

ECORAILTEC – TECHNIK UND KOSTEN DER GLEISVERMESSUNG

In der Streckenvermessung gibt es jede Menge neuer Technologien: Wird die Drohnenvermessung die gute alte Tachymetrie ablösen? EcoRailTec vergleicht die Kosten der unterschiedlichen Vermessungstechnologien, macht den Versuch einer Normierung der Gesamtkosten und schlägt für jede Technologie bestimmte Anwendungsfelder vor.

In kaum einem Technologiebereich haben sich die Werkzeuge dermaßen weiterentwickelt wie in der Vermessung. Zur klassischen Tachymetrie gesellten sich GNSS, Laserscanner und selbstfliegende Plattformen. Es folgte die Phase der Tests: Worin bestehen die Vor- und Nachteile der Technologien? Das Befliegen einer Strecke ist gemessen am beflogenen Kilometer preisgünstig. Doch wie groß ist der Aufwand, abgedeckte Elemente nachzuerfassen? Die Drohne kann günstiger sein als der Helikopter, doch wie groß ist ihre Streckenleistung in der Vermessung? Technologieunternehmen bieten Multisensorplattformen mit enormer Leistung an. Doch braucht der Betreiber tatsächlich alle Daten, die geboten werden, oder entstehen ihm hohe Kosten im Datenhandling? Bei Bauvorhaben geht es darum, Stillstandskosten zu vermeiden. Wie schnell liefert mir welche Vermessungstechnologie welchen Messpunkt? Diese Fragen stellen sich moderne Infrastrukturbetreiber. Um Antworten zu erhalten, hat die ÖBB-Infrastruktur AG mit EcoRailTec die Kostenseite der Streckenvermessung beleuchtet.

Facts:

- Laufzeit: 09/2015-12/2016
- Forschungskonsortium: Forstreiter consulting GmbH, Dr. Döllner Vermessung ZT GmbH, TU Wien Department für Geodäsie und Geoinformation
- Auftrag: ÖBB-Infrastruktur AG
- Vergleichene Technologien:
 - Ingenieurgeodäsie
 - Mobile Messsysteme
 - Multisensorplattformen
 - Airborne Systems
- 24 Projekte im Gesamtkostenvergleich

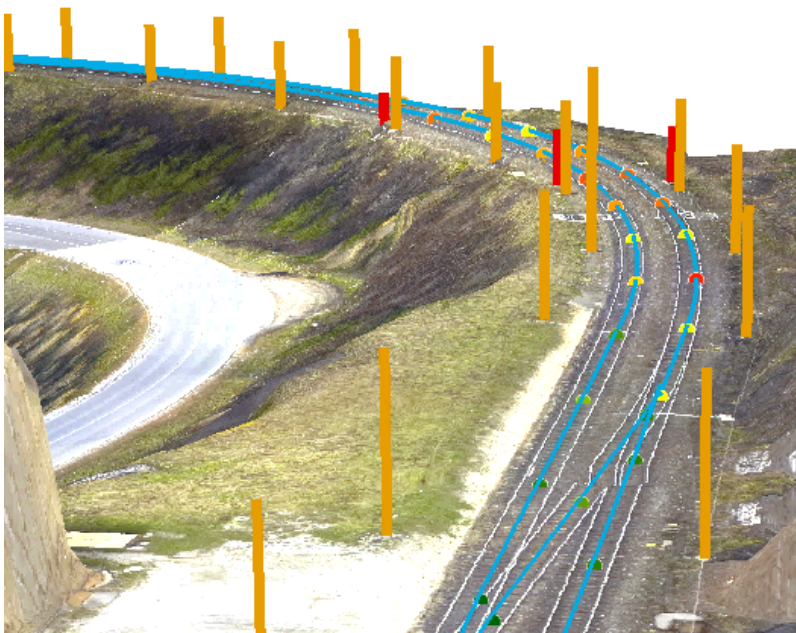


ABB 1. Infrastrukturaufnahme mittels digitaler Vermessungsplattform

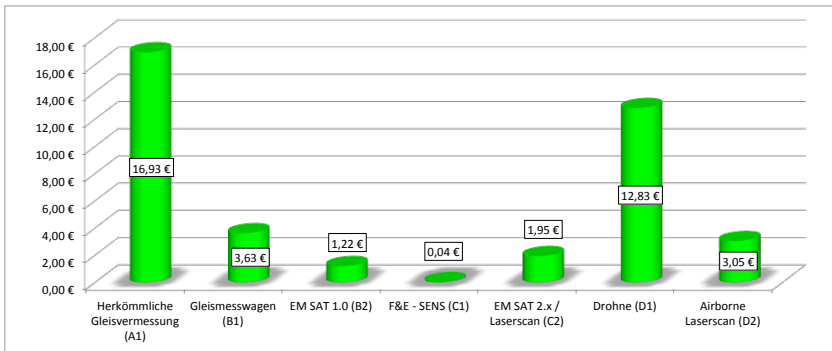


ABB 2. Gesamtkosten / Meter vermessener Strecke

Problem: Den Betreibern von Schieneninfrastruktur stehen heute unterschiedliche Methoden der Gleisvermessung zur Verfügung. Aber wo ist das Optimum aus Messgenauigkeit, Kosten von Sperr- und Sicherheitszeiten, Geräte- und Datenüberleitungskosten und Qualifikation des eingesetzten Personals?

Gewählte Methodik:

24 Einzelprojekte der Streckenvermessung wurden anhand standardisierter Bewertungsraster analysiert und über die Key Performance Indicators Streckenlänge, aufgenommene Fläche und Datenpunktzahl verglichen.

Ergebnisse :

Die Ergebnisse waren nichtlinear, die Kosten (Preise) von vielen Softfacts abhängig. Während die Tachymetrie schnelle und zuverlässige Ergebnisse (insbesondere bei Bauprojekten) liefert, sind selbstfahrende Multisensorplattformen kosteneffizient bei der Gesamterfassung bestehender Infrastrukturen. Bei Airborne-Systemen überzeugt der Airborne Laserscan mit hoher Flächenleistung, während die Drohne bislang nur kleinräumig eingesetzt wurde.

Schlussfolgerungen :

Der Technologieeinsatz verlagert generell einen Teil der Personalkosten von Feldarbeit in die Nachbearbeitung großer Datenmengen. Das hat Konsequenzen für Ausbildung und Personalstruktur der Branchenplayer. Gerade daher ist der Gesamtkostenvergleich für den Anwender eine Hilfestellung, um wettbewerbsfähig seine Leistung zu erbringen.

Abstract

Today railway infrastructure providers have to choose from a wide portfolio of track surveying technologies. The criteria are a mix of demands as accuracy, total costs of ownership, staff qualification and delivery time. EcoRailTec analyzed 24 specific projects from the Austrian railway infrastructure operator ÖBB Infrastructure using technologies like mobile track surveying platforms, multisensor platforms, airborne drones and airborne laserscan systems. The result was a highly non-linear picture. Too many soft facts are driving costs. But in general tacheometry delivers precise data within a short time, while mobile multisensor platforms are cost effective in efficiently producing a model about existing infrastructure. EcoRailTec tried to give answers to the rail operator to act in a cost driven instead of a technology driven way.

Impressum:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

DI Dr. Johann Horvatits
 Abt. IV/ST 2 Technik und Verkehrssicherheit
 johann.horvatits@bmvit.gv.at

DI (FH) Andreas Blust
 Abt. III/14 Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
 andreas.blust@bmvit.gv.at
 www.bmvit.gv.at

ÖBB-Infrastruktur AG

DI Dr. Michaela Haberler-Weber
 Streckenmanagement und Anlagenentwicklung
 Stab LCM und Innovationen
 michaela.haberler-weber@oebb.at

DI Arnold Eder
 Streckenmanagement und Anlagenentwicklung
 Fachbereich Bautechnik, Vermessung und Geoinformation
 arnold.eder@oebb.at
 www.oebb.at

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

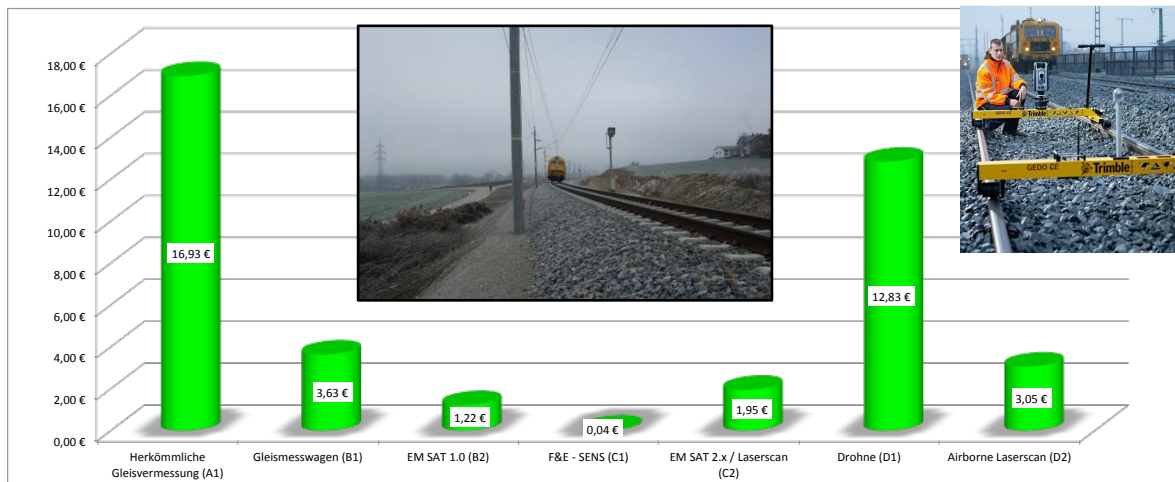
DI Dr. Christian Pecharda
 Programmleitung Mobilität
 Sensengasse 1, 1090 Wien
 christian.pecharda@ffg.at
 www.ffg.at

Februar 2017

ECORAILTEC

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2014
(VIF2014)

Dezember 2016



Impressum:

ÖBB-Infrastruktur AG
Praterstern 3
A - 1020 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

forstreiter
CONSULTING.GMBH

forstreiter Consulting GmbH



Dr. Döller Vermessung ZT GmbH



TU-Wien, Department für Geodäsie und Geoinformation

Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

Bereich Thematische Programme

Sensengasse 1

A – 1090 Wien



ECORAILTEC

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2014)

AutorInnen:

Dipl.Ing. Paul FORSTREITER

Dr. Herbert DÖLLER

Ao.Prof. Dr. Robert WEBER

Auftraggeber:

ÖBB-Infrastruktur AG

Auftragnehmer:

Forstreiter Consulting GmbH

TU-Wien, Department für Geodäsie und Geoinformation

Dr. Döller Vermessung ZT GmbH

INHALTSVERZEICHNIS:

Abstract:.....	6
1. Recherche (AP2)	12
2. Erstellung und Erläuterung des Bewertungsrasters (AP 3, AP 4)	21
3. Bewertete Systeme (Sortierung laut Bewertungsraster).....	25
4. Sensorsysteme (AP 5 - AP6).....	27
(A), Klassische Verfahren der Ingenieurgeodäsie	27
a.) Tachymetrie	27
b.) Pfeilhöhen und Längssehenmessung	29
c.) Gns - rtk	31
(B), Mobile Gleiserfassung	35
(C) Multisensor - Plattformen.....	39
(C1) F&E – SENS Komponenten & Potential	40
(C2).....	41
a.) EM-Sat 2.x.....	41
b.) Laser Scanner Fa. Riegl und andere Laserscanner	42
c.) Terrestrische Laserscanner	43
(D) Airborne Systems.....	45
(D1) Drohnen	46
(D2) Airborne Laserscan.....	47
6. Georeferenzierung (AP 8).....	56
7. Systemabgleich - Zusammenstellung (AP 9).....	64
8. Input zur Verfassung von Anwendungsregeln (AP 10).....	109
9. Vorschlag für universelle Referenz- und Prüfstrecke (AP 11)	111
10. Grenzen und Vereinfachungen der Studie	112
11. Ausblick in die Zukunft, Vorschlag für vertiefte Forschung.....	113

ABSTRACT:

Den Betreibern von Schienen-Infrastruktur stehen heute als Ergebnis der in den letzten Jahren intensiv weiterentwickelten Multisensorsysteme eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden zur Gleisvermessung zur Verfügung, die Auswahl der geeigneten Methode ist aus einem Mix von Anforderungen, wie Messgenauigkeit, Kosten von Sperrzeiten und Sicherung, Gerätekosten, Datenüberleitungskosten und Qualifikation des eingesetzten Personals zu treffen. Im Rahmen des Projektes wurden für eine große Bandbreite eingesetzter Methoden die Gesamtkosten des Technologieeinsatzes erhoben und einander in einem Ansatz von Gesamtkosten gegenüber gestellt.

In der Studie wurden die einzelnen Vermessungstechnologien in verschiedene Cluster eingeteilt. Die Clusterung soll helfen verschiedene Anbieter von ähnlichen Technologien unter einem Begriff zusammenfassen zu können. In jedem Cluster werden repräsentative Projekte gesammelt und standardisiert. Die Clusterung wurde in den abgehaltenen Konsortialsitzungen erarbeitet und im Einverständnis mit den Vertretern der ÖBB INFRA beschlossen.

Ingenieur-geodäsie (A)	Mobile Messsysteme (B)		Multisensor-Plattformen (C)		Airborne Systems (D)	
Herkömmliche Gleisvermessung (A1)	Gleismesswagen (B1)	EM SAT 1.0 (B2)	F&E - SENS (C1)	EM SAT 2.x / Laserscan (C2)	Drohne (D1)	Airborne Laserscan (D2)

(Tabelle 0.1: Clusterung)

Die einzelnen Cluster der Vermessungsmethoden wurden hinsichtlich ihrer Aufnahmeart näher erläutert. Grundsätzlich unterscheidet man eine punktuelle Aufnahme und eine flächenhafte Aufnahme des zu vermessenden Gebietes.

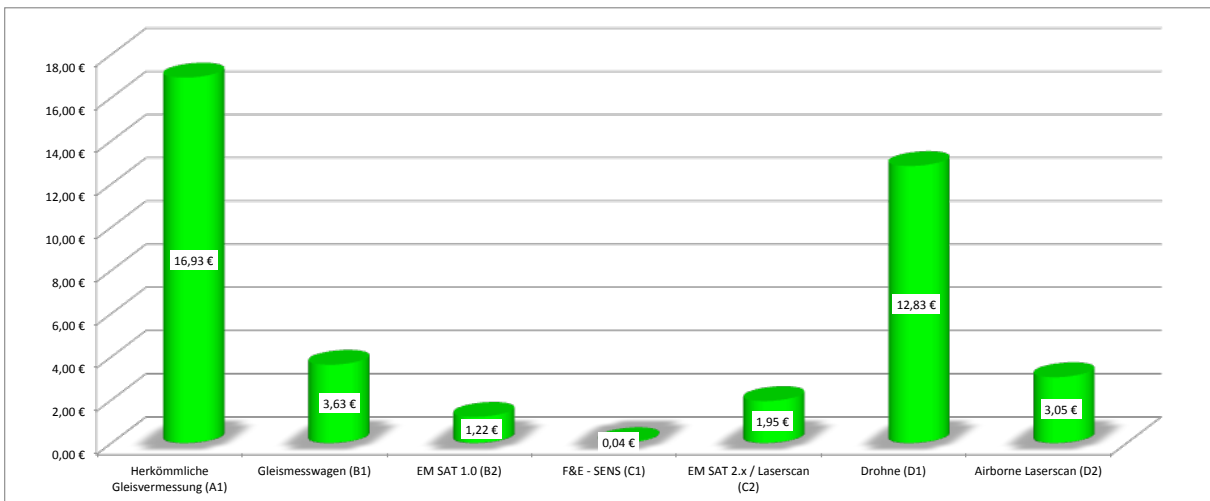
Bei einer punktuellen Aufnahme werden einzelne Punkte der Reihe nach aufgenommen und mit einer Punktnummer versehen. Je nach Aufnahmeverfahren sind diese Punkte auch sofort in jedem beliebigen Koordinatensystem darstellbar, das heißt, der Nachbearbeitungsaufwand ist bei diesen Technologien sehr gering.

Eine flächenhafte Aufnahme erfolgt in der Regel durch Luftbildaufnahmen oder durch Laserscan. Die eigentliche Datenaufnahme erfolgt durch Befahren oder Befliegen des Zielgebietes mit entsprechender Gerätschaft. Hierbei entstehen bei der Aufnahme selber

sehr große Datenmengen. Eine direkte Darstellung oder Absteckung der Punkte vor Ort ist hier nicht möglich. Die gesammelten Daten müssen nach der Aufnahme nachbearbeitet werden. Aus den in der Nachbearbeitung entstandenen Modellen können die gewünschten Punkte nachträglich abgelesen werden. Die Genauigkeit hängt stark von der Qualität des Modells ab, welche aber bei der Datenaufnahme vor Ort noch nicht überprüft werden kann.

Im Rahmen des Projekts wurden 24 Einzelprojekte untersucht und einander gegenübergestellt. Davon entfielen 10 Projekte auf die klassische Ingenieurgeodäsie (A1), 5 Projekte auf den Amberg Gleismesswagen (B1), ein Projekt auf EMSAT 1.0 (B2), ein Projekt auf F&E SENS (C1), 2 Projekte auf EMSAT 2.0 (C2), 2 Projekte auf Drohnen (D1) und 3 Projekte auf Airborne Laserscans (D2). Jedes Projekt wurde in einem eigenen Blatt dokumentiert. Im Feld „Preis des AN“ für die Vermessung der Strecke“, Pauschale für Vermessung wird der Bruttowert der Vergabe hinterlegt. Die Maske ermöglicht die Dokumentation der „internen Kosten ÖBB-INFRA“ durch entweder eine Pauschalsumme oder durch die Hinterlegung der Aufwände in mehreren Qualifikationen. In den meisten Fällen waren die ÖBB-INFRA-seitigen Eigenkosten als Pauschale verfügbar. Quelle der zugerechneten Kosten sind die internen ERP-Systeme der ÖBB INFRA. Die Summe aus Kosten für die Subunternehmerleistung und Eigenkosten sind die Gesamtkosten. Um diese zu normieren wurden sie – soweit verfügbar - ins Verhältnis zu den Messgrößen Vermessene Streckenlänge (m), Vermessene Fläche (m²) und Datenpunkte, geclustert nach Genauigkeitsstufen gesetzt. Jedes Projekt wird beschrieben.

Für jede Technologie werden Gesamtkosten, Gesamtkosten/gemessener Strecke in Meter und Gesamtkosten/gemessener Fläche in m² ausgewertet. Bereits hier zeigten sich auch innerhalb der Technologien Unterschiede. Es gab sehr unterschiedliche Auftragsgrößen bis zu Faktor 5



(Abbildung 0.1: Gesamtkosten / m gemessener Strecke)

Dass die herkömmliche Gleisvermessung die höchsten Kosten pro Gleislänge im Vergleich zu maschineller Vermessung hervorruft, war zu erwarten. Die offensichtlich hohen Kosten der Drohnenvermessung ergeben sich aus den in diesen Projekten relativ geringen Gleislängen, die von der Drohne befliegen wurde. Die Stärke der Drohnenvermessung liegt offensichtlich in der Flächenaufnahme und nicht in der Gleisvermessung. Die Helikopterbefliegung (Airborne Laserscan) punktet durch hohe Kilometerleistungen trotz hoher Fixkosten.

Letztlich wurde versucht, die Kosten pro Datenpunkt abhängig von deren Genauigkeit zu ermitteln. Dabei war ein überbestimmtes Gleichungssystem mathematisch zu lösen. Die Ergebnisse können nur grob als Anhaltspunkt herangezogen werden. Als Empfehlung für den Einsatz der Messmethoden je Anwendungsfall wurde folgende Grafik erarbeitet:

Vermessungstechnologie \ Vermessungsaufgabe	Vermessungstechnologie					
	Ingenieurgeodätische Gleisvermessung (A1)	Gleismesswagen (B1)	EM SAT 1.0 (B2)	F&E - SENS (C1)	EM SAT 2.x / Laserscan (C2)	Airborne Laserscan und Photogrammetrie (D1)
Gleiskörper	X	X	X	X	X	X
Bahnsteinkanten	X	X	X	X	X	X
Mastbolzen	X	X	X	X	?	X
Kunstabauten (Brücken)	X	?	?	?	?	
Bahnhöfe	X			?		
Oberbau	X			X	?	X
Einbauten	X	?	?	X	?	
Oberleitung zu Gleiskörper	X	?	?	?	?	X
Signale	X	?	?	X	?	
Trassenumfeld (Lehnen, Dämme)	X			X	X	X

Kosten:



Vermessungstechnologie \ Vermessungsaufgabe	Vermessungstechnologie					
	Herkömmliche Gleisvermessung (A1)	Gleismesswagen (B1)	EM SAT 1.0 (B2)	F&E - SENS (C1)	EM SAT 2.x / Laserscan (C2)	Airborne Laserscan und Photogrammetrie (D1)
Gleiskörper	Red	Green	Green	Orange	Red	Red
Bahnsteinkanten	Red	Green	Green	Orange	Red	Red
Mastbolzen	Red	Green	Green	Orange	Red	Red
Kunstabauten (Brücken)	Red			Orange		
Bahnhöfe	Orange			Orange		
Oberbau	Yellow			Orange	Yellow	Yellow
Einbauten	Yellow			Orange	Yellow	
Oberleitung zu Gleiskörper	Yellow			Orange	Yellow	Yellow
Signale	Yellow			Orange	Yellow	
Trassenumfeld (Lehnen, Dämme)	Yellow			Orange	Yellow	Green

(Tabelle 0.2: Kosten pro Datenpunkt je Genauigkeitwert)

Abschließend werden zwei Varianten für Referenzstrecken vorgeschlagen, anhand derer Geräteüberprüfungen und Plattformtests durchgeführt werden können.

In der vorliegenden Studie wurden lediglich jene Vermessungsverfahren betrachtet, die zur Gleisvermessung der ÖBB-Infrastruktur AG herangezogen werden können. Beispielsweise wurde die photogrammetrische Aufnahme außen vor gelassen, da hier die Genauigkeit der Gleiskörperauswertung nicht ausreichen würde.

Weiters wurden die Einzelprojekte manuell eingepflegt. Viele Faktoren haben auf das Preisniveau Einfluss, beispielsweise Mehrfachanfahrten oder schwer zugängliche Messpunkte. Die Vereinfachung der Genauigkeitsklassen und die daraus versuchte Ableitung von KPIs (Key Performance Indicator) ergab hochgradig nichtlineare Zusammenhänge. Trotz der angewandten mathematischen Methoden war es nicht möglich, ein klares Bild über Kosten pro Messpunkt zu errechnen, da die genannten weichen Faktoren mit Preiseinfluss einen größeren Einfluss haben, als ursprünglich vermutet. Bei automatisierten Messverfahren ist die Abdeckung von Messpunkten und Messbereichen durch Gegenzüge, stillstehende Züge in Bahnhöfen etc. zu berücksichtigen. Lückenlose Aufnahmen sind nur durch mehrfache Vermessung möglich. Die Kosten für das Handling großer Datenmengen wird seitens ÖBB heute als in den Angebotspreis eingerechnete Kosten betrachtet. Bei zunehmenden automatisierten Messverfahren wird es auch zu ÖBB internem Datenhandling kommen, um die Daten auch später passend für die eigene Nutzung zur Verfügung zu haben. Kosten dazu konnten noch nicht abgeschätzt werden. Schließlich zeigte sich, dass eine Vielzahl an Projektdaten nur bei Auftragnehmern verfügbar war. Die Bereitschaft, Daten über Preise und KPIs dem Projekt ECORAILTEC zur Verfügung zu stellen, war nicht immer in vollem Umfang und zeitnah gegeben.

Die Studie zeigte aber auch die Einzigartigkeit der einzelnen Projekte. Der ursprüngliche Ansatz, dass das maschinelle Einlesen einer großen Projektanzahl allgemeine KPIs hervorbringen würden, um danach Budgetauswirkungen von geänderten Anwendungsregeln zu errechnen, stellte sich als nicht realistisch heraus.

In den nächsten 20 Jahren werden sich die Arbeiten zur Gleismessung möglicherweise völlig verändern. Auch in Zukunft werden aber Schnelligkeit, Genauigkeit und Preis die bestimmenden Faktoren sein.

Durch einfachere Messverfahren wird die Aufnahme in immer kürzerer Zeit erfolgen können, was die Kosten bezüglich Messtrupps und Streckensicherung positiv beeinflussen wird. Gleichzeitig wird durch steigende Zugdichten immer weniger „freie“ Zeit für Messungen im Gefahrenbereich zur Verfügung stehen.

Während die Messung demnach schnell und einfach erfolgen wird, werden Nachbearbeitungsschritte den Hauptaufwand darstellen. Wie schon jetzt bei Laserscandaten ersichtlich ist, muss eine große Datenmenge zu einem brauchbaren Messergebnis reduziert werden.

Im ÖBB Vergabeverfahren muss darauf geachtet werden, dass für die jeweilige Aufgabe nötige Parameter (Genauigkeiten, etc.) eindeutig festgelegt sind. Möchte man sich im Vorhinein nicht auf eine bestimmte Methode festlegen, so sollten zumindest die Lieferkriterien eine möglicherweise aufwändige Datennachbearbeitung ausschließen. Auch bezüglich der Datenmenge ist es denkbar, dass in Zukunft Einschränkungen nötig sein können um die spätere Datenbearbeitung und -verwendung einfach halten zu können.

1. RECHERCHE (AP2)

Die nachfolgende Literaturliste wurde nach Möglichkeit nach den im Projekt definierten Aufnahmetechnologien geordnet. Zudem wurden dem Verzeichnis eigene Blöcke zu den Themen GNSS Positionierung, Georeferenzierung, und Rechtsvorschriften angeschlossen.

Es wurden den Themenbereichen zugeordnete Artikel und Manuskripte, technische Datenblätter und nicht zuletzt aktuelle Web-Links erfasst. Die Literaturstellen sind chronologisch geordnet.

Recherchen zum Thema Anwendungsrichtlinien zur Vermessung von Bahnstrecken haben ergeben, dass solche bereits in einigen Ländern Anwendung finden. Überprüft wurde die Verwendung von Handbüchern, Regelwerken oder sonstigen Messvorschriften welche als Grundlage in der Bahnvermessung herangezogen werden. In Deutschland beispielsweise findet man das Handbuch 88301 DB AG zum Thema Eisenbahnvermessung. Für nähere Information kann dieses Handbuch kostenpflichtig erworben werden.

Sowohl in Europa als auch in anderen Ländern weltweit kommen vereinzelt Vermessungsrichtlinien in der Bahnvermessung zum Einsatz. Allerdings sind diese Regeln so unterschiedlich wie die Länder selbst. Nachdem es weltweit keine einheitliche Bahninfrastruktur gibt, unterscheiden sich demnach auch die Kriterien und Anwendungsregeln für die Gleisvermessung.

Nach folgenden Regelwerken wird bei ÖBB vermessen: Für die terrestrische Vermessung liegt beispielsweise ein Pflichtenheft 6,4,9-01 der Vermessung vor. In diesem sind Informationen angefangen von allgemeinen Vermessungsvorschriften über Vermessungsaufgaben in den unterschiedlichsten Bereichen bis hin zu den einzelnen Bestandsaufnahmekriterien detailliert beschrieben. Allerdings bezieht sich dieses Pflichtenheft ausschließlich auf die terrestrische Vermessung, weshalb bis dato keine genaueren Angaben bezüglich Anwendungsrichtlinien zur Vermessung von Bahnstrecken in Österreich mit Hilfe anderer Technologien getätigt werden können. Einige dieser Richtlinien sind nach weiterer Recherche in dem Regelwerk 07.04 Vermessung von

Gleisen und Weichen zu finden, welches mitunter als Grundlage der Bahnvermessung in Österreich gilt und welches bei der ÖBB käuflich erwerbbar ist. Bei der Erstellung eines solchen Regelwerkes ist zu beachten, dass sich sowohl die Technologien stets ändern und eine Konformität der Bahnstrecken nicht gegeben ist. Zu berücksichtigen sind hierbei das Gelände und die Exposition der Streckenabschnitte. EU-weit sei auf die Norm EN 13848 hingewiesen, welche aus 5 Teilen besteht und bereits 2008 in Österreich in Kraft getreten ist.

Übersicht Streckenklasse - Geschwindigkeit

In der nachfolgenden Tabelle ist die derzeitige Situation der Streckenklassifizierung dargestellt.

Fahrzeugtyp	STRECKENKLASSE	zugehörige maximale Geschwindigkeit (km/h)	Zusatzbemerkungen
Grundwert bis 120 km/h gültig für alle Fahrzeuge	A	120	Streckenklassenkarte
	B1	120	
	B2	120	
	C2	120	
	C3	120	
	D2	120	
	D3	120	
Lokomotiven	D2	230	ergänzende Bestimmungen im RW 50.01.02
	L4 _{22,5}	230	Lokklasse optional möglich
Triebzüge Reisezugwagen	C2	160	ergänzende Bestimmungen im RW 50.01.02
	B1	200	
	dynamischer. Check der Brückenobjekte	>200	Liste der Triebzüge in VzG- Fahrplanunterlage

Anmerkung: Die neue EN 15528 (Veröffentlichung voraussichtlich Ende 2015) bietet für die dynamische Untersuchung sogenannte Triebzug-Klassen an. Diese Triebzug-Klassen beinhalten für die Fahrzeuge Parameter für eine Gruppierung von realen Zügen und andererseits für die Infrastruktur zugehörige Lastmodelle für dynamische Überprüfung von Brücken.

(Tabelle 1.1: Streckenklassen) Ergänzung zur Anmerkung: Die Norm EN15528 wurde per 15.12.2015 in Kraft gesetzt.

Technologie A: Ingenieurvermessung

G. Chesi, I. Dillmann, R. Jäger, Th. Kuhm, Th. Weinold, Graphikunterstützte Hardwaresteuerungs- und Auswertesoftware zur automatisierten Gleis- und Weichenvormessung mittels Totalstation, 2000;

https://www.researchgate.net/publication/237238236_Graphikunterstutzte_Hardwaresteuerungs-_und_Auswertesoftware_zur_automatisierten_Gleis-_und_Weichenvormessung_mittels_Totalstation

Th.Weinold, A. Grimm-Pitzinger, Vergleich Gleis-Messmethoden der ÖBB, Abschlussbericht, Univ. Innsbruck, Vermessung und Geoinformation, 2010.

Technologie B: Mobile Messsysteme

B1: Gleismesswagen

N. Heuwold, Parametrisierung der Gleisgeometrie aus Befahrungsdaten von Gleismesswagen, Diplomarbeit, Fakultät Bauingenieur- und Vermessungswesen, TU-Berlin , pp.74, 2001.

H. Wirth, Der neue Lichtraummesszug LIMEZ III der Deutschen Bahn AG, ZfV. 3/2008, pp 180-186.

H. Amrein, Amberg GRP 1000 System + Leica TCRP1201+, Leica Geosystems Reporter 61,P 24-25, 2009.

Sinning Vermessungsbedarf GmbH. , GEDO- das geodätische Messsystem für den Bahnbau, Technisches Datenblatt zur Beschreibung des GEDO – Gleismesssystems, 2013.

(Technologie nun über Trimble Railway zu beziehen: <http://trimble-railway.com/>)

Trimble Railway, Trimble GEDO Scan System – GEDO CE 2.0, Technisches Informationsblatt, 2016. <http://trimble-railway.com/blog/produkt/gedo-scan/>

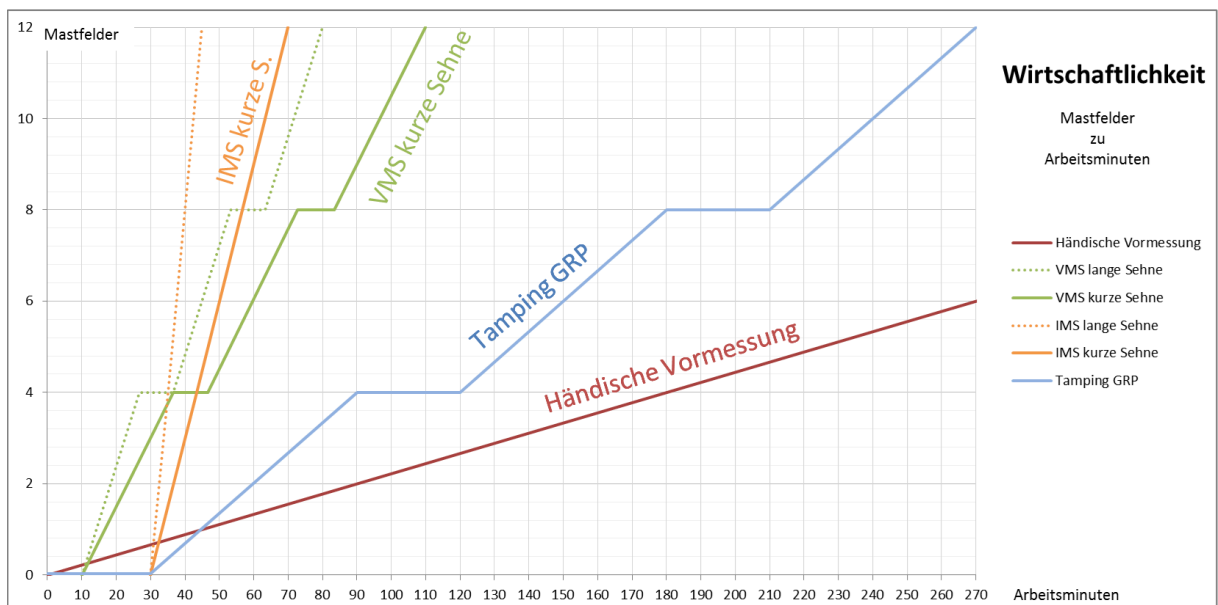
Amberg Technologies, GEDO- das geodätische Messsystem für den Bahnbau,
 Technisches Datenblatt zur Beschreibung des Amberg GRP System FX, 2016.

<http://www.ambergtechnologies.ch/products/rail-surveying/grp-system-fx/>

Rhomberg Rail Consult GmbH., VERSINUS – Das automatisierte Vormesssystem für
 Stopfmaschinen , Technisches Datenblatt, <http://rhomberg rail.com/en/home> .2016.

A. Schraml, Vergleichende Untersuchung von geodätischen Messverfahren für die
 Vormessung im Gleisbau, Diplomarbeit, Fakultät Geoinformation, Hochschule für Technik
 und Wirtschaft Dresden, 2015.

Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verschiedener Messverfahren wird in SCHRAML,
 2015, 62ff. umfassend analysiert. Auf einer gesperrten eingleisigen Bahnstrecke wurden
 Messungen mit verschiedenen Methoden durchgeführt und gegenübergestellt. In
 nachstehender Grafik wurde als Ergebnis die benötigte Aufnahmezeit jeder Methode über
 die gemessene Mastfeldanzahl aufgetragen.



(Abbildung 1.1: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verschiedener Messmethoden; SCHRAML, 2015, S.62)

Bei Messung von nur wenigen Mastfeldern ist ein klarer Vorteil der händischen Vormessung zu erkennen, da bei den anderen Varianten lange Rüstzeiten vorherrschen. Ab ca. vier Mastfeldern (von durchschnittlich 50 m Länge) kann das Inertialmesssystem Gleisstopfung (Tamping IMS) bereits als ökonomischer gesehen werden. Hierbei handelt es sich um einen Messwagen auf dem eine Totalstation und eine Messeinheit der Fa. Amberg aufgebaut sind.

Das System Tamping GRP ist ein händisch bedienter Messwagen, der über eine frei stationierte Totalstation eingemessen wird (System der Fa. Amberg). Tamping GRP erfordert eine Neuaufstellung und Neustationierung des Messgerätes ca. alle 200 m. Dies führt zu zeitlichen Einbußen, die nur bei komplexeren Schienensystemen, wie mehreren Gleisen bzw. größeren Weichenköpfen, einen wirtschaftlichen Vorteil der Methode vermuten lassen.

Die Technologie entwickelt sich rasant in Richtung Mobiler 3D Systeme. Die aktuellste Weiterentwicklung des Gleismesswagens ist die Mobile Mapping-Lösung von Leica: Der Pegasus Two. Weitere Erläuterungen zu diesem System befinden sich in diesem Dokument in AP8.

B2: EM-Sat 1.0

B. Lichtberger, EM-SAT - von der Vormessung zur kompletten ingenieurmäßigen Vorbereitung der Gleisinstandhaltung. In: EIK (2009), S.185–194

H.Döller, EM- SAT – Gleisvermessung mit Satellitennavigation - Machbarkeitsstudie, Dr. Döller Vermessung, Projektabschlussbericht, pp 78, 2009.

Technologie C: Multisensorplattformen

C1: F&E - Sens

H. Stanek, Sens - Projektberichte, 2015/2016

C2: EM-SAT 2.x / Laserscan

G. Retscher, 3D-Gleiserfassung mit einem Multisensorsystem und linearen Filterverfahren, Dissertation, Inst. F. Landesvermessung und Ingenieurgeodäsie, TU-Wien, Geowissenschaftliche Mitteilungen 44, pp 101, 1996.

Th. Schulz, Terrestrisches Laserscanning in der Geomatik, Geomatique Suisse, pp220-224, 8/2006

H. Heister, O. Heunecke, Terrestrisches Laserscanning, UniBw München, Vortragsunterlagen, 7.Seminar GIS und Internet,2007

R. Stengele, A. Ryf, I. Schätti, M. Studer, D. Salvini, Vermessung im Gotthard-Basistunnel: Vortriebsvermessung, Laserscanning und Langzeit-Monitoring, in Proceedings Ingenieurvermessung 2010, Hrsg: Th. Wunderlich, Herbert-Wichmann Verlag, 2010.

I.Milev Rail Infrastructure Measurement System based on Riegl VMX-450 MLS, technet-rail 2G1G GmbH, 2012.

Sersa Group AG, Gleisvermessungssysteme, 2016.

<http://www.sersa.ch/leistungen/vermessungssysteme/>

DI Wenger-Oehn ZT GmbH für Vermessungswesen, Terrestrisches Laserscanning HBF Salzburg / Stahlhalle, 2015.

Technologie D: Airborne Systems

D1: Airborne Laserscan und Photogrammetrie

H.-G. Maas, Akquisition von 3D-GIS Daten durch Flugzeuglaserscanning, Institut für Photogrammetrie u. Fernerkundung, TU-Dresden, Kartographische Nachrichten, Vol. 55, Heft 1, S. 3-11, 2001.

GNSS Positionierung

L. Marx, Satellitengestützte Gleisvermessung - auch beim Oberbau.
In: EI - Eisenbahningenieur 58 (2007), S. 9–14

C. Steinbichler, Nutzung des Glonass Satellitennavigationssystems in der Vermessungspraxis – Vorteile und Grenzen, Diplomarbeit am Institut f. Geodäsie und Geophysik, TU-Wien, pp. 93, 2009.

F. Brimmer, Einsatz satellitengestützter Verfahren in der Eisenbahninfrastruktur.
In: Forschung & Entwicklung - ÖBB Bau AG (2012), 28.
<https://www2.ffg.at/buk/va/Downloads/7C05CAA4.pdf>

M. Sehnal, Kurzzeitstatische GNSS-Positionierung mit sub-cm-Genauigkeit, Diplomarbeit am Department f. Geodäsie und Geoinformation, TU-Wien, pp. 96, 2013.

Georeferenzierung

R. Weber, H. Döllner, F. Hinterberger, W. Jachs: Infra Raster - Infra Grid – ÖBB , Neuberechnung RTK-GNSS Infrastruktur Grid ; Projektabschlussbericht, Dr.Döllner Vermessung ZT GmbH, TU-Wien Dep. f. Geodäsie und Geoinformation, pp. 43, 2014.

R. Weber, "ITRF versus ETRF - Bezugsrahmen der Satellitenpositionierung";

Geonews, Software-Magazin für Vermessung und Geoinformation, 01/2012 (2012), S. 6 - 7.

Rechtsvorschriften

ZOV54: Abnahme von Oberbauarbeiten. In: ÖBB - GB Fahrweg Technik (2004)

6,4,9-01 Pflichtenheft für Terrestrische Vermessung, ÖBB-Infra, (2014)

2. ERSTELLUNG UND ERLÄUTERUNG DES BEWERTUNGSRASTERS (AP3, AP4)

Im Folgenden werden die einzelnen Vermessungstechnologien in verschiedene Cluster eingeteilt. Diese Clusterung soll helfen verschiedene Anbieter von ähnlichen Technologien unter einem Begriff zusammenfassen zu können. In jedem Cluster werden repräsentative Projekte gesammelt und standardisiert. Die Clusterung wurde in den abgehaltenen Konsortialsitzungen erarbeitet und im Einverständnis mit den Vertretern der ÖBB INFRA beschlossen.

Der erste Cluster beschäftigt sich mit den Methoden der klassischen Ingenieurgeodäsie. Im Weiteren wird der Cluster mit "A" bezeichnet. Eine spezifische Unterteilung in weitere Kategorien wurde im Cluster Ingenieurgeodäsie nicht für notwendig befunden, da sich die effektiven Arbeitsweisen der einzelnen Techniken innerhalb der Ingenieurgeodäsie nicht sehr voneinander unterscheiden. Daher wurde unter A nur die herkömmliche Gleisvermessung, im Folgenden mit "A1" bezeichnet, subsummiert. Da es sich bei A1 um "herkömmliche" Verfahren handelt, kann angenommen werden, dass die verwendeten Verfahren schon länger in Anwendung sind und daher ist es nicht verwunderlich, dass unter A1 die meisten Projekte zu finden waren. Verhältnismäßig viele Projekte in die Berechnungen mit einzubeziehen ist unter A1 besonders wichtig, weil durch die extrem hohe Flexibilität dieser Messverfahren leicht statistische Ausreißer in den Daten entstehen können.

Dennoch wurde bei der Auswahl der Projekte sorgfältig vorgegangen. Es wurden kleinere Projekte, die ursprünglich erfasst worden waren als zu wenig repräsentativ wieder verworfen. Weiters zeigten sich Besonderheiten in einzelnen Projekten. So waren bei einem Projekt ungewöhnlich viele Mehrfachanfahrten notwendig, was die Analyse verzerrte. Solche Projekte wurden einvernehmlich aus der Auswertung genommen. Aus Rücksicht auf Lieferanten und Industriepartner wurde entschieden, die ursprünglich in der Analysematrix aufgelisteten Lieferanten durch die anonymisierte Bezeichnung Lieferant 1-20 zu ersetzen. Einzelne Lieferanten stellten mehrere Projekte zur Verfügung, auch in diesem Fall wurde der Name durch „Lieferant und Zahl ersetzt.

Der zweite Cluster beinhaltet mobile Messsysteme. Im Folgenden werden die Technologien dieses Clusters unter dem Buchstaben "B" zusammengefasst. Bei den mobilen Messsystemen handelt es sich um Vorrichtungen die direkt mit den Gleisen in Zusammenhang stehen, also Konstruktionen die sich auf den Schienen fortbewegen. Die Datenaufnahme erfolgt hier Punktweise und es werden nur Punkte auf dem Gleis aufgenommen. Der Cluster B wird weiter unterteilt in den Subcluster Gleismesswagen "B1" und EM SAT 1.0 "B2". Unter B1 werden alle per Hand bewegten Gleismesswagen zusammengefasst. Repräsentativ für diese Gruppe wird ein besonderes Augenmerk auf das System GRP von Amberg gelegt. Unter B2 ist ausschließlich der EM Sat 1.0 zu finden da es sich hierbei um einen motorisierten Gleismesswagen mit ebenfalls motorisiertem Satelliten handelt. Mit dem EM Sat 1.0 werden ebenso wie mit den per Hand betriebenen Gleismesswagen unter B1 einzelne Punkte bestimmt. ÖBB INFRA setzt drei EMSAT 1.0-Fahrzeuge sowohl im Erhalt als auch auf Baustellen ein. Der Prüfzug wird von zwei Technikern vor Ort bedient und von einem Disponenten eingeplant. Die Analyse der Kosten erfolgte auf Basis der internen Verrechnungssätze. Die Kosten enthalten den Maschinenstundensatz, beide Techniker und 50% der Kosten des Disponenten.

Beide Technologien B vermessen das Gleis, daher wurde auf die vermessene Länge referenziert und auf die Referenzierung auf eine vermessene Fläche verzichtet.

Der dritte Cluster fasst die Multisensor Plattformen "C" zusammen. Diese Multisensor Plattformen werden in, beziehungsweise auf, Wagons oder Triebwagen angebracht und erfassen mittels Laserscan und anderen Sensoren die ganze Umgebung des Gleises. Unter den Multisensor Plattformen gibt es zurzeit einige technischen Neuerungen und Weiterentwicklungen, weshalb hier im Folgenden Bezug auf zwei bestimmte Produkte genommen wird. "C1" behandelt die Plattform F&E-Sens. Unter "C2" werden die Neuentwicklung des EM Sat 2.x geführt, sowie andere Projekte die mittels Laserscan durchgeführt wurden.

Der vierte und letzte Cluster beschäftigt sich mit Airborne Systems "D". Hierbei werden Projekte betrachtet die auf einer luftgestützten Plattform basieren. Luftgestützte Plattformen nehmen flächenhaft Daten auf, die mittels Fotografie oder mittels Laserscan erhoben werden. Unter D wird wieder eine Subclusterung eingeführt. Diese unterscheidet

zwischen bemannten und unbemannten Flugobjekten. Unter "D1" werden die Drohnen betrachtet. Diese in Entwicklung befindliche Technologie wird hauptsächlich mit fotografischer Ausrüstung ausgestattet, da ein Laserscanner nach wie vor ein Gewichtsproblem darstellt. Dafür werden unter "D2" alle Airborne Laserscanner und Hubschrauber gestützten Plattformen zusammengefasst.

Mit dieser Einteilung war gewährleistet, dass unter jeder Kategorie repräsentative Vertreter zu finden sind, zu denen Vermessungsprojekte in ausreichender Zahl zur Verfügung stehen, um eine weitere Analyse durchführen zu können.

Die Evaluierungstabelle der Lifecycle Costs verbindet alle Cluster in einer Tabelle um die essenziellen Aussagen der einzelnen Blätter zusammenzufassen. Jede Zelle steht für ein analysiertes Vermessungsprojekt. Die wichtigsten angegebenen Daten sind die Kosten für den Lieferanten der Daten, sowie die Kosten die intern bei der ÖBB INFRA anfallen. Daraus ergibt sich im nächsten Block eine Gesamtsumme für dieses Projekt. Zum Zwecke der Standardisierung der Daten wurde noch eine Übersicht über die sich daraus ergebenden Kosten pro Meter, wenn sinnvoll pro m² Fläche, beziehungsweise pro gemessenen Punkt, eingefügt. Die Farbcodes im unteren Bereich der Tabelle stehen für die Genauigkeit die mit dieser Methode erzielt werden kann, wobei die Genauigkeit von links nach rechts stark abnimmt. Die genauesten Verfahren sind zweifelsfrei die Methoden der Ingenieurgeodäsie und die ungenauesten die luftgestützten Plattformen.

Evaluation

Technologie

	Ingenieur-geodäsie (A)	Mobile Messsysteme (B)		Multisensor-Plattformen (C)		Airborne Systems (D)
	Herkömmliche Gleisvermessung (A1)	Gleismesswagen (B1)	EM SAT 1.0 (B2)	F&E - SENS (C1)	EM SAT 2.x / Laserscan (C2)	Airborne Laserscan und Photogrammetrie (D1)
Lieferant	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
ÖBB Infra	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
Total Costs	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
Summe pro Meter	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
Summe pro Detailpunkt	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
Genauigkeit / Kategorie						
	<= 1 mm		>= 10 cm			
Kosten						

(Tabelle 1.1: Systembewertungsraster nach Technologien (Leerformular))

3. BEWERTETE SYSTEME (SORTIERUNG LAUT BEWERTUNGSRASTER)

Zur Systembewertung wurden die Verfahren in sieben Kategorien eingeteilt. Je nach Datenverfügbarkeit konnten zwischen ein und zehn Projekte pro Kategorie für den Vergleich herangezogen werden.

Nachstehend werden die Datenauswertung und Erkenntnisse der einzelnen Sensorsysteme detailliert angeführt. Für die Bewertung werden vor allem die Parameter Genauigkeit, Messdauer je Längen- und Flächeneinheit, sowie Datenbearbeitungszeiten betrachtet.

Ein Beispiel eines Bewertungsformulars zeigt die nächste Abbildung:

Gegenstand der Vermessung		Technologie		Pauschal-Preis des Lieferanten	
Länge der vermessenen Strecke		Bezeichnung der Vermessungstechnologie		A1	
Auf Anregung des Auftraggebers wurde auch die vermessene Fläche erhoben, um bei Bahnhöfen vergleichbare Werte zu haben		Bestandsaufnahme nach Umbau des Bahnhofes Marchegg			
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	01.03.16		
		Ort der Datenaufnahme	Marchegg		
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	17 Stadlau - Marchegg		
Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller) Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller) Maschinenstunden Messgerät (€/h) Maschinenstundensätze Plattform (€/h)				
		€	-		
		€	-		
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std) Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm) Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)		50		
			1		
			5-10 Min		
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 7		
		Genauigkeit, Maßstab	5-10mm / 1:500		
		Gleislänge [m]	1.000		
		Strecke [km]	186.000		
		Topographie, Gelände Zugdichte / Stunde	1b 3-4		
Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm Summe Genauigkeit 10mm-10cm Summe Genauigkeit >10cm		318		
			1608		
			2758		
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung Pauschale für Datenaufbereitung sich daraus errechnender Preis / m sich daraus errechnender Preis / m²	€	21.415,00		
		€	-		
		€	21,42		
		€	0,12		
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€		
			-		
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft (55,-/h)			
		Techniker (75,-/h)			
	Stillegen der Fahrleitung Erdung				
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Aufsichtsperson	1 / 6 Tage		
		Hilfskraft	1 / 6 Tage		
	Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt (Stunden)				
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,0250				
Interne Kosten ÖBB INFRA	€	7.800,00			
Kosten seitens ÖBB INFRA					

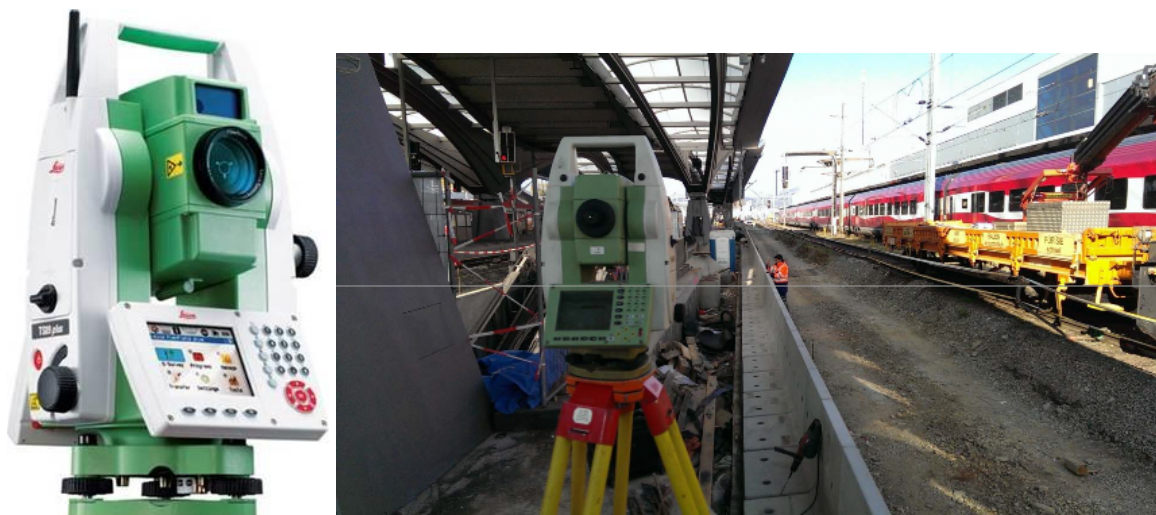
(Abbildung 3.1: Bewertungsformular)

4. SENSORSYSTEME (AP5-AP6)

Im Folgenden werden die betrachteten Sensorsysteme genauer erläutert. Jedes dieser Sensorsysteme hat bestimmte Anwendungsgebiete für die es bevorzugt eingesetzt werden kann.

(A), klassische Verfahren der Ingenieurgeodäsie

a.) Tachymetrie

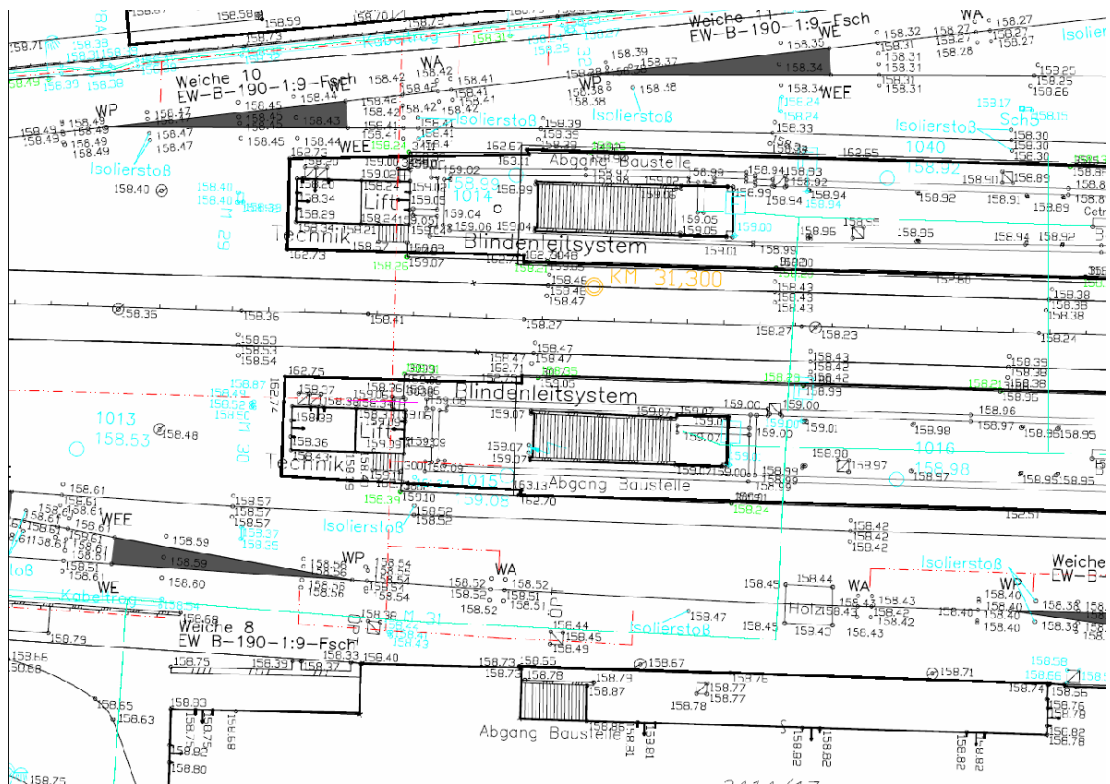


(Abbildung 4.1 und Abbildung 4.2: Tachymeter)

Die klassische Tachymetrie mit motorgesteuerten Geräten ist in der Vermessung als State-of-the-Art zu bezeichnen. Dabei handelt es sich um eine Kombination aus Tachymeter und anderen Messgeräten wie GNSS, Lasergeräte, etc.. Diese Form der Vermessung ermöglicht eine relativ schnelle, aber vor allem gleichzeitige Aufnahme von Lage und Höhe ohne einen Bedarf einer Nachbearbeitung der Daten. Effektive Messungen erfolgen an Bahnkörpern zumindest mit 3-Mann Partien, um die Verweildauer auf dem Gleiskörper so kurz wie möglich zu halten. Üblicherweise benötigt ein derartiger Messtrupp mind. 2 Sicherungsfachkräfte (SIPOS) und die entsprechende Schulung der

Vermessungstechniker (SIG 1 + SIG 2). Eine Dienstanweisung – BETRA bzw. gefährdete Rotte - ist Voraussetzung.

Als Beispiel sei eine Detailaufnahme des Bahnhofs Gänserndorf aus dem Jahr 2013 angeführt:



(Abbildung 4.3: Detailaufnahme des Bahnhofs Gänserndorf)

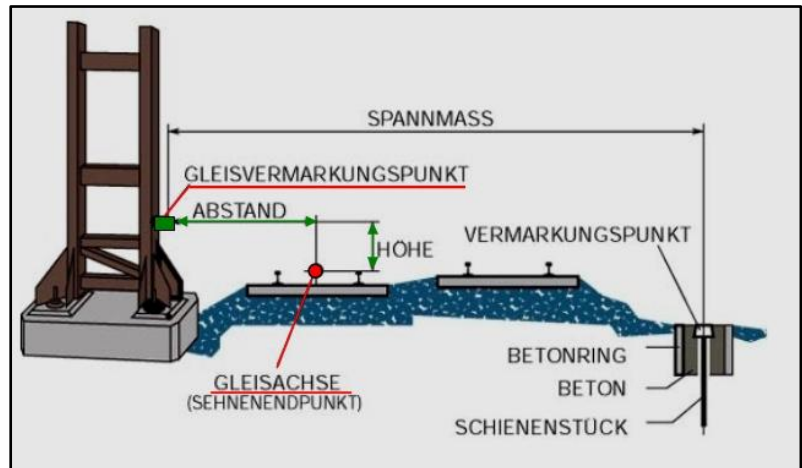
b.) Pfeilhöhen und Längssehenmessung

Der klassische Ansatz einer Laserlangsehnenermittlung ist ein seit vielen Jahrzehnten erprobtes Verfahren in der Bestimmung von Gleislagen.

- **Gleisvormessung allgemein**

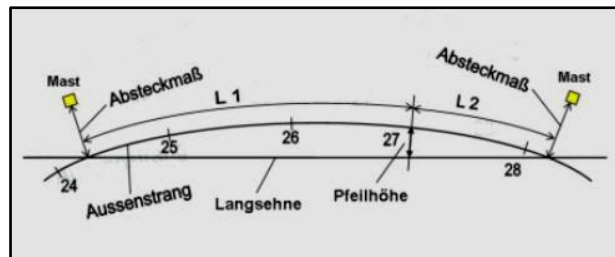
Bedingt durch höhere Geschwindigkeiten der Züge und dichtere Zugfolgen ist es notwendig, die Gleise in Lage und Höhe sehr genau zu erfassen. Dabei ist nicht nur auf die Größe eventueller Gleislagefehler, sondern auch auf deren Wellenlänge Bedacht zu nehmen. Die Vermessung der Gleise bezieht sich gegenwärtig auf Festpunkte in Bahnnähe, im Allgemeinen werden dafür sogenannte Mastbolzen verwendet, welche an den Fahrleitungsmasten der Oberleitung befestigt sind, oder in Form von Boden- oder Tiefpunktvermarkungen entlang der Bahntrasse. Die Lage der Gleise wird anhand des Abstandes und der Höhe der Gleisachse zu diesen sogenannten *Vermarkungspunkten* bestimmt. Diese werden in einem örtlichen Koordinatensystem ausgehend von trassennahen Polygonzügen bestimmt. Ebenfalls koordinativ festgelegt in diesem Koordinatensystem befindet sich die Gleisachse in ihren Hauptpunkten. Wie in der folgenden Abbildung ersichtlich, wird der Abstand zwischen den beiden gegenüberliegenden Vermarkungspunkten als *Spannmaß* bezeichnet. Der Schnittpunkt der Verbindungslinie der beiden Festpunkte mit der Gleisachse legt somit die absolute Lage des Gleiskörpers im Koordinatensystem der Vermarkungspunkte fest. Ein Sehnepolygon mit den sog. *Langsehen* als Seitenlängen erhält man nach Verbindung der aufeinanderfolgenden Schnittpunkte miteinander.

Die folgenden Grafiken zeigen dieses Prinzip:



(Abbildung 4.4 und Abbildung 4.5: Spannmaß)

Zur Vermessung der Ist-Gleisachse werden die Ist-Pfeilhöhen bezogen auf eine definierte Langsehne bestimmt. Diese Bestimmung erfolgt normalerweise mit einem der folgenden Verfahren:



(Abbildung 4.6: Bogensehne)

- Manuelles Verfahren
- Höhen- und Richtungspeilung mit Optik oder Laser
- Gleisvormesswagen

Wird ein optisches Fixpunktmessgerät verwendet, so werden die Ist-Pfeilhöhen mit einem auf einem Messwagen angebrachten Theodoliten bestimmt. Die so ermittelten

Verschiebewerte werden manuell an die Stopfmaschine weitergegeben. Folgende Grafiken zeigen ein solches Fixpunktmessgerät:



(Abbildung 4.7 und Abbildung 4.8: Gleismesswagen)

Unter anderem hat die österreichische Firma Plasser & Theurer aber auch den Ersatz der Laserlangsehne durch Gleislagemessungen mit Inertialmesseinheiten im Forschungsprogramm (siehe EM-SAT Studie 2009).

c.) GNSS - RTK

Die satellitengestützte Punktbestimmung mit Hilfe des bekannten US-amerikanischen GPS Systems und des ebenfalls voll ausgebauten GLONASS Systems der russischen Föderation erlaubt eine absolute und relative Positionierung im wenigen Meter- bis hin in den sub-cm Bereich. In Zukunft kann das derzeit im Aufbau befindliche europäische Satellitennavigationssystem Galileo (derzeit 18 Satelliten, davon 16 aktiv, im Endausbau 2020 30 Satelliten) bei Verfügbarkeit von geeigneten Empfängern ebenfalls mit Vorteil zur Positionierung beitragen. Die Nutzung mehrerer GNSS dient im Allgemeinen nicht der Steigerung der Genauigkeit der Positionierung, sondern ermöglicht vor allem mehr Positionierungen auch in abgeschatteten Bereichen, ein Faktum das für Bahntrassen durchaus bedeutend sein kann. Daneben wäre auch das europäische SBAS-System EGNOS als Positionierungssystem zu nennen.

Die GNSS-Beobachtungsgleichungen für Code- und Phasenstreckenmessungen zwischen dem Satelliten S und dem Empfänger R (Rover) auf der Frequenz i haben folgende Gestalt:

$$P_{R,i}^s + v_{R,i}^s = \rho_R^s + \Delta\rho_{R,Ion,i}^s + \Delta\rho_{R,Trop}^s + \Delta\rho_{R,rel}^s + c\Delta t_R - c\Delta t^s$$

$$L_{R,i}^s + v_{R,i}^s = \rho_R^s - \Delta\rho_{R,Ion,i}^s + \Delta\rho_{R,Trop}^s + \Delta\rho_{R,rel}^s + c\Delta t_R - c\Delta t^s + \lambda_i \cdot N_{R,i}^s$$

Die rechte Seite obiger Gleichungen beschreibt die geometrische Distanz ρ_R^s (beinhaltet die Satellitenbahninformation), die Uhrkorrekturen Δt_R und Δt^s , sowie eine Reihe von zu beachtenden Fehlereinflüssen wie die troposphärische Signalverzögerung $\Delta\rho_{R,Trop}^s$, die ionosphärische Signalverzögerung (bzw. 'phase advance') $\Delta\rho_{R,ion}^s$ und die relativistischen Korrekturen. Der Phasenmehrdeutigkeitsterm wird mit N bezeichnet.

Die Codeeinzelpunktbestimmung liefert eine Koordinatengenauigkeit des Rovers im mehreren Meterbereichen und ist für die hier besprochenen Anwendungen unzureichend. Die ebenfalls auf Codemessungen beruhenden EGNOS Positionen liegen bei +/-1-2 Meter in der Lagekomponente. Dieses Verfahren kann für die Lokalisierung trassennaher Einbauten in manchen Fällen von Interesse sein, ist jedoch wegen der meist tiefstehenden EGNOS Satelliten selten anwendbar. Weitere, meist kostengünstiger angebotene Dienste, erlauben die Punktbestimmung mit Hilfe von Code-Streckenkorrekturen mit einer Genauigkeit von 5dm-1m (DGNSS Service). Diese Genauigkeit ist jedenfalls höher als jene, die mit den in Konkurrenz stehenden SBAS Diensten zu erreichen ist. Auch die Einzelpunktbestimmung basierend auf Phasemessungen (Precise Point Positioning) ist in den letzten Jahren möglich geworden. Dieses Verfahren liefert dm-Genauigkeit, allerdings nach einer Koordinatenkonvergenzzeit von rund 15min - 30min. PPP Services werden in Zukunft durch den Galileo Commercial Service angeboten.

$$dL_{A,B,i}^J = d\rho_{A,B}^J - d\Delta\rho_{A,B,Ion,i}^J + c \cdot d\Delta t_{A,B} + \lambda_i \cdot dN_{A,B,i}^J$$

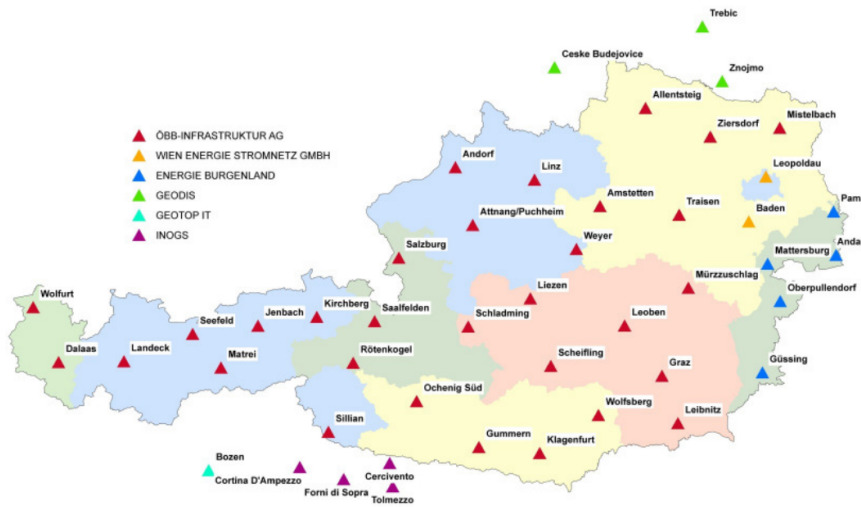
Durch Bildung von Beobachtungsdifferenzen zwischen dem Rover und einer Referenzstation lassen sich die temporär und räumlich korrelierten Fehleranteile eliminieren bzw. weitgehend minimieren.

Die obige Gleichung beschreibt die Differenz der an den Stationen A und B gewonnenen Phasenbeobachtungen zum Satelliten J. Bekanntlich wird dadurch der Satellitenuhrfehler eliminiert und die atmosphärischen Verzögerungen werden abhängig von der Basislinienlänge sehr klein. Eine weitere Differenzbildung relativ zu einem Referenzsatelliten K eliminiert auch den Stationsuhrfehler.

Differenzverfahren basierend auf Phasenstreckenmessungen erlauben eine Punktbestimmung im cm-Bereich in nahezu Echtzeit. Dieses Verfahren ist unter dem Acronym RTK (Real-Time-Kinematic) bekannt, und heutzutage das in der Vermessung wohl am meisten genutzte satellitengestützte Positionierungsverfahren. Ähnlich wie beim DGPS kommen sowohl eine Referenzstation als auch ein Rover zum Einsatz. Dieses Verfahren wird zudem auch "Trägerphasen-Differential GPS" genannt, um mit Trägerphasenmessungen cm- Genauigkeiten in Echtzeit zu liefern. Mittels RTK können ruhende und bewegte Rover positioniert werden. In der Bewegung ist aber die Bestimmung (Fixierung) der korrekten Phasenmehrdeutigkeit N schwierig und deshalb liefern die meisten GNSS-Sensordaten abhängig von der Qualität der Auswertesoftware bei höheren Geschwindigkeiten (ab ca 50km/h) meist nur sogenannte ‚Float‘ Lösungen mit einem Genauigkeitsanspruch im 1-2dm Bereich. .

Um eine Mehrdeutigkeitsfixierung auch über sehr lange Basislinienlängen zu ermöglichen und den eigenen Geräteaufwand zu minimieren, werden heute meist die Services aktiver Referenznetzdienste in Anspruch genommen, die aus Referenzstationsdaten Korrekturinformation ableiten und an den Nutzer senden.

GNSS-Referenzstationsdienste bieten Ihren Kunden Korrekturdaten über standardisierte Formate des GNSS-Echtzeitdatenaustausches (RTCM) an, welche in der typischer Weise angewandten RTK-Punktbestimmung eine Positionierung mit cm-Genauigkeit bei einer Konvergenzzeit von wenigen Sekunden bis 30 Sekunden erlauben. Network RTK basiert üblich auf der Auswertung von Beobachtungsdifferenzen, also der Basislinienbestimmung. Die Korrekturdaten sind im Prinzip Phasenstreckenkorrekturen für GNSS-Beobachtungen, die im Sekundentakt übermittelt werden (Observation Space Repräsentation = OSR). Die untenstehende Abbildung zeigt das Referenzstationsnetz eines nationalen GNSS-Service Anbieters.

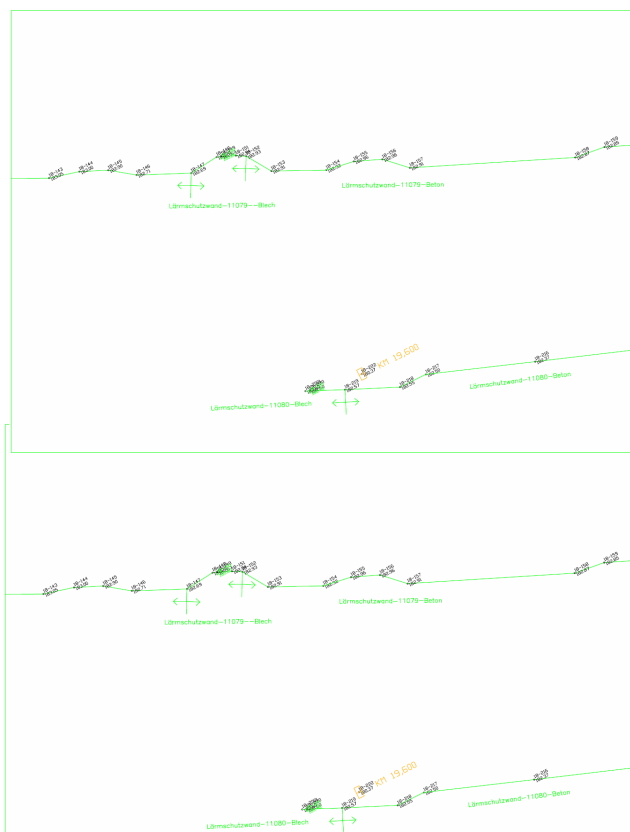


(Abbildung 4.9: EPOSA Netzwerk)

Eine detaillierte Behandlung der den verschiedenen Positionierungsverfahren zugrundeliegende Referenzkoordinatenrahmen erfolgt im Kapitel Georeferenzierung.

Der Einsatz satellitengestützter Verfahren zur Positionsbestimmung bei Bahnanlagen kann einerseits mit langzeitstatischen Methoden (Standpunktschaffung) oder mit RTK (Echtzeit) Verfahren durchgeführt werden. Hier gibt es eine breite Palette von Anwendungsmöglichkeiten. Die entsprechenden Sicherungsmaßnahmen am Gleis gelten wie bei 2.1.1.

Als Beispiel ist hier die Einmessung von Lärmschutzwänden dargestellt.



(Abbildung 4.10 und Abbildung 4.1:1 Schallschutzmauer)

(B), Mobile Gleiserfassung

Beim Mobile Laser Scanning (MLS) handelt es sich um eine relativ neue Technologie, bei der Objekte mittels Laserentfernungsmessungen von Fahrzeugen aus (z.B. Kraftfahrzeuge, Schiffe, Züge,...) kontinuierlich während der Fahrt erfasst und unter Verwendung von GPS-/IMU-Daten zu einer 3D-Punktwolke verarbeitet werden.

Diese Messmethode verknüpft die bereits bestehenden Laserscanningtechnologien, wie das Airborne Laser Scanning (ALS) und das Terrestrial Laser Scanning (TLS). Dabei sind Blickwinkel, hohe Punktdichte und echte 3D-Daten mit dem TLS vergleichbar. Die Georeferenzierung und Effizienz im Sinne von zügiger Erfassung großer Gebiete sind wiederum vergleichbare Eigenschaften vom ALS.

Auch bei diesem Verfahren besteht die Möglichkeit die Laserscanner zusätzlich z.B. mit RGB-Kameras auszustatten um zeitgleich zu den Laserdaten Bilddaten zu erfassen und diese zu georeferenzieren.

(B1)

a.) Herkömmliche Gleismesswagen (Rhombert, Amberg, Trimble, technet-rail)



(Abbildung 4.12: Gleismesswagen von Amberg)



(Abbildung 4.13: Gleismesswagen von Trimble)

Diese Verfahren sind ausführlich in der Studie VGM (Vergleich der Gleismessmethoden der ÖBB) durch die Universität Innsbruck (Arbeitsbereich für Vermessung und Geoinformation) beschrieben.

(B2)

a.) EM-SAT 1.0

Das von der Firma Plasser & Theurer entwickelte Messsystem EMSAT befindet sich schon seit einigen Jahren bei der ÖBB im Einsatz. Gemessen werden dabei Pfeilhöhen im Bezug auf fix angebrachte Mastbolzen um so die relative Lage des Gleises bestimmen zu können. Der Gleisvormesswagen EMSAT besteht aus einer Hauptmaschine und einer Vormesseinrichtung, dem sogenannten Satellitenvorwagen (daher auch der Name EmSAT). Auf diesem mit einem Elektromotor angetriebenen Satellitenvorwagen befindet

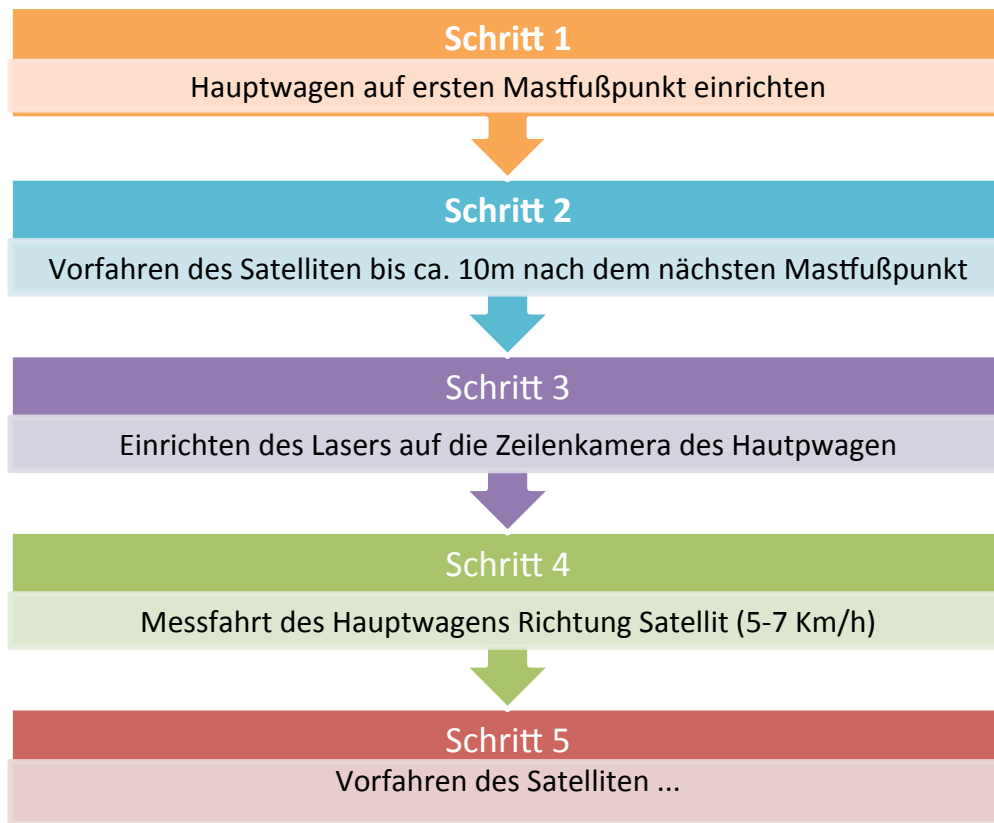
sich ein Laseremitter, auf dem Hauptwagen die zugehörige Empfangseinheit (CCD Array). Zusätzlich ist beim Betrieb ohne GNSS ein Fixpunktmessgerät erforderlich.



(Abbildung 4.14 und Abbildung 4.15: EM-Sat 1.0)

Mit der Langlasersehne werden sowohl die Richtung als auch Gradienten gemessen. Dies erlaubt eine direkte Berechnung von Verschiebewerten, die digital an die Stopfmaschine weitergegeben werden können. Der Vorteil dieses satellitengestützten Messverfahrens liegt darin, dass topographisch bedingte Abschattungen der Satelliten durch die Lasersehne ersetzt werden. Aufgrund der Tatsache, dass eine solche Messung von einem gesicherten Arbeitsplatz durchführbar ist, entfällt die aufwändige Sicherung der Messleistung. Basierend auf den Satellitenmessungen können die Gleiskoordinaten relativ zu diesen Referenzpunkten mit einer Lagegenauigkeit von etwa 10mm und einer Höhengenaugigkeit von etwa 12mm ermittelt werden. Die Messungen werden in einem wiederkehrenden Zyklus durchgeführt.

Eine typische Messung läuft nach folgendem Schema ab:



(Abbildung 4.16: Messschema)

Gleisvermessung mit motorisierten Messwagen hat in Österreich eine historische Tradition. Durch die Verbindung der ÖBB mit Plasser & Theurer wurde in den vergangenen Jahrzehnten die Plattform EM-SAT entwickelt. Das Potential dieser Messmethode wird in der Studie der Dr. Döller ZT GmbH von 2009 umfangreich beschrieben. Die Einschränkung des Zugbetriebes ist hier im Wesentlichen eine Reduktion der Geschwindigkeit des Normalbetriebes und eine Unterbringung der Messfahrten im Regelplan.

Wie in der EM-SAT Studie 2009 ermittelt wurde, kann bei Messsystemen mit Einbeziehung von GNSS eine weitaus genauere Vermessung erfolgen. Dabei ergibt sich außerdem der Vorteil einer direkten Georeferenzierung, vorrangig im ITRS. Bei entsprechendem Empfang von Satelliten kann mit diesem System auch die herkömmliche Einmessung der Mastbolzen entfallen.



(Abbildung 4.17: Triebwagen)

(C), Multisensor-Plattformen

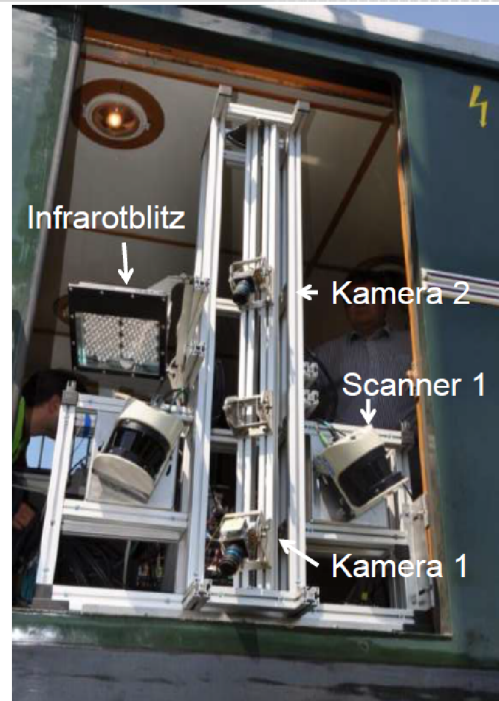
Multisensorplattformen spielen in der Geodäsie, insbesondere in der Ingenieurgeodäsie, eine immer wichtigere Rolle. Eingesetzt werden diese für eine schnellere und detailliertere Erfassung und Kontrolle der Umgebung. Aufgrund der komplexen Aufgabenstellungen werden für diese Anwendungen kinematische Multisensorsysteme eingesetzt, bestehend aus Sensoren für die Navigation und Sensoren für die optische 3D – Erfassung der Umgebung. Durch verschiedene Messwinkel und Messdistanzen liegt die Einzelpunktgenauigkeit des Laserscans im cm – Bereich. Mit einer Aufnahmemenge ab 10.000 Punkten pro Sekunde sind nicht nur große Datenspeichermedien nötig sondern auch eine automatische Datenauswertesoftware, da sonst das Handling nicht wirtschaftlich durchführbar ist. Hochwertige Software muss in der Lage sein Fehlmessungen heraus zu filtern und das Messtauschen zu glätten. Auch die Georeferenzierung erfolgt automatisch mit Hilfe von Passpunkten. Nach diesen Schritten wird die Punktwolke in ein dreidimensionales Modell umgerechnet und die Daten so weit reduziert, dass ein Einlesen in ein herkömmliches CAD Programm möglich ist.

(C1) F&E – SENS Komponenten & Potential**(Abbildung 4.18: F&E Sens)**

Hierbei handelt es sich um eine mobile Messeinrichtung zur berührungslosen Erfassung der Gleisvermarkungspunkte mit dem Ziel eines grenzenlosen Datenzugriffes für Planungs- oder Wartungszwecke.

Diese hochmoderne Sensorik wurde als Messsystem im Zuge dieses Forschungsprojektes in den 4061 eingebaut. Zur Erfassung gelangen dabei die Gleisachsen und die Gleisvermarkungspunkte. Entscheidend bei der Auswahl der richtigen Messinstrumente sind die Kriterien der Auswertung, Speicherung und Verarbeitung der Datenmenge. Positioniert wird das System anhand zweier GNSS - Antennen welche am Dach des 4061 montiert sind. Unter den Instrumenten befinden sich auch Infrarotkameras welche die Infrastrukturobjekte aufnehmen. Bei der Aufnahme von Metallbolzen an den Fahrleitungsmasten detektiert ein Laserscanner fortlaufend die jeweiligen Distanzen zum Fahrleitungsmast, um so im richtigen Abstand die Infrarotkameras auszulösen. Mit Hilfe hochgenauer Zeitsynchronisation im Millisekundenbereich und einer passenden Bildverarbeitungssequenz ist es möglich den

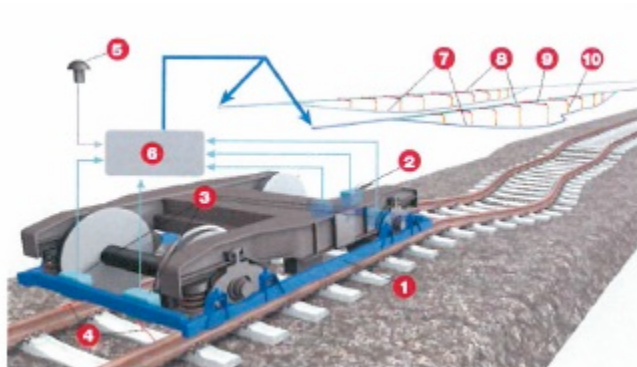
aufgenommenen Objekten eine genaue Position zuzuordnen. Der Einsatz von Infrarotkameras erlaubt Aufnahmen zu jeder Tages- und Nachtzeit, sowie in Tunneln.



(Abbildung 4.19: Aufnahmeplattform)

(C2)

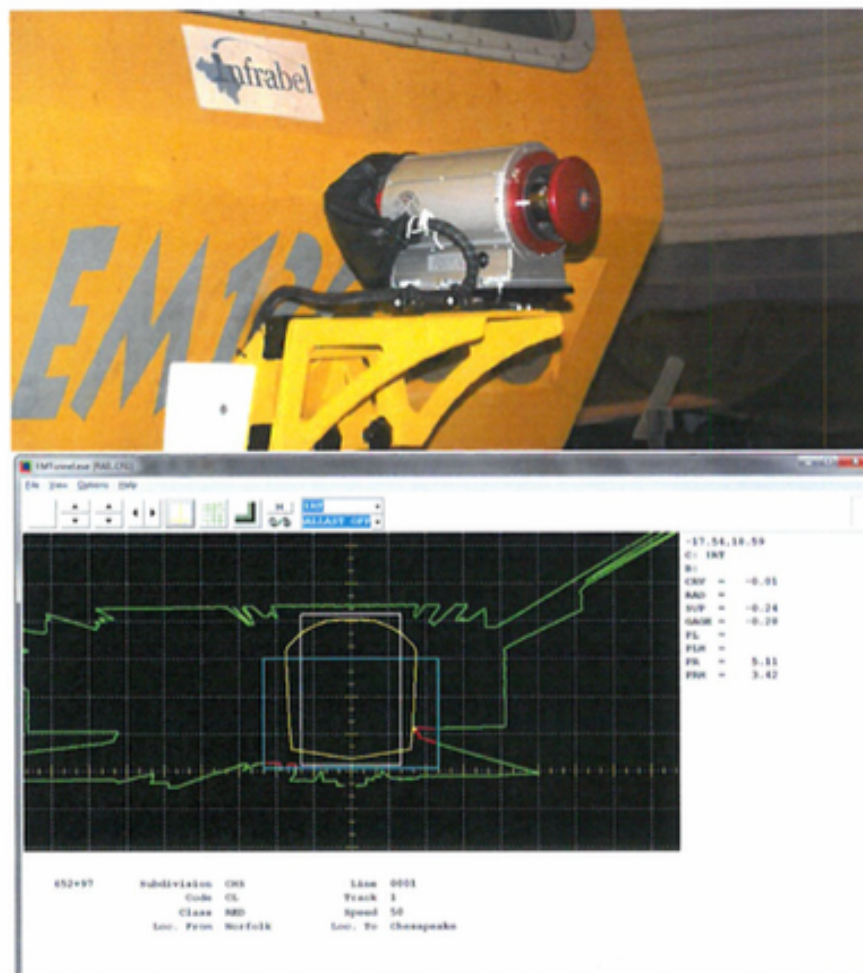
a) EM-SAT 2.x



(Abbildung 4.20: EM-Sat 2.0)

Die Firma Plasser & Theurer entwickelt als Weltmarktführer derzeit eine universelle Plattform für die Multisensoraufnahme. Für die Einschränkung des Zugbetriebes gilt jedenfalls auch die Aussage von 2.1.1.

a.) Laser Scanner Fa. Riegler und andere Laserscanner



(Abbildung 4.21: Laserscanner)

Laserscannerzeuger haben aktuell eigene Softwarefirmen akquiriert, die sich mit der hochautomatisierten Auswertung dieser Datenmengen beschäftigt. Die Montage eines solchen Multisensorsystems muss notwendigerweise auch auf einen motorisierten Triebwagen erfolgen. Für die Einschränkung des Zugbetriebes gilt die Aussage von 2.1.1.

Als Beispiel sei hier der VMX-1HA-Rail der Firma Rieggl angeführt, welcher in der Gleisvermessung zum Einsatz kommt. Die spezifischen Details sind im Datenblatt auf der Homepage ersichtlich.



(Abbildung 4.22: Rieggl Laserscanner)

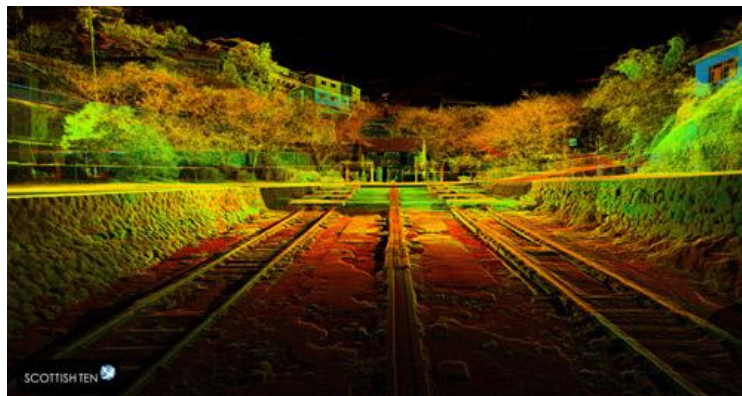
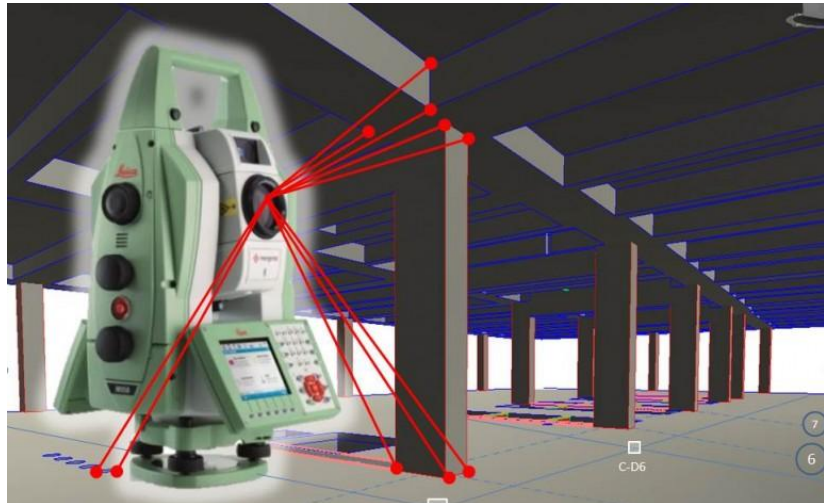
Im Rahmen der Datenaufnahme konnten jedoch zu Riegel-Projekten keine Daten eingebracht werden. Daher wurden seitens ÖBB Daten zu 2 Projekten beigestellt: Eine Analyse mittels iNOVITAS-Technologie (www.inovitas.ch), eine mittels MoSES-Technologie (Mobiles Straßenerfassungssystem)

b.) Terrestrische Laserscanner

Als Erweiterung der Messmöglichkeiten von elektronischen Tachymetern (siehe 2.1.1.1 a.) stehen terrestrische Laserscanner zur Verfügung. Das terrestrische Laserscanning (TLS) oder terrestrisches LiDAR (Light Detection And Ranging) ist ein stationäres, aktives, bildgebendes 3D-Verfahren, das laserbasierte Streckenmessungen in einer automatisierten Abfolge von quasi gleichabständigen Abtastschritten in vertikaler und horizontaler Richtung erfasst und daraus geometrische Informationen über das Objekt gewinnt. Anders als bei herkömmlichen Messverfahren erlaubt die Verwendung des Laserscans eine flächenhafte Objektdarstellung anhand eines regelmäßigen Rasters. Diese Aufnahmetechnologie verkürzt einerseits die Verweildauer auf dem Gleis und

reduziert die Anzahl der Sicherungsmaßnahmen, führt jedoch zu einer exponentiellen Erhöhung der Messpunkte und somit der Datenmenge. Der damit einhergehende Aufwand der Datennachbearbeitung ist hierbei zu beachten.

(Abbildung 4.23:
Einzelpunktaufnahme)



(Abbildung 4.24: Punktwolke)

(D), Airborne Systems

Digitale Höhenmodelle (DHM) zählen heute zu den Standardprodukten des Vermessungswesens. Sie repräsentieren die Formen der Erdoberfläche, idealisiert durch eine Menge diskreter Punkte mit bekannter Lage und Höhe.

Die steigende Nachfrage nach aktuellen Höhenmodellen für unterschiedlichste Anwendungen erfordert wirtschaftliche Aufnahmeverfahren, die die notwendigen Messdaten mit hinreichender Genauigkeit auch für große Gebiete in angemessener Zeit liefern können. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit eines solchen Aufnahmeverfahrens ist jedoch das Einsatzgebiet und die geforderte Datenqualität. Eines dieser Verfahren ist die flugzeuggestützte Laserscanvermessung, auch als Airborne Laser Scanning oder LIDAR bezeichnet. ALS ist durch einen weitgehend automatisierten Messablauf, eine vollständig digitale Datenaufzeichnung und eine computerbasierten Auswertung gekennzeichnet. Die Laserscanvermessung basiert auf einem Multisensorsystem mit den Hauptkomponenten Laserdistanzmesser mit Scanvorrichtung, GNSS-Empfänger und Inertiales Navigationssystem (INS).

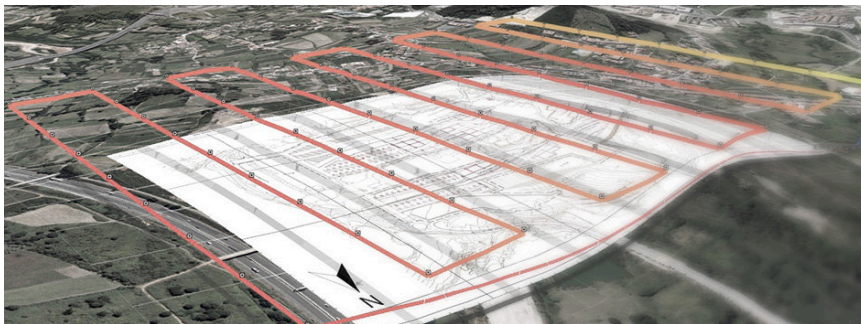
Bei der Laserscanvermessung mit einem ALTM (Airborne Laser Terrain Mapper) wird der Laserstrahl durch einen oszillierenden Spiegel (Scanner) quer zur Flugrichtung abgelenkt und ein Geländestreifen entlang des Flugweges mit einer Zickzack-Linie abgetastet. Die Entfernung zur Erdoberfläche wird über Laufzeitmessung ermittelt. Die äußere Orientierung, d. h. die Position und die Lage des Sensors im Raum, wird mit Hilfe von GNSS und INS (Inertiales Navigationssystem) bestimmt. Zusammen mit der Winkelmessung für den Spiegel lässt sich somit für jeden reflektierten Laserpuls die Position, d. h. Rechtswert, Hochwert und Höhe auf der Erdoberfläche, berechnen.

Das Laserscanningverfahren ist u. a. gekennzeichnet durch:

- Vergleichsweise geringe Anforderungen an die Wetterbedingungen
- Durchdringung von Vegetation
- Unterscheidung von Mehrfachreflexionen

Grundsätzlich können Laserscanbefliegungen sowohl zu jeder Jahreszeit als auch zu jeder Tages- und Nachtzeit durchgeführt werden, vorausgesetzt, zwischen dem Flugzeug und der zu erfassenden Oberfläche befinden sich keine Hindernisse (z. B. Wolken oder Niederschlag). Es eignen sich daher die Monate November bis April. Die einzelnen Laserimpulse können mehrere Reflexionen aufweisen, da manche Lichtimpulse bereits an der Vegetation gebrochen werden bevor sie von der Erdoberfläche reflektiert werden. Daraus ist mit hoher Wahrscheinlichkeit zu schließen, dass die erste Reflexion häufig ein Vegetationspunkt ist. Neben der ersten (First-Pulse Verfahren) und der letzten Reflexion (Last-Pulse Verfahren) können bei den neuen Messsystemen bis zu vier Reflexionen (Multi-Pulse Verfahren) aufgezeichnet werden. Die Art des Verfahrens wird in Abhängigkeit vom Anwendungszweck gewählt. Für z.B. topographische Höhenmodelle wird überwiegend die letzte Reflexion aufgezeichnet.

(D1) Drohnen



(Abbildung 4.25: Drohnenflugroute)

Auch Drohnen können Plattformen für präzise Photogrammetrie und Laserscanner sein. Die geringe Flughöhe erhöht natürlich die Genauigkeit, vergrößert aber das Risiko der Sicherheitsgefährdung und auch eines möglichen Absturzes. Hinzu kommen etwaige äußere Bedingungen die sich negativ auf eine solche Aufnahme auswirken. Dazu zählen vor allem die Wetterbedingungen, die Jahreszeiten, die Exposition der Strecke etc.. All diese Parameter grenzen eine präzise Drohnenmessung ein, beziehungsweise lassen eine solche erst zu.

(D2) Airborne Laserscan

Flugzeuge und Hubschrauber mit Laserscannertechnologien

Ähnliches gilt für Flugzeuge und Hubschrauber als Trägerplattform für Laserscanner. Je nach Flughöhe ist eine Genauigkeit bis in den Bereich von besser als 10cm möglich. Für den Bahnbetrieb bestehen Einschränkungen nur insofern, als die Flughöhe ein sicherheitskritischer Aspekt sein kann. Auch hier sind äußere Einflüsse maßgebend für eine homogene Messung. Zusätzlich sei hier erwähnt, dass nicht immer eine lückenlose Aufnahme gewährleistet werden kann. Aufgrund von verstellten Gleisen, hauptsächlich im Bahnhofsbereich, kann dieser bei einer einmaligen Befliegung nicht aufgenommen werden. In diesem Fall ist eine weitere Befliegung notwendig, welche jedoch zusätzlich Kosten mit sich bringt.



(Abbildung 4.26: Airbornelaserscanner)

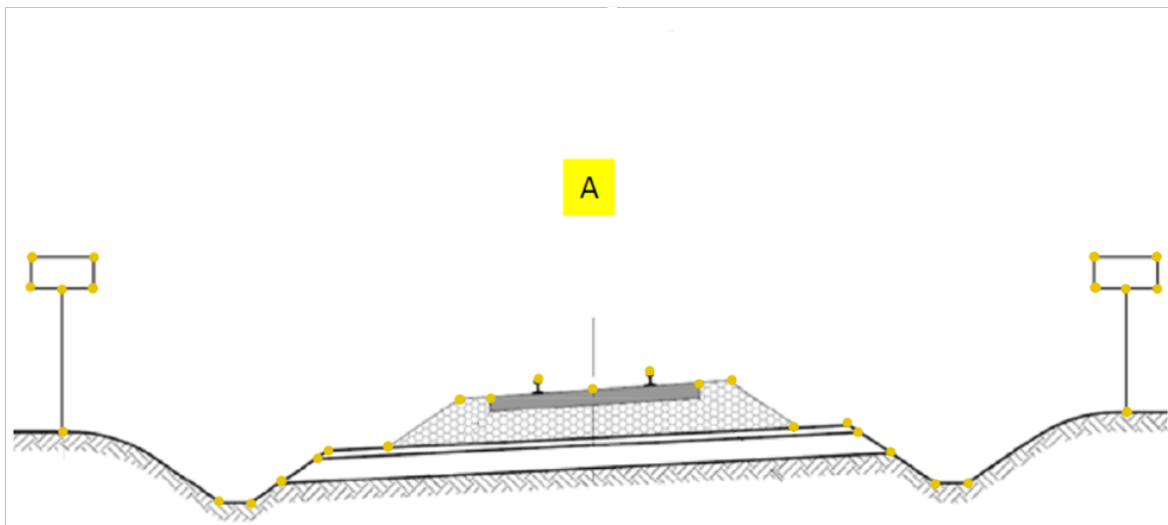
Gesamtkostenrechnung je Technologie

Im Folgenden werden die einzelnen Cluster der Vermessungsmethoden hinsichtlich ihrer Aufnahmeart ein wenig näher erläutert. Grundsätzlich unterscheidet man eine punktuelle Aufnahme und eine flächenhafte Aufnahme des zu vermessenden Gebietes.

Bei einer punktuellen Aufnahme werden einzelne Punkte der Reihe nach aufgenommen und mit einer Punktnummer versehen. Je nach Aufnahmeverfahren sind diese Punkte auch sofort in jedem beliebigen Koordinatensystem darstellbar, das heißt, der Nachbearbeitungsaufwand ist bei diesen Technologien sehr gering. Durch die Konzentration bei der Aufnahme auf einzelne Punkte kann in der Regel auch eine höhere effektive Genauigkeit erzielt werden. Durch das Aufnehmen von jeweils einem Punkt nach dem anderen dauert die eigentliche Aufnahme eines Punktes länger als bei einer flächenhaften Aufnahme.

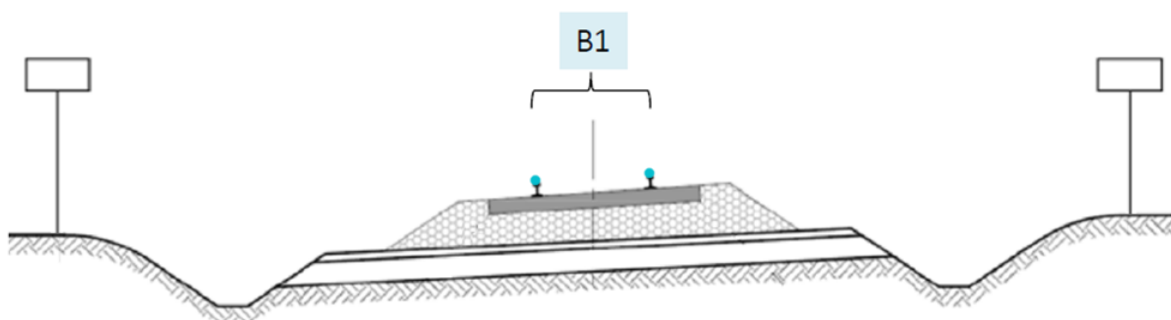
Eine flächenhafte Aufnahme erfolgt in der Regel durch Luftbildaufnahmen oder durch Laserscan. Die eigentliche Datenaufnahme erfolgt durch Befahren oder Befliegen des Zielgebietes mit entsprechender Gerätschaft. Hierbei entstehen bei der Aufnahme selber sehr große Datenmengen. Eine direkte Darstellung oder Absteckung der Punkte vor Ort ist hier nicht möglich. Die gesammelten Daten müssen nach der Aufnahme nachbearbeitet werden. Aus den in der Nachbearbeitung entstandenen Modellen können die gewünschten Punkte nachträglich abgelesen werden. Die Genauigkeit hängt stark von der Qualität des Modells ab, welche aber bei der Datenaufnahme vor Ort noch nicht überprüft werden kann.

Die folgenden Grafiken sollen verdeutlichen welche Objekte mit welchen Technologien eingemessen werden können.



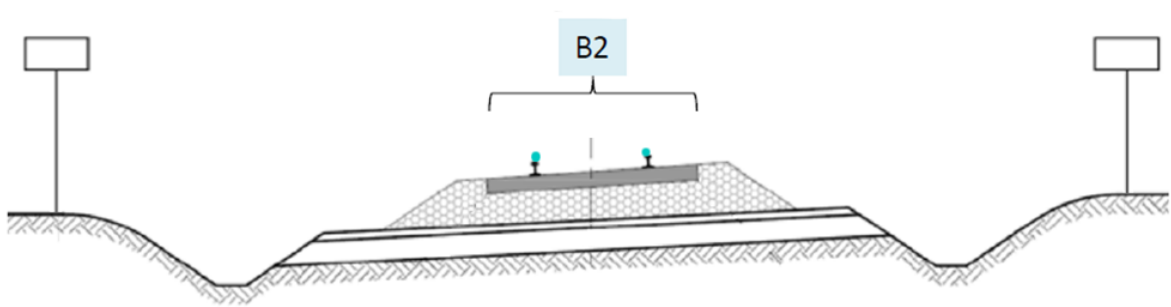
(Abbildung 4.27: Wirkungsbereich Technologie A)

Die Methode der klassischen Ingenieurgeodäsie ist mit Abstand die flexibelste Lösung. Wie in der Grafik ersichtlich, wird hier punktweise aufgenommen. Hierbei werden direkt die geforderten Punkte aus dem Gebiet aufgenommen und sind sofort als Koordinaten verfügbar. Der Vermesser ist hierbei auch nicht an die Schiene gebunden und kann sich frei im Gelände bewegen, es kann daher jeder beliebige Punkt aufgenommen werden. Die Genauigkeit ist hierbei auch beinahe beliebig wählbar und somit ist die Methode der klassischen Ingenieurgeodäsie auch für jede Anforderung einsetzbar.



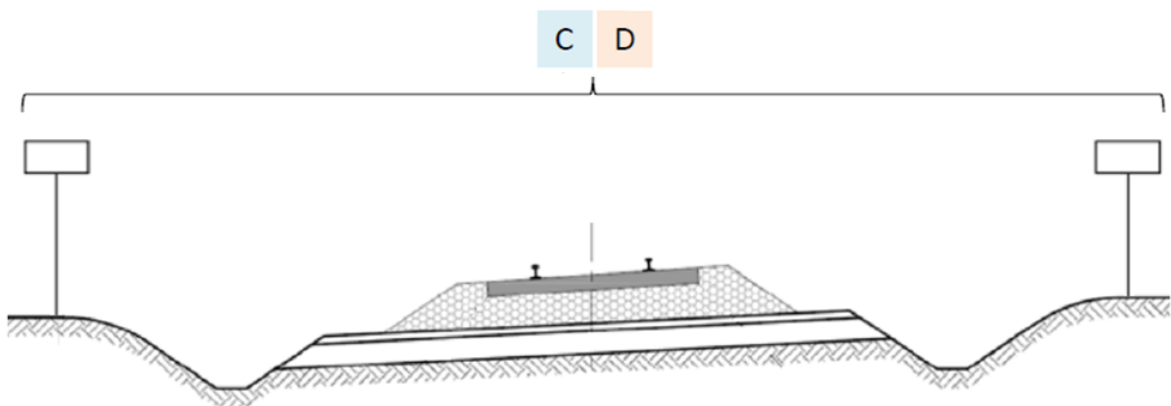
(Abbildung 4.28: Wirkungsbereich Technologie B1)

Die Methoden der Kategorie Gleismesswagen nehmen ebenfalls punktweise auf. Die Gleismesswagen bewegen sich entlang des Gleises und können von diesem nicht abweichen. Die aufgenommenen Punkte beziehen sich also direkt aufs Gleis und lassen eine hoch präzise Lagebestimmung zu.



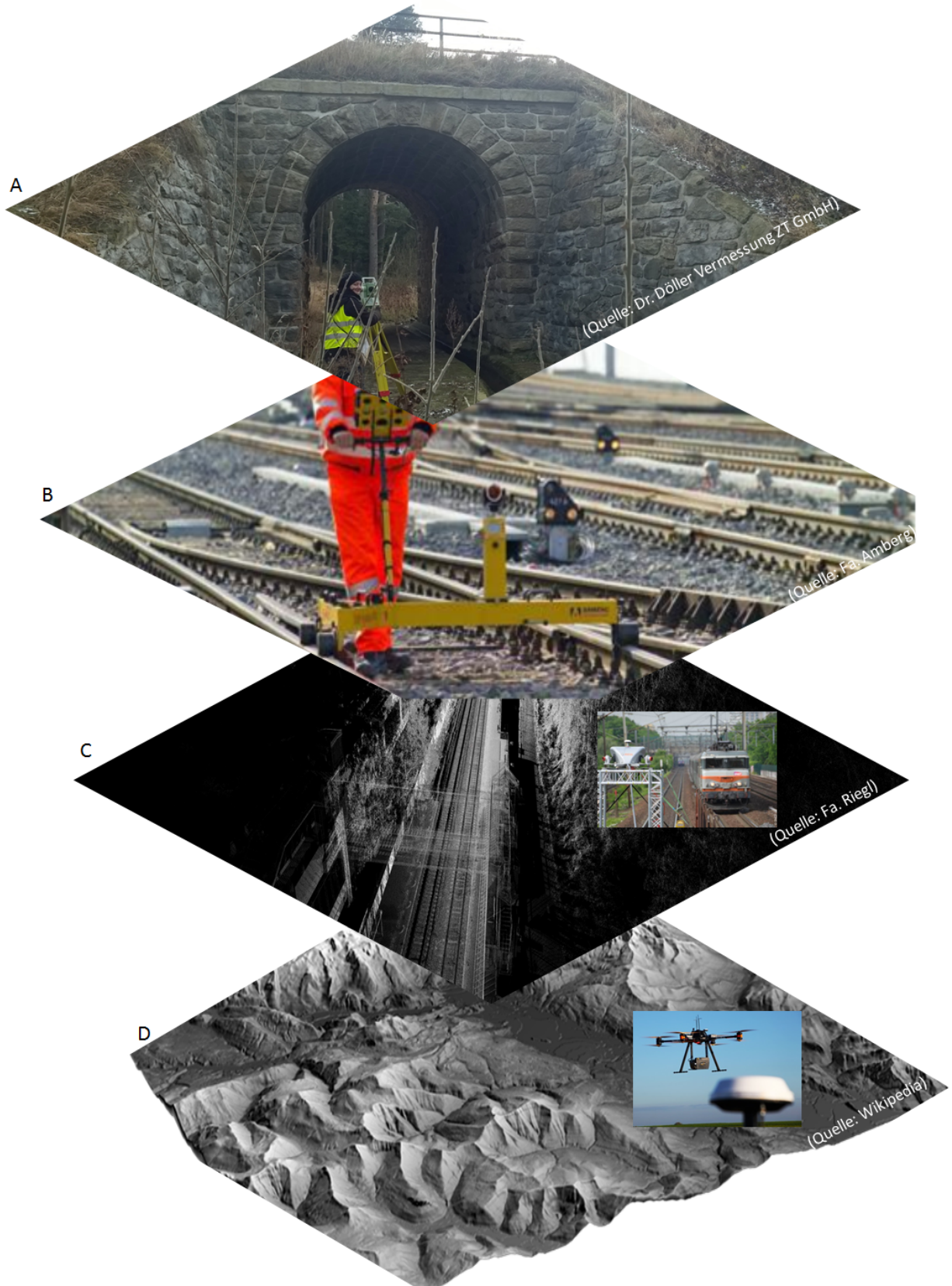
(Abbildung 4.29: Wirkungsbereich Technologie B2)

Genauso wie die Gleismesswagen nimmt auch der EMSat 1.0 direkt die Lage des Gleises auf. Mit der Langlasersehne werden sowohl die Richtung als auch der Gradient gemessen, dies erlaubt eine direkte Berechnung von Verschiebewerten, die digital an die Stopfmaschine weitergegeben werden können. Die Messungen werden in einem wiederkehrenden Zyklus durchgeführt.



(Abbildung 4.30: Wirkungsbereich Technologie C und D)

Bei einer Befliegung oder Befahrung mit Laserscanner ist man flächenmäßig nicht beschränkt. Alle Punkte die direkt sichtbar sind, können auch aufgenommen werden. Allerdings stoßen diese Technologien an ihre Grenzen bei Stellen die durch Brücken, Tunnel oder steile Geländepunkte in direkter Umgebung abgeschattet sind. Also eine flächige Aufnahme ist definitiv möglich, allerdings ist durch die eingeschränkte Flexibilität die Abdeckung der gewünschten Punkte fraglich.



(Abbildung 4.31: Gleismessmethoden)

5. SENSORSYSTEME 3 - FUTURE GLEISMESSWAGEN (AP 7)

Im Rahmen der technischen Weiterentwicklung gibt es laufend Erweiterungen an bereits bestehenden Systemen, wie z.B. den EMSAT 2.X der Firma Plasser & Theurer.

Die Technologie entwickelt sich aber auch rasant in Richtung mobiler 3D Systeme.

Die Firma Leica kann ebenfalls auf ein eher neues System zurückgreifen welches erstmals in der Gleisvermessung eingesetzt wird. Es handelt sich um das System Pegasus / SiRail bzw. Pegasus Two von Leica.

Bei der Mobile-Mapping-Lösung Leica Pegasus Two werden ein oder mehrere Laserscanner mit GNSS-Empfängern, einer Inertial-Messeinheit und einem DMI kombiniert. In Zusammenspiel mit sechs bis acht Kameras auf einem beliebigen Fahrzeug werden genaue und präzise Raumdaten erhalten.

Diese mobile Sensorplattform erfasst nicht nur Punktwolken und Bilddaten, sondern sammelt auch Daten von weiteren Sensoren. Kameras zur Luftraum- oder Asphaltanalyse, Lärmbelastungssensoren, Luftqualitätssensoren oder Bodenradar (GPR) für die Kartierung unterirdischer Anlagen sind verfügbar.

Diese Technologie für die Bestandsdokumentation ist fahrzeugunabhängig und somit eine Lösung für zahlreiche Anwendungen.

Die Daten müssen nur einmal erfasst werden, und können für mehrere Anwendungsfälle genutzt werden. Die Arbeitszeit im Feld ist zudem geringer.

Pegasus Two erfasst ein sphärisches 360-Grad-Panorama zusammen mit LiDAR. Damit wird in der Feldaufnahme kein Objekt vergessen. Das reduziert Mehrfachanfahrten.

Während Pegasus MapFactory bei kleineren bis mittleren und manuellen bis halbautomatisierten Projekten Hilfestellung leistet, handelt es sich bei Leica SiRoad und Leica SiRail um Softwaresuiten, die vollautomatisierte Workflows bei großen oder landesweit laufenden Mobile-Mapping-Projekten bieten.

Vorteile:

- Vergrößerung der gesammelten Datenmenge je Durchlauf
- Die Streckenverfügbarkeit wird erhöht
- Verwendung einer einzigen Plattform für mehrere Anwendungen
- Reduktion der Feldarbeitszeit um 30–50 Prozent

Nachteile:

- Sehr große Datenmengen
- Wenn Gleise belegt sind, kann nicht alles aufgenommen werden.
- Es werden leistungsstarke Rechner benötigt.



(Abbildung 5.1: Gleismesswagen)



(Abbildung 5.2: Linienextraktion)

Pegasus:Two – 3D Mobile Mapping

Der „Pegasus:Two“ ermöglicht mobile Datenerfassung in höherer Geschwindigkeit und Genauigkeit. Erstmals wurde ein 360° Stereokamerasystem mit einem Laserscanner zu einem kompakten System kombiniert. Zusätzlich ist das System mit einem GNSS-Empfänger, einem IMU-Sensor und einer Entfernungsmesseinrichtung (DMI) ausgestattet. Es erfasst kalibrierte Bilder und Laserscanning Daten in einem 360° Spektrum. Dank der georeferenzierten totalen Rundansicht kombiniert mit den Laser-Daten steht eine detailgetreue und hochgenaue Datengrundlage zur Verfügung. Das Gerät ist rasch einsatzbereit und kann auf praktisch jedes Auto und viele Bahnwagen montiert werden.

Auf einer mobilen Plattform nimmt das Gerät pro Sekunde 1'000'000 Punkte und 64 Bilder mit total 256 MegaPixel auf. Die lokale Genauigkeit beträgt 2 cm (horizontal) und 1.5 cm (vertikal). Die Punktedichte wird über die Geschwindigkeit gesteuert, mit 40 km/h beträgt der durchschnittliche Punktabstand 5cm.



A family of rail solutions

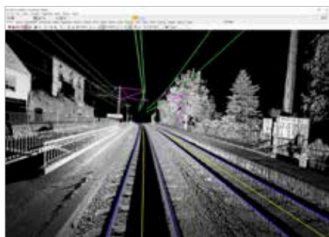
SiTrack:One is the only position-independent system generating 3D point clouds of any rail environment providing advantages by reducing time in field and increasing safety:

- Make better informed decisions capturing track details at 0.3 mm resolution accuracy with the exclusive high definition track profiler
- Automatic 360° sensor calibration for an automatic fit in only 5 minutes
- Continuous scanning and automatic control point recognition minimise the time surveying personnel are on the tracks at high risk and stopping trains
- The easy-to-use SiTrack:One enables any personnel to be quickly trained and deploying the solution in the field

Nähere Details sind am entsprechenden Datenblatt ersichtlich.

SiRail Suite complete rail capture software

The SiRail Suite software package offers a complete and fully automated workflow to ensure highly accurate data processing, analysis and management, featuring three software modules, namely SiRailScan, SiRailManager and ATrack Suite. The modules run in a homogenous system or as stand-alone software, which allows you to customise packages enabling you to exactly perform the rail track and environmental analysis you need.



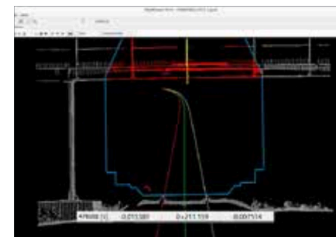
SiRailScan

SiRailScan improves the monitoring and control of the railway network for deformation analysis and volume calculations. It features automated batch processing for rail geometry adjustment with accuracy and reliability values. It detects collision with structure gauge profiles and analyses tunnel deformation by volume calculation.



SiRailManager

SiRailManager is the point cloud and database management system for complete national railway track data sets. The software maintains existing track data and controls any changes, checks the integrity of the railway navigation database, and offers a homogeneous system of geographic position, projection and railway chainage (track, station and direction).



ATrack Suite

ATrack Suite was created for track reverse engineering and algorithm optimisation, railway design and planning, as-built track geometry recovery, and comparison between designed and as-built track alignment. This module automatically calculates the track geometry alignment, height parameters, track recognition, track elements and main track points.

(Abbildung 5.3: Leica Sirail aus Leica Geosystems AG, www.leica-geosystems.com)

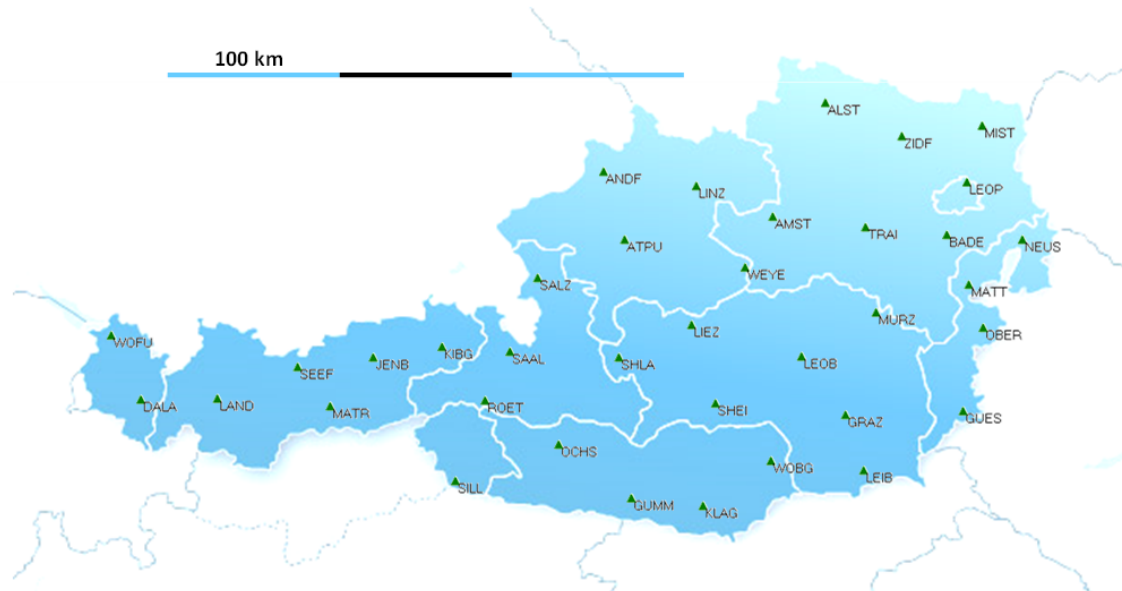
6. GEOREFERENZIERUNG (AP 8)

In allen vorgenannten Technologien besteht die Notwendigkeit der Georeferenzierung der Messgrößen bzw. die optimierte koordinative Einbindung in einen globalen, kontinentalen oder regionalen Koordinatenrahmen. In vielen Anwendungsfällen wird auch mit einer Verebnung der im Prinzip räumlichen Punktkoordinaten das Auslangen gefunden und man versteht in diesem Fall unter Georeferenzierung das Einbringen der Koordinaten in das Gebrauchskoordinatensystem bzw. in einen speziell angepassten Projektkoordinatenrahmen. Generell kann also nicht von einem optimalen Koordinatenrahmen gesprochen werden, sondern nur von einem für die vorliegende Anwendung bzw. die beabsichtigte Datenvorhaltung bzw. für die benötigten Datenabfragen optimalen Koordinatenrahmen. Sehr wohl ist aber zwischen den dem Punktbestimmungsverfahren zuordenbaren Messfehlern bei der Festlegung der Neupunktskoordinaten (z.B. GNSS-RTK +/-1-2cm in der Lage) und den durch Spannungen im Referenzrahmen zuordenbaren Koordinatenabweichungen zu unterscheiden (z.B. Netzspannungen in den Landeskoordinaten bis zu 10 cm). Die digitale Einbringung der von den verschiedenen Sensorsystemen gewonnen Koordinaten in diesen Rahmen verstehen wir unter Datenfusion, die hier näher zu untersuchen ist.

Als globale bzw. kontinentale Koordinatenrahmen stehen der ITRF (International Terrestrial Reference Frame) bzw. der ETRF (European Terrestrial Reference Frame) zur Verfügung. Unter einem Koordinatenrahmen ist (eine möglichst moderne) Realisierung eines definierten Koordinatensystems zu verstehen. Im Fall der GNSS Einzelpunkt-Positionierung beziehen sich die gewonnenen Koordinaten auf den Rahmen der Satellitenbahnen (ITRF) bzw. im Fall der Nutzung von GNSS-Referenznetzen auf den vom Referenznetzanbieter realisierten Referenzrahmen (ITRF oder ETRF).

Das von der ÖBB als Partner betriebene EPOSA-GNSS Referenznetz besteht aus knapp 40 inländischen GPS-GLONASS Referenzstationen und stützt sich zudem auf eine geringe Zahl ausländischer Stationen mit denen ein kostenfreier wechselseitiger Datenaustausch vereinbart wurde. Vorrangiges Ziel von EPOSA ist die Bereitstellung von Korrekturdaten zur Echtzeitpositionierung mittels des RTK-Verfahrens. Dieses Verfahren erlaubt die Positionierung mit 1-2 cm Genauigkeit in der Lage in Bezug auf ein

spannungsfreies Koordinatendatum. Die Lagerung des Referenznetzes bezieht sich derzeit auf den Referenzrahmen ITRF2014 (Epoche 2010.0).



(Abbildung 6.1: Österreichische EPOSA GNSS Referenzstationen)

Der ETRF ist derzeit auf Empfehlung der Europäischen Kommission der Koordinatenrahmen für den Austausch geo-relevanter Datensätze. ETRF-Koordinaten beziehen sich in allen Realisierungen des ETRS89 auf die Epoche 1989.0. In jeder Neurechnung eines ETRF Rahmens werden jedoch die Punktgeschwindigkeiten relativ zur eurasischen Platte neu und besser bestimmt. Damit ergeben sich Koordinatendifferenzen im wenigen mm bis 1 cm Bereich zwischen den verschiedenen ETRF-Rahmen.

Moderne Vermessungssensoren liefern Koordinaten bzw. Koordinatendifferenzen in einem weitgehend als homogen zu betrachtenden Koordinatenrahmen (z.B. ITRF, ETRF). Dies ist für die Mehrzahl der Anwendungen (z.B. Erhaltung der Gleisgeometrie, etc.) von unschätzbarem Vorteil. Umgekehrt müssen diese Koordinaten allerdings auch für spezielle Anwendungen (z.B. Kataster) mit den Landeskoordinaten in Relation gebracht werden.

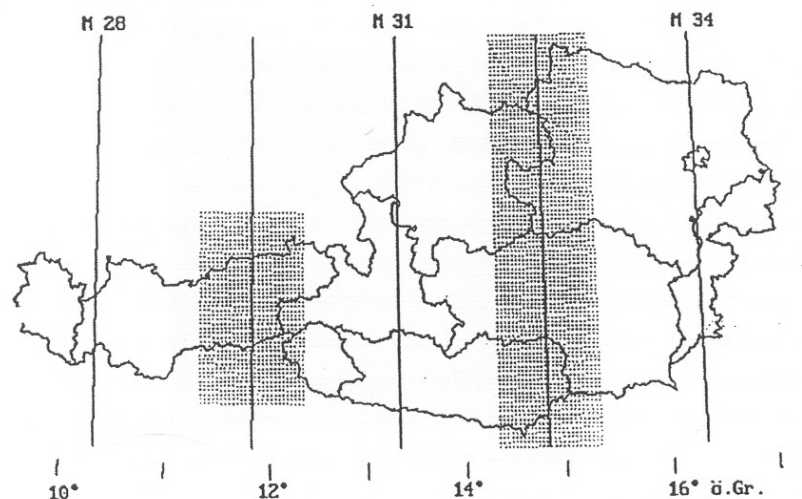
Daneben existieren in den verschiedenen europäischen Ländern individuelle historische Koordinatenrahmen (in Österreich MGI = Militär Geographisches Institut) die über eine

räumliche Ähnlichkeitstransformation (das sogenannte geodätische Datum; 7 Parameter) mit dem ITRF/ETRF in Verbindung gebracht werden können. Diese 7 Parameter sind also essential um GNSS-Koordinaten in das Landesdatum überzuführen.

Die Bestimmung des Ausgangsazimutes für die Festlegung des MGI-Datums hat sich allerdings als nicht völlig fehlerfrei erwiesen, woraus heute Verdrehungen der Achsen des österreichischen Bezugsellipsoides gegenüber dem geozentrisch gelagerten Bezugsellipsoid des ITRS und ETRS im Bereich von einigen Altsekunden resultieren. Zusätzlich zu diesen mit Hilfe der 7-Parameter-Helmerttransformation korrigierbaren langwelligen Inhomogenitäten führte eine blockweise, anstatt einer gesamten Ausgleichung des Festpunktfeldes zu kurzwelligen Spannungen, welche die langwelligen Spannungen überlagern.

Jedem Koordinatensystem wird üblicherweise ein Referenzellipsoid zugeordnet, auf dem mittels geeigneter Projektionsgleichungen ebene Koordinaten abgebildet werden. In Österreich wurde dem geodätischen Datum MGI das Bessel-Ellipsoid zugeordnet, und darauf können mittels der Gauß-Krüger Projektion die verebneten Landeskoordinaten (=Gebrauchskordinaten) gewonnen werden.

Das gesamte Staatsgebiet von Österreich wird von drei Meridianstreifen mit je 3° Längenausdehnung überdeckt, die Ausdehnung westlich und östlich des jeweiligen Mittelmeridians beträgt $1,5^\circ$. Die Mittelmeridiane der Streifen liegen 28° , 31° und 34° östlich von Ferro, die Zugehörigkeit eines Punktes zum jeweiligen Streifen wird durch die Bezeichnung M28, M31 oder M34 angegeben.

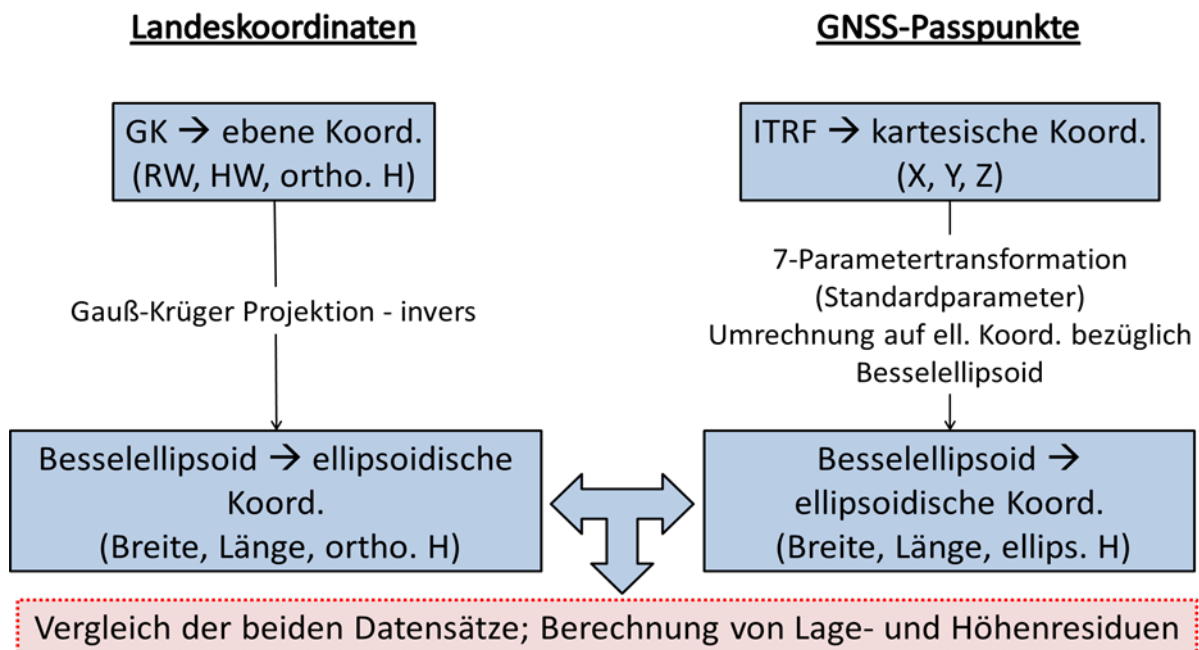


(Abbildung 6.2: Meridianstreifen M28-M31-M34)

Die Koordinaten des amtlichen Festpunktfeldes (Gebrauchskoordinaten) bauen auf der Triangulierung des Militär-Geographischen Institutes (MGI) auf. Repräsentiert wird dieses Koordinatensystem durch das Festpunktfeld 1.-5. Ordnung mit ca. 50000 sogenannten Triangulierungspunkten (TP's) und ca. 250000 nachgeordneten Einschaltpunkten (EP's). Die mittlere relative Punktgenauigkeit liegt für benachbarte Triangulierungspunkte bei 5cm und bei Einschaltpunkten bei 7cm. Die hier genannten Zahlen berücksichtigen noch nicht die Regelungen der neuen Vermessungsverordnung deren Veröffentlichung im Dezember 2016 erfolgte.

Für die Schaffung und Erhaltung der TP's und EP's zeichnet das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) verantwortlich. Seit einigen Jahren werden jedoch verlorene Punkte vom BEV aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr nachgeführt, wodurch die Dichte des Festpunktfeldes mehr und mehr abnimmt.

Um die historisch bedingten Inhomogenitäten der Landeskoordinaten zu berücksichtigen, können sowohl Helmert-Parameter als auch Korrekturrasterinformation ab dem RTCM-Standard 3.1 dem Nutzer parallel zu den GNSS-Referenznetzinformationen übermittelt und vom Roverempfänger berücksichtigt werden. Damit gelingt in Echtzeit eine möglichst enge Anbindung an Landesnetzkoordinaten, welche für diverse Anwendungen (z.B. Grenzfeststellungen, Infrastruktureinmessungen etc.) von Nutzen ist. Die untenstehende Abbildung 6.3 skizziert die Schritte zur Erstellung dieser Raster-Korrekturinformation.



(Abbildung 6.3: Konzept zur Berechnung von Korrekturrasterresiduen)

Der Vorteil der Rasterlösung liegt darin, dass nur noch ein Parametersatz (jener der für die Erzeugung des Rasters verwendet wurde) für ganz Österreich benötigt wird. Dies ist eine Vereinfachung für den Nutzer, da die Unklarheit betreffend des nun im Arbeitsgebiet gültigen lokalen Parametersatzes ausgeschalten werden kann und zudem keine Spannungen an den vormaligen Parametergrenzen mehr auftreten.

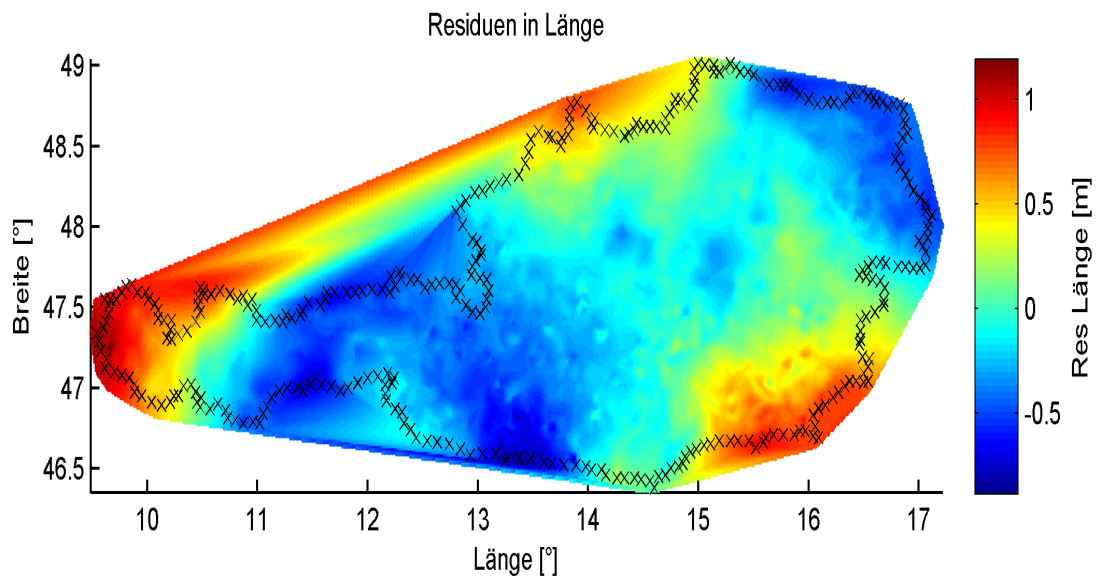
Mit Hilfe der in Abbildung 6.3 erläuterten Algorithmen und bezogen auf den in untenstehender Tabelle dargestellten mittleren Parametersatz konnten in der Folge Residuenraster in Länge, Breite und Höhe erstellt werden. Für die Grenzregionen kommt ein eigens von der TU-Wien (Department f. Geodäsie & Geoinformation) und EPOSA entwickelter Algorithmus zum Einsatz, der es erlaubt, die Raster auch knapp außerhalb der österreichischen Grenzen auszudehnen.

ΔX	-577.326 m
ΔY	-90.129 m
ΔZ	-463.919 m
$\alpha(X)$	5.137"
$\alpha(Y)$	1.474"
$\alpha(Z)$	5.297"

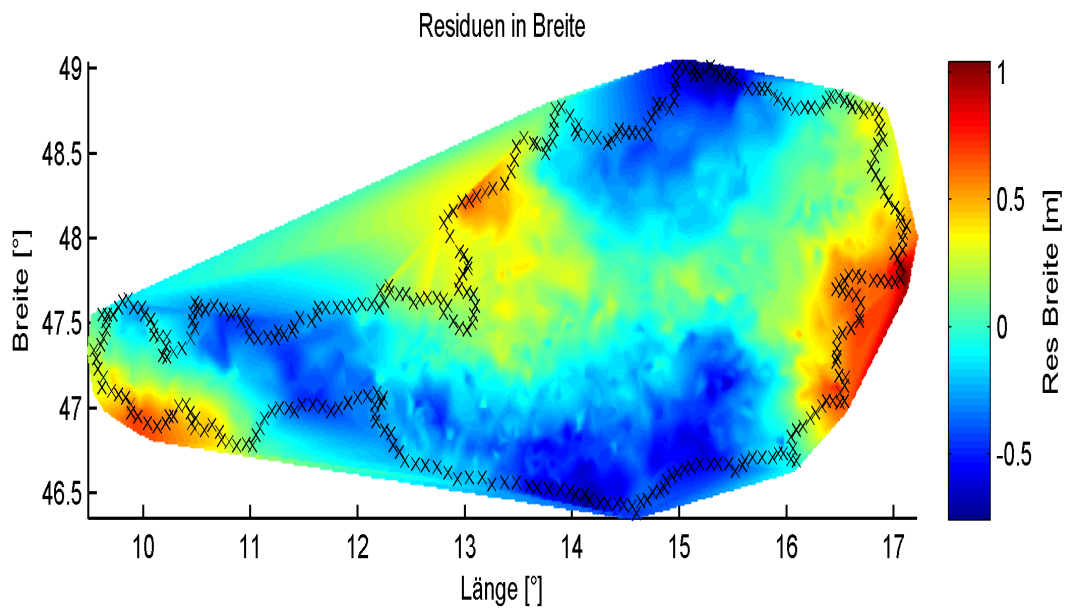
dm	-0.0000024232
----	---------------

(Tabelle 6.1: Koordinaten)

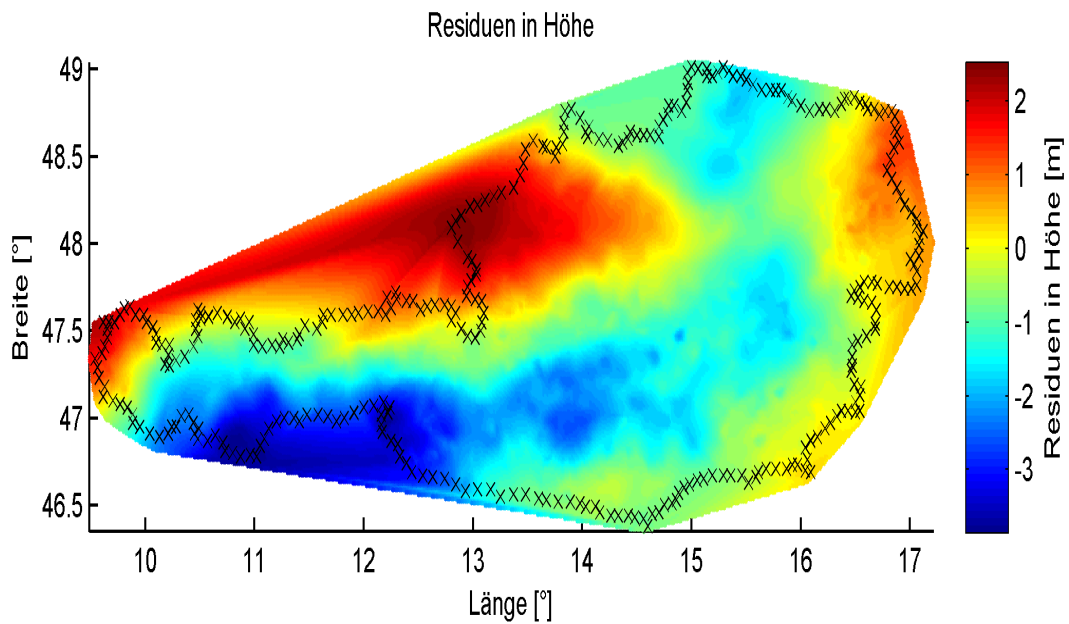
Unter Einbeziehung von Projektpunkten der ÖBB Vermessung wurde unter der Bezeichnung ‚**Neuer InfraGRID**‘ ein die Netzspannungen kompensierender Raster basierend auf mehreren tausend Passpunkten geschaffen, der über die TEPOS-Zentrale an die von ÖBB autorisierten Nutzer abgegeben wird. Die Raster in den Komponenten Länge, Breite und Höhe sind in den Graphiken 6.4 bis 6.6 dargestellt.



(Abbildung 6.4: TEPOS – Residuenraster – Länge)



(Abbildung 6.5: TEPOS – Residuenraster – Breite)



(Abbildung 6.6: TEPOS – Residuenraster – Höhe)

Eine Untersuchung der Qualität dieser Rasterlösung zeigt, dass die Anpassung an die Landeskoordinaten in der Lage mit einer Genauigkeit von ca ± 5 cm im gesamten Bundesgebiet gelingt. Entlang der Bahnstrecken ist diese Anpassung durch die eingebrachten Projektpunkte jedoch deutlich besser und liegt im ± 1.5 cm Bereich. In der Höhenkoordinate ist die Anpassung an die sphäroidischen Landeshöhen im Bereich von ± 9 cm landesweit, entlang der Bahnkorridore jedoch im ± 3 cm Bereich.

Empfehlungen

Generell wird für eine durchgreifende Georeferenzierung empfohlen die technologie-spezifischen Neupunktskoordinaten in einem einheitlichen Koordinatenrahmen digital vorzuhalten (z.B. dem aktuellen ITRF zur Standarddepoche), jedoch alle benötigten Transformationselemente (Helmert-Parameter, Residuenraster, Eigenschaften der ebenen Abbildung, Transformationselemente zwischen Sensorsystem und übergeordneten Systemen) inklusive dem Zeitstempel ihrer Gültigkeit als zugeordnete Metainformation mit zu speichern. Gleichzeitig sind alle benötigten Software-Transformationsroutinen in beiden Transformationsrichtungen (Ausgangssystem \leftrightarrow Zielsystem) zu implementieren. Dies erlaubt, bei Bedarf, Produkte in jedem gewünschten Koordinatenrahmen aus dem Basisdatensatz zu erzeugen. Als Beispiel seien hier

- Abgaben der ITRF-Punktwolken in dem von der INSPIRE Richtlinie geforderten ETRF Koordinatenrahmen
- Transformation der ITRF-Punktwolken in für den Kataster relevante Landeskoordinaten unter Anbringung des aktuellen Residuenrasters
- Einrechnung der ITRF/ETRF Sensortrajektorien in das durch Netzspannungen verzerrte Landessystem

genannt.

7. SYSTEMABGLEICH - ZUSAMMENSTELLUNG (AP 9)

Die Daten wurden anhand des im Rahmen von AP03 erstellten Rasters gesammelt. Jedes Projekt wurde in einem Blatt dokumentiert. Im Feld „Preis des AN“ für die Vermessung der Strecke“, Pauschale für Vermessung wird der Bruttowert der Vergabe hinterlegt. Die Maske ermöglicht die Dokumentation der „internen Kosten ÖBB-INFRA durch entweder eine Pauschalsumme oder durch die Hinterlegung der Aufwände in mehreren Qualifikationen. In den meisten Fällen waren die ÖBB-INFRA-seitigen Eigenkosten als Pauschale verfügbar. Quelle der zugerechneten Kosten sind die internen ERP-Systeme der ÖBB INFRA.

Die Summe aus Kosten für die Subunternehmerleistung und Eigenkosten sind die Gesamtkosten.

Um diese zu normieren werden sie – soweit verfügbar - ins Verhältnis zu 3 Messgrößen gesetzt:

- 1.) Vermessene Streckenlänge (m)
- 2.) Vermessene Fläche (m²)
- 3.) Datenpunkte, geclustert nach Genauigkeitsstufen.

Der Bezug zur Streckenlänge ist insbesondere bei Freistreckenvermessungen mit wenigen Gleiswechseln relevant.

Der Bezug zur Fläche ist für Aufnahmen von Bahnhöfen und Weichenstraßen relevant.

Beschreibung der einzelnen Projekte

A1-1: Das Vermessungsprojekt Stadlau - Flugfeld Aspern wurde im Frühjahr 2015 durchgeführt. Es wurde die Strecke Stadlau - Marchegg vermessen. Das Ziel dieses Vermessungsprojektes war es eine Grundlage zu schaffen auf Grund der ein zweigleisiger Ausbau im Wiener Bereich geplant werden kann. Das Terrain in diesem Gebiet ist sehr flach und nur von spärlicher Vegetation umgeben. Im Zuge der Vermessung musste Rücksicht auf parallel laufende Projekte der U-Bahn genommen werden. Die Strecke wurde überwiegend von Schnellbahnen befahren. Die Strecke wurde

schon einmal vermessen und die Vermessung im Frühjahr 2015 diente als Überarbeitung der alten Aufnahme, es war also keine Neuaufnahme. Ein besonderer Fokus wurde bei diesem Projekt auf die Einbautenerhebung gelegt.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		A1	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	01.03.15
		Ort der Datenaufnahme	Stadlau - Flugfeld Aspern
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	17 Stadlau - Märschegg
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	-
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	-
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	€ -
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	€ -
	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	50
		Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	1
		Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5-10 Min.
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 1
		Genauigkeit, Maßstab	5-10 mm / 1:500
		Gleislänge [m]	4.530
		Fläche [m ²]	284.000
		Topographie, Gelände	lb
		Zugdichte / Stunde	3-4
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	524
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	2908
		Summe Genauigkeit >10cm	12977
	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 74.902,03
Pauschale für Datenaufbereitung		€ -	
sich daraus errechnender Preis / m		€ 16,53	
sich daraus errechnender Preis / m ²		€ 0,26	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft (55,-/h)	
		Techniker (75,-/h)	
	Stillegen der Fahrleitung		
	Erdung		
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
	Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson	1 (10 Tage)
Hilfskraft		3 (10 Tage)	
	Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,0044	
	Interne Kosten ÖBB INFRA	€ 13.000,00	

(Tabelle 7.1: A1-1)

A1 - 2: Das Vermessungsprojekt Bahnhof Zirl Innsbruck im Sommer 2013 hatte eine Bestandsvermessung zum Ziel auf Grund der der Bahnhof umgeplant werden konnte. Das Terrain um den Bahnhof Zirl ist recht eben. Das Projekt wurde als Erhaltungsprojekt geführt.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		A1	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	01.05.13
		Ort der Datenaufnahme	Bf Zirl
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	4 Innsbruck - Bludenz
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	-
Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)		-	
Maschinenstunden Messgerät (€/h)		€	-
Maschinenstundensätze Plattform (€/h)		€	-
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	50	
	Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	1	
	Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5-10 Min.	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 2
		Genauigkeit, Maßstab	5-10 mm / 1:500
		Gleislänge [m]	2.650
		Fläche [m²]	77.000
		Topographie, Gelände	lb
		Zugdichte / Stunde	6-7
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	766
Summe Genauigkeit 10mm-10cm		458	
Summe Genauigkeit >10cm		3415	
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€	31.478,00
	Pauschale für Datenaufbereitung	€	-
	sich daraus errechnender Preis / m	€	11,88
	sich daraus errechnender Preis / m²	€	0,41
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
	ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft (55,-/h)
Techniker (75,-/h)			
Stillegen der Fahrleitung Erdung			
Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)		Hilfskraft	
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson	1 (5 Tage)	
	Hilfskraft	3 (5 Tage)	
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,0013		
Interne Kosten ÖBB INFRA	€ 6.500,00		

(Tabelle 7.2: A1-2)

A1 - 3: Das Vermessungsprojekt Tauplitz - Heilbrunn wurde im Sommer 2015 vermessen. Die vermessene Strecke ist das knapp 4 Kilometer lange Gleis zwischen Stainach und Schärding. Die Strecke ist eingleisig und in dem Bereich recht flach. Es handelte sich bei dem Projekt um ein Erhaltungsprojekt. Die Bestandsvermessung sollte als Grundlage für eine Gleisneulegung dienen.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		A1	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	12.08.15
		Ort der Datenaufnahme	Tauplitz-Heilbrunn
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	31 Stainach-Schärding
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	-
Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)		-	
Maschinenstunden Messgerät (€/h)		€ -	
Maschinenstundensätze Plattform (€/h)		€ -	
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	50	
	Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	1	
	Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5-10 Min.	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 3
		Genauigkeit, Maßstab	5-10 mm / 1:500
		Gleislänge [m]	3.750
		Fläche [m²]	100.000
		Topographie, Gelände	lb/lhb
		Zugdichte / Stunde	0-1
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	2825
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	3788
		Summe Genauigkeit >10cm	6163
	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 24.810,00
Pauschale für Datenaufbereitung		€ -	
sich daraus errechnender Preis / m		€ 6,62	
sich daraus errechnender Preis / m²		€ 0,25	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft (55,-/h)	
		Techniker (75,-/h)	
	Stillegen der Fahrleitung		
	Erdung		
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson	1 (6 Tage)	
	Hilfskraft	3 (6 Tage)	
	Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,0010	
	Interne Kosten ÖBB INFRA	€ 7.800,00	

(Tabelle 7.3: A1-3)

A1 - 4: Das Vermessungsprojekt Retz Nordwestbahn wurde im Herbst 2015 als reine Gleisaufnahme durchgeführt. Die Vermessungen im Bahnhofsbereich sollten als Grundlage für die Verlegung der Weichen im Bereich Bahnhof Retz dienen.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		A1	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	24.11.15
		Ort der Datenaufnahme	Retz
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	112.01 Nordwestbahn
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	Leica TS 12, Leica GS 14
Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)		-	
Maschinenstunden Messgerät (€/h)		€ -	
Maschinenstundensätze Plattform (€/h)		€ -	
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	50	
	Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	1	
	Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5-10 Min.	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 4
		Genauigkeit, Maßstab	5-10 mm / 1:500
		Gleislänge [m]	1.400
		Fläche [m ²]	160.000
		Topographie, Gelände	lb
		Zugdichte / Stunde	1-2
Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	1898	
	Summe Genauigkeit 10mm-10cm	2022	
	Summe Genauigkeit >10cm	1127	
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 19.988,00	
	Pauschale für Datenaufbereitung	€ -	
	sich daraus errechnender Preis / m	€ 14,28	
	sich daraus errechnender Preis / m ²	€ 0,12	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft (55,-/h)	
		Techniker (75,-/h)	
	Stillegen der Fahrleitung Erdung		
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
	Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson	1 (6 Tage)
Hilfskraft		3 (6 Tage)	
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)		0,0035	
Interne Kosten ÖBB INFRA		€ 7.800,00	

(Tabelle 7.4: A1-4)

A1 - 5: Das Vermessungsprojekt Absdorf - Königsbrunn wurde im Sommer 2015 durchgeführt. Das Projekt diente als Bestandsaufnahme und Planungsgrundlage für eine Gleisneulegung im Abschnitt Absdorf Königsbrunn. Das Terrain ist in dem Umfeld flach. Der Fokus bei diesem Projekt wurde auf die Lage und Höhenaufnahme des Gleises gelegt.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		A1	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	01.09.15
		Ort der Datenaufnahme	Absdorf - Königsbrunn
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	11 Absdorf-Krems
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	-
Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)		-	
Maschinenstunden Messgerät (€/h)		-	
Maschinenstundensätze Plattform (€/h)		-	
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	50	
	Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	1	
	Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5-10 Min.	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 5
		Genauigkeit, Maßstab	5-10 mm / 1:500
		Gleislänge [m]	1.200
		Fläche [m ²]	80.500
		Topographie, Gelände	lb
		Zugdichte / Stunde	2-3
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	247
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	592
		Summe Genauigkeit >10cm	844
	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 12.293,89
Pauschale für Datenaufbereitung		-	
sich daraus errechnender Preis / m		€ 10,24	
sich daraus errechnender Preis / m ²		€ 0,15	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft (55,-/h)	
		Techniker (75,-/h)	
	Stillegen der Fahrleitung Erdung		
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
	Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson	1
Hilfskraft		3	
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,0018		
Interne Kosten ÖBB INFRA	€ 3.900,00		

(Tabelle 7.5: A1-5)

A1 - 6: Das Projekt diene als Bestandsaufnahme und Planungsgrundlage für eine Gleisneulegung.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		A1	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	05.07.16
		Ort der Datenaufnahme	Drösing
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	114.01 Nordbahn
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	Leica TS 12, Leica GS 14
Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)		-	
Maschinenstunden Messgerät (€/h)		-	
Maschinenstundensätze Plattform (€/h)		-	
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	50	
	Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	1	
	Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5-10 Min.	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 6
		Genauigkeit, Maßstab	5-10 mm / 1:500
		Gleislänge [m]	4.000
		Fläche [m²]	120.000
		Topographie, Gelände	lb
		Zugdichte / Stunde	4
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	1150
Summe Genauigkeit 10mm-10cm		1371	
Summe Genauigkeit >10cm		1098	
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 20.087,00	
	Pauschale für Datenaufbereitung	€ -	
	sich daraus errechnender Preis / m	€ 5,02	
	sich daraus errechnender Preis / m²	€ 0,17	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft (55,-/h)	
		Techniker (75,-/h)	
	Stillegen der Fahrleitung Erdung		
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson	1 (8 Tage)	
	Hilfskraft	3 (8 Tage)	
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)			
Interne Kosten ÖBB INFRA		€ 10.400,00	

(Tabelle 7.6: A1-6)

A1 - 7: Das Vermessungsprojekt Marchegg war eine Bestandsaufnahme nach dem Umbau des dortigen Bahnhofs.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		A1		
		Bestandsaufnahme nach Umbau des Bahnhofes Marchegg		
	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	01.03.16	
		Ort der Datenaufnahme	Marchegg	
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	17 Stadlau - Marchegg	
Allgemeine Parameter	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)		
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)		
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	-	
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	-	
Leistungparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller		Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	50	
		Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	1	
		Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5-10 Min	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 7	
		Genauigkeit, Maßstab	5-10mm / 1:500	
		Gleislänge [m]	1.000	
		Fläche [m ²]	186.000	
		Topographie, Gelände	lb	
		Zugdichte / Stunde	3-4	
Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte		Summe Genauigkeit <10mm	318	
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	1608	
		Summe Genauigkeit >10cm	2758	
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)		Pauschale für Vermessung	€ 21.415,00	
		Pauschale für Datenaufbereitung	-	
		sich daraus errechnender Preis / m	€ 21,42	
		sich daraus errechnender Preis / m ²	€ 0,12	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -	
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft (55,-/h)		
		Techniker (75,-/h)		
	Stillegen der Fahrleitung	Erdung		
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Aufsichtsperson	1 / 6 Tage	
		Hilfskraft	1 / 6 Tage	
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt (Stunden)				
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)		0,0250		
Interne Kosten ÖBB INFRA		€ 7.800,00		

(Tabelle 7.7: A1-7)

A1(8): Der Bahnhof Unterpurkersdorf wurde als Basis für eine komplette Umplanung der Gleisanlagen inklusive Einbautenerhebung und Erstellung von Querprofilen im Februar 2016 neu aufgenommen.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		A1	
		Komplette Neuaufnahme des Bahnhofes Unterpurkersdorf als Basis für eine komplette Umplanung der Gleisanlagen inklusive Einbautenerhebung und Erstellung von Querprofilen	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	15.02.16
		Ort der Datenaufnahme	Unterpurkersdorf
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	1 Wien West - Salzburg
Allgemeine Parameter	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	-
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	-
Allgemeine Parameter	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	
		Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	1
		Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5-10 min
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 8
		Genauigkeit, Maßstab	5-10mm / 1:500
		Gleislänge [m]	2.000
		Fläche [m²]	220.700
		Topographie, Gelände	1b
		Zugdichte / Stunde	8-9
Vermessungsdienstleister	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	832
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	3892
		Summe Genauigkeit >10cm	4998
Vermessungsdienstleister	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 41.633,00
		Pauschale für Datenaufbereitung	€ -
		sich daraus errechnender Preis / m	€ 20,82
		sich daraus errechnender Preis / m²	€ 0,19
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft (55,-/h)	
		Techniker (75,-/h)	
	Stillegen der Fahrleitung	Erdung	
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Aufsichtsperson	1 / 10 Tage
		Hilfskraft	1 / 10 Tage
ÖBB INFRA	Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt (Stunden)		
	Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,0025	
ÖBB INFRA	Interne Kosten ÖBB INFRA	€ 13.000,00	

(Tabelle 7.8: A1-8)

A1(9): Im Zuge von Erhaltungsarbeiten wurden der Oberbau und die Gleislage erneuert. Daher erfolgte im Februar 2015 die Vermessung

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		A1	
		Vermessung Laa-Wulzeshofen für Erneuerung des Oberbaus bzw. Gleisneulage (Erhaltungsarbeiten)	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	01.02.15
		Ort der Datenaufnahme	Laa-Wulzeshofen
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	84 Laa - Zellerndorf
Allgemeine Parameter	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	€ -
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	€ -
Allgemeine Parameter	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	70
		Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	1
		Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5-10 min
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 9
		Genauigkeit, Maßstab	5-10mm / 1:500
		Gleislänge [m]	6.100
		Fläche [m²]	152.500
		Topographie, Gelände	lb
		Zugdichte / Stunde	0-1
Vermessungsdienstleister	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	568
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	182
		Summe Genauigkeit >10cm	1942
Vermessungsdienstleister	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 53.200,00
		Pauschale für Datenaufbereitung	€ -
		sich daraus errechnender Preis / m	€ 8,72
		sich daraus errechnender Preis / m²	€ 0,35
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft (55,-/h)	
		Techniker (75,-/h)	
	Stillegen der Fahrleitung Erdung		
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Aufsichtsperson	1 / 10 Tage
		Hilfskraft	1 / 10 Tage
ÖBB INFRA	Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt (Stunden)		
	Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,0044	
ÖBB INFRA	Interne Kosten ÖBB INFRA	€ 9.750,00	

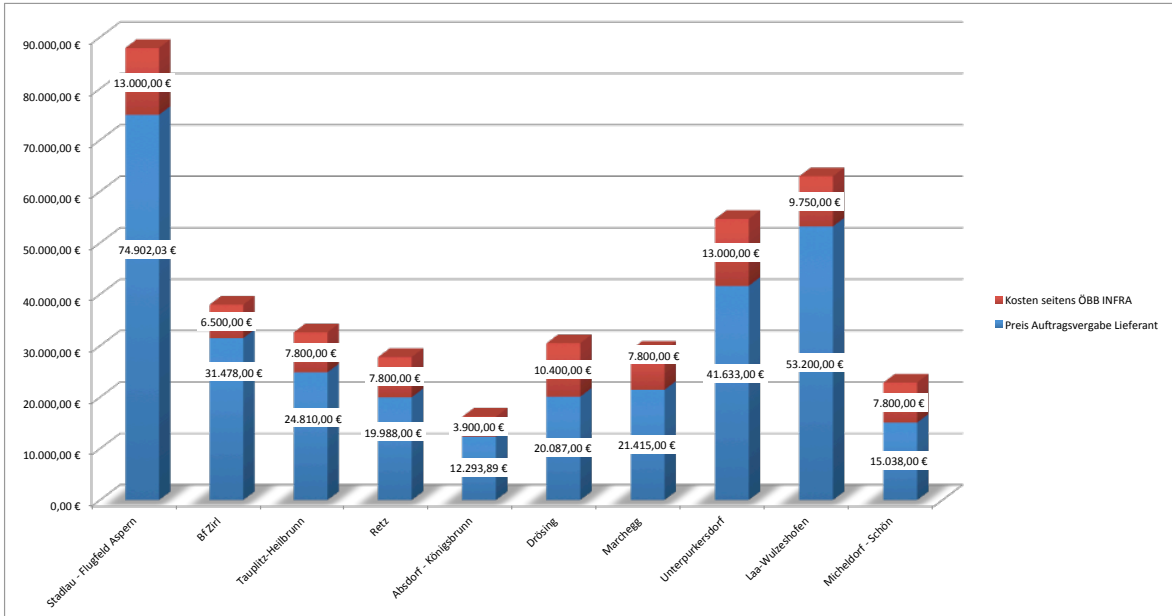
(Tabelle 7.9: A1-9)

A1(10): Als Basis für eine Gleisneulage wurde der Abschnitt Micheldorf-Schön auf der Pysrnbahn im Oktober 2014 vermessen.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		A1	
Vermessung auf der Pysrnbahn als Basis für eine Gleisneulage			
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	01.10.14
		Ort der Datenaufnahme	Micheldorf - Schön
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	24 Linz - Selzthal (Pysrnbahn)
Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)		
	Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)		
	Maschinenstunden Messgerät (€/h)	-	
	Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	-	
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	50	
	Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	1	
	Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5-10 min	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 10
		Genauigkeit, Maßstab	5-10mm / 1:500
		Gleislänge [m]	1.200
		Fläche [m²]	36.000
		Topographie, Gelände	lb
		Zugdichte / Stunde	3-4
Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	435	
	Summe Genauigkeit 10mm-10cm	616	
	Summe Genauigkeit >10cm	1703	
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 15.038,00	
	Pauschale für Datenaufbereitung	€ -	
	sich daraus errechnender Preis / m	€ 12,53	
	sich daraus errechnender Preis / m²	€ 0,42	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft (55,-/h)	
		Techniker (75,-/h)	
	Stillegen der Fahrleitung		
	Erdung		
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Aufsichtsperson	1 / 6 Tage
		Hilfskraft	3 / 6 Tage
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt (Stunden)			
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)		0,0150	
Interne Kosten ÖBB INFRA		€ 7.800,00	

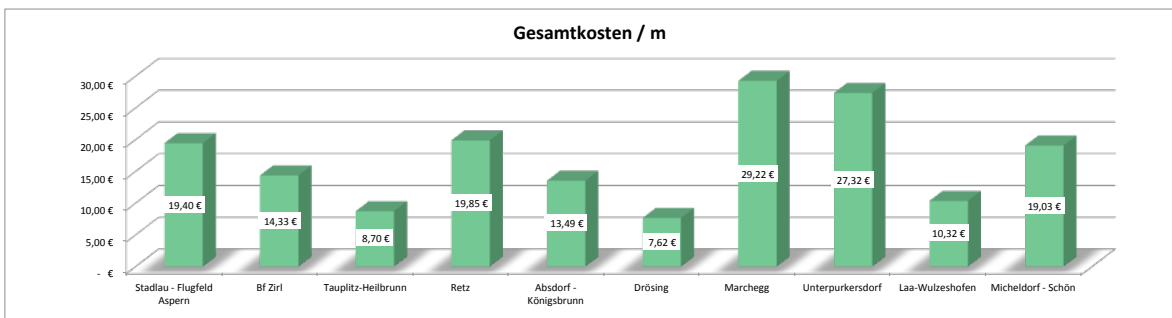
(Tabelle 7.10: A1-10)

Die folgende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Projektgrößen. Blau: Kosten durch die Vergabe an den Lieferanten, Rot: die internen Kosten der ÖBB INFRA



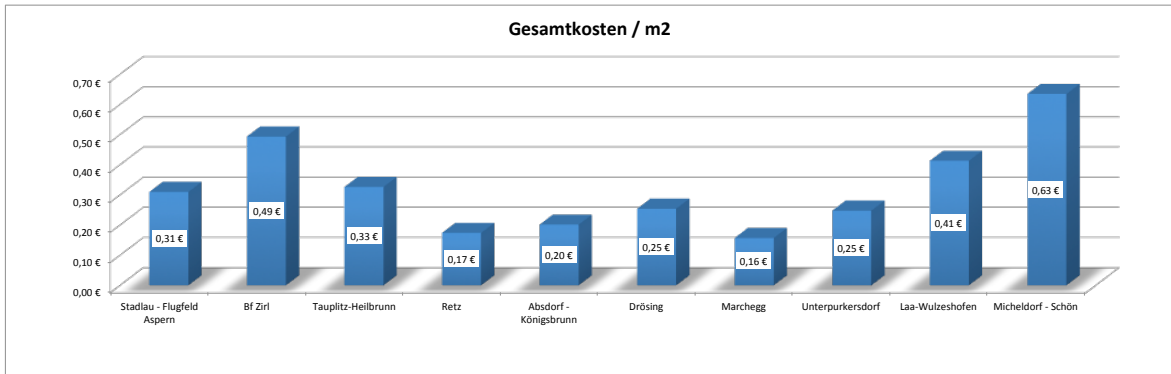
(Abbildung 7.1: Gesamtkosten der Vermessung bei Technologie A1 als Summe von Lieferantenkosten und internen Kosten bei ÖBB INFRA)

Setzt man die Gesamtkosten mit der vermessenen Länge ins Verhältnis, entsteht folgende Auswertung:



(Abbildung 7.2: Gesamtkosten / gemessenen Meter Strecke)

Setzt man die Gesamtkosten ins Verhältnis zu den gemessenen Flächen, entsteht folgende Auswertung:



(Abbildung 7.3: Gesamtkosten / gemessener Fläche in m²)

In der Kategorie B werden Projekte analysiert, die mittels mobiler Messsysteme (Gleismesswagen, EM-SAT 1) bearbeitet wurden.

B1(1) Das Projekt diente als Bestandsaufnahme und Planungsgrundlage für eine Gleisneulegung.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		B1							
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme Ort der Datenaufnahme Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	06.12. und 07.12.2010 (Nachtarbeit) Weitendorf - Wettmannstätten Koralmbahn Graz-Klagenfurt						
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	Leica TCRP1201 (Totalstation)						
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	Amberg GRP 3000						
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	€ 100,00						
Maschinenstundensätze Plattform (€/h)		€ 20,00							
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	ca. 1500							
	Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	2mm							
	Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5min							
Vermessungsparameter	Dienstleister Name	Lieferant 11							
	Genauigkeit, Maßstab	Lage 3mm, Höhe 2mm							
	Gleislänge [m]	16000							
	Fläche [m²]	nicht relevant							
Topographie, Gelände	eben mit Tunnelstrecke, durchgäng Begleitweg vorhanden								
Zugdichte / Stunde	(Gleissperre, weil Nachteinsatz)								
Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	3200							
	Summe Genauigkeit 10mm-10cm	0							
	Summe Genauigkeit >10cm	0							
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 21.600,00							
	Pauschale für Datenaufbereitung	€ -							
	sich daraus errechnender Preis / m	€ 1,35							
	sich daraus errechnender Preis / m²	€ -							
Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -							
	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	<table border="1"> <tr><td>Hilfskraft</td><td></td></tr> <tr><td>Ingenieur</td><td></td></tr> <tr><td>Lokführer</td><td></td></tr> <tr><td>Akademiker</td><td></td></tr> </table>	Hilfskraft		Ingenieur		Lokführer		Akademiker
Hilfskraft									
Ingenieur									
Lokführer									
Akademiker									
ÖBB INFRA	Stillegen der Fahrleitung Erdung								
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft							
	Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson Hilfskraft							
	Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)								
Interne Kosten ÖBB INFRA	€ -								

(Tabelle 7.11: B1-1)

B1(2) : Das Projekt diene als Bestandsaufnahme und Planungsgrundlage für eine Gleisneulegung.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		B1	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme Ort der Datenaufnahme Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	November 2013 Deutschfeistritz Peggau - Ubelbach
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller) Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller) Maschinenstunden Messgerät (€/h) Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	Leica TCRP1201 (Totalstation) Amberg GRP 3000 € 120,00 € 20,00
	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std) Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm) Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	ca. 1500 2mm 5min
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name Genauigkeit, Maßstab Gleislänge [m] Fläche [m²] Topographie, Gelände Zugdichte / Stunde	Lieferant 12 Lage 3mm, Höhe 2mm 10500 nicht relevant eben aber teilweise ohne Begleitweg (Gleissperre, weil Nachteinsatz)
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm Summe Genauigkeit 10mm-10cm Summe Genauigkeit >10cm	2100 0 0
	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung Pauschale für Datenaufbereitung sich daraus errechnender Preis / m sich daraus errechnender Preis / m²	€ 23.430,00 - € 2,23
Austro C	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft Ingenieur Lokführer Akademiker	
	Stilllegen der Fahrleitung Erdung		
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
	Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson Hilfskraft	
	Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)		
	Interne Kosten ÖBB INFRA	€ -	

(Tabelle 7.12: B1-2)

B1(3): Das Projekt diente als Bestandsaufnahme und Planungsgrundlage für eine Gleisneulegung.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		B1	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	August 2013
		Ort der Datenaufnahme	Bf. Leibnitz
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	Südbahn Graz - Spielfeld
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	Leica TCRP1201 (Totalstation)
Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)		Amberg GRP 3000	
Maschinenstunden Messgerät (€/h)		€	110,00
Maschinenstundensätze Plattform (€/h)		€	20,00
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	ca. 1500	
	Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	2mm	
	Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5min	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 13
		Genauigkeit, Maßstab	Lage 3mm, Höhe 2mm
		Gleislänge [m]	9600
		Fläche [m²]	167000
		Topographie, Gelände	städtisch verbaut, Bahnhofsgelände
		Zugdichte / Stunde	(Gleissperre, weil Nachteinsatz)
Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	2570	
	Summe Genauigkeit 10mm-10cm	0	
	Summe Genauigkeit >10cm	0	
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€	50.800,00
	Pauschale für Datenaufbereitung	€	-
	sich daraus errechnender Preis / m	€	5,29
	sich daraus errechnender Preis / m²	€	0,30
Austro C	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€
			-
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
		Ingenieur	
		Lokführer	
	Stillegen der Fahrleitung		
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson		
	Hilfskraft		
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)			
Interne Kosten ÖBB INFRA	€	-	

(Tabelle 7.13: B1-3)

B1(4): Das Projekt diene als Bestandsaufnahme und Planungsgrundlage für eine Gleisneulegung.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		B1		
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	September-Oktober 2012	
		Ort der Datenaufnahme	Tabanovce - Karpos	
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	EU-Korridor X, Mazedonien	
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	Leica TCRP1201 (Totalstation)	
Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)		Amberg GRP 3000		
Maschinenstunden Messgerät (€/h)		€	120,00	
Maschinenstundensätze Plattform (€/h)		€	20,00	
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	ca. 1500		
	Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	2mm		
	Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5min		
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 14	
		Genauigkeit, Maßstab	Lage 3mm, Höhe 2mm	
		Gleislänge [m]	24100	
		Fläche [m²]	nicht relevant	
		Topographie, Gelände	schwierig, sehr schlechte Infrastruktur, kaum Begleitwege (Gleissperre, weil Nachteinsatz)	
		Zugdichte / Stunde		
Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	2700		
	Summe Genauigkeit 10mm-10cm	0		
	Summe Genauigkeit >10cm	0		
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€	29.400,00	
	Pauschale für Datenaufbereitung	€	-	
	sich daraus errechnender Preis / m sich daraus errechnender Preis / m²	€	1,22	
Austro (Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€	
			-	
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft		
		Ingenieur		
		Lokführer		
	Stilllegen der Fahrleitung Erdung	Akademiker		
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft		
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson			
	Hilfskraft			
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)				
Interne Kosten ÖBB INFRA	€	-		

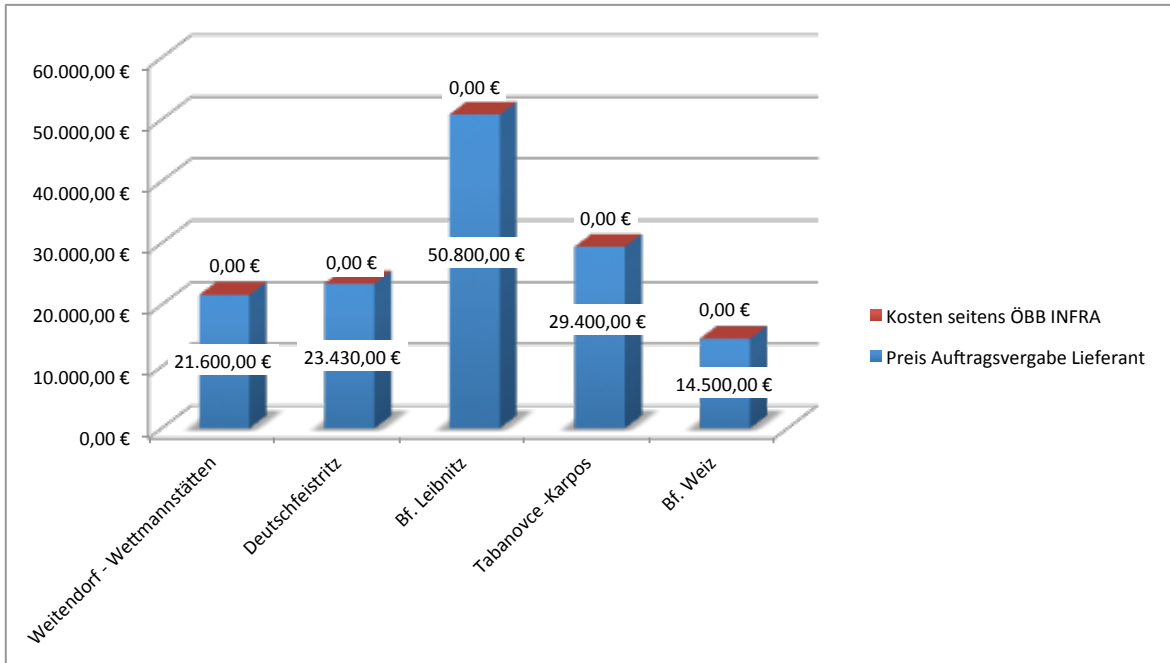
(Tabelle 7.14: B1-4)

B1(5) : Das Projekt diene als Bestandsaufnahme und Planungsgrundlage für eine Gleisneulegung.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		B1	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	August 2016
		Ort der Datenaufnahme	Bf. Weiz
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	Weiz- Gleisdorf
Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	Leica TCRP1201 (Totalstation)	
	Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	Amberg GRP 3000	
	Maschinenstunden Messgerät (€/h)	€	110,00
	Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	€	20,00
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	ca. 1500	
	Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	2mm	
	Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	5min	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 15
		Genauigkeit, Maßstab	Lage 3mm, Höhe 2mm
		Gleislänge [m]	1800
		Fläche [m²]	nicht relevant
		Topographie, Gelände	städtisch verbaut, Bahnhofsgelände
		Zugdichte / Stunde	(Gleissperre, weil Nachteinsatz)
Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	2000	
	Summe Genauigkeit 10mm-10cm	0	
	Summe Genauigkeit >10cm	0	
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€	14.500,00
	Pauschale für Datenaufbereitung	€	-
	sich daraus errechnender Preis / m	€	8,06
	sich daraus errechnender Preis / m²	-	-
AUSTRO (Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€
			-
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
		Ingenieur	
	Stillegen der Fahrleitung Erdung	Lokführer	
		Akademiker	
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson		
	Hilfskraft		
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)			
Interne Kosten ÖBB INFRA		€	-

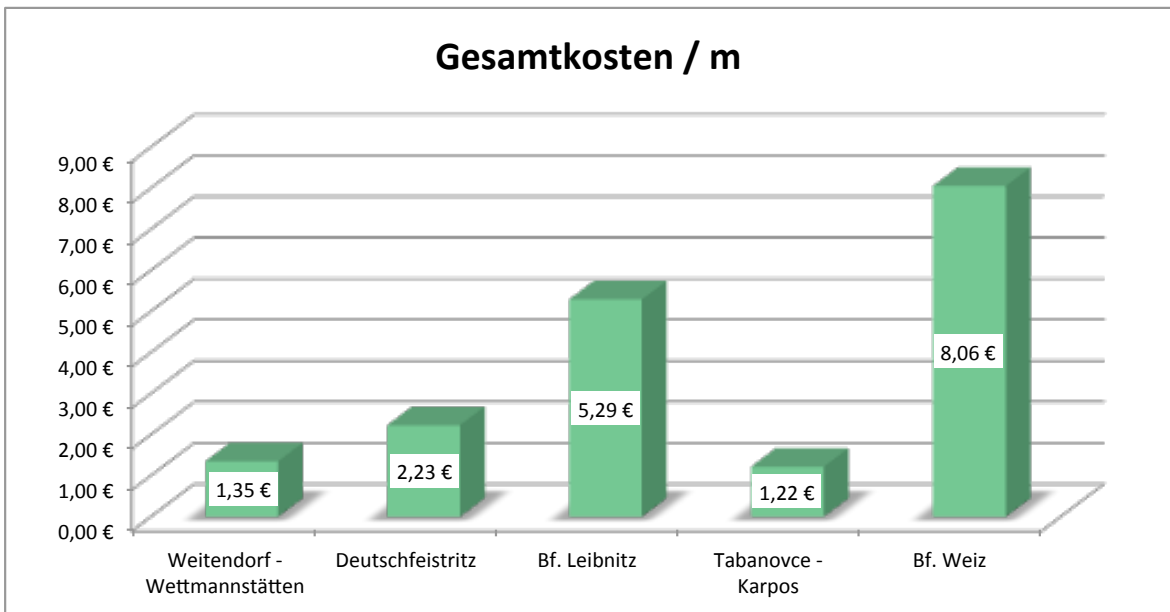
(Tabelle 7.15: B1-5)

Die folgende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Projektgrößen. Blau: Kosten durch die Vergabe an den Lieferanten, Rot: die internen Kosten der ÖBB INFRA



(Abbildung 7.4: Gesamtkosten der Vermessung bei Technologie B1 als Summe von Lieferantenkosten und internen Kosten bei ÖBB INFRA)

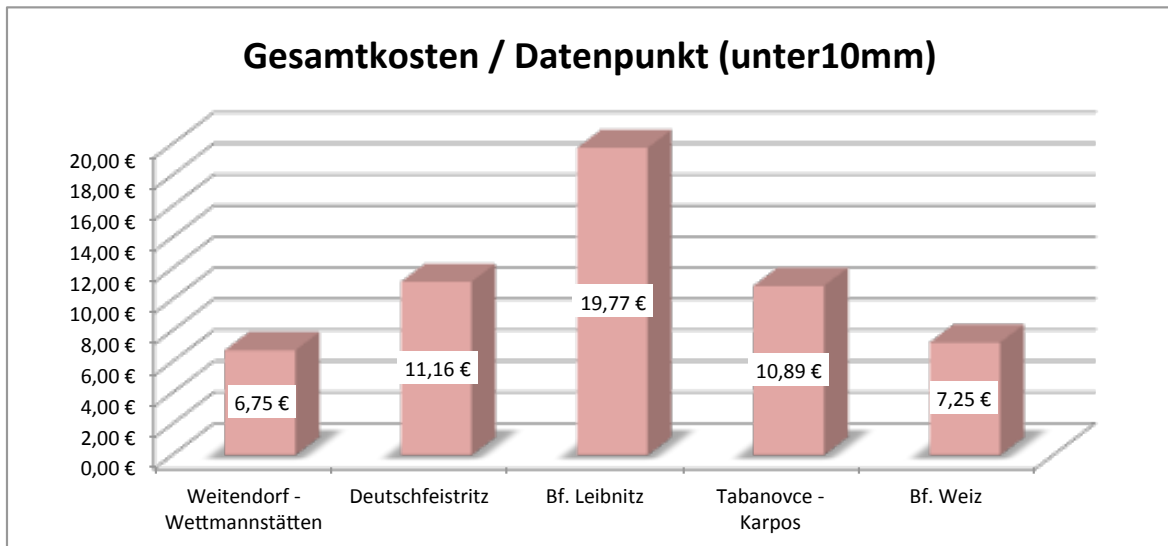
Setzt man die Gesamtkosten mit der Länge der vermessenen Strecke ins Verhältnis, ergibt sich folgende Kostenaufstellung:



(Abbildung 7.5: Gesamtkosten / m B1)

Im Projekt B1 ist ein Bezug zur vermessenen Fläche nicht sinnvoll, dafür aber ist der Bezug auf Datenpunkte relevant.

Der Bezug auf die Anzahl der Datenpunkte macht die Auswertung mit anderen Vermessungsaufgaben vergleichbar.

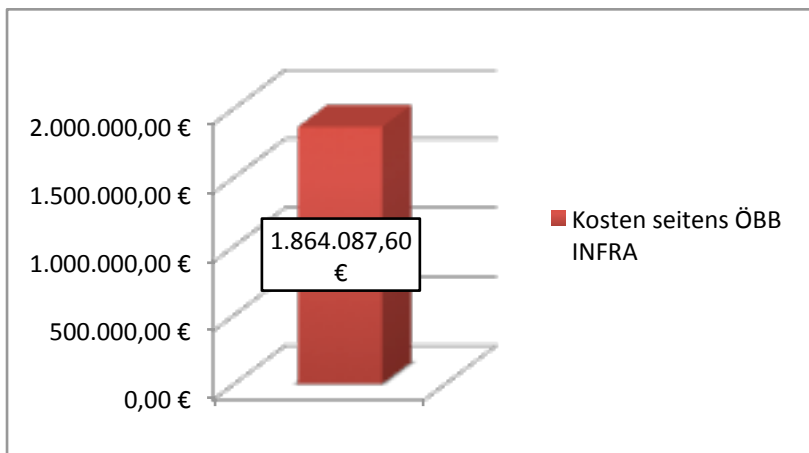


(Abbildung 7.6: Gesamtkosten / Datenpunkt B1)

Die Projekte B2 enthalten die Vermessung von Streckenabschnitten durch das ÖBB-eigene Vermessungsfahrzeug EM-SAT 1.0. Hier wird ÖBB-intern gearbeitet. Daher wurden für die Analyse die Jahreskosten erhoben. ÖBB verwendet 3 EM-SAT-Züge Zu Analyse Zwecken wurden die Jahresleistungsdaten und deren Kosten zusammengestellt und ausgewertet:

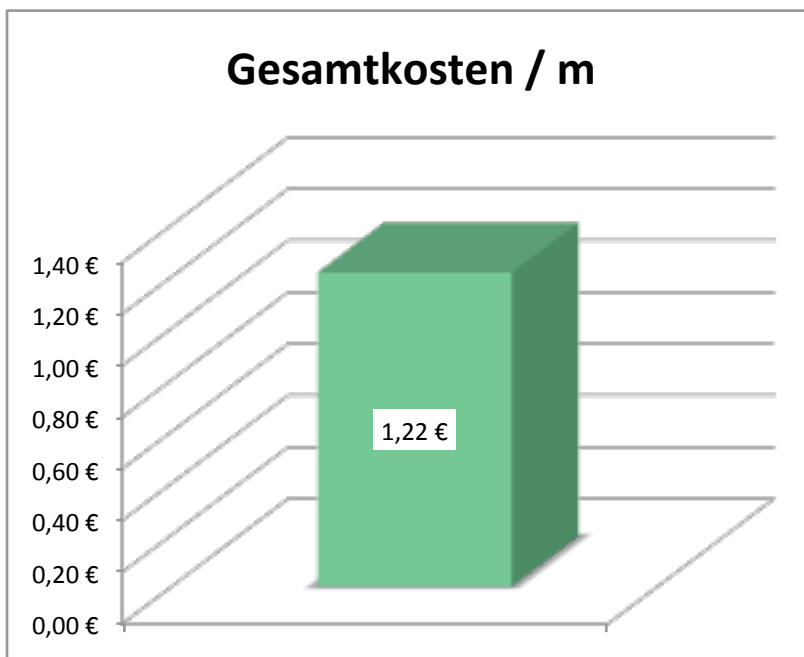
Bezeichnung der Vermessungstechnologie		B2 EMSAT 1.0		
		Seitens EMSAT 1.0 wurden Gesamtjahreswerte des Betriebs erhoben.		
Allgemeine Parameter	Systemkomponenten	Anzahl Fahrzeuge im Stand der ÖBB	3	
		Leistung / Schicht (km/Schicht)	4	
		Leistung (Schichten / Woche)	5,5	
		Jahresleistung Erhaltung + Baustellen (m/Jahr)	1.534.000,00	
		Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	EM SAT 1.0	
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	ÖBB INFRA	
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)		
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	411,40 €	
	Personalkosten 3 EMSAT-Fahrzeuge p.a.	Es werden derzeit von 3 EMSAT-Fahrzeugen 150 Schichten in der Erhaltung und 124 Schichten bei Baustellen gefahren. Mit der Annahme einer Schicht a 8 Std. und einer EMSAT-Besatzung von 1 Lokführer und einem Techniker und der Nutzung eines Disponenten zu 50% ergibt sich für die Personalkosten der 3 EMSAT Fahrzeuge folgende Näherungsrechnung: Jahreskosten aller EMSAT = (150+124)*8*3*2*75+1,5*75)		1.233.000,00 €
	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	1.000	
Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)		+/- 10 mm		
Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)		Befahrung mit 7 km/h		
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	ÖBB INFRA	
		Genauigkeit, Maßstab		
		Gleislänge [m]	siehe Jahresleistung	
		Fläche [m²]		
		Topographie, Gelände		
Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm			
	Summe Genauigkeit 10mm-10cm: Alle 5 m wird ein Messpunkt mit +/- 10mm gemessen	306.800		
	Summe Genauigkeit >10cm			
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€	-	
	Pauschale für Datenaufbereitung	€	-	
	sich daraus errechnender Preis / m	1,22 €		
Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€	-	
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Disponent (75,-/h)	1	
		Techniker (75,-/h)	1	
		Lokführer (75,-/h)	1	
		Akademiker		
	Stillegen der Fahrleitung Erdung	0		
Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	0		
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson	0		
	Hilfskraft	0		
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)				
Gesamtkosten ÖBB INFRA		1.864.087,60 €		

(Tabelle 7.16: B2)



(Abbildung 7.7: Kosten seitens ÖBB)

Bezogen auf die Streckenleistung ergibt sich:



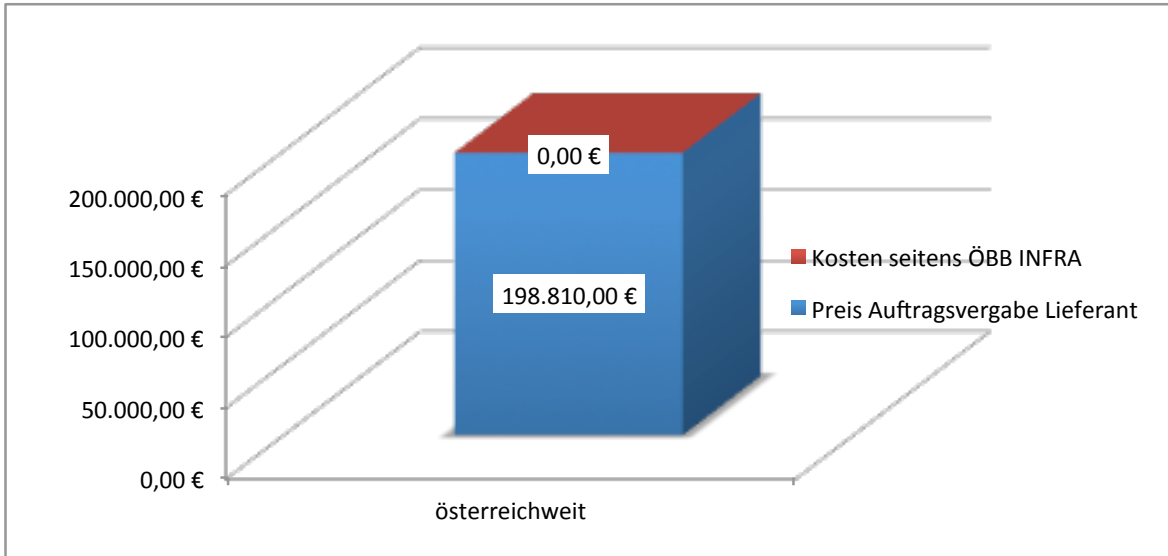
(Abbildung 7.8: Gesamtkosten/m B2)

C1 repräsentiert die im Rahmen des Forschungsprojektes F&E-Sens durchgeführte österreichweite Befahrung des Schienennetzes.

	Bezeichnung der Vermessungstechnologie	C1	
	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	01.05.15
		Ort der Datenaufnahme	österreichweit
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	österreichweit
Allgemeine Parameter	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	SENS-KM
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	€ -
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	€ -
	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	-
		Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	einige dm
		Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	-
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 16
		Genauigkeit, Maßstab	
		Gleislänge [m]	4.500.000
		Fläche [m ²]	6.457.500
		Topographie, Gelände Zugdichte / Stunde	1-5
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	
		Summe Genauigkeit >10cm	
	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 198.810,00
		Pauschale für Datenaufbereitung	€ -
		sich daraus errechnender Preis / m	€ 0,04
		sich daraus errechnender Preis / m ²	€ 0,03
Austro t	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	-
		Ingenieur	-
		Lokführer	-
		Akademiker	-
	Stillegen der Fahrleitung Erdung		-
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	-
ÖBB INFRA	Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson	-
		Hilfskraft	-
	Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,000018	
	Interne Kosten ÖBB INFRA	€ -	

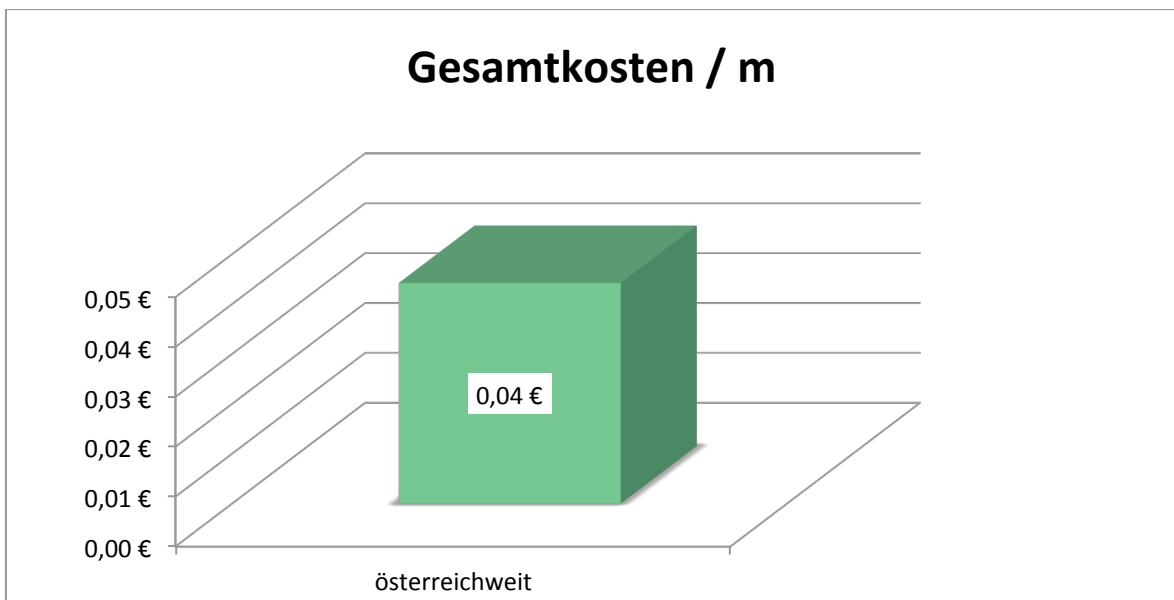
(Tabelle 7.17: C1-1)

Daraus lässt sich wie folgt auswerten:



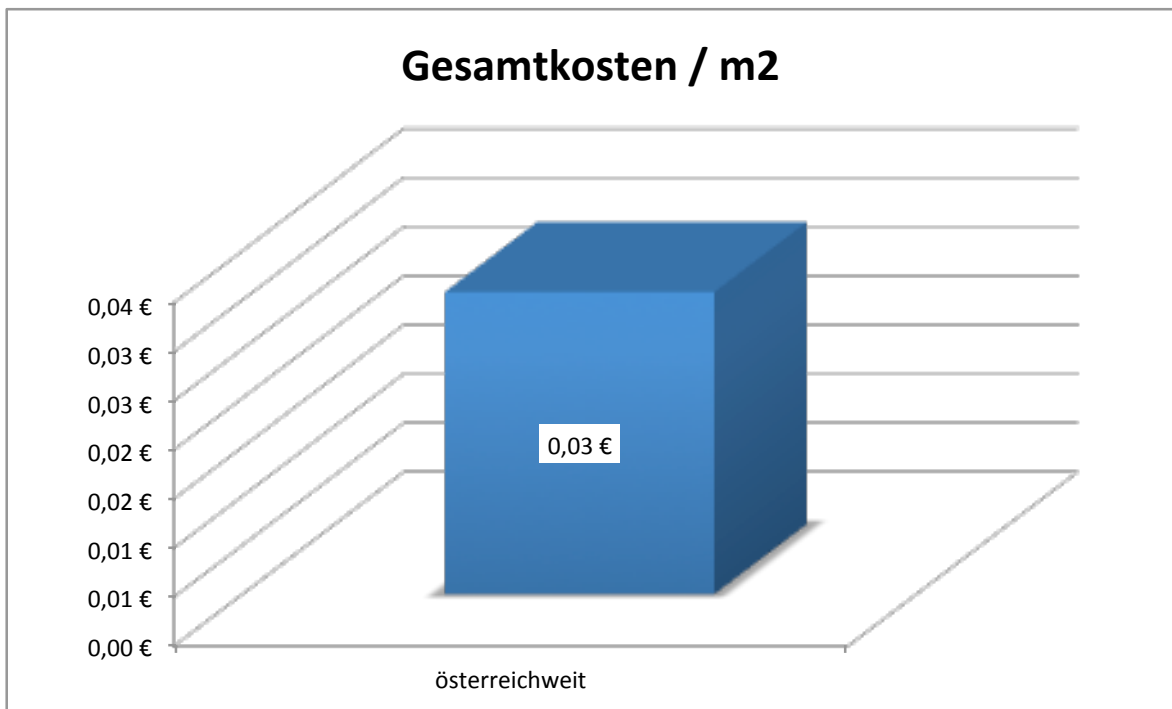
(Abbildung 7.9: Preis Auftragsvergabe)

Die Gesamtkosten / m ergeben sich wie folgt:



(Abbildung 7.10: Gesamtkosten / m C1)

Bezogen auf die aufgenommene Fläche ergibt sich:



(Abbildung 7.11: Gesamtkosten / m2 C1)

C2 repräsentiert zwei unterschiedliche Projekte: C2 (1) zeigt die Daten den Inovitas Projekts, in dessen Kontext es zu weiträumigen Datenaufnahmen auf einer Strecke von 800 km in Österreich kann.

Folgende Daten wurden ausgewertet:

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		C2	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	01.10.16
		Ort der Datenaufnahme	Ostösterreich
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	Nordbahn, Südbahn, FJB, Gänserndorf
Allgemeine Parameter	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	infra3D Mapper / iNovitas
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	€ -
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	€ -
Allgemeine Parameter	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	
		Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	10-20
		Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 17
		Genauigkeit, Maßstab	
		Gleislänge [m]	800.000
		Fläche [m ²]	
		Topographie, Gelände	
	Zugdichte / Stunde		
Vermessungsdienstleister	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	
		Summe Genauigkeit >10cm	
Vermessungsdienstleister	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 70.000,00
		Pauschale für Datenaufbereitung	€ 88.000,00
		sich daraus errechnender Preis / m	€ 0,20
		sich daraus errechnender Preis / m ²	-
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
		Ingenieur	
		Lokführer	
		Akademiker	
ÖBB INFRA	Stillegen der Fahrleitung Erdung		
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
ÖBB INFRA	Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson	
		Hilfskraft	
ÖBB INFRA	Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)		
ÖBB INFRA	Interne Kosten ÖBB INFRA	€ -	

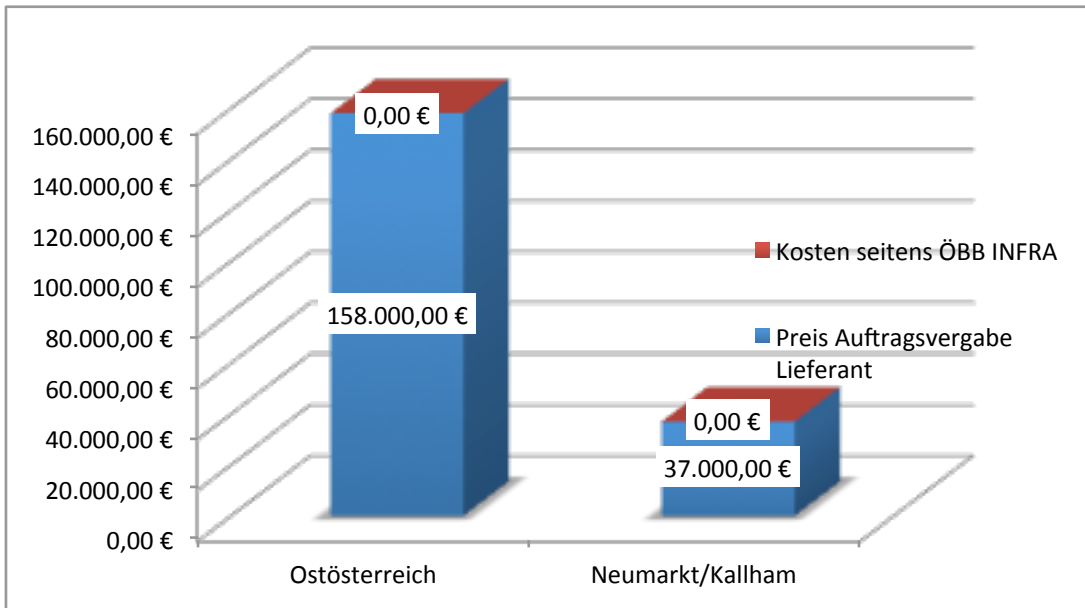
(Tabelle 7.18: C2-1)

Eine weitere Aufnahme entstand mit der MoSeS-Technologie bei Neumarkt Kalham:

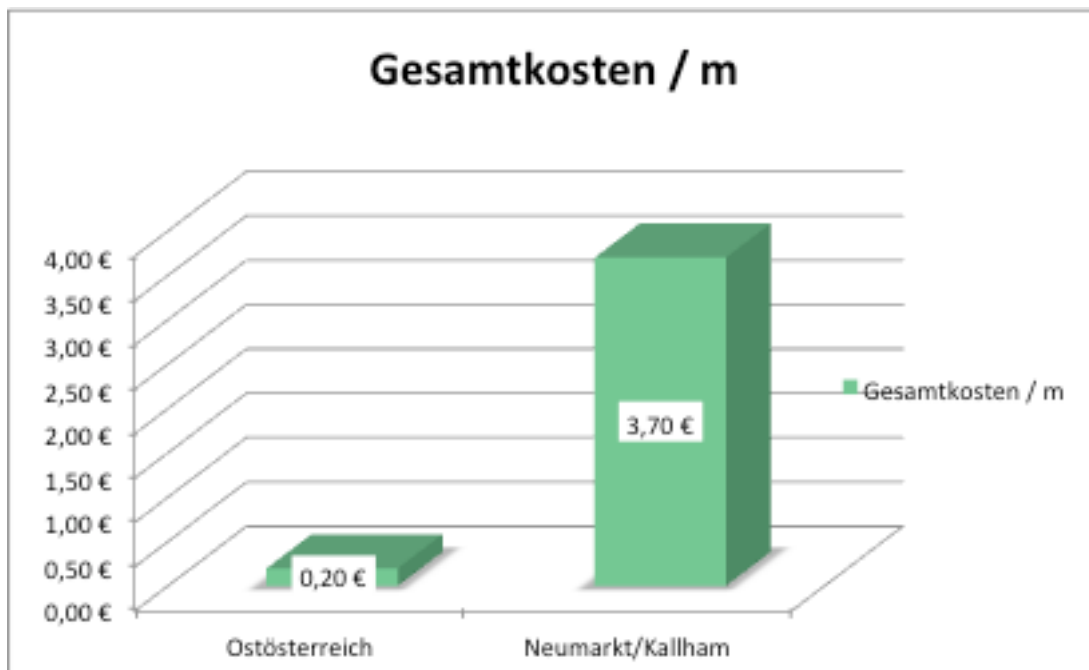
Bezeichnung der Vermessungstechnologie		C2		
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	06.10.14	
		Ort der Datenaufnahme	Neumarkt/Kalham	
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	Neumarkt - Schärding, 150	
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	MoSeS	
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	Mobiles Strassen-Erfassungs-System	
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	€ -	
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	€ -	
	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)		
		Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)		
Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)				
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 18	
		Genauigkeit, Maßstab		
		Gleislänge [m]	10.000	
		Fläche [m²]		
		Topographie, Gelände		
		Zugdichte / Stunde		
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm		
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm		
		Summe Genauigkeit >10cm		
	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€	20.000,00
Pauschale für Datenaufbereitung		€	17.000,00	
sich daraus errechnender Preis / m		€	3,70	
sich daraus errechnender Preis / m²			-	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -	
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft		
		Ingenieur		
		Lokführer		
		Akademiker		
	Stillegen der Fahrleitung Erdung			
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft		
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson			
	Hilfskraft			
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)				
Interne Kosten ÖBB INFRA	€	-		

(Tabelle 7.19: C2-2)

Eine Gesamtauswertung zur Inovitas & MoSes-Technologie brachte folgendes Ergebnis:



(Abbildung 7.12: Preis Auftragsvergabe)



(Abbildung 7.13: Gesamtkosten / m C2)

Das Befliegen mit Drohnen gehört zu den neuesten Technologien: Folgende Daten wurden im Rahmen erster Projekte erhoben:

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		D1	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	18.11.13
		Ort der Datenaufnahme	Wels Vbf
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	1 Westbahn Wien - Salzburg
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	Kameraplattform
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	Drohne
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	€ -
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	€ -
	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	
		Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen (+/- mm)	20-30
		Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 19
		Genauigkeit, Maßstab	1:500
		Gleislänge [m]	3.350
		Fläche [m ²]	750.000
		Topographie, Gelände	lb
		Zugdichte / Stunde	5
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	150
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	
		Summe Genauigkeit >10cm	
	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 37.961,82
Pauschale für Datenaufbereitung		€ -	
sich daraus errechnender Preis / m		€ 11,33	
sich daraus errechnender Preis / m ²		€ 0,05	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
		Ingenieur	
		Lokführer	
		Akademiker	
	Stillegen der Fahrleitung Erdung		
		Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson		
	Hilfskraft		
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,0500		
Interne Kosten ÖBB INFRA	€ -		

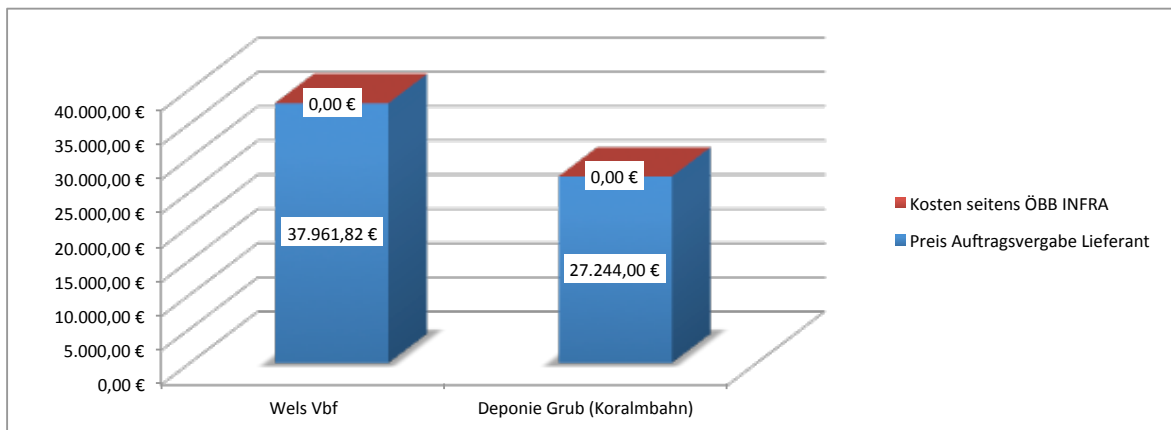
(Tabelle 7.20: D1-1)

Ein weiteres Projekt war die Befliegung der Deponie Grub auf der Koralmbahn

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		D1	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	23.10.14
		Ort der Datenaufnahme	Deponie Grub (Koralmbahn)
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	1035 Koralmbahn
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	Drohne
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	Aibot X6 V2
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	€ -
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	€ -
	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	2.000
		Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	10-20
		Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 20
		Genauigkeit, Maßstab	1:500
		Gleislänge [m]	1.901
		Fläche [m ²]	498.062
		Topographie, Gelände	IIb
		Zugdichte / Stunde	0
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	
		Summe Genauigkeit >10cm	
	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 27.244,00
Pauschale für Datenaufbereitung		€ -	
sich daraus errechnender Preis / m		€ 14,33	
sich daraus errechnender Preis / m ²		€ 0,05	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	
		Ingenieur	
		Lokführer	
		Akademiker	
	Stillegen der Fahrleitung Erdung		
Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft		
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson		
	Hilfskraft		
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,0500		
Interne Kosten ÖBB INFRA	€ -		

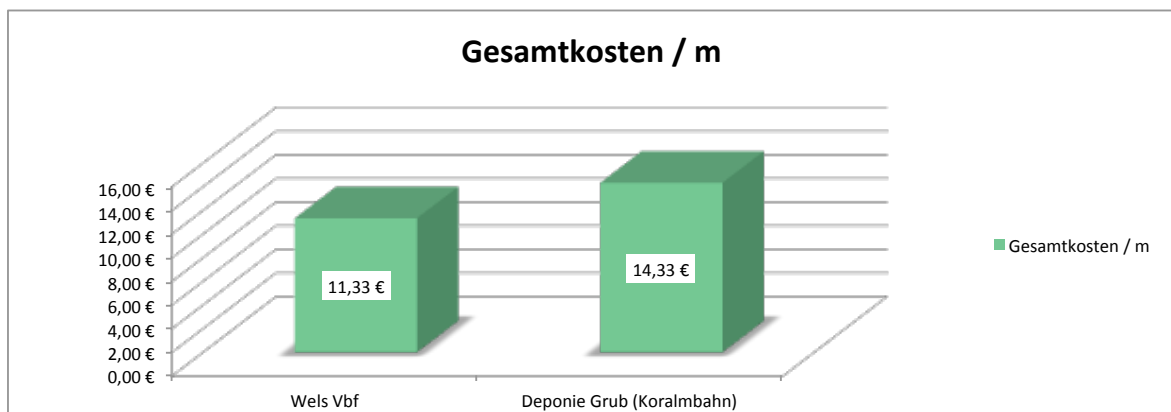
(Tabelle 7.21: D1-2)

Die Kosten stellen sich wie folgt dar:



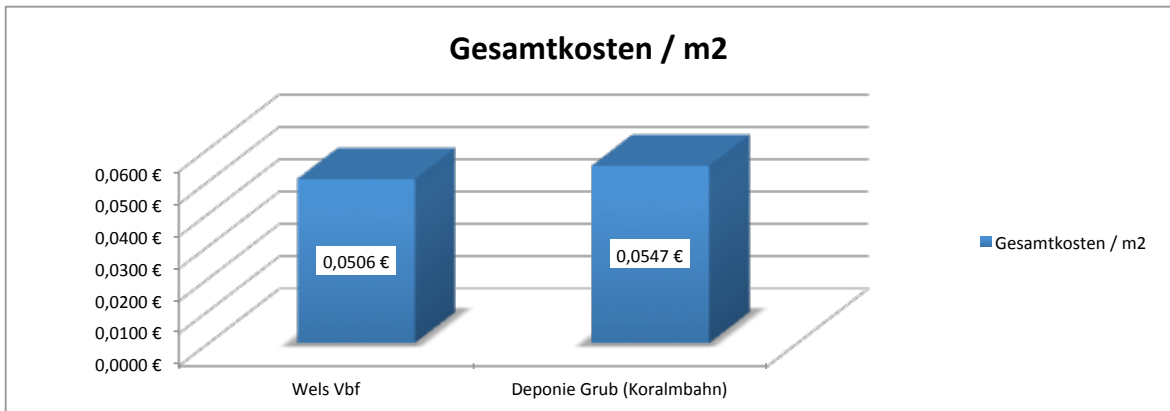
(Abbildung 7.14: Preis Auftragsvergabe D1)

Daraus ergeben sich Kosten pro Meter vermessener Gleislänge von :



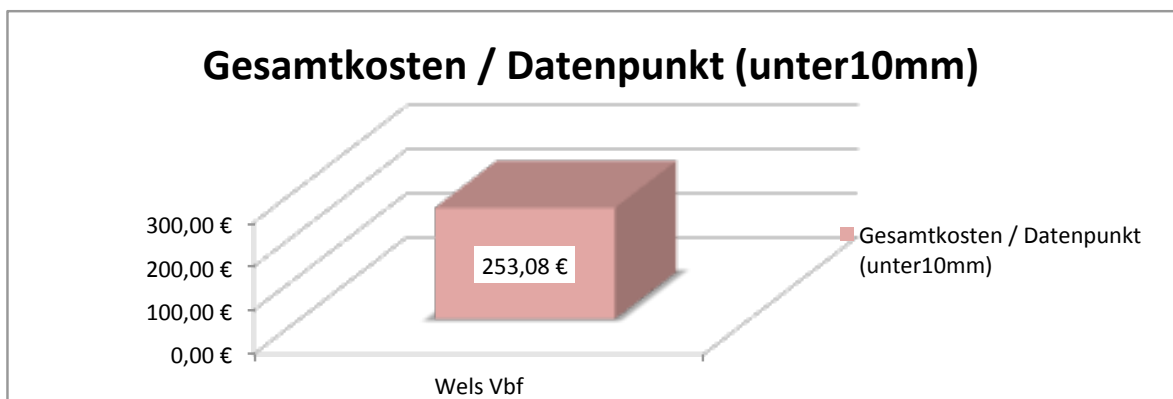
(Abbildung 7.15: Gesamtkosten / m D1)

Die Kosten pro analysierter Fläche sind bei beiden Projekten annähernd gleich:



(Abbildung 7.16: Gesamtkosten / m2 D1)

Bezogen auf die Anzahl der Datenpunkte ergibt das:



(Abbildung 7.17: Gesamtkosten / Datenpunkt D1)

Bemerkung: Zu Deponie Grub lagen keine Werte zur Anzahl von Datenpunkten vor.

Mit Airborne Laserscanning, der Technik D2 unserer Clusterung wurden 3 Projekte vermessen: D2(1) Das Projekt diente als Bestandsaufnahme und Planungsgrundlage für eine Gleisneulegung.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		D2	
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	14.10.14
		Ort der Datenaufnahme	Floridsdorf
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	14 Wien Nord - Bernhardsthal
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	Airborne Laserscan
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	Helicopter
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	€ -
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	€ -
	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	4.500
		Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	20-30
		Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 21
		Genauigkeit, Maßstab	1:500
		Gleislänge [m]	4.500
		Fläche [m ²]	450.000
		Topographie, Gelände	lb
		Zugdichte / Stunde	5
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	150
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	
		Summe Genauigkeit >10cm	
	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 25.004,00
Pauschale für Datenaufbereitung		€ -	
sich daraus errechnender Preis / m		€ 5,56	
sich daraus errechnender Preis / m ²		€ 0,06	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -
	ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft
Ingenieur			
Lokführer			
Akademiker			
Stillegen der Fahrleitung Erdung			
Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)		Hilfskraft	
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson		
	Hilfskraft		
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,6700		
Gesamtkosten ÖBB INFRA	€ -		

(Tabelle 7.22: D2-1)

D2(2) Das Projekt diene ebenfalls als Bestandsaufnahme und Planungsgrundlage für eine Gleisneulegung.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		D2		
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	15.04.10	
		Ort der Datenaufnahme	Amstetten-Kastenreith	
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	99 Amstetten-Kastenreith	
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	Airborne Laserscan	
		Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)	Helicopter	
		Maschinenstunden Messgerät (€/h)	€ -	
		Maschinenstundensätze Plattform (€/h)	€ -	
	Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)	-	
		Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	20-30	
		Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)	-	
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 22	
		Genauigkeit, Maßstab	-	
		Gleislänge [m]	26.000	
		Fläche [m²]	2.600.000	
		Topographie, Gelände	lb	
		Zugdichte / Stunde	1	
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm	-	
		Summe Genauigkeit 10mm-10cm	-	
		Summe Genauigkeit >10cm	-	
	Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€ 14.319,00	
Pauschale für Datenaufbereitung		€ -		
sich daraus errechnender Preis / m		€ 0,55		
sich daraus errechnender Preis / m²		€ 0,01		
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€ -	
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	-	
		Ingenieur	-	
		Lokführer	-	
		Akademiker	-	
	Stillegen der Fahrleitung	Erdung	-	
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft	-	
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson	-		
	Hilfskraft	-		
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,5000			
Gesamtkosten ÖBB INFRA	€ -			

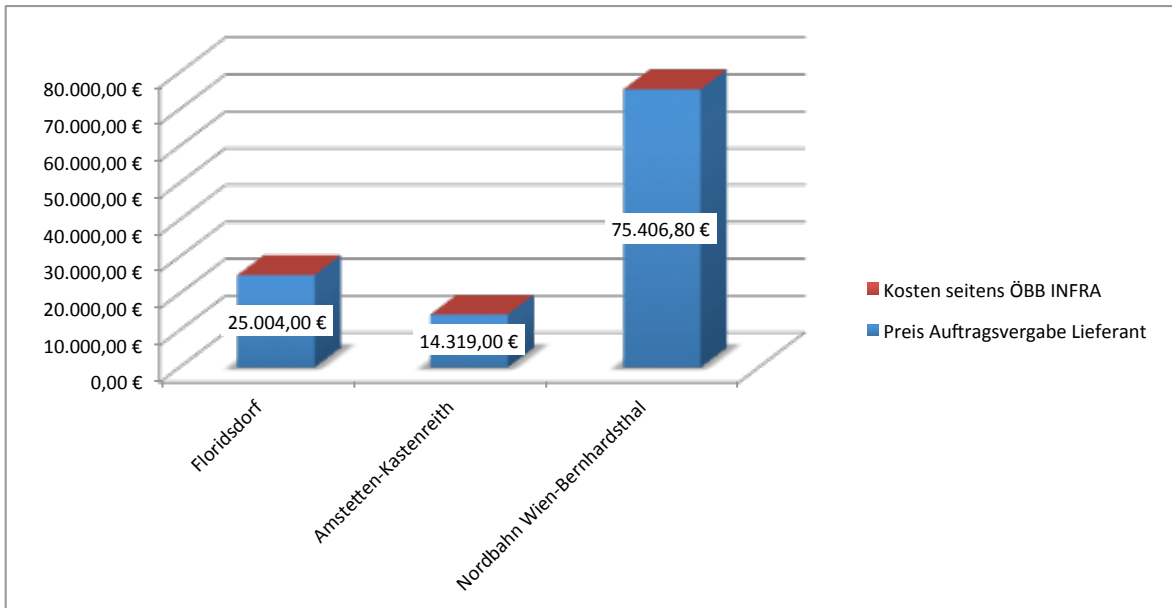
(Tabelle 7.23: D2-2)

D2(3): Das Projekt diente ebenfalls als Bestandsaufnahme und Planungsgrundlage für eine Gleisneulegung.

Bezeichnung der Vermessungstechnologie		D2		
Allgemeine Parameter	Datenaufnahme	Tag der Datenaufnahme	18.01.12	
		Ort der Datenaufnahme	Nordbahn	
		Strecke, auf der die Datenaufnahme erfolgte	14 Nordbahn Wien Nord-Bernhardthal	
	Systemkomponenten	Geräte (Typenbezeichnung / Hersteller)	Airborne Laserscan	
Plattform (Typenbezeichnung / Hersteller)		Helicopter		
Maschinenstunden Messgerät (€/h)		€	-	
Maschinenstundensätze Plattform (€/h)		€	-	
Leistungsparameter der Vermessungstechnologie laut Hersteller	Stundenleistung der Vermessungstechnologie auf freier Strecke (m/Std)			
	Genauigkeit der Vermessungstechnologie, Toleranzen(+/- mm)	20-30		
	Dauer der Vermessung einer Weiche (Min)			
Vermessungsdienstleister	Vermessungs Parameter	Dienstleister Name	Lieferant 23	
		Genauigkeit, Maßstab	1:1000	
		Gleislänge [m]	116.000	
		Fläche [m ²]	15.080.000	
		Topographie, Gelände	Ib	
		Zugdichte / Stunde	2-3	
	Anzahl und Art der aufgenommenen Punkte	Summe Genauigkeit <10mm		
Summe Genauigkeit 10mm-10cm				
Summe Genauigkeit >10cm				
Preis des AN für die Vermessung der Strecke (Pauschalen)	Pauschale für Vermessung	€	75.406,80	
	Pauschale für Datenaufbereitung	€	-	
	sich daraus errechnender Preis / m	€	0,65	
	sich daraus errechnender Preis / m ²	€	0,01	
Austro Control	Kosten für Flugsicherung (für luftgestützte Verfahren)	Personalkosten für Einsatzvorbereitung / Kosten für Genehmigungen	€	-
ÖBB INFRA	Personalstärke vor Ort zur Bedienung des Messverfahrens seitens ÖBB (Anz. MitarbeiterIn)	Hilfskraft		
		Ingenieur		
		Lokführer		
		Akademiker		
	Stillegen der Fahrleitung			
	Personalstärke vor Ort zur Absicherung der Strecke (Anz. MitarbeiterIn)	Erdung		
Hilfskraft				
Aufwand der Datennachbearbeitung seitens ÖBB, bis das Vermessungsergebnis in erforderlichen Format vorliegt	Aufsichtsperson			
	Hilfskraft			
Datenspeichervolumen bezogen auf Meter Strecke (MB)	0,5000			
Gesamtkosten ÖBB INFRA	€			-

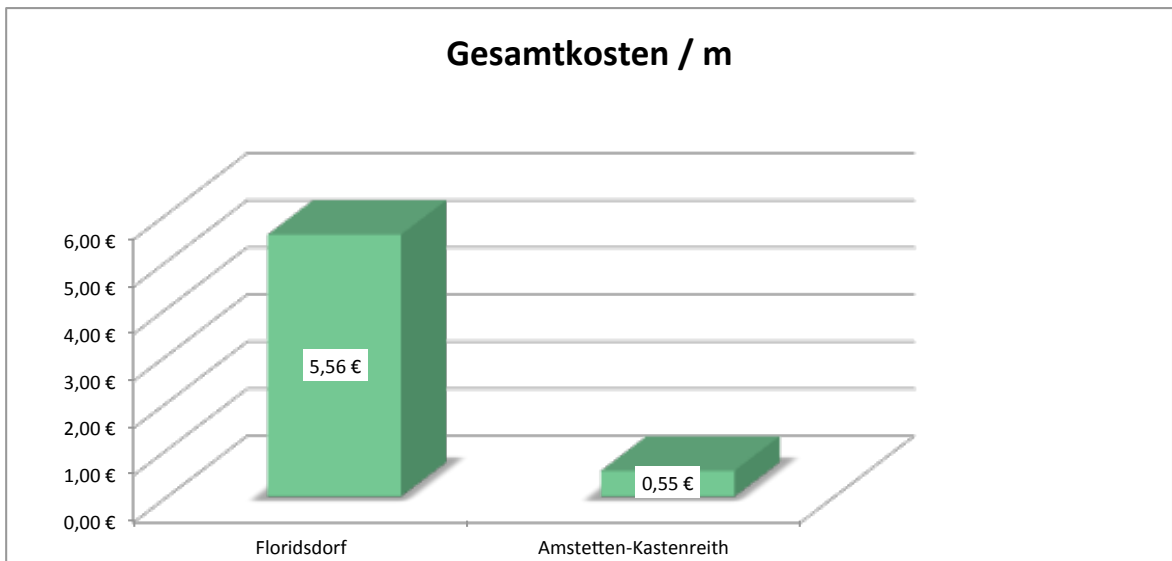
(Tabelle 7.24: D2-3)

Die Auswertung der Gesamtkosten ergibt:

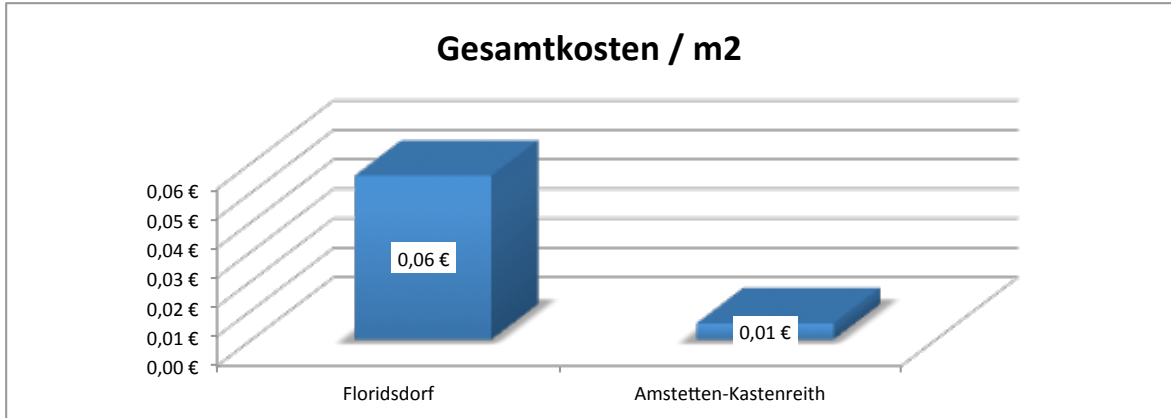


(Abbildung 7.18: Preis Auftragsvergabe D2)

Die Gesamtkosten bezogen auf die Streckenlänge berechnet und auf die Einheitsfläche ergeben sich somit zu:



(Abbildung 7.19: Gesamtkosten / m D2)



(Abbildung 7.20: Gesamtkosten / m2 D2)

Daten über die Anzahl der Datenpunkte waren bei diesen Messungen nur rudimentär verfügbar, weshalb auf eine Auswertung verzichtet wurde.

Zusammenführung der Daten, Technologie-Benchmarks:

Im Weiteren wurden die Benchmarks einander gegenübergestellt.

Die Bezugsgröße, die bei allen Vermessungstechnologien vorlag, ist die vermessene Streckenlänge.

Dabei ergibt sich für die auf die Streckenlänge bezogenen Kosten pro Vermessungstechnologie folgendes Bild:

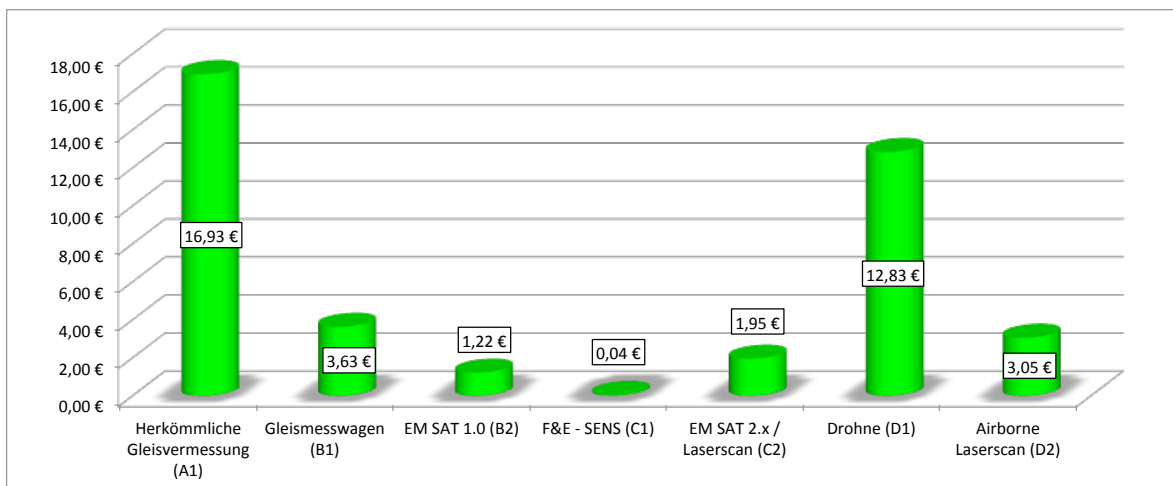


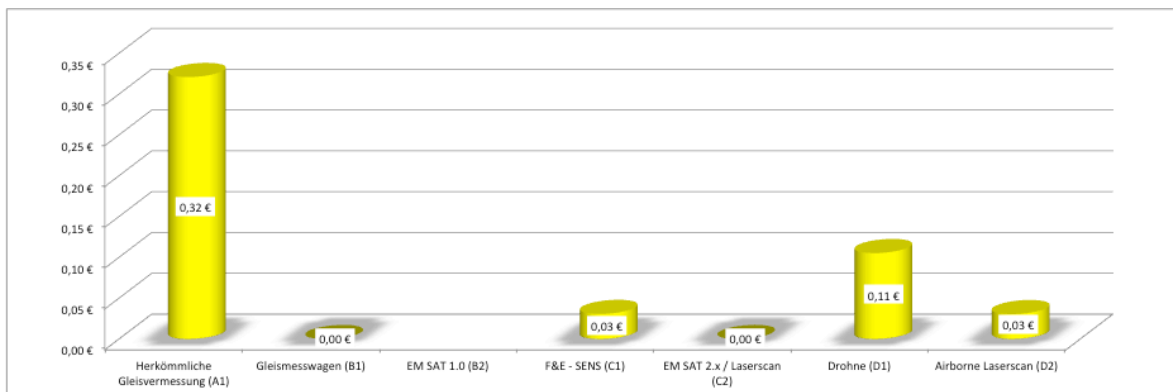
Abbildung 7.21: Gesamtkosten der Vermessungstechnologie bezogen auf die vermessene Streckenlänge

Interpretation:

Dass die herkömmliche Gleisvermessung die höchsten Kosten pro Gleislänge im Vergleich zu maschineller Vermessung hervorruft, war zu erwarten. Die offensichtlich hohen Kosten der Drohnenvermessung ergeben sich aus den in diesen Projekten relativ geringen Gleislängen, die die Drohne befliegen ist. Die Stärke der Drohnenvermessung liegt offensichtlich in der Flächenaufnahme und nicht in der Gleisvermessung. Die Helikopterbefliegung (Airborne Laserscan) punktet durch hohe Kilometerleistungen trotz hoher Fixkosten.

Betrachtet man die vermessene Flächenleistung zeigt sich nochmals klar, dass die unterschiedlichen Technologien auch unterschiedlich geeignet sind Flächen zu

vermessen. Bei A1 werden Flächen in Form von Einzelpunkten vermessen, insbesondere bei den Airborne Technologien werden tatsächliche Flächen modelliert. Daher sind die Daten nicht direkt vergleichbar. Im Sinne eines Kostenbenchmarks ist aber folgende Darstellung zulässig:



(Abbildung 7.22: Gesamtkosten / vermessener Fläche in m2)

Berechnungen der nach Genauigkeit gewichteten Punktkosten anhand der Vermessungstechnik (A):

Für die Vermessungstechnik A, der herkömmlichen ingenieurgeodätischen Gleisvermessung, wurde in der Folge versucht auf Basis der gegebenen Beispielprojekte realistische Kosten pro Punkt abzuleiten. Die Technik A wurde vor allem gewählt, da hier auch die meisten Projektdaten vorhanden waren. Da eine höhere Punktgenauigkeit im Allgemeinen auch mit höheren Aufnahmekosten verbunden wurde, wurde ein Gewichtungsschema eingeführt. Die Gewichtung erfolgt über den Vergleich der einzelnen Mengen mit der Gesamtmenge der Punkte. Die daraus errechneten Gewichtungsfaktoren werden mit einem durchschnittlichen Kostenfaktor und der Punktzahl multipliziert, um die Projektgesamtkosten wieder zu reproduzieren.

Folgende Tabelle gibt die Anzahl der Punkte aufgliedert nach deren Genauigkeit an:

	A1(1)	A1(2)	A1(3)	A1(4)	A1(5)	A1(6)	A1(7)	A1(8)	A1(9)	A1(10)
Genauigkeit <10mm	524	766	2825	1898	247	1150	318	832	568	435
Genauigkeit 10mm-10cm	2908	458	3788	2022	592	1371	1608	3892	182	616
Genauigkeit >10cm	12977	3415	6163	1127	844	1098	2758	4998	1942	1703
Summe der Punkte:	16409	4639	12776	5047	1683	3619	4684	9722	2692	2754
Gesamtkosten:	87902	37978	32610	27788	16194	30487	29215	54633	62950	22838

(Tabelle 7.25: Anzahl der Punkt aufgliedert nach der Genauigkeit)

Zunächst wird die Summe der Punkte für jede Genauigkeitsklasse gebildet:

Summe Genauigkeit <10mm	9.563
Summe Genauigkeit 10mm-10cm	17.437
Summe Genauigkeit >10cm	37.025
Summe der Punkte:	64.025
Gesamtkosten:	402.595

(Tabelle 7.26: Summe für jede Genauigkeitsklasse)

Die Aufsummierung der einzelnen Genauigkeitsklassen hat den Sinn, dass einzelne statistische Ausreißer zwar mitgerechnet werden aber ihre Auswirkung auf das Ergebnis minimiert wird.

Die folgende Tabelle gibt den Anteil der jeweiligen Genauigkeitsklassen an der Gesamtpunktzahl für jedes einzelne Projekt an:

	A1(1)	A1(2)	A1(3)	A1(4)	A1(5)	A1(6)	A1(7)	A1(8)	A1(9)	A1(10)
Genauigkeit <10mm	0,0319	0,1651	0,2211	0,3761	0,1468	0,3178	0,0679	0,0856	0,2110	0,1580
Genauigkeit 10mm-10cm	0,1772	0,0987	0,2965	0,4006	0,3518	0,3788	0,3433	0,4003	0,0676	0,2237
Genauigkeit >10cm	0,7908	0,7362	0,4824	0,2233	0,5015	0,3034	0,5888	0,5141	0,7214	0,6184

(Tabelle 7.27: Anteil der jeweiligen Genauigkeitsklassen an der Gesamtpunktzahl)

Entsprechend dieser Verteilung wird im Anschluss die Gewichtung erfolgen. Das Verhältnis der Werte zu einander ist nun dargestellt und muss auf einen Wert gebracht werden der die ursprüngliche Gleichung wieder auf eine richtige Lösung bringt.

Da die auf Erfahrung basierte Annahme, dass genauere Punkte einen größeren Aufwand darstellen, aus den Zahlen noch nicht schlüssig argumentiert werden kann, wird von den Werten der jeweilige Kehrwert berechnet. Dies begründet sich auf der Annahme, dass die Anzahl der Punkte indirekt proportional zu deren Genauigkeit ist.

Die folgende Tabelle liefert die Kehrwerte der Verteilung:

	A1(1)	A1(2)	A1(3)	A1(4)	A1(5)	A1(6)	A1(7)	A1(8)	A1(9)	A1(10)
Genauigkeit <10mm	31,3149	6,0561	4,5225	2,6591	6,8138	3,1470	14,7296	11,6851	4,7394	6,3310
Genauigkeit 10mm-10cm	5,6427	10,1288	3,3728	2,4960	2,8429	2,6397	2,9129	2,4979	14,7912	4,4708
Genauigkeit >10cm	1,2645	1,3584	2,0730	4,4783	1,9941	3,2960	1,6983	1,9452	1,3862	1,6171

(Tabelle 7.28: Kehrwerte der Verteilung)

Die Kehrwerte werden gemittelt um einen repräsentativen Wert für die weiteren Berechnungen zu schaffen. Erwähnt sei, dass die Daten selbst eine recht hohe Inkonsistenz aufweisen und daher durch die Mittelung Abweichungen von den

Ausgangsdaten in der Rückrechnung auftreten können. Da aber eine repräsentative Stichprobe der Projekte ausgewählt wurde, kann kein Datensatz eliminiert werden um die innere Konsistenz zu verbessern.

Die gemittelten Kehrwerte können der folgenden Tabelle entnommen werden:

Gemittelte Kehrwerte:	Genauigkeit <10mm	9,200
	Genauigkeit 10mm-10cm	5,180
	Genauigkeit >10cm	2,111

(Tabelle 7.29: gemittelten Kehrwerte)

Diese Zahlen zeigen die indirekt proportionale Häufigkeit der Punktklassen in der Gesamtpunktzahl an. Um mit dem Verhältnis weiter rechnen zu können müssen die Kehrwerte normiert werden. Dazu werden die einzelnen Werte durch die Summe der Werte dividiert.

Die folgende Tabelle gibt die normierten gemittelten Kehrwerte an:

Normierter gemittelter Kehrwert.:	Genauigkeit <10mm	0,558
	Genauigkeit 10mm-10cm	0,314
	Genauigkeit >10cm	0,128

(Tabelle 7.30: normierten gemittelten Kehrwerte)

Diese normierten, gemittelten Kehrwerte der Häufigkeit der einzelnen Punkteklassen entsprechen einer Gewichtung, welche auf die Kosten übertragen werden muss, da bis jetzt der wirtschaftliche Aspekt nicht berücksichtigt wurde.

Es wird angenommen das folgende Formel uneingeschränkte relative Gültigkeit für dieses Beispiel besitzt.

$$\sum (Summe\ der\ Punkte\ pro\ Genauigkeit\ (i) * \frac{Gewichtung(i)}{x}) = Gesamtkosten$$

Durch Umformung und Einsetzen der Werte in diese Gleichung erhalten wir folgende Formel:

$$x = \frac{9.563 * 0,558 + 17.437 * 0,314 + 37.025 * 0,128}{402.595}$$

$$x = 25,9067$$

Mit dem Kostenfaktor x und der oben ermittelten Gewichtung können nun die Kosten pro Punkt errechnet werden.

Die abschließende Rechnung liefert nun direkt die gewichteten Kosten pro Punkt der einzelnen Genauigkeiten. Das Ergebnis wird in der nächsten Tabelle präsentiert:

Gewichtete Kosten pro Punkt:	Genauigkeit <10mm	14,453 €
	Genauigkeit 10mm-10cm	8,1371 €
	Genauigkeit >10cm	3,3166 €

(Tabelle 7.31: gewichteten Kosten pro Punkt der einzelnen Genauigkeiten)

Die Tabelle 7.32 soll nun die realitätsnähe der oben gefundenen Punktkosten prüfen. Dabei zeigt sich die doch signifikante Streuung der Punktkosten in den einzelnen Projekten.

	A1(1)	A1(2)	A1(3)	A1(4)	A1(5)	A1(6)	A1(7)	A1(8)	A1(9)	A1(10)
Summe Genauigkeit <10mm	524	766	2.825	1.898	247	1.150	318	832	568	435
Summe Genauigkeit 10mm-10cm	2.908	458	3.788	2.022	592	1.371	1.608	3.892	182	616
Summe Genauigkeit >10cm	12.977	3.415	6.163	1.127	844	1.098	2.758	4.998	1.942	1.703
Summe aller	16.409	4.639	12.776	5.047	1.683	3.619	4.684	9.722	2.692	2.754

Punkte des Projekts:										
Gesamtkosten der Vermessung:	87.902	37.978	32.610	27.788	16.194	30.487	29.215	54.633	62.950	22.838
Kosten nach Mittelung	74.275	26.124	92.093	47.623	6.969	31.419	26.828	60.271	16.131	16.948

(Tabelle 7.32: Zusammenstellung der Ausgangsdaten)

Wie in der Tabelle ersichtlich befindet sich lediglich das Projekt A1(6) ziemlich genau im berechneten Wert. Bei den Projekten A1(1), A1(2), A1(7), A1(8) und A1(10) sind starke Abweichungen zu sehen die auf die Inkonsistenz der verwendeten Daten zurückzuführen sind. Die Projekte A1(3), A1(4), A1(5) und A1(9) fallen gänzlich aus dem Rahmen.

Trotz dieser teils merklichen Abweichungen werfen wir einen Blick auf die rückgerechneten gemittelten Werte:

Summe Genauigkeit <10mm	9.563
Summe Genauigkeit 10mm-10cm	17.437
Summe Genauigkeit >10cm	37.025
Summe aller Punkte des Projekts:	64.025
Gesamtkosten der Vermessung:	402.595
Kosten nach Mittelung	402.897

(Tabelle 7.33: Abweichungen)

Hier ist ersichtlich, dass trotz der starken Streuung in den einzelnen Projekten die gewichteten und gemittelten Kosten pro Punkt aufgerechnet auf die Gesamtpunktezahl aller Projekte ein annähernd komplett richtiges Ergebnis liefert, das nur durch Rundungsfehler leicht beeinträchtigt wird.

Da das Ziel dieses Projektes ist, verschiedene Vermessungstechnologien miteinander zu vergleichen, muss auf allen Ebenen stark gemittelt werden um sehr verschiedene oder gar komplementäre Systeme vergleichen zu können. Daher wird das Ergebnis dieser Rechnung mit hinreichender Genauigkeit als korrekt angesehen.

Generell könnte die obige Aufgabenstellung auch anders gelöst werden. Untenstehend sind deswegen noch 2 Verfahren diskutiert, die ebenfalls untersucht wurden. Da beide Alternativverfahren zu keinen realistischen Lösungen geführt haben wurde schließlich der oben beschriebene Ansatz umgesetzt.

- a) Gewöhnlich wird ein Gleichungssystem mit mehr Beobachtungen als Variablen mit Hilfe der Gauß'schen Ausgleichsrechnung gelöst. Die Gauß'sche Ausgleichsrechnung ermittelt die Parameter mittels der folgenden Bedingung (minimales Quadrat der Verbesserungen):

$$A^T A x = A^T L$$

A ist die Koeffizientenmatrix in der das lineare Gleichungssystem dargestellt wird. A^T ist eben diese Koeffizientenmatrix transponiert. x ist der Vektor der Unbekannten und L der Vektor der Absolutglieder.

Wenn nun das Verfahren auf die obige Problemstellung angewandt wird ,ergeben sich für die Kosten pro Punkt in den einzelnen Genauigkeitsklassen:

$$x = \begin{pmatrix} 6,5992 \\ -0,0922 \\ 7,0131 \end{pmatrix}$$

Dieser Vektor würde den Kostenkoeffizienten entsprechen. Durch die hohe Inkonsistenz der Ausgangsdaten sind diese Parameter allerdings mit einer hohen Unsicherheit (hohen mittleren Fehlern) behaftet. Dies erklärt auch den negativen Kostenfaktor für die mittlere Punktlagegenauigkeit.

- b) Getestet wurde noch ein Ansatz eine der drei Variablen zu fixieren und so positive Werte zu erzwingen, diese so gewonnenen Werte wären allerdings nur als

Verhältnis zu betrachten gewesen und hätten mit einem Kostenkoeffizienten keine Gemeinsamkeit. Außerdem entsteht durch diesen Ansatz eine direkte Proportionalität zwischen der Häufigkeit einer Punktgenauigkeit und den Kosten, woraus resultieren würde, dass häufige Punkte teurer wären. Das hätte allerdings keinen Bezug zur Genauigkeit und fällt deshalb als Berechnungsmethode aus.

8. INPUT ZUR VERFASSUNG VON ANWENDUNGSREGELN (AP 10)

Folgende Tabelle gibt Aufschluss über eine mögliche Anwendung der verschiedensten Methoden für die unterschiedlichsten Gebiete, verknüpft mit den geforderten Ergebnissen.

geforderte Genauigkeit:

≤ 1 mm		≥ 10 cm					
Vermessungstechnologie	Vermessungsaufgabe	Ingenieurgeodätische Gleisvermessung (A1)	Gleismesswagen (B1)	EM SAT 1.0 (B2)	F&E - SENS (C1)	EM SAT 2.x / Laserscan (C2)	Airborne Laserscan und Photogrammetrie (D1)
Gleiskörper		X	X	X	X	X	X
Bahnsteinkanten		X	X	X	X	X	X
Mastbolzen		X	X	X	X	?	X
Kunstabauten (Brücken)		X	?	?	?	?	
Bahnhöfe		X			?		
Oberbau		X			X	?	X
Einbauten		X	?	?	X	?	
Oberleitung zu Gleiskörper		X	?	?	?	?	X
Signale		X	?	?	X	?	
Trassenumfeld (Lehnen, Dämme)		X			X	X	X

Kosten:



Vermessungstechnologie Vermessungsaufgabe	Vermessungstechnologie					
	Herkömmliche Gleisvermessung (A1)	Gleismesswagen (B1)	EM SAT 1.0 (B2)	F&E - SENS (C1)	EM SAT 2.x / Laserscan (C2)	Airborne Laserscan und Photogrammetrie (D1)
Gleiskörper	Red	Green	Green	Orange	Red	Red
Bahnsteinkanten	Red	Green	Green	Orange	Red	Red
Mastbolzen	Red	Green	Green	Orange	Red	Red
Kunstabauten (Brücken)	Red			Orange		
Bahnhöfe	Orange			Orange		
Oberbau	Yellow			Orange	Light Green	Light Green
Einbauten	Yellow			Orange		
Oberleitung zu Gleiskörper	Yellow			Orange	Yellow	Yellow
Signale	Light Green			Orange		
Trassenumfeld (Lehnen, Dämme)	Light Green			Orange	Light Green	Green

(Abbildung 8.1: mögliche Anwendung der verschiedensten Methoden)

Wie auch in Schraml A., 2015 (unveröffentlicht) festgestellt wird, existieren für jede der genannten Gleismessmethoden Vor- und Nachteile.

Wichtig ist, den geodätischen Grundsatz der kontrollierten Messung einzuhalten („Eine Messung ist keine Messung“).

9. VORSCHLAG FÜR UNIVERSELLE REFERENZ- UND PRÜFSTRECKE (AP 11)

Der im Forschungsbericht abgeleitete Systemabgleich (AP 9) und die ermittelten Anwendungsrichtlinien (AP 10) müssen praktikabel in die Praxis umgesetzt werden können. Hierfür ist das Konzept einer universelle Referenz- und Prüfstrecke angedacht. Es konnten zwei mögliche Varianten einer solchen Strecke abgeleitet werden, die im Folgenden beschrieben werden.

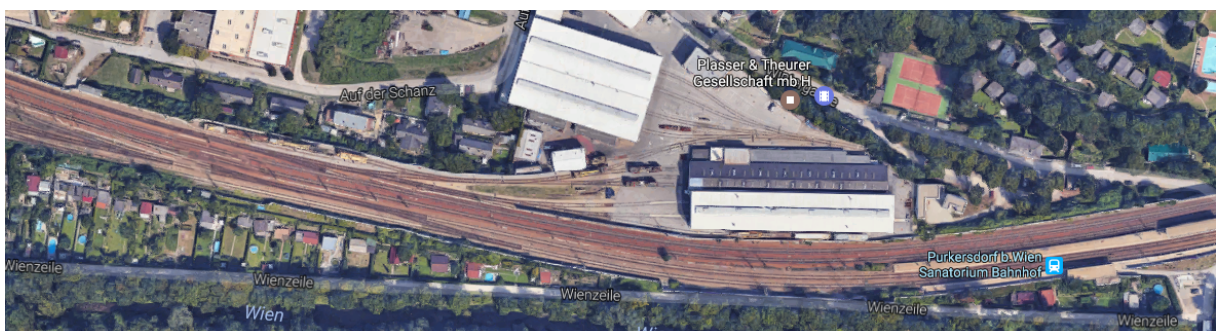
Variante 1:

Eine Referenz- und Prüfstreckenvariante wird der Abschnitt Gradnitz bis Bahnhof Zwettl km 20,000 - 23,500 der Strecke Schwarzenau – Waldhausen (Martinsberg-Gutenbrunn). Diese wird als Teststrecke wärmstens empfohlen. Es handelt sich dabei um eine Nebenstrecke, wodurch die Anzahl der Zugfolgen überschaubar sind. Ein klarer Vorteil für Testzwecke ist daher die einfachere Handhabung von Absicherungsmaßnahmen (SIPO etc.).

Des Weiteren ist auch die Möglichkeit gegeben neue Vermessungsverfahren, wie jene mittels Drohnen, zeitnahe und mit wesentlich geringeren Genehmigungsaufwand als im städtischen Bereich, zu testen.

Variante 2:

Eine weitere Möglichkeit einer Teststrecke ist bereits vorhanden. Im Bereich Purkersdorf betreibt die Firma Plasser & Theurer eine universelle Hochleistungsreferenz- und Prüfstrecke auf der Westbahn. Für dieses Projekt existiert bereits eine Arbeitsgruppe ÖBB – Plasser & Theurer. Die Verwendung der Teststrecke wird wärmstens empfohlen.



(Abbildung 9.1: Luftbild Teststrecke)

10. GRENZEN UND VEREINFACHUNGEN DER STUDIE

Bei der vorliegenden Studie wurden lediglich jene Vermessungsverfahren betrachtet, die zur Gleisvermessung der ÖBB-Infrastruktur AG herangezogen werden können. Beispielsweise wurde die photogrammetrische Aufnahme außen vor gelassen, da hier die Genauigkeit der Gleiskörperauswertung nicht ausreichen würde.

Weiters wurden die Einzelprojekte manuell eingepflegt. Viele Faktoren haben auf das Preisniveau Einfluss, beispielsweise Mehrfachanfahrten oder schwer zugängliche Messpunkte. Die Vereinfachung der Genauigkeitsklassen und die daraus versuchte Ableitung von KPIs ergab hochgradig nichtlineare Zusammenhänge. Trotz der angewandten mathematischen Methoden war es nicht möglich, ein klares Bild über Kosten pro Messpunkt zu errechnen, da die genannten weichen Faktoren mit Preiseinfluss einen größeren Einfluss haben, als ursprünglich vermutet. Die Studie zeigte aber auch die Einzigartigkeit der einzelnen Projekte. Der ursprüngliche Ansatz, dass das maschinelle Einlesen einer großen Projektanzahl allgemeine KPIs hervorbringen würden, um danach Budgetauswirkungen von geänderten Anwendungsregeln zu errechnen, stellte sich als nicht realistisch heraus.

Bei automatisierten Messverfahren ist weiters die Abdeckung von Messpunkten und Messbereichen durch Gegenzüge, stillstehende Züge in Bahnhöfen etc. zu berücksichtigen. Lückenlose Aufnahmen sind nur durch mehrfache Vermessung möglich. Die Kosten für das Handling großer Datenmenge wird seitens ÖBB heute als in den Angebotspreis eingerechnete Kosten betrachtet. Bei zunehmenden automatisierten Messverfahren wird es auch zu ÖBB internem Datenhandling kommen, um Daten intern auch später zur Verfügung zu haben. Kosten dazu konnten noch nicht abgeschätzt werden. Schließlich zeigte sich, dass eine Vielzahl an Projektdaten nur bei Auftragnehmern verfügbar waren. Die Bereitschaft, Daten über Preise und KPIs des Projektes ECORAILTEC zur Verfügung zu stellen, war nicht immer in vollem Umfang und zeitnah gegeben. An dieser Stelle ein Dank an die Unterstützung durch den Auftraggeber ÖBB und an die Büros, die unentgeltlich Daten zur Verfügung gestellt hatten.

11.AUSBLICK IN DIE ZUKUNFT, VORSCHLAG FÜR VERTIEFTE FORSCHUNG

Wie schon an den verglichenen Vermessungsmethoden ersichtlich ist, gibt es derzeit viele Innovationen verschiedenster Systeme. In den nächsten 20 Jahren wird dies unsere Arbeit möglicherweise völlig verändern. Auch in Zukunft werden Schnelligkeit, Genauigkeit und Preis die bestimmenden Faktoren bei Gleismessungen sein.

Durch einfachere Messverfahren wird die Aufnahme in immer kürzerer Zeit erfolgen können, was die Kosten bezüglich Messtrupps und Streckensicherung positiv beeinflussen wird. Gleichzeitig wird durch steigende Zugdichten immer weniger „freie“ Zeit für Messungen im Gefahrenbereich zur Verfügung stehen.

Während die Messung demnach schnell und einfach erfolgen wird, werden Nachbearbeitungsschritte den Hauptaufwand darstellen. Wie schon jetzt bei Laserscandaten ersichtlich ist, muss eine große Datenmenge zu einem brauchbaren Messergebnis reduziert werden.

Im ÖBB Vergabeverfahren muss darauf geachtet werden, dass für die jeweilige Aufgabe nötige Parameter (Genauigkeiten, etc.) eindeutig festgelegt sind. Möchte man sich im Vorhinein nicht auf eine bestimmte Methode festlegen, so sollten zumindest die Lieferkriterien eine möglicherweise aufwändige Datennachbearbeitung ausschließen. Auch bezüglich der Datenmenge ist es denkbar, dass in Zukunft Einschränkungen nötig sein können um die spätere Datenbearbeitung und -verwendung einfach halten zu können.

Sobald ausreichend viele Vergleichsdaten von Airborn-Systemen und mobilen Plattformen zur Verfügung stehen, sollte die vorliegende Bewertung ergänzt werden.

Vorschlag für vertiefte Forschung:

Der Einsatz von kurzzeitstatischer GNSS-Positionierung (Datenaufnahmen <5min incl. anschließender automatisierter Postprocessingauswertung) für Punktgenauigkeiten besser +/-1cm in nahe Echtzeit wird sich in Zukunft häufen. Verstärkte Forschung in diesem Bereich wäre sinnvoll.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

(Abbildung 0.1: Gesamtkosten / m gemessener Strecke)	8
(Abbildung 1.1: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung verschiedener Messmethoden; SCHRAML, 2015, S.62).....	16
(Abbildung 3.1: Bewertungsformular)	26
(Abbildung 4.1 und Abbildung 4.2: Tachymeter)	27
(Abbildung 4.3: Detailaufnahme des Bahnhofs Gänserndorf)	28
(Abbildung 4.4 und Abbildung 4.5: Spannmaß).....	30
(Abbildung 4.6: Bogensehne)	30
(Abbildung 4.7 und Abbildung 4.8: Gleismesswagen)	31
(Abbildung 4.9: EPOSA Netzwerk)	34
(Abbildung 4.10 und Abbildung 4.11: Schallschutzmauer)	35
(Abbildung 4.12: Gleismesswagen von Amberg).....	36
(Abbildung 4.13: Gleismesswagen von Trimble)	36
(Abbildung 4.14 und Abbildung 4.15: EM-Sat 1.0)	37
(Abbildung 4.16: Messschema)	38
(Abbildung 4.17: Triebwagen).....	39
(Abbildung 4.18: F&E Sens)	40
(Abbildung 4.19: Aufnahmeplattform)	41
(Abbildung 4.20: EM-Sat 2.0)	42
(Abbildung 4.21: Laserscanner).....	42
(Abbildung 4.22: Riegel Laserscanner)	43
(Abbildung 4.23: Einzelpunktaufnahme).....	44
(Abbildung 4.24: Punktwolke)	44
(Abbildung 4.25: Drohnenflugroute).....	46
(Abbildung 4.26: Airbornelaserscanner)	47
(Abbildung 4.27: Wirkungsbereich Technologie A).....	49
(Abbildung 4.28: Wirkungsbereich Technologie B1).....	49
(Abbildung 4.29: Wirkungsbereich Technologie B2).....	50
(Abbildung 4.30: Wirkungsbereich Technologie C und D).....	50
(Abbildung 4.31: Gleismessmethoden).....	51
(Abbildung 5.2: Linienextraktion)	54

(Abbildung 5.3: Leica Sirail aus Leica Geosystems AG, www.leica-geosystems.com).....	55
(Abbildung 6.2: Meridianstreifen M28-M31-M34)	59
(Abbildung 6.3: Konzept zur Berechnung von Korrekturrasterresiduen)	60
(Abbildung 6.3: TEPOS – Residuenraster – Länge).....	62
(Abbildung 6.3: TEPOS – Residuenraster – Breite)	62
(Abbildung 6.3: TEPOS – Residuenraster – Höhe)	62
(Abbildung 7.1: Gesamtkosten der Vermessung bei Technologie A1 als Summe von Lieferantenkosten und internen Kosten bei ÖBB INFRA).....	75
(Abbildung 7.2: Gesamtkosten / gemessenen Meter Strecke)	75
(Abbildung 7.3: Gesamtkosten / gemessener Fläche in m ²).....	76
(Abbildung 7.4: Gesamtkosten der Vermessung bei Technologie B1 als Summe von Lieferantenkosten und internen Kosten bei ÖBB INFRA).....	82
(Abbildung 7.5: Gesamtkosten / m B1).....	82
(Abbildung 7.6: Gesamtkosten / Datenpunkt B1)	83
(Abbildung 7.7: Kosten seitens ÖBB)	85
(Abbildung 7.9: Preis Auftragsvergabe).....	87
(Abbildung 7.10: Gesamtkosten / m C1).....	87
(Abbildung 7.11: Gesamtkosten / m ² C1).....	88
(Abbildung 7.12: Preis Auftragsvergabe).....	91
(Abbildung 7.13: Gesamtkosten / m C2).....	91
(Abbildung 7.14: Preis Auftragsvergabe D1)	94
(Abbildung 7.15: Gesamtkosten / m D1).....	94
(Abbildung 7.16: Gesamtkosten / m ² D1).....	95
(Abbildung 7.17: Gesamtkosten / Datenpunkt D1)	95
(Abbildung 7.18: Preis Auftragsvergabe D2)	99
(Abbildung 7.19: Gesamtkosten / m D2).....	100
(Abbildung 7.20: Gesamtkosten / m ² D2).....	100
(Abbildung 7.21: Gesamtkosten der Vermessungstechnologie bezogen auf die vermessene Streckenlänge)	101
(Abbildung 7.22: Gesamtkosten / vermessener Fläche in m ²).....	102
(Abbildung 8.1: mögliche Anwendung der verschiedensten Methoden).....	110
(Abbildung 9.1: Luftbild Teststrecke)	111

TABELLENVERZEICHNIS

(Tabelle 0.1: Clusterung)	6
(Tabelle 0.2: Kosten pro Datenpunkt je Genauigkeitwert)	9
(Tabelle 1.1: Streckenklassen)	14
(Tabelle 1.1: Systembewertungsraster nach Technologien (Leerformular)).....	24
(Tabelle 6.1: Koordinaten)	61
(Tabelle 7.1: A1-1)	65
(Tabelle 7.2: A1-2)	66
(Tabelle 7.3: A1-3)	67
(Tabelle 7.4: A1-4)	68
(Tabelle 7.5: A1-5)	69
(Tabelle 7.6: A1-6)	70
(Tabelle 7.7: A1-7)	71
(Tabelle 7.8: A1-8)	72
(Tabelle 7.9: A1-9)	73
(Tabelle 7.10: A1-10)	74
(Tabelle 7.11: B1-1)	77
(Tabelle 7.12: B1-2)	78
(Tabelle 7.13: B1-3)	79
(Tabelle 7.14: B1-4)	80
(Tabelle 7.15: B1-5)	81
(Tabelle 7.16: B2)	84
(Tabelle 7.17: C1-1)	86
(Tabelle 7.18: C2-1)	89
(Tabelle 7.19: C2-2)	90
(Tabelle 7.20: D1-1)	93
(Tabelle 7.21: D1-2)	94
(Tabelle 7.22: D2-1)	96
(Tabelle 7.23: D2-2)	97
(Tabelle 7.24: D2-3)	98
(Tabelle 7.25: Anzahl der Punkt aufgegliedert nach der Genauigkeit)	103

(Tabelle 7.26: Summe für jede Genauigkeitsklasse)	103
(Tabelle 7.27: Anteil der Genauigkeitsklassen an der Gesamtpunktzahl)	104
(Tabelle 7.28: Kehrwerte der Verteilung)	104
(Tabelle 7.29: gemittelten Kehrwerte)	105
(Tabelle 7.30: normierten gemittelten Kehrwerte)	105
(Tabelle 7.31: gewichteten Kosten pro Punkt der einzelnen Genauigkeiten)	106
(Tabelle 7.32: Zusammenstellung der Ausgangsdaten)	107
(Tabelle 7.33: Abweichungen)	107