenvolumen gering gehalten werden, indem versteckte und unbrauchbare geometrische Objekte (Linien, Flächen, Körper, usw.) eliminiert werden. Deshalb wird in diesem 3D-Tunnelmodell auf Details, wie z.B. Schächte und Rohre/Leitungen verzichtet, da diese viel Zeit bei der Bearbeitung benötigen und als Detail zu klein sind, um im Modell aufzufallen, oder aber für den Modellbetrachter nicht einzusehen sind.

Durch den Gebrauch von einfachen Farben und Texturen wird ebenso der Datenspeicher gering gehalten, anstatt auf aufwendige und detaillierte Bilddateien zurückzugreifen (s. Kapitel 4.2.5.).

Vor der Veröffentlichung des Modells kann im Internet selbst auf diversen Webseiten ein „Ladezeitentest“ für das 3D-Modell vorgenommen werden. Dieser Test benötigt lediglich die URL der Seite, auf der sich das Modell befindet, und errechnet die Ladezeiten verschiedener Verbindungsgeschwindigkeiten (ISDN, DSL, usw.). Anhand dieser Testergebnisse lässt sich erkennen, für welche Verbindungsgeschwindigkeiten das 3D-Modell geeignet bzw. weniger geeignet ist.

Ein „Ladezeitentest“ vom 3D-Modell des „Skansenløpet-Tunnel“ im 3D-PDF-Format wurde auf der Internetseite *websiteoptimization.com* durchgeführt und ist im Anhang beigelegt.

Detailgetreue Darstellung:

Virtuelle Modelle werden in der dreidimensionalen Landschafts- bzw. Stadtmodellierung in fünf Detailstufen (Level of Detail 0 bis 4) eingeteilt, wobei LOD-0 die geringste Stufe (2,5D-Geländemodell) an Detailtreue und LOD-4 (Innenraummodelle) die höchste Stufe ist. Das 3D-Modell des „Skansenløpet-Tunnel“ wird als Level of Detail-3 eingestuft, da es sich um ein Architekturmodell handelt.

Trotz der Geringhaltung der Ladezeiten sollte das 3D-Modell so realitätsnah wie möglich dargestellt werden. Dazu zählt neben der detailgetreuen auch die maßstabsgetreue Darstellung. Durch die Verarbeitung der gleichen Koordinaten und Maßketten, die auch bei der Baumaßnahme verwendet wurden, kann das 3D-Tunnelmodell als maßgetreu betrachtet werden. Aber wie bereits erwähnt, wird auf einige Details während der Konstruktion und der graphischen Gestaltung der Oberfläche am Modell verzichtet, welches die Detailtreue und den Kreis der Zielgruppen einschränkt.

Erweiterbarkeit:

Ein weiteres Kriterium ist die Erweiterbarkeit des 3D-Tunnelmodells. Das Modell des „Skansenløpet-Tunnel“ soll nicht als ganz abgeschlossen betrachtet werden. Daher soll und wird die Möglichkeit bestehen, am Modell Veränderungen bzw. Erweiterungen vorzunehmen, um evtl. neue Zielgruppen zu gewinnen oder neue zukünftige Methoden der 3D-Visualisierung anzuwenden.

4.2. Manuelle Verarbeitung der Daten in Google SketchUp

In den folgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Arbeitsschritte zur dreidimensionalen Visualisierung des „Skansenløpet-Tunnel“ mit Hilfe von Google SketchUp mit Bezug auf die bautechnische Vermessung (s. Kapitel 2.3.), erläutert. Die Arbeitsschritte während der Visualisierung sind im Wesentlichen die gleichen wie bei der Baumaßnahme (s. Tabelle 8). Durch abgesteckte Koordinaten und anhand von Maßketten (Strecken) wird ein Bauwerk konstruiert.

Baumaßnahme	Visualisierung mit SketchUp
Absteckung der Koordinaten der Wandgeometrie auf Sauberkeitsschicht	Einlesen der Koordinaten der Wandgeometrie
Herstellen der Bodenplatte	Konstruktion der Bodenplatte
Herstellen der Wand und der Decke mit Hilfe eines Schalwagen	Konstruktion der Wand
Feinabsteckung der Trasse	Konstruktion der Decke
Verpressen und Verfugen von Rissen	Einlesen der Koordinaten der Trasse
Herstellung der Straße und des Gehwegs	Konstruktion der Straße und des Gehwegs
Verpressen und Verfugen von Rissen	Graphische Gestaltung der Oberfläche

Tab. 8: Vergleich des Konstruktionsablaufs: Bau und 3D-Visualisierung

Wie bereits in Kapitel 2.3. erwähnt, sind bei der Visualisierung und Erzeugung des 3D-Modells nur die Kapitel 2.3.3., 2.3.4. und 2.3.5. von Bedeutung und nur diese werden in Betracht gezogen, da die übrigen Unterkapitel nur in der bautechnischen Vermessung relevant sind.

Die Daten des Bauwerks liegen als technische Zeichnungen und Tabellen in Form von Ausdrücken (DIN A3) vor und werden manuell verarbeitet. Für die Bauteile der Außenhülle (Bodenplatten, Wände, Decken) und für die Straße mit Gehweg werden jeweils Layer angelegt, mit denen es später möglich ist, Bauteile auszublenden. Das hat bspw. den Vorteil, dass Tunneldecken während der Konstruktion der Straße und des Gehwegs ausgeschaltet werden, um einen besseren Überblick zu haben, aber auch um die Ladezeiten während des Navigierens in SketchUp gering zu halten. Ebenso werden die Ladezeiten für die Präsentation des 3D-Modells im Internet geringgehalten, da auf die Einarbeitung von Details wie Kabelschächte, Hydranten, Sandfänge und Technikräume verzichtet wird.

4.2.1. Verarbeitung der Koordinaten und Konstruktion durch Maßketten

Mit Google SketchUp ist es möglich, Koordinaten im unteren rechten Eingabefenster (s. Kapitel 3.4.1., Tab. 6 „Eingabekonsolle“) einzuarbeiten. Eingelesen werden diese durch eine vorgegebene Syntax „[x;y;z]“, wobei „x“ und „y“ der Länge bzw. Breite und „z“ der Höhe entsprechen. Auch die Länge und Breite von Flächen oder die Länge einzelner Strecken/Geraden lassen sich in diesem Eingabefenster für das Arbeiten mit Maßketten eintragen.

Werden diese Koordinaten bspw. aus einem lokalen System wie dem „Trondheim lokal nett“ bezogen, so entspricht der Nullpunkt des lokalen Systems dem Koordinatenursprung des Koordinatensystems von Google SketchUp. Der Koordinatenursprung ist der Schnittpunkt der drei Achsen des Koordinatensystems und ist mit „[0;0;0]“ definiert.

Durch die Unterschiedlichkeit der einzelnen Tunnelsegmente in Länge, Breite, Höhe und des Längsgefälles, ist es während der manuellen Verarbeitung nicht möglich, einzelne Segmente zu duplizieren und anzufügen.

4.2.2. Erzeugung der Wandgeometrie

Die 3D-Visualisierung des Tunnels beginnt mit der Einarbeitung der Koordinaten für die Wandgeometrie. Diese liefern die Eckpunkte der Innen- und Außenseite der Wand eines Tunnelsegments (s. Kapitel 2.3.4). Ein Tunnelsegment ist 15 m (Abb. 14 A) bzw. 25 m lang (Abb. 14 B). Ein 15 m langes Segment besitzt acht Koordinaten für die Wandgeometrie und ein 25 m langes Segment zwölf Koordinaten. Der Grund für die zwölf Koordinaten ist die leichte Krümmung in der Mitte des längeren Tunnelabschnitts, damit der Verlauf des Tunnels im „Bogen“ realisiert werden kann.

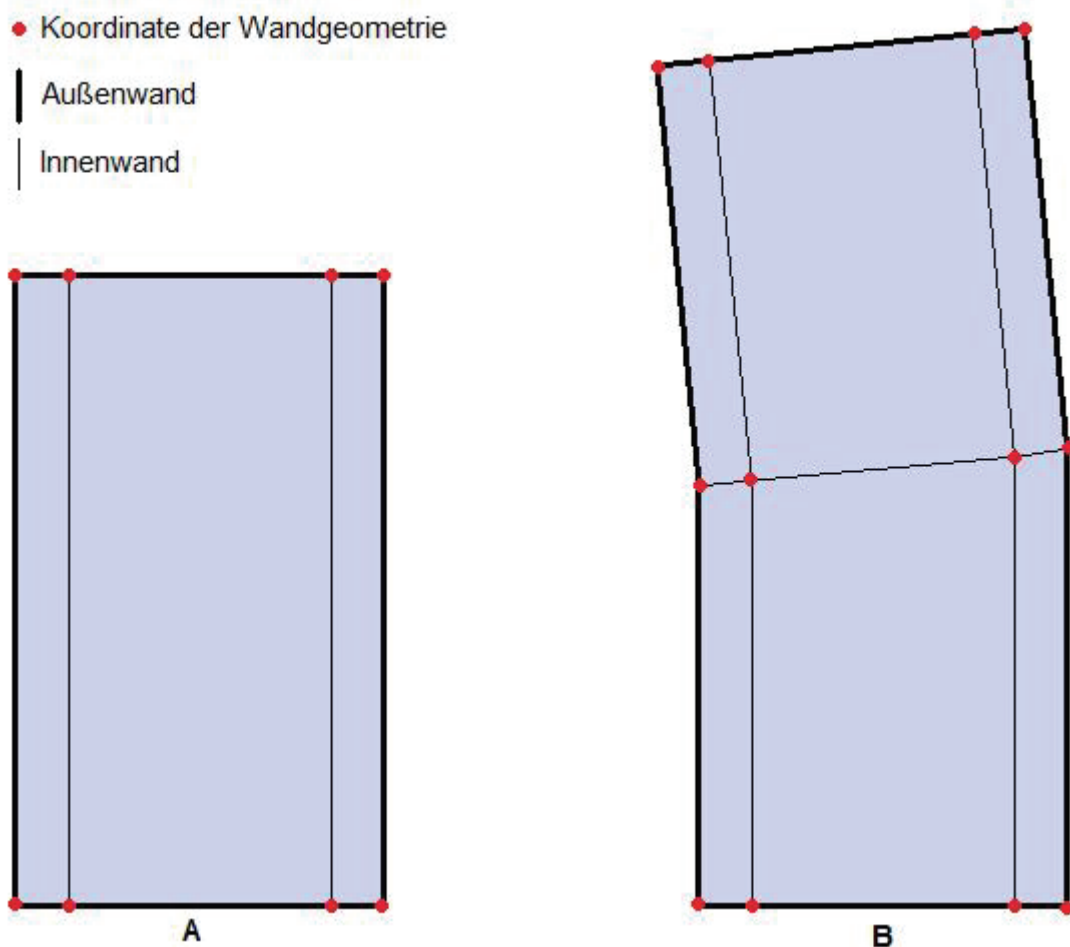


Abb. 14: Ansicht von Oben: Tunnelsegment 15m (A) und Tunnelsegment 25m (B)

Nachdem die Koordinaten für die Wandgeometrie eingelesen sind, kann mit Hilfe von Maßketten die Konstruktion der Außenhülle (Bodenplatte, Wand und Decke) vorgenommen werden.

4.2.3. Konstruktion der Außenhülle

Bodenplatte:

Die Höhen, die in Kapitel 4.2.2. verarbeiteten Koordinaten beziehen sich auf die UK-Bodenplatte. Durch die Berechnung des Höhenunterschieds zu der OK-Bodenplatte kann mit Hilfe einer lotrechten Geraden an der Wandgeometrie die Bodenplatte (Abb. 15) konstruiert werden, die eine Dicke von ca. 1 m hat.

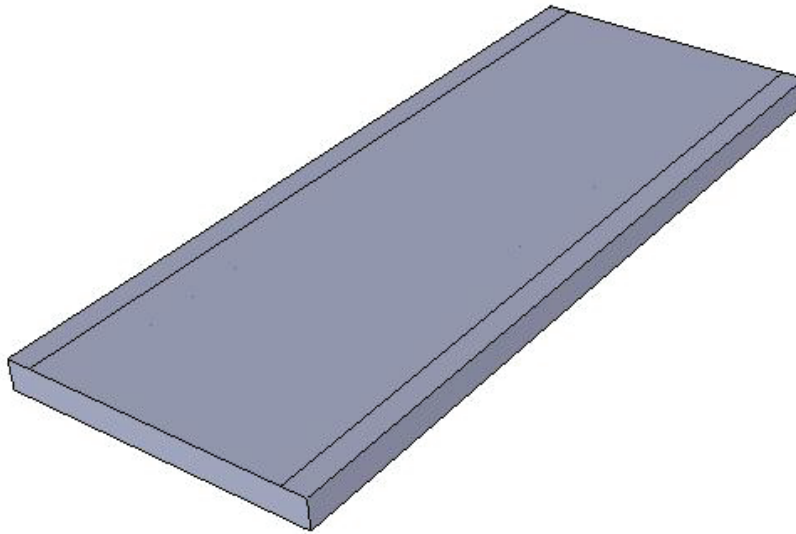


Abb. 15: Bodenplatte

Wand:

Der Abstand von Innen- und Außenseite der Wand beträgt 80 cm, welches aber bereits bei der Absteckung der Wandgeometrie durch die Lage der Koordinaten berücksichtigt ist. Die Höhe der Tunnelwand variiert und ist nicht gleichmäßig, da der Abstand der OK-Straße zur OK-Bodenplatte unterschiedlich ist. Der Grund für die unterschiedlichen Abstände ist die Kurvenlage (s. Kapitel 2.3.3. Feinabsteckung). Ebenso muss das Fahrprofil (lotrechte Abstand von OK-Straße zur UK-Decke) mit einer Höhe von min. 4,95 m gewährleistet sein.

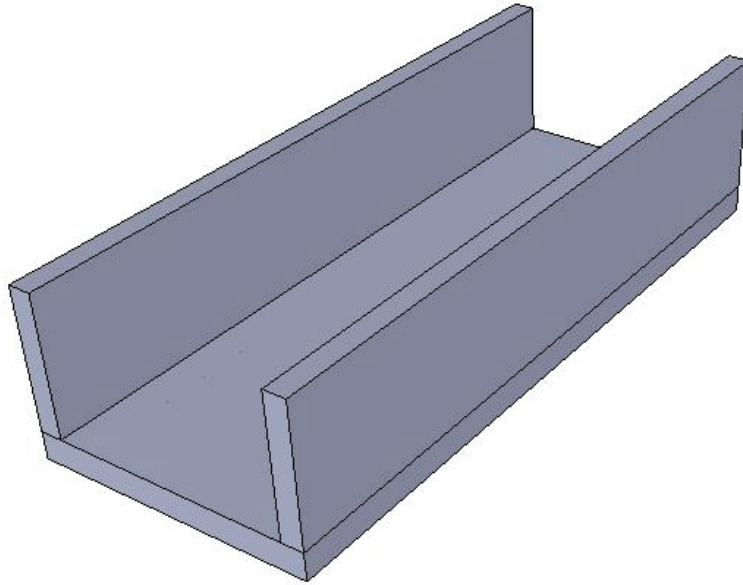


Abb. 16: Bodenplatte mit Tunnelwand

Decke:

Das letzte Bauteil der Außenhülle ist die Tunneldecke. Ihre Dicke wird aus der Höhendifferenz zwischen der OK- und der UK-Decke ermittelt, beträgt ca. 90 cm und wird ähnlich wie bei der Bodenplatte konstruiert.

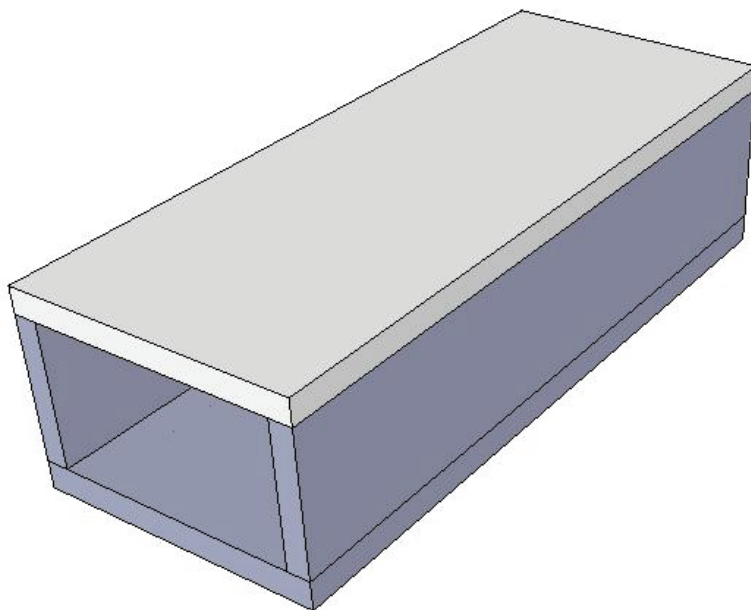


Abb. 17: Bodenplatte mit Tunnelwand und Tunneldecke

4.2.4. Konstruktion der Straße und des Gehwegs

Nach der Fertigstellung der Außenhülle werden die Koordinaten des Bordsteins eingearbeitet. Die Koordinaten sind nur für die Außenseite des Bordsteins bekannt. Deshalb wird, wie auch in der Praxis, eine Parallele zu diesen Koordinaten zur Fahrbahnmitte angelegt. Der Abstand beider Parallelen beträgt genau 22 cm. Eine Berechnung des Höhenunterschieds ist nicht nötig, da bereits bei der Einarbeitung der Koordinaten die Höhe der OK-Bordstein gegeben ist.

Wie auch bei der bautechnischen Vermessung wird sich für den weiteren Straßen- und Wegebau u.a. am Bordstein orientiert. An ihm wird die Höhe für die OK-Asphalt auf beiden Innenseiten abgetragen, die sich 6,5 cm unterhalb der OK-Kantstein befindet. Durch den Bogenverlauf des Tunnels liegt die spätere Fahrbahn in einem Quergefälle. Das Quergefälle des Gehwegs ändert sich an keiner Stelle und beträgt immer 10 %. Die Höhen werden an der Innenseite der Tunnelwand angerissen und sind aus der gleichen Tabelle wie die Koordinaten der OK-Bordstein zu entnehmen. Der Abstand Innenseite-Wand zur Innenseite-Kantstein beträgt 1,03 m, daraus folgt ein Höhenunterschied von 10,3 cm zur OK-Kantstein bei 10 % Gefälle.

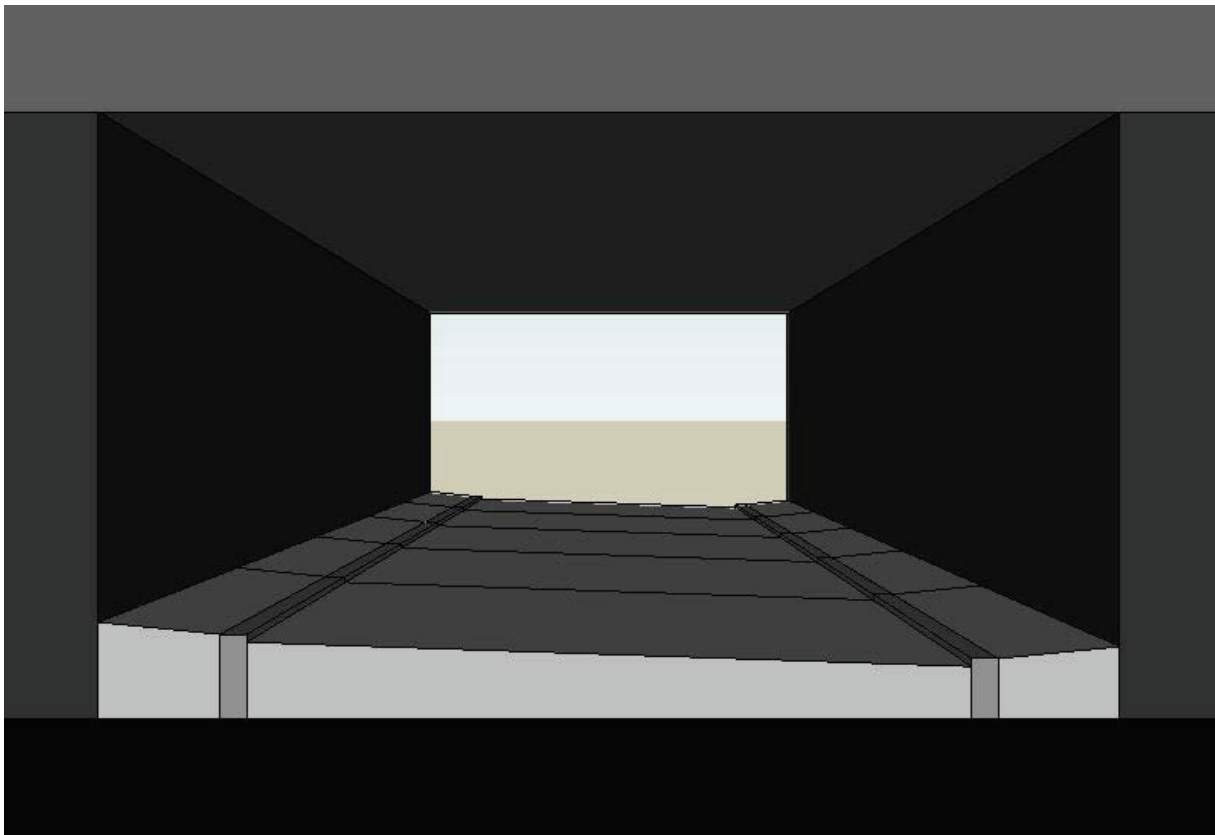


Abb. 18: Ansicht von vorn: Außenhülle mit Straße und Gehweg

4.2.5. Graphische Gestaltung der Oberfläche

Nachdem die Konstruktion des Tunnels abgeschlossen ist wird die Oberfläche des Modells graphisch gestaltet, um einen möglichst hohen Bezug zur Realität zu bieten.

Google SketchUp liefert eine Reihe von Bibliotheken und Tools, die dies ermöglichen. Neben den vorgegebenen Farben und Texturen (z.B. Asphalt) ist es auch möglich, eigene Farben und Texturen zu erstellen, aber auch Bilder (Fotos, Zeichnungen, usw.) zu importieren und diese als graphische Textur auf die Oberfläche des Modells zu legen.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde auf den Import von eigenen Bilddateien verzichtet und mit den von Google SketchUp mitgelieferten Farben und Texturen gearbeitet. Der Grund für diese Entscheidung ist der geringere Speicherverbrauch, denn durch das Benutzen von eigenen Fotos (JPEG-Format) nahm der Speicherverbrauch um ein vielfaches zu (siehe Abb.19), welches beim Einsatz im Internet demzufolge zu längeren Ladezeiten führen wird.

Die Detailtreue der graphischen Oberfläche ist dennoch gewährleistet. Durch bspw. das Arbeiten mit Sichtbeton während der Baumaßnahme ist es ausreichend, diesen im 3D-Modell mit einem einfachen Grauton oder einer einfachen Textur zu belegen.

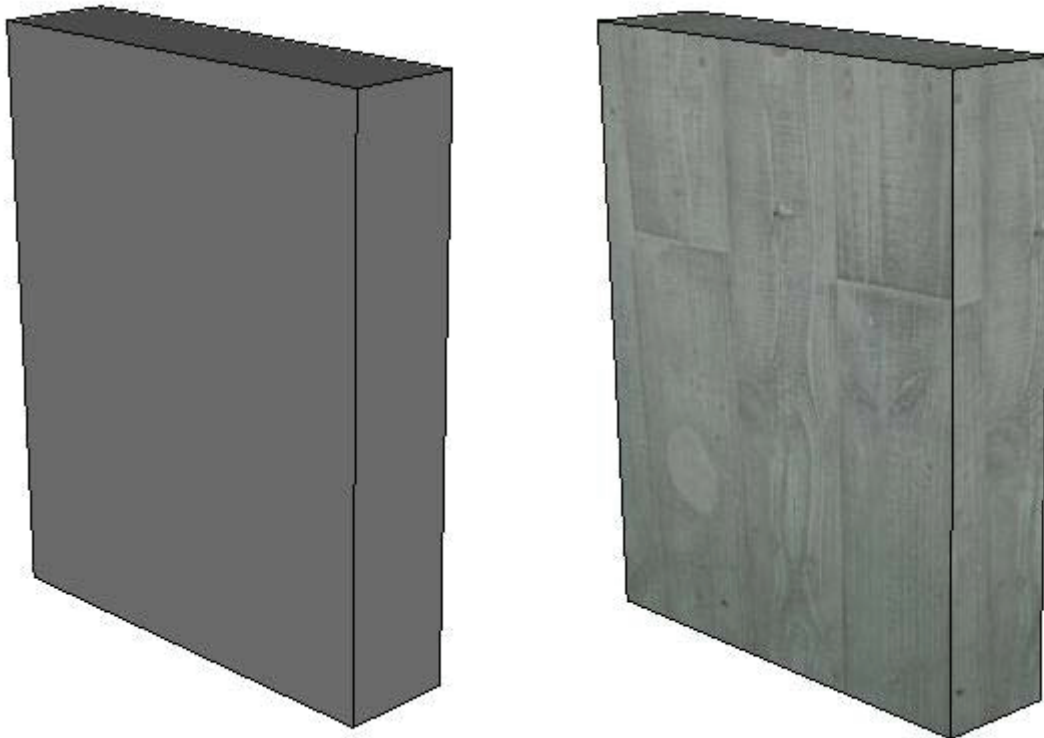


Abb. 19: Rechts: Mauer mit Bild im JPEG-Format als Textur (Größe 957 KB)

Links: Mauer mit Farbe (Größe 29 KB)

4.2.6. WINK-Tutorial

Das Tutorial für die 3D-Visualisierung des „Skansenløpet-Tunnel“, beschreibt die Konstruktion des Tunnels am Beispiel eines Tunnelsegmentes, ist Bestandteil dieser Bachelorarbeit und liegt als Anhang in Form einer CD-Rom vor.

Die kostenlose und freiverfügbare Präsentationssoftware WINK ermöglicht die Erstellung von einfachen Flashtutorials. Flashtutorials sind fertige Videos, bestehend aus Aufnahmen des Bildschirmes (Screenshots), die in einem selbst festgelegten Zeitintervall nacheinander abgespielt werden. Mit Hilfe von Werkzeugen der Bild- und Tonverarbeitung (z.B. Sprechblasen, Audiokommentare, Ausblenden des Mauszeigers) können diese Aufnahmen bearbeitet werden, die dann WINK in Form von Flash-/HTML-Dateien für das Internet, EXE-Dateien für den Nutzer ohne Internet oder als PDF für den Ausdruck eines Nutzerhandbuchs ablegt werden.

Nicht nur das Arbeiten mit den Screenshots, sondern auch das Einfügen von Bilddateien verschiedener Datenformate (z.B. JPG, BMP, GIF) ist möglich.

Die Präsentationssoftware läuft auf allen Windows- und bestimmten LINUX-Betriebssystemen (nur x86) und arbeitet in verschiedenen Sprachen (u.a. Englisch, Deutsch, Italienisch, Portugiesisch). [28]

4.3. Darstellung im Internet

Das Internet ist ein weltweites Netzwerk, das zum Austausch von Daten dient. Durch die Darstellung des 3D-Tunnelmodells im Internet ist es möglich, dieses von jedem Standpunkt auf der Welt zu betrachten, sofern der Standpunkt durch ein Netzwerk mit dem Internet verbunden ist.

Das 3D-Modell des „Skansenløpet-Tunnel“ wird auf der Webseite „<http://userwww.hs-nb.de/projects/skansenlopet/>“ als Download in zwei verschiedenen Dateiformaten angeboten. Betrachtet werden kann dieses Modell mit Hilfe eines SketchUp Viewers („SketchUp-Modell“) oder einem Acrobat Reader der Version 7.0 oder höher („PDF-Datei“).

Weiterhin besteht die Möglichkeit, 3D-Modelle durch Methoden der Georeferenzierung in Google Earth (s. Kapitel 4.3.4.) einzubringen. Alternativ ist die Veröffentlichung des Modells in der „Google 3D-Galerie“ (s. Kapitel 4.3.3.) möglich.

In den folgenden Unterkapiteln werden unter der Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten zwei Möglichkeiten zur Präsentation des 3D-Tunnelmodells mit ihren Vor- und Nachteilen angeboten.

4.3.1. Sicherheitsaspekte

Bevor das 3D-Tunnelmodell des „Skansenløpet-Tunnel“ veröffentlicht wird, sollten gewisse Sicherheitskriterien eingehalten und in Betracht gezogen werden, damit nach der Veröffentlichung keine rechtlichen Probleme auftreten.

Urheberrecht:

Das Urheberrecht ist „*das eigentumsähnliche Recht des Schöpfers eines Werks der Literatur, Musik, Kunst, Fotografie oder von Computerprogrammen an seinem Werk (geistiges Eigentum).*“ [8]

Bei der Erstellung von Werken werden oft Elemente (Textausschnitte, Bilder, Musik, usw.) verwendet, die nicht vom Eigentümer selbst stammen, sondern von Dritten, die ein Urheberrecht an diesem Element besitzen. Selbst eine unwissentliche Verletzung dieses Rechts kann strafrechtliche Konsequenzen mit sich führen.

Ist bei der Veröffentlichung des Werkes ein Element dabei, dessen Urheber ein Dritter ist, so muss von diesem Urheber eine eindeutige Genehmigung eingeholt werden. [29]

„Nach dem Urheberpersönlichkeitsrecht hat der Urheber über folgende Punkte das alleinige Verfügungsrecht:

- *ob seine Werke veröffentlicht werden dürfen*
- *in welcher Art und Weise Werke veröffentlicht werden*
- *zu welchem Zeitpunkt Werke erstmals veröffentlicht werden*
- *ob bei der Verwertung der Werke der Name des Urhebers oder sein Pseudonym genannt werden müssen“* [29]

Vertraulichkeit:

Da das 3D-Modell des „Skansenløpet-Tunnel“ für die Öffentlichkeit bestimmt ist, ist es möglich, dieses 3D-Modell aus der Google Galerie herunterzuladen und mit einem freiverfügbaren SketchUp Viewer anzusehen.

Bei einer Veröffentlichung jedoch muss im Voraus geklärt werden, welche Informationen bspw. bei einem 3D-Modell für die Öffentlichkeit bestimmt sind, um evtl. Datenmissbrauch zu verhindern.

Echtheit des Modells:

Bei der Echtheit des Modells muss die Gewissheit gegeben sein, dass es sich auch um das Objekt handelt, welches es vorgibt, zu sein.

Beständigkeit der Informationen:

Informationsverluste können durch den Menschen selbst (absichtlich bzw. unabsichtlich) oder durch Fehler in der Technik (z.B. Ausfall der Datenbank, Kompatibilitätsprobleme, Verlust bei Datenübertragung) hervorgerufen werden. Trotzdem sollte eine Gewährleistung der Vollständigkeit und Unveränderlichkeit der Daten geboten sein.

Bei einer absichtlichen Veränderung des Tunnelmodells muss dies dementsprechend gekennzeichnet werden.

4.3.2. Interaktives 3D-PDF-Dokument

„Das Portable Document Format (PDF) wurde vor mehr als 15 Jahren von Adobe Systems entwickelt und perfektioniert. Adobe PDF-Dateien enthalten Daten aus beliebigen Anwendungen, die auf jedem Rechner angezeigt werden können, und eignen sich damit zum Austausch mit Nutzern in der ganzen Welt. Einzelanwender, Firmen und Regierungseinrichtungen weltweit tauschen Ideen und Konzepte in zuverlässigen und stabilen Adobe PDF-Dokumenten aus.“ [33]

Neben der Software Adobe Acrobat 9 Pro Extended gibt es eine Vielzahl an Programmen die es ermöglichen, aus CAD und 3D-Systemen ein dreidimensionales interaktives PDF-Dokument zu erzeugen. Das Besondere an 3D-PDF-Dokumenten ist die Plattformunabhängigkeit, die Bewahrung der Informationen aus dem Ausgangsdokument trotz der hohen Datenreduktion und die Möglichkeit für verschiedene Darstellungsmöglichkeiten. [33]

Mit Hilfe einer 30-Tage-Testversion des 3D-PDF-Creator von der Firma *Render Plus* ist es möglich, schnell und einfach dreidimensionale PDF-Dokumente von SketchUp-Modellen zu erstellen, ohne dieses Modell in ein CAD-Format konvertieren zu müssen.

In der folgenden Auflistung werden die wesentlichen Schritte vom fertigen 3D-Modell in SketchUp bis zum interaktiven 3D-PDF mit dem 3D-PDF-Creator von *Render Plus* stichpunktartig beschrieben (s. u.a. Abb. 20).

Erstellung eines interaktiven 3D-PDF-Dokumentes:

- SketchUp-Modell abspeichern und SketchUp schließen
- 3D-PDF-Software öffnen
- Angabe des Pfades der SketchUp-Datei
- Angabe des Zielpfades und des Namens der erstellten Datei
- Mögliche Eingabe des Designs (Titel, Einführung, Logo, usw.)
- 3D-PDF erstellen

Das erstellte interaktive 3D-PDF-Dokument steht, auf der in Kapitel 4.3. genannten Webseite, als Download und auf der CD-Rom als Anhang zur Verfügung. Mit einer kostenfreien Version des Adobe Reader der Version 7.0 oder höher ist das 3D-PDF anschaulich.

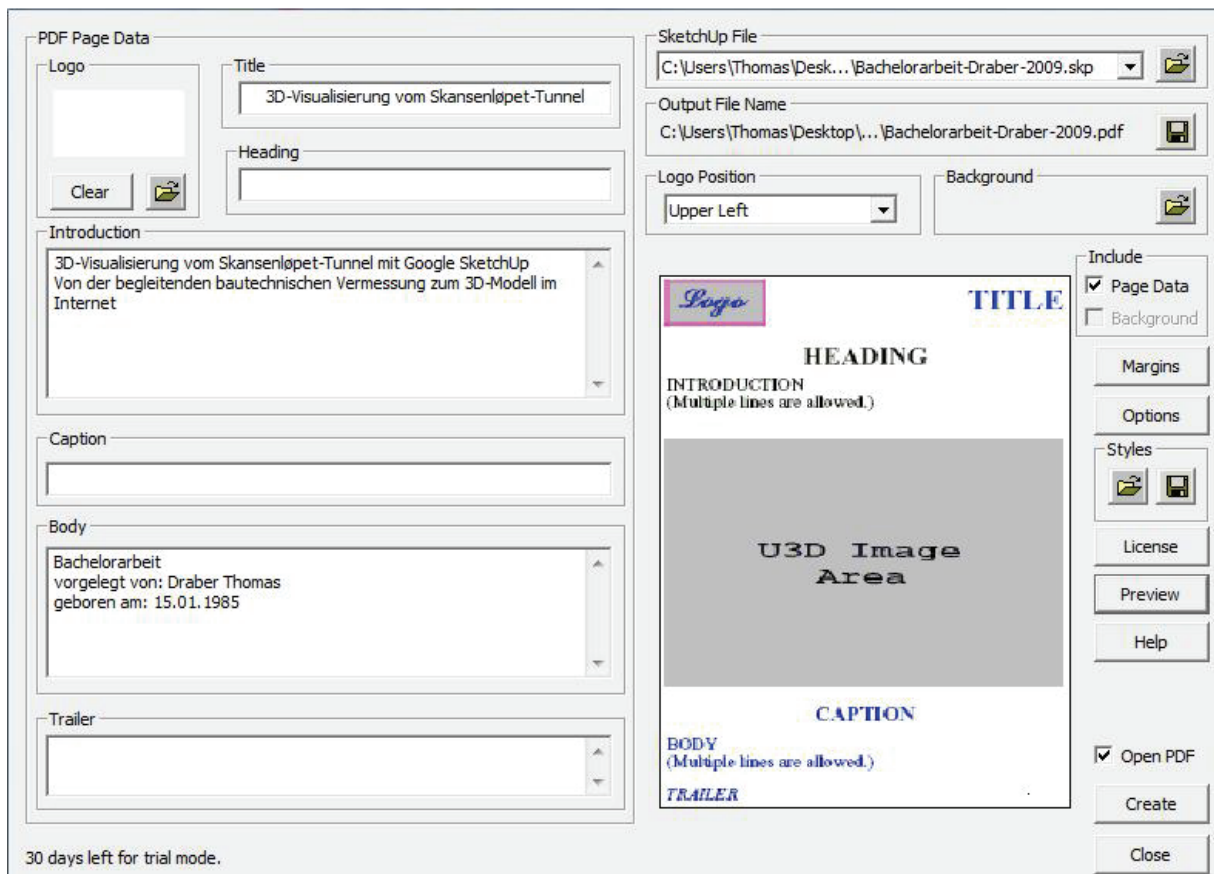


Abb. 20: Dialogbox des 3D-PDF-Creator

4.3.3. Einbindung in die Google 3D-Galerie

Eine Möglichkeit zur Präsentation ist das Hochladen des 3D-Tunnelmodells in die Google 3D-Galerie, sofern ein Google-Konto vorhanden ist. Diese 3D-Galerie ist ein Dienst von Google der es zulässt, dreidimensionale Modelle zu suchen, herunterzuladen und mit Google SketchUp anzusehen und zu bearbeiten. [30]

In der Galerie werden die 3D-Modelle in zwei Typen eingeteilt, zum Einen in die nichtgeoreferenzierten und zum Anderen in die georeferenzierten Modelle.

Nichtgeoreferenzierte Modelle sind nicht positioniert und können einfache Objekte der Umgebung sein (z.B. Bäume, Personen, usw.), aber auch Bauwerke und Fantasie-Objekte.

Georeferenzierte Modelle sind Objekte aus der realen Welt, welche in Google Earth genau positioniert sind. [30]

In der folgenden Auflistung werden die einzelnen Schritte vom fertiggestellten Modell bis zur Veröffentlichung in der 3D-Galerie stichpunktartig beschrieben.

Einbindung in die 3D-Galerie über SketchUp (Stand 16.02.2009):

- 3D-Modell mit Google SketchUp starten
- in der Menüleiste auf *Datei* → *Exportieren* → *3D-Modell*
- Export und Speicherung des Modells mit dem Exporttyp *Google Earth 4 (*.kmz)*
- in der Menüleiste auf *Datei* → *3D-Galerie* → *Modell übernehmen*
- Anmeldung über das Google-Konto
- Angabe eines „*Alias*“ (Nur beim ersten Hochladen)
- Hochladen des Modells
- Zustimmung der Nutzungsbedingungen der 3D-Galerie
- Pfad der Datei (Exportierte Modell) und des Minitaturbildes für das Modells angeben
- Angabe des Titels und der Beschreibung des Modells
- Optional kann ein Logo, Tag und die URL bezüglich des Modells für bspw. weitere Informationen angegeben werden
- Freigabeeinstellung → öffentlich oder nicht öffentlich
- Festlegung, ob andere Nutzer einen bezüglich des Modells kontaktieren dürfen
- Modell hochladen → Meldung: „*Das Modell wurde erfolgreich bearbeitet*“.

Nachdem das Modell erfolgreich hochgeladen ist besteht die Möglichkeit, es weiter zu bearbeiten, zu entfernen oder freizugeben, und es ist nicht zwingend notwendig, das Modell zu georeferenzieren, jedoch fehlt der geographische Bezug, da dieses Modell als Einzelnes herunterzuladen ist. Durch das Freigeben des 3D-Modells können andere Nutzer dieses herunterladen und ebenfalls mit Google SketchUp weiterbearbeiten.

Modelle haben generell die Möglichkeit, von der Google 3D-Galerie in die Kategorie „*Das Beste der 3D-Galerie*“ aufgenommen zu werden, müssen dafür aber gewisse Kriterien erfüllen. Da diese Kritikpunkte auf der Webseite der Google 3D-Galerie einzusehen sind, werden sie, bis auf das Kriterium des georeferenzierten Modells, nicht weiter erläutert.

In folgendem Kapitel wird die manuelle Positionierung (Georeferenzierung) am Beispiel des 3D-Modells des „Skansenløpet-Tunnel“ beschrieben.

4.3.4. Positionierung des 3D-Modells in Google Earth mit SketchUp

Da während der Visualisierung des Tunnels mit Koordinaten aus dem lokalen Koordinatensystem von Trondheim gearbeitet wurde, wird das 3D-Modell in Google Earth nicht richtig positioniert, da dieses ein anderes Bezugssystem nutzt.

Mit Google Earth und Google SketchUp kann das 3D-Tunnelmodell manuell positioniert werden. Wichtig ist zu beachten, dass das Modell im Maßstab 1:1 konstruiert ist, da dieses sonst in Google Earth zu klein oder zu groß dargestellt wird.

Der genaue Ablauf der manuellen Georeferenzierung wird in diesem Kapitel am Beispiel des „Skansenløpet-Tunnel“ in den folgenden fünf Schritten im Wesentlichen erläutert.

Schritt 1:

Als Erstes werden Google Earth und Google SketchUp gestartet und das dazugehörige 3D-Modell geladen.

Schritt 2:

Als Nächstes wird in Google Earth, möglichst senkrecht zur Oberfläche, nah an den Ort (Nähe der „Skansen-Brücke“) „herangezoomt“. Mit dem Tool „*Aktuelle Ansicht übernehmen*“ importiert SketchUp das Gelände aus dem „herangezoomten“ Bereich. Das importierte Bild (Screenshot) wird im Koordinatenursprung von SketchUp abgebildet.

Schritt 3:

Da sich das Modell nicht im Bereich des Screenshots befindet, wird das Modell mit Hilfe des Tools „*Verschieben/Kopieren*“ in die Lage auf dem Bild gebracht, an der sich das Bauwerk in der Realität befindet. Um das Modell nicht in der Höhe, sondern nur in der Lage zu verschieben, wäre es von Vorteil, in der Menüleiste unter *Kamera* → *Standardansichten*, auf die Ansicht von „*Oben*“ zu schalten. Ebenso ist es wichtig, dass alle Layer bezüglich des Modells eingeschaltet sind, da diese beim Verschieben nicht beachtet werden und an ihrer ursprünglichen Position bestehen bleiben.

Schritt 4:

Nachdem das Modell in die richtige Lage gebracht ist, wird es dem Gefälle angepasst, welches mit dem Tool „*Gelände umschalten*“ angezeigt wird, denn hierbei wird das Screenshot in ein 3D-Bild umgewandelt.

Sollte das Modell im 3D-Bild verschwinden oder abheben, kann es mit dem „*Verschieben/Kopieren*“ in die richtige Höhe gebracht werden. Da das 3D-Modell des „Skansenløpet-Tunnel“ hauptsächlich unterirdisch verläuft, muss das Modell unter dem 3D-Bild verlaufen.

Schritt 5:

Ist das 3D-Modell in die richtige Position (georeferenziert) gebracht, wird es mit der Funktion „Modell platzieren“ in Google Earth importiert und kann dort betrachtet werden.

Jedes reale (existierende) Bauwerk kann mit Google Earth und Google SketchUp manuell georeferenziert werden, sofern der Ort des Bauwerks bekannt ist und sich dadurch in die korrekte Position bringen lässt, wie in den o.g. fünf Schritten bereits erläutert. Als weitere Voraussetzung für das Einbinden in Google Earth gilt es, das Modell des Bauwerks im Maßstab 1:1 zu konstruieren.

Das hat den Vorteil, dass auf eine Koordinatentransformation verzichtet werden kann, da gerade bei lokalen Koordinaten es schwierig wird, diese in globale Koordinaten zu transformieren, weil es sich als problematisch erweisen kann, an die passenden Transformationsparameter zu gelangen.

Durch den unterirdischen Verlauf des Tunnels hat sich bei der Ansicht des Modells in Google Earth ein großer Nachteil aufgezeigt. Dadurch, dass das Modell zum größten Teil unter der Erdoberfläche verläuft, ist es nicht möglich, dieses als Ganzes zu betrachten, da die Bildaufnahmen von Google Earth (Version 5.0) das Modell schneiden und somit einen „Durchflug“ („fly through“) durch das 3D-Tunnelmodell unmöglich machen, wie es anhand der Abbildung 21 deutlich zu erkennen ist.

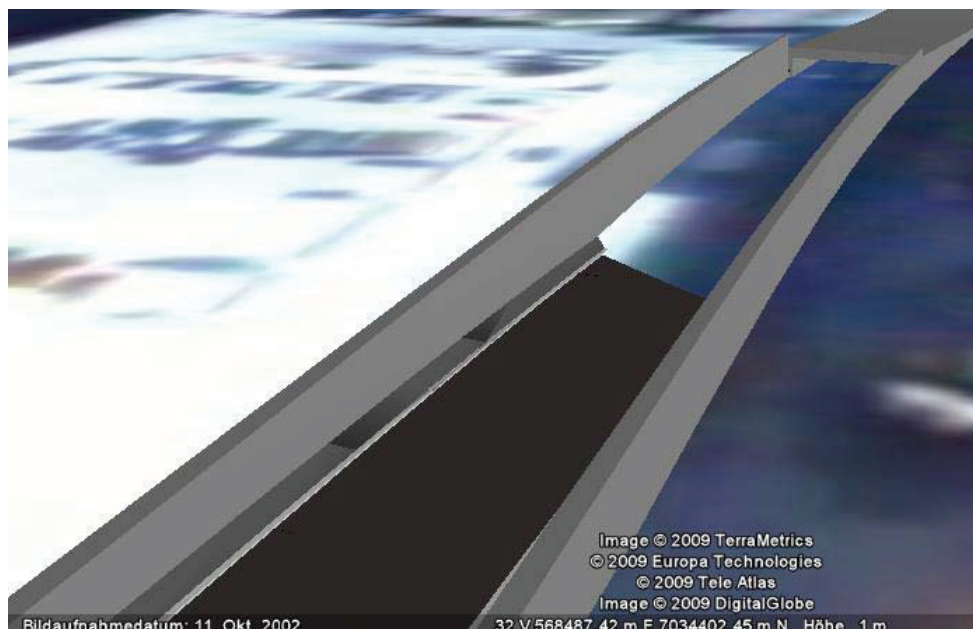


Abb. 21: Modell schneidet Oberfläche von Google Earth

4.4. Einsatz und Ausblick des 3D-Tunnelmodells

Marketing-Experten, Soziologen und Statistiker befassen sich durch jahrelange Analysen und statistische Auswertungen mit Personenkreisen, um deren Ansprüche und Erwartungen in die jeweiligen Zielgruppen zu differenzieren. [23]

Es gibt mehrere Möglichkeiten und Gründe für den Einsatz eines 3D-Tunnelmodells. Zwei dieser Möglichkeiten werden in diesem Kapitel näher erläutert.

Das 3D-Modell des „Skansenløpet-Tunnel“ ist, wie bereits in Kapitel 3.3.1. erwähnt, ein demonstratives/wirtschaftliches Modell und es soll an den folgenden Beispielen beschrieben werden, inwiefern es auf dieses Modell zutrifft.

4.4.1 Präsentationsmodell für Kunden

Bei demonstrativen Modellen steht das Design sowie die Präsentation des Produktes an erster Stelle, während die wissenschaftlichen Aspekte sekundär zu betrachten sind, was aber nicht bedeuten soll, dass diese belanglos sind. Bei wissenschaftlichen/technischen Modellen wiederum ist der wissenschaftliche Aspekt bedeutungsvoller als die optische Präsenz, da diese Modelle unterschiedliche Zielgruppen ansprechen und somit andere Erwartungen erfüllen sollten.

Architekten und Ingenieure benutzen häufig zweidimensionale Pläne und Zeichnungen, die für die meisten Kunden schwer zu deuten sind und oftmals zu Verwirrungen oder gar Missverständnissen führen können. Mit Hilfe eines 3D-Modells kann der Architekt oder Ingenieur Sachverhalte erklären bzw. Probleme beschreiben, die für den Kunden einfacher nachzuvollziehen sind. Durch das Anlegen von Layern für bestimmte Objekte, können individuell für den Kunden, diese aus- bzw. eingeblendet werden, um den Ansprüchen und den Wünschen der Kunden gerecht zu werden. Dadurch hat ein solches 3D-Modell den Vorteil, dass bereits vor der Baumaßnahme der Kunde sich das Bauwerk ansehen kann, um evtl. im Voraus mögliche Veränderungen vornehmen zu können.

Da das Bauvorhaben „Skansenløpet-Tunnel“ bereits abgeschlossen ist, könnte das 3D-Tunnelmodell mit einer Visualisierung des „Skansen Park“ erweitert werden. Der „Skansen Park“ soll voraussichtlich bis Juli 2009 fertiggestellt sein. [1]

Hier könnte das erweiterte Modell für bspw. Landschaftsarchitekten interessant sein, da sie am Modell Gestaltungen vornehmen können, um sie am Ende besser umsetzen zu können. Ein weiterer Vorteil bei der Erweiterung wäre, dass das Tunnelmodell einen Geländebezug hätte und somit dem Betrachter einen besseren räumlichen Bezug verschafft.

Dient das SketchUp-Modell lediglich der Präsentation oder dem Versand über das Internet, so reicht ein einfacher SketchUp Viewer für eine dreidimensionale Betrachtung aus.

Für ein solches Modell ist nicht zwingend eine teure oder schwer zu erlernende Designsoftware nötig.

4.4.2 Einbindung in 3D-Navigationssystemen

Eine weitere Möglichkeit der Nutzung von 3D-Tunnelmodellen könnte der zukünftige Einsatz in 3D-Navigationssystemen sein. Derzeitige Navigationssysteme für Autos zeigen Straßenkarten bzw. Richtungen, laut dem Autohersteller Volkswagen, zu ungenau an. [31]

Google, Volkswagen und die Nvidia Corporation haben es sich zur Aufgabe gemacht, ein neues Navigationssystem zu schaffen, welches 3D-Bilder von dem Programm Google Earth geliefert bekommt. Diese Bilder sind Kombinationen aus Satellitenbildern und Straßenkarten. Im 30-Tage-Rhythmus werden diese aktualisiert und können über das Internet abgerufen werden. Ebenso sollen Fotos mit hoher Auflösung genutzt werden, um die Fahrer an ihr Ziel zu bringen und eine realitätsgetreue Abbildung der Route zu schaffen. Mit dem Touch Screen bekommt der Nutzer des dreidimensionalen Navigationssystems die weitere Möglichkeit, z.B. Tankstellen, Restaurants, Hotels oder VW-Autohändler anzuwählen. Die Lage bezieht das System wie auch alle anderen Autonavigationssysteme über GPS. [31][32] So könnten nicht nur Bauwerke des Hochbaus (Häuser, Kirchen, usw.), sondern auch des Tief- bzw. Verkehrswegebau (Brücken, Tunnel) genutzt werden.

Wann genau dieses Navigationssystem auf dem Markt erhältlich sein wird, ist jedoch nicht bekannt.



Abb. 22: Mögliches Interface des 3D-Navigationssystems [31]

5. Automatisierte Verarbeitung von Daten in Google SketchUp

Neben der manuellen Verarbeitung von Daten können auch Daten (z.B. im DWG-Format) importiert oder Arbeitsabläufe, die mehrfach wiederholt werden, in Google SketchUp mit Hilfe von Ruby-Skripten vereinfacht bzw. automatisiert werden.

5.1. Importieren von Dateien im DWG-/DXF-Format

Die technischen Zeichnungen des „Skansenløpet-Tunnel“ liegen nur als Ausdruck für die Bachelorarbeit vor, können dadurch nicht als DWG-/DXF-Format importiert werden und nicht als Beispiel für dieses Kapitel genutzt werden. Deshalb wird an dem Beispiel einer freigewählten DWG-Datei der Import in Google SketchUp, sowie die Vor- und Nachteile, beschrieben. Bei der freigewählten DWG-Datei handelt es sich um eine digitale technische Zeichnung vom Erdgeschoß Haus 3 (Grundriss) der Hochschule Neubrandenburg.

Importieren:

Bevor Daten im DWG- bzw. DXF-Format in SketchUp bearbeitet werden, sollten folgende Grundregeln für das Arbeiten mit SketchUp und CAD-Daten beachtet werden:

- Neue Datei zum Import von CAD-Dateien verwenden und speichern
- Nicht die Original CAD-Datei verwenden
- Längen- und Winkleinheiten, mit denen gearbeitet wird, sollten bekannt sein

Die folgenden vier Schritte beschreiben den Import der digitalen technischen Zeichnung im DWG-Format und Verbesserungsmöglichkeiten für die Darstellung sowie das weitere Arbeiten in Google SketchUp.

Schritt 1 - Importieren:

Zuerst wird ein neues Projekt mit SketchUp gestartet. Über *Datei* → *Importieren* wird die benötigte Datei angewählt. Bevor die Datei importiert wird, kann sich unter *Optionen* (s. Abb. 23) vergewissert werden, dass die *Geometrie* und die *Skalierung* richtig ausgewählt sind, da es z.B. bei einer falschen Skalierung (Zentimeter statt Meter) der Wert der Bemaßung zwar gleich bleibt, aber die metrische Einheit sich ändert, d.h. aus ursprünglich 100 Meter werden 100 Zentimeter. Der Grundriss bzw. das 3D-Modell würde in einem Maßstab von 1:100 dargestellt werden und wäre als späteres Modell für Google Earth ungeeignet (s. Kapitel 4.3.4.)

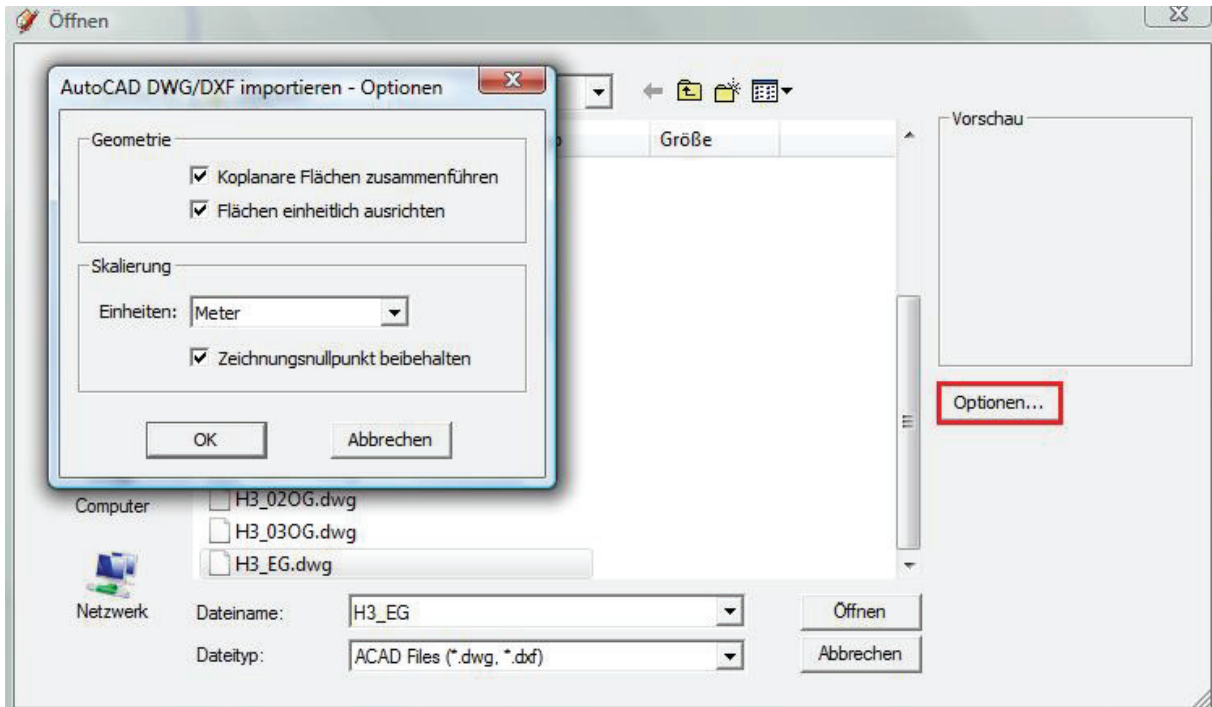


Abb. 23: Schritt1 Importieren von AutoCAD-Formaten

Nachdem die Importierung abgeschlossen ist, wird dem Nutzer ein „*Importergebnis*“ (s. Abb. 24) angezeigt, welches an diesem Beispiel schlussfolgern lässt, dass viele AutoCAD-Elemente von SketchUp ignoriert werden und dadurch Informationen verloren gehen können. Zu den Informationsverlusten gehören bspw. Zahlen und Buchstaben.

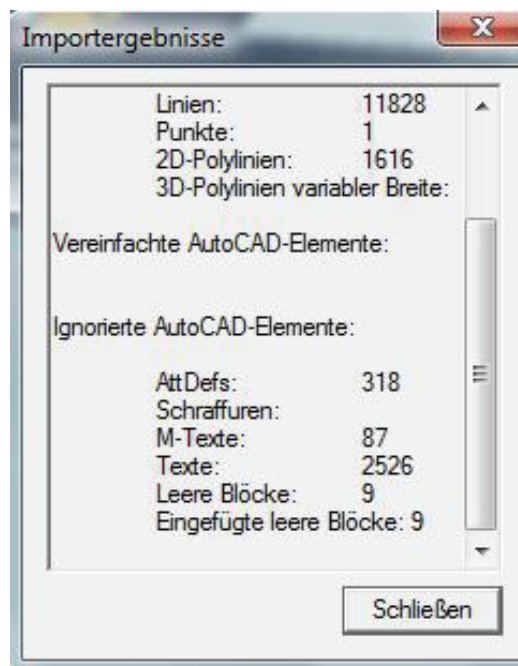


Abb. 24: Schritt 1: Importergebnis

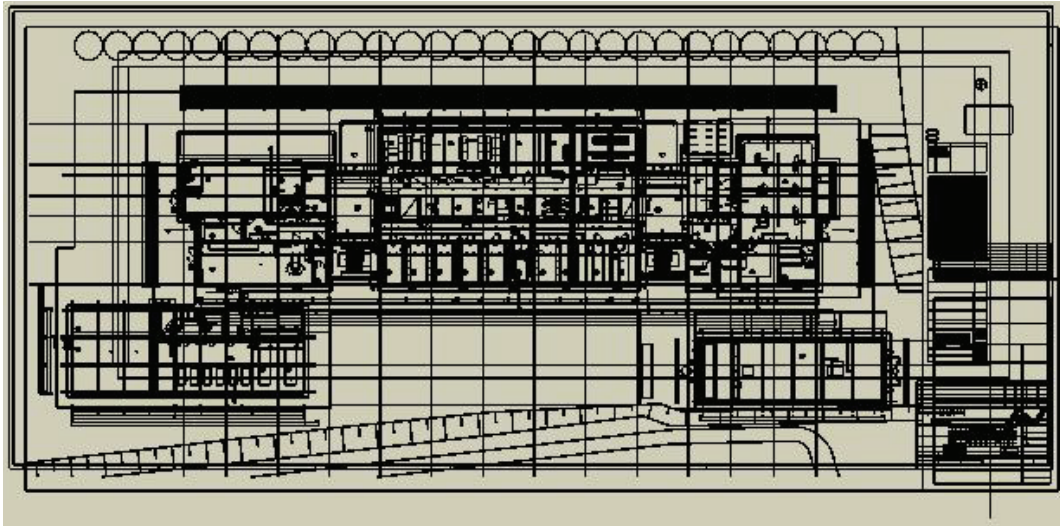


Abb. 25: Geometrien in SketchUp nach dem Import

Schritt 2 – Ausblenden von nichtrelevanten Objekten:

Ist die Datei in SketchUp geladen, wird jedes geometrische Objekt angezeigt, das die CAD-Datei beinhaltet (s. Abb. 25), was zu hohen Ladezeiten beim Navigieren in SketchUp führt (Verzögerungen von bis zu 5 Sekunden) und dadurch auch zu viele Details preisgibt, die bei der Konstruktion unwichtig bzw. nicht relevant sind, worauf viele Objekte im Nachhinein gelöscht oder ausgeblendet werden müssen. Demnach würden beim Import einer DWG- oder DXF-Datei des „Skansenløpet-Tunnel“ bspw. die Schächte und Rohre mit angezeigt werden und somit den Überblick auf das eigentliche 3D-Modell erschweren. Hier besteht jedoch die Möglichkeit, über die Layerübersicht (*Fenster* → *Layer*), unnötige Objekte auszublenden oder zu löschen. Dadurch kann der Nutzer selbst entscheiden (im Fall „Skansenløpet-Tunnel“: Wandgeometrie bzw. Koordinaten der Straße), mit welchen Objekten weitergearbeitet werden soll.

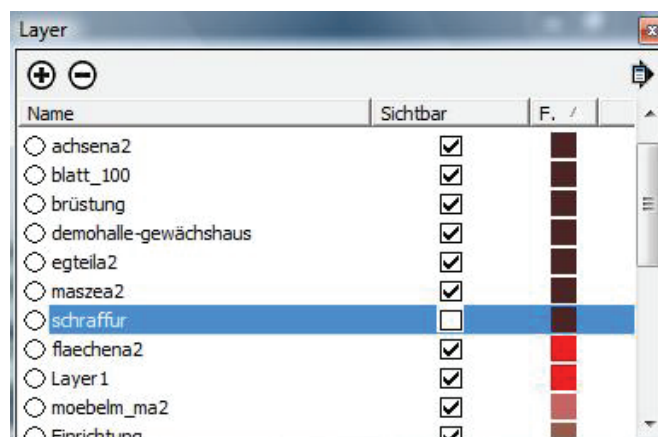
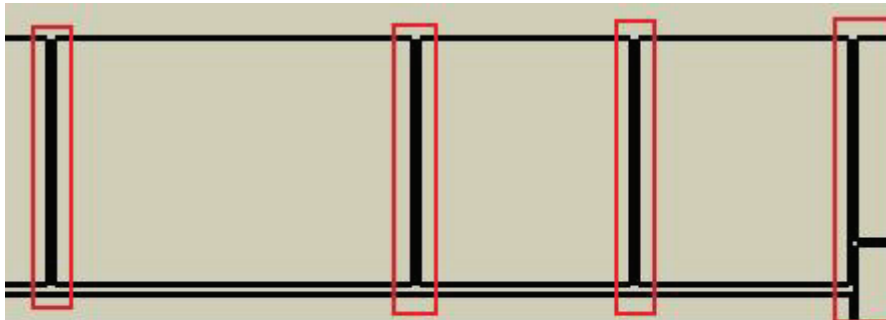


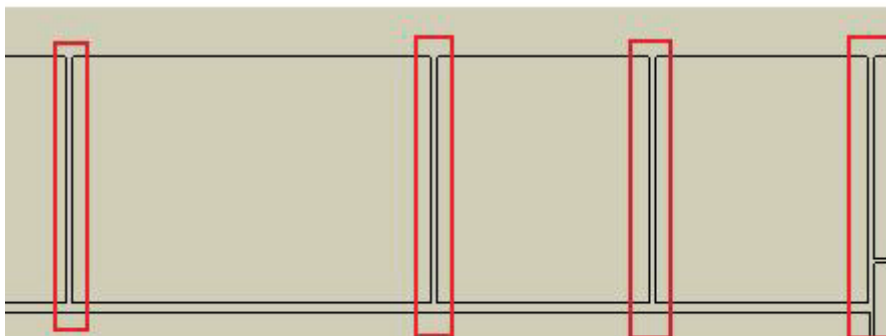
Abb. 26: Schritt 2: Layerübersicht: Ausblenden von nichtrelevanten geometrischen Objekten

Schritt 3 – Bearbeitung der Strichstärken:

Nachdem die nichtbenötigten Objekte ausgeblendet sind, besteht die Möglichkeit, die „Stärke“ der Elemente (z.B. die Strichstärke) über die Menüleiste *Fenster* → *Stile* → *Bearbeiten* zu ändern. Dieses ist besonders dann angebracht, wenn mehrere Linien so dicht nebeneinander liegen, dass bspw. für den Bearbeiter der Eindruck entsteht, dass es sich um eine breite Linie handelt, obwohl es zwei nebeneinander liegende Linien sind (s. Abb. 27).



Vor der Bearbeitung der Strichstärke (Stärke 3)



Nach der Bearbeitung der Strichstärke (Stärke 1)

Abb. 27: Bearbeitung der Strichstärke

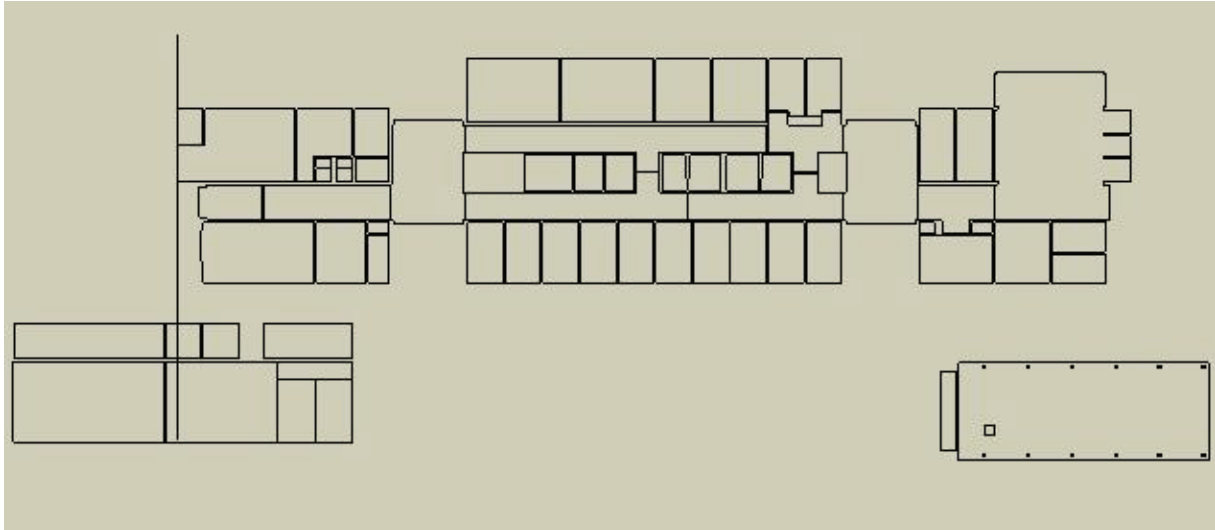


Abb. 28: Importierte CAD-Daten nach Schritt 2 und 3

Schritt 4 - Nachskalierung:

Dieser Schritt ist dann von besonderer Bedeutung, wenn bspw. eine importierte Datei das Modell oder die technische Zeichnung in einem „falschen“ Maßstab (nicht 1:1) darstellt. Mit Hilfe des Tools „Skalieren“ kann der „falsche“ Maßstab in den gewünschten oder für Google Earth erforderlichen Maßstab (1:1) gebracht werden, sofern der Skalierungsfaktor (Sf) bzw. der falsche Maßstab bekannt ist.

Bestimmung des Skalierungsfaktors:

$$\begin{aligned} \text{„falscher“ Maßstab} &= 1 : x \\ \text{Sf} &= x \end{aligned}$$

Beispiel:

$$\begin{aligned} 1. \text{ „falscher“ Maßstab} &= 1 : 4 \\ \text{Sf} &= 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ „falscher“ Maßstab} &= 1 : 0,25 \\ \text{Sf} &= 0,25 \end{aligned}$$

Mit dem Skalierungsfaktor werden das Modell oder die Zeichnung jeweils parallel zu den drei Achsen des Koordinatensystems von SketchUp „gestreckt“ bzw. „gestaucht“.

Auf Grundlage der vier genannten Schritte kann die weitere Bearbeitung von AutoCAD-Dateien in Google SketchUp erfolgen.

In der folgenden Tabelle sind die wesentlichen Vor- und Nachteile, die mit dem Import von DWG-/DXF-Formaten verbunden sind, aufgelistet.

Vorteil	Nachteil
Schnelleres Arbeiten/Modellieren (Zeitersparnis)	Verlust von AutoCAD-Elementen (Zahlen, Texte, Blöcke, usw.)
Einfaches und benutzerfreundliches Importieren	
Übernimmt Layer von AutoCAD	
Änderung der Attribute von geometrischen Objekten (z.B. Strichstärke, Skalierung, usw.)	

Tab. 9: Vor- und Nachteile beim Importieren von AutoCAD-Formaten

Den größten Vorteil durch das Importieren von Daten im DWG-/DXF-Format ist die Zeitersparnis gegenüber der manuellen Datenverarbeitung in SketchUp, sofern die geometrischen Objekte bereits im CAD-Programm in verschiedene Layer abgelegt worden. Besonders dann, wenn umfangreiche Modelle visualisiert werden, würde sich das Arbeiten mit CAD-Formaten in Google SketchUp bewähren. So können bspw. Grundrisse in wenigen Minuten importiert und bearbeitet werden, während die manuelle Konstruktion des Grundrisses einige Stunden in Anspruch nehmen würde.

5.2. Ruby-Skripte

Ruby ist eine plattformunabhängige Sprache für die objektorientierte Programmierung. Die dazu gehörige Software ist frei erhältlich. Da Google SketchUp eine Ruby-Schnittstelle besitzt, können für dieses Programm Skripte geschrieben werden, die dem Nutzer das Modellieren und sich wiederholende Arbeitsschritte in SketchUp vereinfachen oder die Funktionalität dieser Designsoftware erweitern.

Auf der Webseite von Google SketchUp besteht die Möglichkeit, Ruby-Skripte herunterzuladen, die dementsprechend in den dafür vorgesehenen SketchUp-Ordner („*Plugins*“) entpackt werden. Um einige Plugins (Erweiterungen) in SketchUp ausführen zu können, werden Grundskripte („*Referenzskripte*“) benötigt, die als Voraussetzung für andere Skripte dienen und Funktionen liefern. So kann bspw. auf der Grundlage von Vermaschungszusätzen und Bezierkurven, durch Angabe von Parametern (Radien und Höhen) in einem Dialogfenster in kürzester Zeit ein „Zwiebelturm“ erschaffen werden, was ohne diese Erweiterung viel Zeit in Anspruch nehmen könnte.

Tools, die durch Ruby-Skripte definiert sind, können über die Menüleiste oder mit einem einfachen „Rechtsklick“ aufgerufen werden.

Neben der Ruby-Schnittstelle besitzt SketchUp in der Menüleiste eine Ruby-Konsole mit der die Nutzer, die mit der Ruby-Programmiersprache vertraut sind, Befehle oder Methoden ausführen und testen können. [18]

Mit Kenntnissen in der Ruby-Programmiersprache könnte für die 3D-Visualisierung des „Skansenløpet-Tunnel“ ein Skript geschrieben werden, das die Verarbeitung von Koordinaten und Maßketten vereinfacht oder bestimmte Konstruktionsabläufe automatisiert. Ein mögliches Skript könnte ein Dialogfenster liefern, welches Koordinaten verschiedener Koordinatensysteme automatisch in ein anderes gewünschtes System umwandelt und gleichzeitig in SketchUp einbringt. Um dieses jedoch zu realisieren, müssen die Transformationsparameter bekannt sein. So könnten bspw. Gauß-Krüger-Koordinaten oder geographische Koordinaten mit Hilfe eines Algorithmus zu UTM-Koordinaten transformiert werden.

Aber wie bereits in Kapitel 4.3.4. erwähnt, kann es sich speziell bei Transformationsparametern, die lokale Koordinaten in globale überführen, als schwierig erweisen, an diese zu gelangen.

Bei der 3D-Visualisierung des „Skansenløpet-Tunnel“ wurde auf den Einsatz von Ruby-Skripten und Ruby-Konsole verzichtet, da die Auseinandersetzung mit der Programmiersprache sehr viel Zeit in Anspruch genommen und den zeitlichen Rahmen der Bachelorarbeit überschritten hätte.

6. Zusammenfassung und Fazit

Die Baumaßnahme „Skansenløpet-Tunnel“ ist Bestandteil des „E6 North Relief Road Projects“ und wird von der Bilfinger Berger AG durchgeführt. Ziel dieses Projektes ist der Bau einer Umgehungsstraße in Trondheim/Norwegen, die die Innenstadt vor zunehmenden Verkehrsbelastungen bewahren soll. Unterstützt und realisiert wird diese Baumaßnahme durch die bautechnische Vermessung, die sich am lokalen Koordinaten- und Höhensystem von Trondheim orientiert. Die dafür vorgesehenen technischen Pläne und Koordinaten liegen vorwiegend in Form von AutoCAD-Formaten oder PDF-Dateien vor. Für die 3D-Visualisierung werden die technischen Zeichnungen mit Koordinaten aus PDF-Ausdrücken verwendet. Mit der Designsoftware Google SketchUp werden diese Daten durch Funktionen bzw. Tools manuell verarbeitet und anschließend als dreidimensionales Modell unter Berücksichtigung von Sicherheitskriterien und Anforderungen an das 3D-Tunnelmodell im Internet präsentiert. Ein mit WINK erstelltes Tutorial zeigt am Beispiel eines Tunnelsegmentes die Konstruktion des Modells.

Neben der manuellen Verarbeitung wird auch die automatisierte Verarbeitung von Daten am Beispiel einer AutoCAD-Datei im DWG-Format in Betracht gezogen. Weiterhin kann eine Automatisierung und Vereinfachung von Arbeitsabläufen mittels Download oder Programmierung von Ruby-Skripten vorgenommen werden.

Durch die Georeferenzierung des 3D-Modells in SketchUp ist es möglich, dieses in Google Earth zu positionieren und könnte zukünftig in 3D-Navigationssysteme, die auf Google Earth beruhen, eingebunden werden.

Google SketchUp ist eine schnell und leicht beherrschbare Designsoftware zur 3D-Visualisierung von einfachen aber auch komplexen Objekten. Durch die mitgelieferten Funktionen und Bibliotheken von SketchUp ist es möglich, Modelle bis zum Level of Detail 4 zu konstruieren. Auch das Importieren und das Bearbeiten von AutoCAD-Formaten ermöglicht ein professionelles Arbeiten für Ingenieure und Architekten. Der größte Vorteil, der durch das Importieren solcher Formate entsteht, ist die Zeitersparnis (einige Stunden bis mehrere Tage) gegenüber der manuellen Verarbeitung von Daten in SketchUp, je nach Komplexität des Modells.

Das Thema der automatisierten Verarbeitung von Daten und das Arbeiten mit Ruby-Skripten ist jedoch ausbaufähig und hat Bedarf an weitere Untersuchungen (z.B. Unterschiede beim Import von DWG- gegenüber DXF-Formaten).

Interaktive 3D-PDF-Dokumente können schnell über das Internet verbreitet werden und sind auf jedem Betriebssystem anschaulich, sofern ein dafür vorgesehener „Viewer“ (Adobe Reader Version 7.0 oder höher) installiert ist. Dadurch sind diese Dokumente für die

Verbreitung und Präsentation des Modells besser geeignet als Modelle in einem CAD- oder 3D-Format. Während ein Adobe Reader kostenfrei zur Verfügung steht und auf den meisten PCs installiert ist, kann es sich oft als schwierig oder kostenintensiv erweisen, einen für CAD- und 3D-Formate geeigneten „Viewer“ zu beschaffen.

Für Modelle, die unterhalb der Erdoberfläche liegen, wie z.B. der Skansenløpet-Tunnel“, ist die Einbindung und Darstellung in Google Earth zur Zeit ungeeignet. Der Grund dafür ist das Schneiden des „unterirdischen Modells“ mit den Bilderaufnahmen in Google Earth. Dadurch wird eine Betrachtung des gesamten 3D-Tunnelmodells unmöglich (Siehe Kapitel 4.3.4. Abb. 21).

7. Glossar

AS-Built	Dokumentation des SOLL-IST-Bestandes
ASCII	American Standard Code for Information Interchange → 7-Bit Code
AutoCAD	CAD-Programm zur Be- und Verarbeitung von CAD-Modellen
AutoDesk	Firmenname und Entwickler von AutoCAD
Bewehrung	einlegte(r) Stab/Faser zur Verstärkung von Baustoffen
Bezugssystem	<i>„der Messung oder mathematischen Beschreibung eines physikalischen Sachverhalts zugrunde gelegtes Koordinatensystem“ [8]</i>
Bilfinger Berger AG	Bauunternehmen, Generalunternehmer der Baumaßnahme Skansenløpet-Tunnel
Blockfuge	Zwischenraum zwischen einander stoßenden Tunnelsegmenten
Blockmitte	Mitte eines Tunnelsegmentes
CAPLAN	Vermessungstechnisches Programm
Creator	Ersteller / Schöpfer
Cut-and-Cover-Prinzip	Prinzip der offenen Bauweise (s. Kapitel 2.2.)
Daten	Informationen aus Messungen, Beobachtungen oder Ähnlichem
Datenblock	Zeile, bestehend aus mehreren Datenwörtern
Datenwort	bestehend aus mehreren Zeichen
DWG	Datenformat der Firma AutoDesk (s. Kapitel 3.2.1)
DXF	Datenformat der Firma AutoDesk (s. Kapitel 3.2.1)
Einstabpfähle	<i>„Pfähle mit kleinem Durchmesser sind ein wichtiger Bestandteil der heutigen Pfahlgründungen. Sie finden vor allem Anwendung bei Sanierungen, Nachgründungen und überall dort wo beschränkte Arbeitshöhen vorhanden sind.“ [25]</i>
Ellipsoid	Rotationskörper einer Ellipse
ETRS	Europäische Terrestrische Referenzsystem, bildet mit dem GRS80 ein geodätisches Datum.
freie Stationierung	Methode zur Stationierung mit der freien Wahl des Standpunktes
Generalunternehmer	Mit dem Ausführen einer Baumaßnahme, mit allen Leistungen vom Bauherrn beauftragt, und befugt, Leistungen an andere Unternehmen (Subunternehmen) weiter zu geben.
Geodaten	Informationen zur Beschreibung der Erdoberfläche

geodätisches Datum	Durch einen Parametersatz angegebene Definition einer bestimmten Figur zur Annäherung an die Erdfigur.
geodynamisch	Bewegungsvorgang im Erdinneren bzw. auf der Erdoberfläche
Geoid	Niveaulfläche des Erdschwerefeldes in Höhe des mittleren Meeresspiegel unter besonderen Einflüssen
georeferenzieren	räumliche Zuweisung
Geozentrum	Schwerpunkt der Erde
Google Earth	Programm zur Darstellung eines virtuellen Globus
Google SketchUp	3D-Modellierprogramm
GRS80	Geodetic Reference System 1980 → Referenzellipsoid, bildet mit dem ETRS89 ein geodätisches Datum.
GSI-Format	Instrumentenformat für Vermessungsinstrumente
Gurtung	Horizontale Befestigung an Spundwänden und Ähnlichem
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
Kabellichtlot	Messgerät zur Ermittlung des Wasserstandes mit Hilfe einer Elektrode
Kompatibilität	„Austauschbarkeit oder Verknüpfbarkeit von Geräten, Datenträgern, Daten und Programmen ohne besondere Maßnahmen“ [8]
Level of Detail	Detailstufe
LayOut (Beta)	vollständiges und separates Programm von Google SketchUp Pro 6 zur Erstellung von Präsentationen.
NGO1948	nationale Koordinatensystem von Norwegen (s. Kapitel 3.1.2)
NN1954	norwegisches Höhensystem (s. Kapitel 3.1.2)
Polarkoordinaten	„Koordinaten für Länge und Richtung des Ortsvektors in Bezug auf den Nullpunkt und die Bezugsrichtung“ [26]
Plug-ins	Erweiterung
Quasigeoid	Normalhöhen werden von der physikalischen Erdoberfläche nach unten abgetragen.
Render Plus	Firma und Entwickler von 3D-Graphik-Software
Ruby	Programmiersprache
Sauberkeitsschicht	unbewehrter Beton für eine „saubere“ und „ebene“ Arbeitsfläche
Schalwagen	zusammengebaute und zusammengekoppelte Fahr- und Schalungseinheit
Skansenkanal	Schifffahrtskanal in Trondheim
Skansenløpet-Tunnel	Name des Tunnels

Spundbohle	Bauelement einer Spundwand, mit Schlössern an den Seiten zur Verankerung → Bildung einer Spundwand
Spundwand	Wasserdichte Wand bestehend mehreren Spundbohlen zur Umschließung einer Baugrube.
Statens Vegvesen	norwegische Straßenbaubehörde
Steife	Stütze für zwei gegenüberliegende Spundwände
Trasse	(s. Kapitel 2.3.3.)
Tunnelsegment	Tunnelabschnitt (Block)
Unterwasserbeton	Unter Wasser eingebauter Beton, der als Sperrschicht zwischen dem Grundwasser und den Bodenplatten dient.
U T M	Universal Transversal Mercator (s. Kapitel 3.1.1.)
Vibrationsbär	Baumaschine zum Rammen und Ziehen von Spundbohlen
Visualisierung	Veranschaulichung von abstrakten Daten
Wandgeometrie	Lage und Höhe der Eckpunkte der Innen- und Außenwand des Tunnelsegments
WGS84	<i>„Weltweites Referenzellipsoid als Basis für die GPS-Vermessung, aus Satellitenbeobachtungen hergeleitet.“ [26]</i>

8. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Rote Markierung → E6 North Relief Road Project [1].....	6
Abb. 2: Übersicht zur Baumaßnahme [1]	7
Abb. 3: Bauverlauf nach dem „Cut-and-Cover“ Prinzip	8
Abb. 4: Baugrube (Schritt a bis f aus Abb. 3) ohne Bauwerk [1]	9
Abb. 5: Eisenbahn-Klappbrücke	11
Abb. 6: Schalwagen beim Aufbau	14
Abb. 7: Globales Koordinatensystem (X;Y;Z) [27].....	17
Abb. 8: Höhe mit Bezugsfläche als Beispiel „Amsterdamer Pegel“ [13].....	19
Abb. 9: Links: stetige Funktion (analoge Daten)	22
Abb. 10: Beispiel: Aufbau eines Datenwortes am GSI-8-Format [17]	24
Abb. 11: Modell einer Dampfmaschine [21]	26
Abb. 12: Rutherfordsches-Atommodell [22]	27
Abb. 13: Architektenskizze der Krankenhauskapelle-Minden [24]	27
Abb. 14: Ansicht von Oben: Tunnelsegment 15m (A) und Tunnelsegment 25m (B)	38
Abb. 15: Bodenplatte	39
Abb. 16: Bodenplatte mit Tunnelwand	40
Abb. 17: Bodenplatte mit Tunnelwand und Tunneldecke	40
Abb. 18: Ansicht von vorn: Außenhülle mit Straße und Gehweg	41
Abb. 19: Rechts: Mauer mit Bild im JPEG-Format als Textur (Größe 957 KB).....	42
Abb. 20: Dialogbox des 3D-PDF-Creator	48
Abb. 21: Modell schneidet Oberfläche von Google Earth	52
Abb. 22: Mögliches Interface des 3D-Navigationssystems [31]	55
Abb. 23: Schritt1 Importieren von AutoCAD-Formaten	57
Abb. 24: Schritt 1: Importergebnis.....	57
Abb. 25: Geometrien in SketchUp nach dem Import.....	58
Abb. 26: Schritt 2: Layerübersicht: Ausblenden von nichtrelevanten geometrischen Objekten	58
Abb. 27: Bearbeitung der Strichstärke	59
Abb. 28: Importierte CAD-Daten nach Schritt 2 und 3	60

9. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Legende zu Abb. 4	9
Tab. 2: Hauptmassen der Baumaßnahme [2]	9
Tab. 3: Unterschied zwischen UTM-System und 3°-Gauß-Krüger-System [11][12]	18
Tab. 4: Merkmale von analogen und digitalen Daten [10][11]	22
Tab. 5: Empfohlene Systemvoraussetzung beider Betriebssysteme [18]	28
Tab. 6: Grundwerkzeuge von Google SketchUp	29
Tab. 7: Zusatzfunktionen und ihre Beschreibung von Google SketchUp Pro 6 [18]	31
Tab. 8: Vergleich des Konstruktionsablaufs: Bau und 3D-Visualisierung	36
Tab. 9: Vor- und Nachteile beim Importieren von AutoCAD-Formaten	61

10. Liste der benutzten Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Bsp.	Beispiel
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d.h.	das heißt
evtl.	eventuell
ggf.	gegebenenfalls
LOD	Level of Detail
min.	mindestens
o.g.	oben genannt
OK	Oberkante
s.	siehe
S.	Seite
Sf	Skalierungsfaktor
Tab.	Tabelle
u.a.	unter anderem
UK	Unterkante
usw.	und so weiter
UW-Beton	Unterwasser-Beton
z.B.	zum Beispiel

11. Quellenverzeichnis

- [1] Webseite der norwegischen Straßenbaubehörde *Statens Vegvesen*
Bezogen von URL:
<http://www.vegvesen.no>
(abgerufen am 12.01.2009 um 18:30 Uhr)
- [2] Webseite *Bilfinger Berger Spezialtiefbau*
Bezogen von URL:
[http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N2765K7X809GPERDE/\\$FILE/E6%20Skansenloepet-Tunnel%20Trondheim.pdf](http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N2765K7X809GPERDE/$FILE/E6%20Skansenloepet-Tunnel%20Trondheim.pdf)
(abgerufen am 12.01.2009 um 18:58 Uhr)
- [3] Webseite *GEOSYS IB Eber - Beratende Ingenieure und Sachverständige für Vermessung*
Bezogen von URL:
http://www.geosys-eber.de/ansichten/geosys_ibeber_ansichten_2006_02.pdf
(abgerufen am 15.01.2009 um 11:11 Uhr)
- [4] Webseite *Leica-GeoSystems*
Bezogen von URL:
http://www.leica-geosystems.com/images/new/product_solution/CPR105.jpg
(abgerufen am 16.01.2009 um 9:37 Uhr)
- [5] Webseite *Einsundeinsshop*
Bezogen von URL:
https://ssl.kundenserver.de/s34594501.einsundeinsshop.de/sess/utn153b6f2006db5e/d/bs_shopdata/0080_Vermessung/0180_Vermarktung/images/VB-11D-2-_1_120x115.jpg
(abgerufen am 16.01.2009 um 9:39 Uhr)
- [6] Webseite *doka – Die Schalungstechniker*
Bezogen von URL:
<http://www.doka.com/imperia/md/content/doka/german/aktuell/schalungaktuell/12.pdf>
(abgerufen am 16.01.2009 um 15:13 Uhr)

- [7] Webseite *Egelkraut-Vermessungsartikel*
Bezogen von URL:
<http://shop.vermessungsartikel.de/images/30-00126.jpg>
(abgerufen am 17.01.2009 um 12:57 Uhr)
- [8] © 2003 Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG: *Brockhaus Universal Lexikon*; Sonderausgabe für die Verlagsgruppe Weltbild GmbH;
- [9] Eine Dokumentation, herausgegeben vom Bundesvorstand der Industriegesellschaft Bau-Steine-Erden Abteilung Angestellte – Frauen – Sozialpolitik (Sommer 1990);
Fachbeiträge zur Vorbereitung auf die Polierprüfung
- [10] Webseite *Uni-Münster*
Bezogen von URL:
<http://www.uni-muenster.de/Chemie.oc/research/grimme/teaching/2.pdf>
(abgerufen am 26.01.2009 um 14:48 Uhr)
- [11] Norbert de Lange (2002): *Geoinformatik in Theorie und Praxis*; Berlin Heidelberg:
Springer-Verlag
- [12] Webseite *Die Geodäten*
Bezogen von URL:
<http://diegeodaeten.de/service.html>
(abgerufen am 30.12.2005 um 17:42 Uhr)
- [13] Webseite *Heinrich-Hübsch-Schule* Karlsruhe
Bezogen von URL:
<http://www.frankundnancy.de/Downloadbbs/3Lehrjahr/Hoehensysteme.pdf>
(abgerufen am 29.01.2009 um 13:24 Uhr)
- [14] Webseite *Statens Kartverk*
Bezogen von URL:
www.statkart.no
(abgerufen am 29.01.2005 um 13:53 Uhr)

- [15] Webseite *Killet Soft*
Bezogen von URL:
<http://www.killetsoft.de>
(abgerufen am 29.01.2009 um 14:15 Uhr)
- [16] Webseite *Öffentlich bestellte Vermessungsingenieure Manfred Wolf und Jörg Schröder - Vermessung und Geoinformation aus einer Hand -*
Bezogen von URL:
<http://www.vermessung-wolf.de/wissen/etrs.html>
(abgerufen am 29.01.2009 um 14:33 Uhr)
- [17] Webseite *base equipment software*
Bezogen von URL:
<http://www.baseqsoft.de/support/fileform/wileica/index.htm>
(abgerufen am 30.01.2009 um 12:54 Uhr)
- [18] Webseite *Google Sketchup*
Bezogen von URL:
<http://sketchup.google.com/intl/de/>
(abgerufen am 30.01.2009 um 14:07 Uhr)
- [19] Webseite *Google Earth*
Bezogen von URL:
<http://earth.google.de>
(abgerufen am 01.02.2009 um 12:46 Uhr)
- [20] Webseite *FH-Oldenburg*
Bezogen von URL:
http://www.gis1.de/uploads/visualisierung/visualisierung_google_earth.pdf
(abgerufen am 01.02.2009 um 13:37 Uhr)
- [21] Webseite *Schulmuseum Uni-Erlangen*
Bezogen von URL:
http://www.schulmuseum.uni-erlangen.de/themen_4_modell_einer_dampfmaschine.jpg
(abgerufen am 02.02.2009 um 13:59 Uhr)

- [22] Webseite *bartleby*
Bezogen von URL:
<http://www.bartleby.com/images/A4images/A4atom.jpg>
(abgerufen am 02.02.2009 um 14:18 Uhr)
- [23] Webseite *business-wissen*
Bezogen von URL:
<http://www.business-wissen.de/markt/segmentierung/buch/zielgruppen.html>
(abgerufen am 02.02.2009 um 14:41 Uhr)
- [24] Webseite *Evangelische Krankenhausseelsorge im Johannes Wesling Klinikum Minden*
Bezogen von URL:
<http://www.krankenhauskapelle-minden.de/kapelle-modell.jpg>
(abgerufen am 02.02.2009 um 17:03 Uhr)
- [25] Webseite *Uni-Weimar – Diplomarbeit - Pfähle mit kleinem Durchmesser - Technik, Anwendung, Tragverhalten von Meiko Bräunlich*
Bezogen von URL:
<http://e-pub.uni-weimar.de/volltexte/2005/454/pdf/diplomarbeit.pdf>
(abgerufen am 03.02.2009 um 11:06 Uhr)
- [26] Webseite *Uni-Rostock*
Bezogen von URL:
<http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/>
(abgerufen am 03.02.2009 um 11:23 Uhr)
- [27] Webseite *Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz*
Bezogen von URL:
<http://www.lverma.rlp.de/images/lv/vr/kugel2.jpg>
(abgerufen am 12.02.2009 um 14:15 Uhr)
- [28] Webseite *Debugge Mode*
Bezogen von URL:
<http://www.debugmode.com/wink/>
(abgerufen am 15.02.2009 um 15:02 Uhr)

- [29] Webseite *Infoquelle*
Bezogen von URL:
http://www.infoquelle.de/Recht/Online_Recht/Urheberrechte.htm
(abgerufen am 16.02.2009 um 13:24 Uhr)
- [30] Webseite *Google 3D-Galerie*
Bezogen von URL:
<http://www.google.de/sketchup/3dwh/>
(abgerufen am 16.02.2009 um 14:15 Uhr)
- [31] Webseite *WinFuture*
Bezogen von URL:
<http://winfuture.de/news.24043.html>
(abgerufen am 17.02.2009 um 15:35 Uhr)
- [32] Webseite *Golem*
Bezogen von URL:
<http://www.golem.de/0602/43176.html>
(abgerufen am 17.02.2009 um 15:35 Uhr)
- [33] Webseite *Adobe*
Bezogen von URL:
<http://www.adobe.com/de/products/acrobat/adobepdf.html>
(abgerufen am 03.03.2009 um 09:19 Uhr)
- [34] Webseite *Turbosquid*
Bezogen von URL:
<http://tunnel.turbosquid.com/>
(abgerufen am 04.03.2009 um 12:04 Uhr)

12. Anhang

CD-Rom mit folgendem Inhalt:

- Bachelorarbeit als PDF-Dokument
- 3D-Modell des „Skansenløpet-Tunnel“ als SketchUp-Modell
- 3D-Modell des „Skansenløpet-Tunnel“ als 3D-PDF-Dokument
- Tutorial zur 3D-Visualisierung des „Skansenløpet-Tunnel“ am Beispiel des Tunnelsegmentes T10

Ergebnisse des durchgeführten „Ladezeitentest“ des 3D-PDF-Dokuments im Internet

Web Page Speed Report

URL:	http://userwww.hs-nb.de/projects/skansenlopet/Bachelorarbeit-Draber-2009.pdf
Title:	No title found
Date:	Report run on Wed Mar 4 08:51:01EST2009

Diagnosis

Global Statistics

Total HTTP Requests:	1
Total Size:	395339 bytes

Download Times*

Connection Rate	Download Time
14.4K	306.61 seconds
28.8K	153.40 seconds
33.6K	131.52 seconds
56K	78.99 seconds
ISDN 128K	24.33 seconds
T1 1.44Mbps	2.29 seconds

Page Objects

QTY	SIZE#	TYPE	URL	COMMENTS
1	395339	HTML	userwww.hs-nb.de ... lorarbeit-Draber-2009.pdf	Header size = <u>314</u> bytes Up to 19488 bytes could have been saved through compression. View a <u>formatted</u> version of this HTML file