

# Modellierung von Tunnelbauwerken in BIM-Systemen unter Berücksichtigung besonderer Referenzsysteme für den länderübergreifenden Lage- und Höhenbezug<sup>1</sup>

## Modelling of Tunnel Structures in BIM Systems under Consideration of Special Reference Systems for the Transnational Position and Height Reference

Gregor Windischer, Matthias Hofmann, Robert Glatzl, Konrad Bergmeister

Bei länderübergreifenden Bauprojekten existieren normalerweise unterschiedliche Systeme der Landesvermessung, welche in der Regel nicht zueinander spannungsfrei sind. Für das Projekt des Brenner-Basistunnels (BBT), welches den Alpenhauptkamm zwischen Österreich und Italien unterquert, wurde ein länderübergreifendes Lage- und Höhenbezugssystem gewählt. Aufgrund der großen Längserstreckung ergeben sich für die BIM-Modellierung neue Problemstellungen und Herausforderungen, welche in dieser Art bei räumlich eingeschränkten Bauwerken (z. B. Hochbauten) keine Berücksichtigung finden müssen. Einer dieser Punkte ist z. B. die Wahl des Koordinatensystems. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit den Besonderheiten des projektspezifischen Referenzsystems „BBT\_TM-WGS84“ und Höhensystems „UELN“ des Brenner-Basistunnels sowie der besonderen Schweresituation im Projektgebiet und deren Auswirkungen auf die Modellierung des Tunnelsystems als BIM-3D-Modell.

**Schlüsselwörter:** BIM, Brenner Basistunnel, Referenzsystem

*In the case of cross-border construction projects, one typically encounters different national reference systems, which are usually not free of constraints from each other. For the project of the Brenner Base Tunnel (BBT), which crosses the main Alpine ridge between Austria and Italy, a transnational position and height reference system was chosen. Due to the large longitudinal extension, specific problems and challenges arise for the BIM modelling, which do not have to be taken into account for spatially limited structures (e. g. buildings). One of these issues refers to the choice of the coordinate system. This paper deals with the special features of the project-specific reference system “BBT\_TMWGS84” and the height system “UELN” of the Brenner Base Tunnel as well as the particular gravity situation in the project area and its effects on the modelling of the tunnel system as a BIM3D model.*

**Keywords:** BIM, Brenner Base Tunnel, reference systems

<sup>1</sup> Der vorliegende Aufsatz ist die Zweitveröffentlichung des im Tagungsband „Hanke, K.; Weinold, T. (Hrsg.) (2019): 20. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2019“ veröffentlichten Beitrags.

## 1 EINFÜHRUNG

### 1.1 Brenner-Basistunnel

Der Brenner-Basistunnel (BBT) ist ein großes europäisches Infrastrukturprojekt des Nord-Süd-TEN-Korridors von Helsinki (Finnland) nach La Valletta (Malta). Der Korridor verbindet die Wirtschaftszentren und Häfen in Italien mit denen in Deutschland und Skandinavien. Die beiden 64 km langen, parallelen, eingleisigen Eisenbahntunnel des BBT ermöglichen es Güter- und Personenzügen, die Alpen zwischen Österreich und Italien zu überqueren (Abb. 1), ohne den 1371 m hohen Brennerpass überwinden zu müssen /Bergmeister 2011/. Ein Erkundungstunnel für die geologische und hydrogeologische Erkundung wird in der Mitte, 12 m tiefer, zwischen den eingleisigen Eisenbahntunneln ausgebrochen. Etwa 50 % des 230 km langen Tunnelsystems des BBT werden mit Tunnelbohrmaschinen und etwa 50 % mittels Sprengvortrieb ausgebrochen. Bis Oktober 2018 waren bereits rund 40 % der gesamten Länge des Tunnelsystems ausgebrochen.

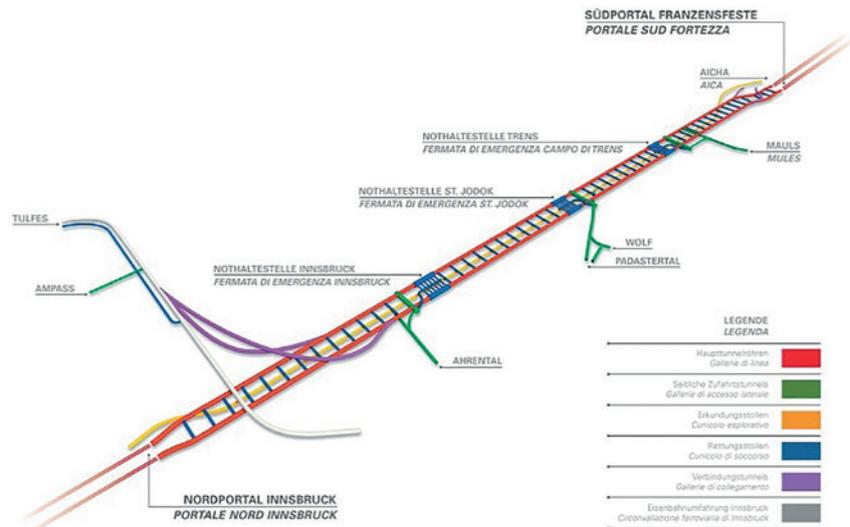


Abb. 1 | Trasse des Brenner-Basistunnels

### 1.2 Geolokalisierung/Georeferenzierung

Die Grundlagenvermessung, Planung und Übertragung von Planungsdaten in die Natur ist eine notwendige Aufgabe bei der Errichtung eines Bauwerks. Dieses muss die richtigen Abmessungen haben und insbesondere am richtigen Ort, in der richtigen Höhe platziert werden. Diese Aufgabe, die auch als Aufnahme bzw. Absteckung bezeichnet wird, liegt in der Verantwortung der Geodäten. Sie kann je nach Bauwerk in einem lokalen oder globalen Kontext erfolgen und gilt in der Regel als gelöstes und überschaubares Problem.

Für Infrastrukturobjekte (z. B. Straßen oder Eisenbahnen) erfolgt die Aufnahme und Absteckung in erster Linie im globalen Kontext. Überlappungen und Berührungen mit benachbarten Objekten (wie Kreuzungen oder Bahnhöfen) stellen Zwangspunkte (d. h. geometrische Randbedingungen) dar, die berücksichtigt und eingehalten werden müssen. Alle Objekte, die den Entwurf beeinflussen, können in ein großflächiges geodätisches Koordinaten- bzw. Referenzsystem (KOS) eingebunden werden. Diese werden in der Regel von den Vermessungsämtern der einzelnen Länder bereitgestellt.

Zur Georeferenzierung führen /Markič et al. 2019/ an: KOS sind in zwei unabhängige Systeme aufgeteilt: die Lage- und die Höhenreferenz, genannt geodätisches bzw. vertikales Datum. Eine geometrische Projektion des geodätischen Datums verebnet die Erdkrümmung und bildet zusammen mit dem vertikalen Datum ein klar definiertes KOS (Kaden & Clemen 2017/, /ISO 19111/. Eine umfassende Sammlung dieser Systeme und ihrer Kombinationen ist die Datenbank der European Petroleum Survey Group (EPSG), in der

fast 6000 KOS aus aller Welt zusammen mit Datumsdefinitionen und Transformationen aufgelistet sind /EPSG 2018/.

Die KOS der EPSG eignen sich in der Regel nicht optimal für den Tunnelbau, da deren Hauptzweck in der Abbildung großräumiger Gebiete oder Staaten liegt. Daher ist es üblich, für die Tunnelbaustelle ein neues, lokales Projektkoordinatensystem (PKOS) zu definieren, das eine gemeinsame Grundlage für die gesamte Projektdokumentation und den Bau bildet. Die verfügbaren Bestandsunterlagen werden dann in das PKOS transformiert oder neu vermessen, was eine hohe Präzision und Qualität gewährleistet.

Wenn ein Tunnelbauprojekt, wie der BBT, mehrere Länder umfasst, liegen die Bestandsunterlagen in verschiedenen nationalen KOS vor. Somit ergeben sich bereits zu Beginn der Planungsphase Probleme, da eine spannungsfreie Transformation zwischen den KOS eine anspruchsvolle und kaum lösbare Aufgabe ist. Durch den Einsatz des projekteigenen PKOS entfällt die Notwendigkeit, die Koordinaten jedes einzelnen Objekts in zwei verschiedenen KOS zu bearbeiten.

### 1.3 Risiken

Eine oft unterschätzte Gefahr im Umgang mit KOS und dem PKOS ist die Vermischung beider Systeme. Dies hat erhebliche Auswirkungen, da die Korrektur eines solchen Fehlers anspruchsvoll und herausfordernd sein kann. Seine Folgen sind bestenfalls nur peinlich (Höhenfehler Hoahrheinbrücke, /Conchúir 2016/) und schlimmstenfalls wirklich teuer (Autobahnbrücke um etwa einen halben Meter versetzt /Spiegel 2015/).

## 2 BRENNER-BASISTUNNEL

Zu Beginn des Projekts im Jahr 2001 mussten Geodaten aus den beiden am Projekt beteiligten Ländern zusammengeführt werden, um einen klaren Planungsprozess zu gewährleisten und Fehler beim Untertagebau zu vermeiden. Allerdings verwenden beide Länder

Property	Austria	Italy	BBT
Responsible authority	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV)	Instituto Geografico Militare (IGM)	Prof. Ing. Franco Guzzetti <sup>2</sup>
Geodetic datum	MGI	Monte Mario	WGS84 <sup>2</sup>
EPSG	4312	4265	4326
Ellipsoid	Bessel 1841	International 1924	WGS84 <sup>3</sup>
EPSG	7004	7022	7030
$R_{\text{major}}$	6,377,397.155 m	6,377,388 m	6,378,137.0 m
$f^{-1}$	299.1528128	297	298.257223563
Projected CRS	Austria M28, M31 & M34	Italy zone 1 & 2	BBT_TM-WGS84
EPSG	31,257, 31,258 & 31,259	3003 & 3004	not set
Scale factor	1.0000	0.9996	1.000121
False easting	150 km	1,500 & 2,520 km	20 km
False northing	-5,000 km	0 km	5,105.739717 km
Projection	Gauss-Kruger	Gauss-Boaga	TM
EPSG	9807	9807	9807
Central meridian	10° 20' E, 13° 20' E & 16° 20' E	19° 0' E & 15° 0' E	11° 30' 42.5775" E
CS Origin <sup>4</sup>	48° 16' 15.29" N	41° 55' 25.51" N	46° 58' 50.7947" N
	16° 17' 41.06" E	12° 27' 08.40" E	11° 31' 42.5775" E
Vertical datum	Trieste datum	Genova datum	EVRF2007
EPSG	1050	1051	5215

Tab. 1 | Die Eigenschaften der geodätischen und vertikalen Referenzflächen und der projizierten Koordinatenbezugssysteme (KOS), welche von den am Brenner-Basistunnel (BBT) beteiligten Ländern verwendet werden /Mugnier 2005/, /Macheiner 2015/. Für jedes Element werden sein Code und Name aus der Datenbank der European Petroleum Survey Group (EPSG) sowie zusätzliche Parameter angegeben /EPSG 2018/.

völlig unterschiedliche KOS, wie in Tab. 1 dargestellt ist. Daher standen drei Optionen zur Auswahl:

1. Konvertieren aller österreichischen Geodaten in das italienische KOS und bearbeiten im italienischen KOS.
2. Konvertieren aller italienischen Geodaten in das österreichische KOS und bearbeiten im österreichischen KOS.
3. Schaffen eines dritten KOS und konvertieren sowohl der österreichischen als auch der italienischen Daten in dieses. Dieses System kann ein bestehendes KOS sein oder komplett neu definiert werden.

Das Projektteam entschied sich für die dritte Option und wählte zu Beginn der Planungsphase als PKOS das UTM 32N ITRF 1994.0. Zu Baubeginn definierte die BBT SE dann ein völlig neues PKOS namens „BBT\_TM-WGS84“. Eine kurze Übersicht über die Eigenschaften ist in Tab. 1 (rechte Spalte) dargestellt.

## 2.1 Geodätisches Datum, Lagebezugssystem

Österreich verwendet, neben der Einführung des UTM-Systems, noch ein lokales Best-Fit-Ellipsoid, Bessel-Ellipsoid 1841, während

Italien eines der ersten globalen Best-Fit-Ellipsoide, International 1924, verwendet. Das Projektteam entschied sich für den Einsatz des WGS84, da dies die Transformationen aus naheliegenden Gründen vereinfacht. Darüber hinaus lassen sich GNSS-basierte Ergebnisse leichter in das Projekt integrieren, da nur die spezielle Projektion angewendet werden muss.

## 2.2 Vertikales Datum, Höhenbezugssystem

Der Höhenunterschied zwischen dem österreichischen (Pegel Adria) und italienischem (Pegel Genua) Höhensystem beträgt am Brenner ca. 12 cm. Das gewählte vertikale Bezugssystem ist der European Vertical Reference Frame 2007 (EVRF2007), der über das United European Levelling Network (UELN) realisiert wurde.

## 2.3 Bezugsfläche

Die Geoidundulation zum Ellipsoid WGS84 reicht im Bereich des Tunnels von  $N = 49$  m bis 51 m. Um eine bessere Übereinstimmung zwischen der Natur und den Geodaten zu erreichen und den

<sup>2</sup> Prof. Ing. Franco Guzzetti is associate professor at the Polytechnic University of Milan.

<sup>3</sup> WGS84 stands for World Geodetic System 1984 and is the name of the geodetic datum as well as its underlying ellipsoid.

<sup>4</sup> The reference lines are the Equator and the Greenwich meridian.

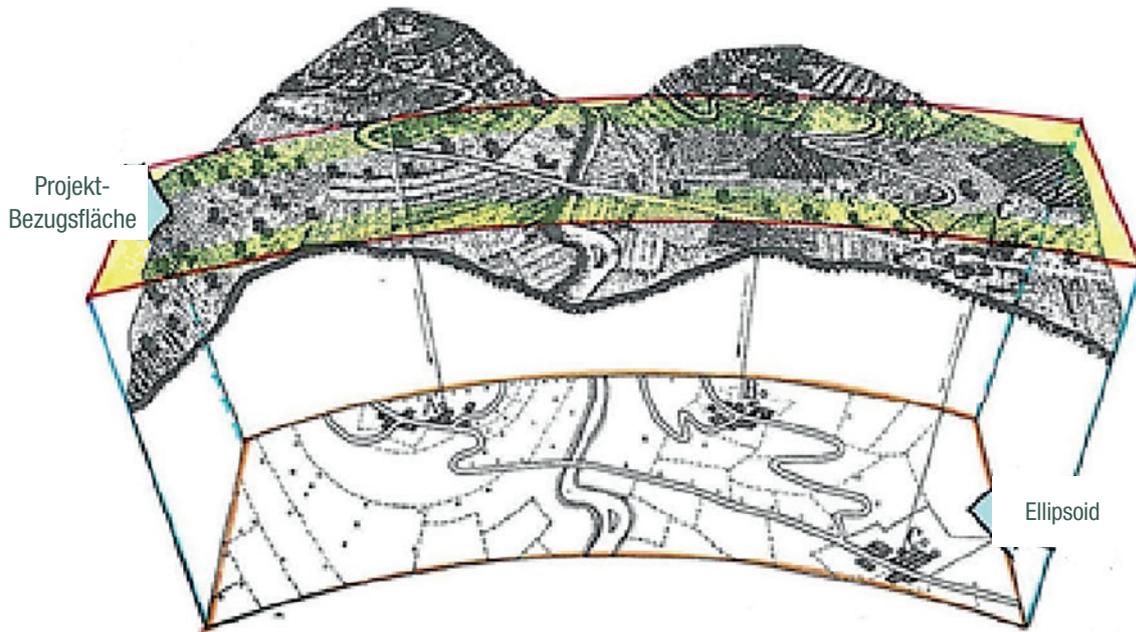


Abb. 2 | Das WGS84-Ellipsoid und die Höhenbezugsfläche im Projektbereich

rechnerischen Aufwand zu verringern, wurde die Projekt-Bezugsfläche definiert, die  $H_{orth} = 770$  m ( $H_{ell} = 720$  m) über dem Ellipsoid liegt (Abb. 2). Dadurch werden die Daten aus dem Ellipsoid mit dem Maßstab  $m_{ref,plane} = 1,000121$  skaliert.

## 2.4 Koordinatensystem

Es ist von Vorteil, dass der Projektbereich durch die Projektion so wenig wie möglich verzerrt wird. Da sich das Projektgebiet primär in Nord-Süd-Richtung erstreckt, ist es optimal, eine TM-Projektion so zu definieren, dass ihr Mittelmeridian so nah an der Tunnelachse verläuft, damit möglichst ein konstanter Maßstab über das gesamte Projektgebiet gewährleistet ist. Der gewählte Meridian ist  $11^{\circ} 31' 42,5775''$  E von Greenwich, wie in Abb. 3 dargestellt, was sicherstellt, dass das gesamte Projekt innerhalb von  $\pm 10$  km um den Meridian liegt. Daher sind die Verzerrungen der Projektion praktisch vernachlässigbar. Die Länge der Weströhre von 54 679 m

ist im BBT PKOS um 4 m länger als im KOS UTM 32N und um 0,8 m länger als im GK M28.

## 2.5 Lotabweichung und Erdschwere

Aufgrund der großen Unterschiede der Erdschwere entlang des Tunnels wurden von der Technischen Universität Graz im Rahmen der Definition des vertikalen Bezugssystems die Lotabweichungen und Schwere entlang der Tunnelachse gemessen und ausgewertet. Die Korrekturen der Projekthöhe aufgrund von Schwerkraftanomalien liegen zwischen 5,5 cm und 17 cm und ihr detaillierter Verlauf ist in Abb. 4 dargestellt. Die orts- und wegabhängige Korrektur ist an den gemessenen Höhenunterschied anzubringen und wird z.B. bei der BBT mittels Software automatisiert berechnet.

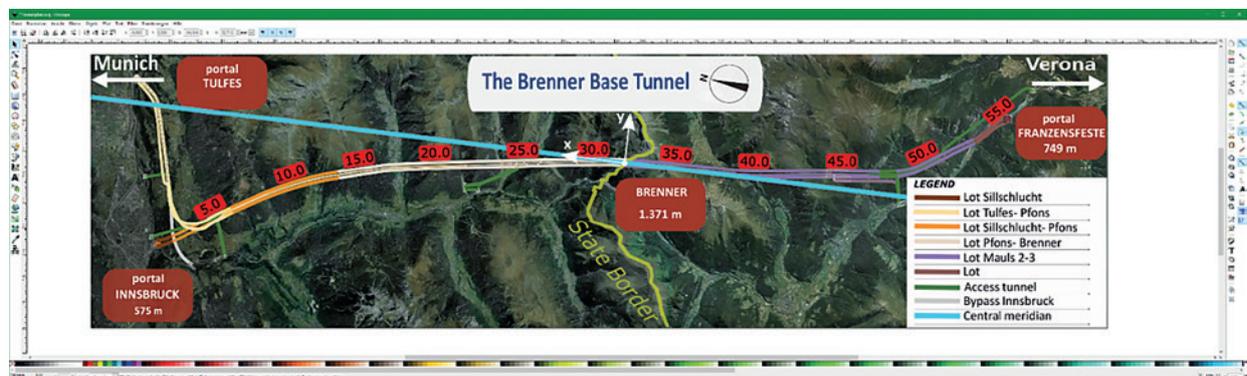


Abb. 3 | Plan des BBT-Projektstandorts, auf dem die Topographie, die Staatsgrenze Österreich-Italien, die Tunnelachsen zusammen mit dem Mittelmeridian, dem Koordinatenursprung und den Koordinatenachsen dargestellt sind

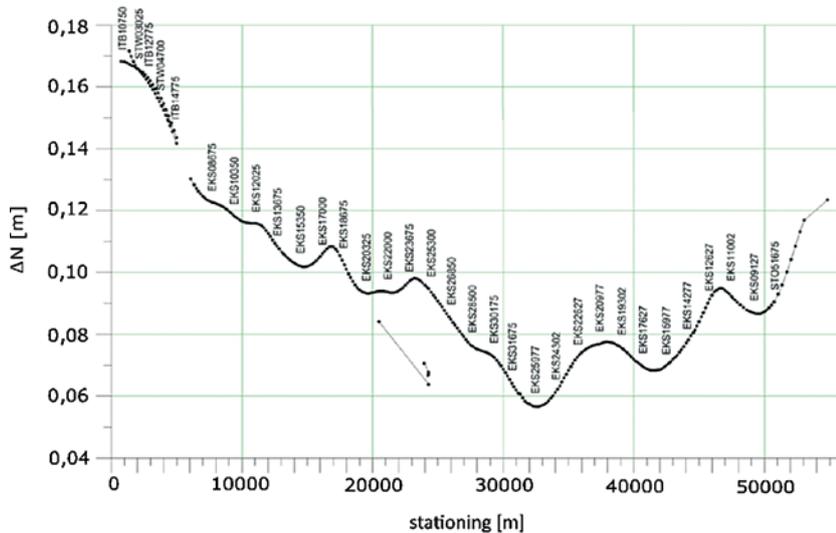


Abb. 4 | Detaillierte Messungen der Lotabweichung und Schweremessungen führten zu präzisen Höhenkorrekturen entlang der Tunnelachse, welche hier zusammen mit Punktnummern einzelner Punkte dargestellt sind (Auswertungen BEV 2018)

### 3 BIM-MODELLIERUNG VON TUNNELBAUWERKEN

Ein BIM-Modell enthält Informationen, die für Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung relevant sind. Die 3D-Geometrie ist eine der wichtigsten Informationen, ohne die viele BIM-Anwendungen nicht möglich wären. Eine wichtige Entwicklung im Bauwesen ist die parametrische Modellierung, um Modelle schnell an sich ändernde Rahmenbedingungen anzupassen /Borrmann et al. 2015/. Insbesondere im Tunnelbau sind Geometrieänderungen jederzeit möglich, z.B. bei Anpassungen der Achsen durch Messungenauigkeiten. Beim Tunnelbau ist die Bogenlänge der horizontalen Achse (Stationierung) der wichtigste Parameter.

Wichtige Vorteile der Verfügbarkeit eines 3D-Modells sind zum Beispiel:

- 2D-Pläne (Ansichten, Schnitte) können konsistent abgeleitet werden;
- einfachere und genauere Mengenermittlung und Plausibilitätsprüfungen;
- Grundlage für weitere Analysen und Berechnungen (z. B. geologische Untersuchungen, Aushubdaten, statische Untersuchungen, ...);
- Basis für Visualisierungen und Reporting-Tools.

Mögliche BIM-Anwendungen sind unter anderem:

- Bestandsdokumentation,
- Bauaufsicht,
- Öffentlichkeitsarbeit/Visualisierungen,
- Dokumentation von Aushubprozessen,
- Verwaltung von Tunnelscandaten.

Wie /Markič et al. 2019/ in Ihrer Literaturrecherche anführen,

- weisen Branzzetti & Banfi auf die Vorteile parameterischer Modellierung hin,
- führen Kaden & Clemen die Wichtigkeit eines korrekten Verständnisses hinsichtlich geodätischer Referenzsysteme an,
- gibt Heuneke Beispiele für die Auswirkungen unterschiedlicher Projektionssysteme und unterstreichen Ugglä & Horemuz die

Erfordernisse einer 1:1-Abbildung der Wirklichkeit; vgl. hierzu auch den Abschnitt über Koordinatensysteme weiter oben.

- Außerdem beleuchten /Markič et al. 2018/ das IFC-Schema und machen Vorschläge für mögliche Erweiterungen.

#### 3.1 BIM-Standards

buildingSMART International (bSI), früher bekannt als International Alliance for Interoperability (IAI), ist die internationale Gemeinschaft hinter den BIM-Standards. Diese reichen von den herstellereutralen BIM-Datenformaten Industry Foundation Classes (IFC) /ISO 16739:2013/ und BIM Collaboration Format (BCF) über die Information Delivery Manuals (IDM) bis hin zu International Framework for Dictionaries (IFD).

Die Georeferenzierung von BIM-Modellen ist mit der Einführung von langgestreckten Objekten aus der Infrastruktur in den BIM-Kontext zu einem interessanten Thema geworden. bSI-Mitglieder haben sich in einem ihrer jüngsten Projekte Model Setup IDM mit diesem Thema beschäftigt. Im Mittelpunkt des Projekts stand der Anwendungsfall der Georeferenzierung. Die IFC-Versionen 2x3 und 4 wurden eingehend untersucht und ein Leitfaden für Implementierer veröffentlicht.

#### 3.2 Modellierung

Die Konstruktionsdaten müssen während des Projekts mehrmals angepasst und später für die Betriebs- und Wartungsphase archiviert werden. Derzeit geschieht dies meist durch den Austausch von papierbasierten und digitalen Plänen sowie zusätzlichen unterstützenden Projektinformationen. Georeferenzierung ist eines der wichtigsten Elemente bei der Festlegung der Konstruktion.

Das IFC-Schema ermöglicht den Austausch von georeferenzierenden Metadaten in den Entitäten `IfcMapProjection` und

lfcProjectedCRS. Ersteres ermöglicht die Reduzierung der Koordinatengrößen und Letzteres speichert die Informationen über das zugrunde liegende geodätische KOS mit seinem EPSG-Code (*Abb. 7 rechts*) /ISO 16739/, /buildingSMART 2018/. Obwohl dies die meisten Fälle abdeckt, ist dies für das BBT-Projekt nicht ausreichend. Da das BBT-Projekt neue projizierte und zusammengesetzte KOSs definiert hat, haben diese keinen EPSG-Code (vgl. *Tab. 1*) und können daher nicht mit dem gängigen IFC-Format ausgetauscht werden. Diese Unzulänglichkeit wurde von /Markič et al. 2018/ aufgezeigt, die eine Lösung durch eine entsprechende Erweiterung des IFC-Schemas vorgeschlagen haben. Derzeit müssen solche Informationen in einer zusätzlichen Datei im Anhang der Projektdokumentation ausgetauscht werden.

### 3.2.1 Approximation einer 3D-Achse mit Polylinien

Die einfachste Methode zur Annäherung an eine 3D-Achse ist eine Polylinie (d. h. elementare lineare Kurve), die aus geraden Linien zwischen ausreichend genau berechneten Punkten auf der Achse besteht. Mathematisch gesehen ist diese polygonale Approximation  $C0$ -kontinuierlich, d. h. die Funktionswerte sind kontinuierlich, Tangenten und höhere Ableitungen und damit die Krümmung nicht. Obwohl die Position der Achse mit diesem Ansatz ausreichend genau beschrieben werden kann, wird der Fehler in Querrichtung größer, da die Tangentialrichtung nur grob approximiert wird.

Ein weiterer Nachteil ist, dass im Vergleich zu dem im nächsten Abschnitt vorgestellten Näherungsverfahren eine relativ große Anzahl von vorberechneten Knoten erforderlich ist. Dies kann aufgrund der Größe des BBT zu einem deutlich höheren Speicherbedarf und damit zu längeren Verarbeitungszeiten für ein darauf aufbauendes 3D-Modell führen /Hofmann et al. 2019/.

### 3.2.2 Näherung höherer Ordnung einer 3D-Achse

Aufgrund der oben genannten Nachteile der polygonalen Approximation ist eine geometrische Approximation der Achse mit höheren Kontinuitätsanforderungen vorteilhaft. Einige Achselemente (Geraden, Parabeln) sind polynomial. Daher ist ein polynomialer Modellierungsansatz mit der Stationierung als Parameter vielversprechend. Zudem konvergieren die Potenzreihen für Kreise und

Klothoiden sehr schnell, sodass nur wenige Terme benötigt werden. Dieser Ansatz wird in der Regel bei der Vermessung eingesetzt.

In CAD-Systemen werden gekrümmte Geometrien auch als Freiformkurven und -flächen bezeichnet. Die gebräuchlichsten Arten von Freiformkurven sind Bézier-Kurven, B-Splines und NURBS (Non-Uniform Rational BSplines). Alle drei Arten werden durch eine Reihe von Kontrollpunkten definiert, wobei der erste und letzte Kontrollpunkt auf der Kurve liegen und die übrigen Kontrollpunkte den Pfad zwischen diesen definieren. Diese Freiformkurven werden mathematisch als parametrische Kurven bezeichnet. Bézier- und B-Spline-Kurven sind elementweise Polynome. Sie eignen sich daher hervorragend zur Modellierung der Achse von Infrastrukturbauwerken. Es ist wichtig, dass das verwendete CAD-System Kurven höherer Ordnung ( $> 10$ ) unterstützt, um eine ausreichende Genauigkeit für stark gekrümmte Elemente zu erreichen /Hofmann et al. 2019/.

In *Abb. 5* ist die Approximation einer Klothoide mit einer Bézier-Kurve der Ordnung 25 bzw. eines Kreises der Ordnung 11 dargestellt. Die Punkte zeigen die Kontrollpunkte der Bézier-Kurven an.

*Abb. 5* zeigt, dass Bézier-Kurven für die Modellierung von Achselementen geeignet sind. Mit diesem Ansatz wurden die Achsen des BBT-Systems modelliert. *Abb. 6* zeigt eine Ansicht der 3D-Achsen des gesamten BBT-Systems und *Abb. 7* zeigt ein Detail der Haupt-, Verbindungs-, Zugangs- und Erkundungsstollen im Bereich „Ahrental“. Punkte kennzeichnen die Anfangs- und Endpunkte der Kurvensegmente.

Eine Eigenschaft der Bézier-Kurven ist, dass sie affin invariant sind. Das bedeutet, dass affine Transformationen wie Translation und Rotation durch Transformation ihrer Kontrollpunkte angewendet werden können. Transfers zwischen Koordinatenbezugssystemen sind eine häufige Aufgabe im Tunnelbau /Markič et al. 2019/. Für diese Aufgabe wird häufig die Helmert-Transformation verwendet. Diese ist eine vereinfachte affine Transformation. Daher ist der vorgestellte explizite geometrische Modellierungsansatz für solche Transformationen gut geeignet.

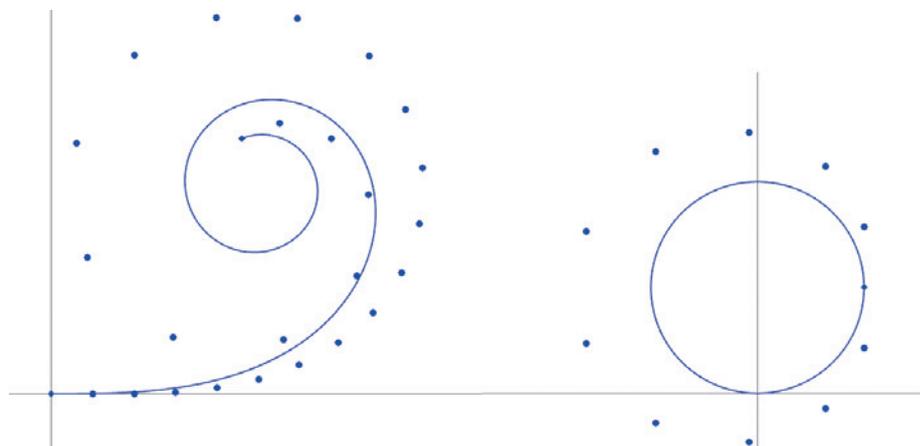


Abb. 5 | Modellierung einer Klothoide und eines Kreises mit Bézier-Kurven der Ordnung 25 bzw. 11

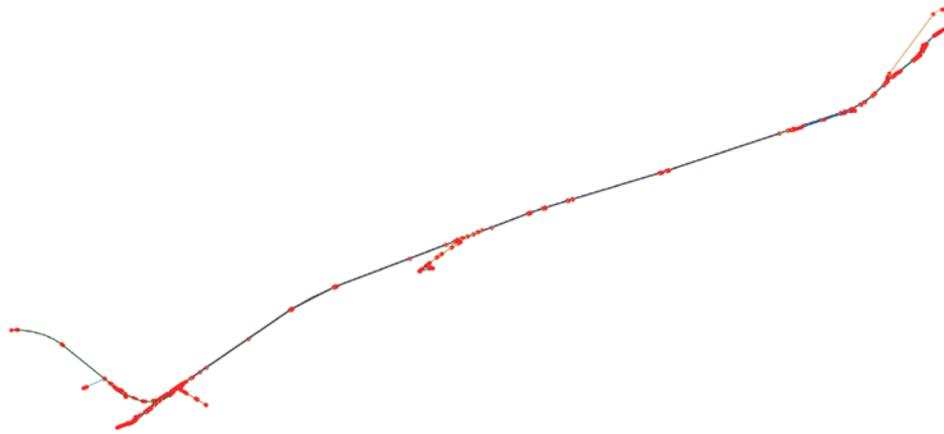


Abb. 6 | Achsen des BBT-Systems, modelliert mit Bézier-Kurven

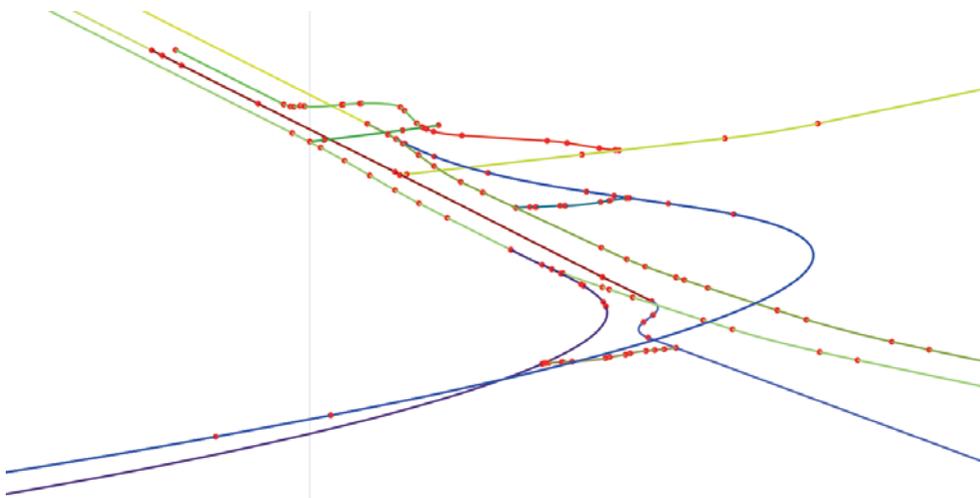


Abb. 7 | Detail der Achsen von Haupt-, Verbindungs- und Erkundungsstollen im „Ahrental“

### 3.3 Geometrische Modellierung von Querschnitten

Querschnitte bestehen in der Regel aus Kreisbögen und Geraden, d. h. einer Teilmenge von geometrischen Elementen einer Achse. Die geometrische Modellierung von Querschnitten ist also ähnlich wie die Modellierung von Achsen, wird jedoch hier nicht weiter erläutert.

### 3.4 Geometrische Modellierung eines 3D-Modells

Mit einem geeigneten geometrischen Modell einer Achse und entsprechenden Querschnitten kann das 3D-Modell eines Tunnels mit Standard-CAD-Methoden wie „Extrusion“, „Sweep“ und „Lofting“ erzeugt werden. 3D-Modelle mehrerer Tunnelsegmente können mit Booleschen Operationen zusammengeführt werden, um ein gemeinsames Modell eines Tunnelsystems zu erhalten. *Abb 8* zeigt ein 3D-Modell eines Bereichs des BBT-Tunnelsystems (Haupt- und Verbindungstunnel im Bereich „Ahrental“), das mit diesen Standard-CAD-Methoden erstellt wurde.

## 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

In diesem Beitrag werden die Besonderheiten des beim Brenner-Basistunnel eingesetzten Bezugssystems, bestehend aus dem geodätischen Datum „BBT\_TM-WGS84“ und dem vertikalen Datum



Stadt Köln

Die Oberbürgermeisterin

Die Stadt Köln vergibt „Topografische Straßenschlussvermessungen“, deren Bestandspläne in digitaler Form im „Geograf-Format“ auf der Grundlage eines Leistungsverzeichnisses und einer Abbildungsvorschrift zu erstellen sind.

Interessierte Büros können sich um die Teilnahme an der Vergabe bis zum 01.10.2019 bewerben. Die Auftragserteilung erfolgt über eine freie Vergabe. Auskunft erteilt Herr Bonzelett, Telefon (0221) 221 230 64.

**Amt für Liegenschaften, Vermessung und Kataster**  
Willy-Brandt-Platz 2, 50679 Köln  
Mail: Michael.Bonzelett@stadt-koeln.de

„UJELN“, beschrieben. Weiterhin wird auf die Situation hinsichtlich Lotabweichungen und Erdschwere entlang der Tunnelachse und dazu erforderlicher Höhenkorrekturen eingegangen.

Die Verwendung unterschiedlicher Projektionen und die Wahl der horizontalen Bezugsfläche zeigen im ungünstigen Fall nicht zu vernachlässigende Streckendifferenzen von mehreren Metern entlang der Tunnelachse. Daraus folgt die Wichtigkeit der Wahl eines geeigneten Bezugsrahmens für eine möglichst maßstabgetreue (1:1) Erstellung von BIM Modellen bei langgestreckten Infrastrukturbauwerken.

Ein weiterer Kernaspekt der dargestellten Zusammenhänge ist die Modellierung der Tunnelachsen mittels affin invarianten Geometrieobjekten (Bézier-Kurven u. Ä.), damit diese im Zusammenhang mit anfallenden Koordinatentransformationen, z. B. aufgrund von Durchschlagkorrektur, stetig (sprungfrei, mit stetiger Krümmung) in das korrigierte System übergeführt werden können.

Es ist geplant, das gesamte Tunnelsystem des BBT in naher Zukunft als 3D-Modell zu modellieren. Auf dieser Grundlage werden dem Modell zusätzliche Informationen hinzugefügt, um „echte“ BIM-Modelle zu erhalten und operativ zu nutzen.

## LITERATUR

Bergmeister, K. (2011): Brenner Basistunnel. Brenner Base Tunnel. Galleria di Base del Brennero. „Der Tunnel kommt“, „The Tunnel Will Be Built“, „La Galleria diventa realtà“. Tappeinerverlag, Lana.

Borrmann, A.; König, M.; Koch, C.; Beetz, J. (2015): Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis (Building Information Modeling – Technological foundations and industrial practice). VDI-Buch, Springer Fachmedien, Wiesbaden.

buildingSMART International (2018): Model Setup IDM, Vol I: Geo-referencing BIM. <https://bsi-intranet.org/kos/WNetz?art=Folder.show&id=5568> (31.08.2018).

Conchúir, D. Ó. (2016): Great miscalculations: the importance of validating project management assumptions. Engineers Journal, Engineers Ireland. <http://www.engineersjournal.ie/2016/06/28/gmiscalculation-laufenburg-bridge> (05.03.2018).

EPSG (2018): The European Petroleum Survey Group homepage. <http://www.epsg.org> (31.08.2018).

Hofmann, M.; Windischer, G.; Glatzl, R. W.; Bergmeister, K.; Markič, Š.; Borrmann, A. (2019): Requirements and Methods for geometric 3d Modelling of Tunnels. ITA-AITES World Tunnel Congress, Naples, Italy.

ISO 16739:2013 (2013): Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Standard International Organization for Standardization Geneva, CH.

Macheiner, K. (2015): Drei große Eisenbahn-Tunnelprojekte in Österreich – ein Vergleich ausgewählter Aspekte aus der Sicht der ingenieurgeodätischen Praxis (Three big railway projects in Austria – a comparison of chosen aspects from the view of the engineering survey). In: Vermessung & Geo-information 4(2015), 221 – 234.

Markič, Š.; Borrmann, A.; Windischer, G.; Glatzl, R. W.; Hofmann, M.; Bergmeister, K. (2019): Requirements for geo-locating transnational Infrastructure BIM Models. ITA-AITES World Tunnel Congress, Neapel, Italien.

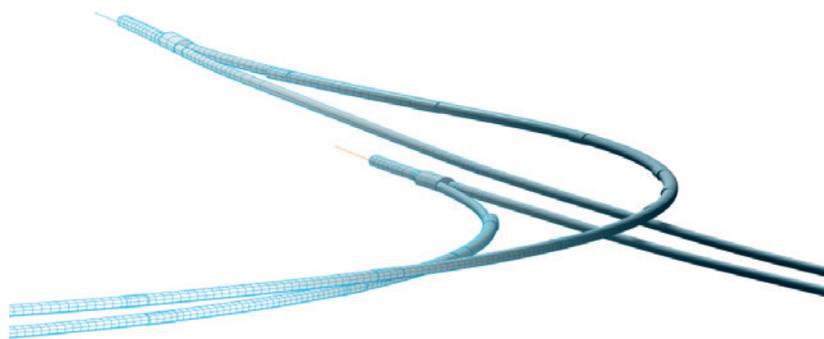


Abb. 8 | 3D-Modell von Haupt- und Verbindungstunneln im Bereich „Ahrental“

Markič, Š.; Donaubaauer, A.; Borrmann, A. (2018): Enabling Geodetic Coordinate Reference Systems in Building Information Modelling for Infrastructure. In: Proceedings of the 17th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. Tampere, Finland.

Mugnier, C. (2005): Italian Republic. In: Grid&Datums 71(2005)8, 889 – 890.

Spiegel (2015): Behörde baut Autobahnbrücke an falsche Stelle. Spiegel Online. <http://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/steuerverschwendung-behoerde-laesst-autobahn-bruecke-an-falsche-stelle-bauen-a-1064758.html> (05.05.2018).

Dipl.-Ing. Gregor Windischer

GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
BRENNER BASISTUNNEL BBT SE

Amraser Str. 8 | A-6020 Innsbruck  
gregor.windischer@bbt-se.com

Dipl.-Ing. Dr. Matthias Hofmann

GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
BRENNER BASISTUNNEL BBT SE

Amraser Str. 8 | A-6020 Innsbruck  
matthias.hofmann@bbt-se.com

Ing. Robert Glatzl

GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
BRENNER BASISTUNNEL BBT SE

Amraser Str. 8 | A-6020 Innsbruck  
robert.glatzl@bbt-se.com

Prof. Dipl.-Ing. Dr. Dr. h. c.  
Konrad Bergmeister

GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
BRENNER BASISTUNNEL BBT SE

Amraser Str. 8 | A-6020 Innsbruck  
konrad.bergmeister@bbt-se.com