

Vorgaben zur Anwendung der BIM-Methodik

Georeferenzierung bei DB Personen- bahnhöfen in BIM-Projekten

Digitales Planen und Bauen



DB InfraGO AG - GB Personenbahnhöfe

I.IPM 4

Europaplatz 1, 10557 Berlin

Inhaltsverzeichnis

Geltungsbereich	5
1 Einleitung	6
1.1 Ziel und Zweck	6
2 Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System)	7
2.1 Allgemeine Grundlagen	7
2.1.1 Analyse des geodätischen Kontexts	7
2.1.2 Allgemeine geodätische Konzepte	8
2.1.3 DB_REF	10
2.1.4 EPSG Definitionen, Umrechnungen und Transformationen	11
2.2 Lokales Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System)	11
2.2.1 Grundsätze	11
2.2.2 Art der konformen Projektion	13
2.2.3 Die Höhe	13
2.2.4 Optimaler Maßstabsfaktor k_0	14
2.3 Eingabe, Ausgabe und Struktur der Datenbank	14
3 Workflow für Vermessung und Modellierung	17
3.1 Ziel und Zweck	17
3.2 Vermessung und Modellierung ohne Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) (problematisch)	19
3.3 Vermessung und Modellierung mit Koordinatensystem Personenbahnhöfe (Normalfall)	20
3.4 Vermessung und Modellierung mit Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA+ System) (Sonderfall)	21
4 VA-Systeme in Anwendungssoftware	23
4.1 VA anlegen und transformieren	23
4.1.1 QGIS	24
4.1.2 ESRI ArcGIS Pro	26
4.1.3 Autodesk Map3D / Civil3D	30
4.1.4 Korfin	32
4.1.5 ProVI	35
4.1.6 Card_1	35
4.1.7 Weitere 3D-Software ohne Raumbezug	39
4.1.8 Zusammenfassung	41
4.2 Sonderfall: Vermessung beginnt in VA+	42
5 Umgang mit Trassendaten	43
5.1 Trasse als Polylinie Transformieren	43
5.1.1 Transformation Trassendaten in Polylinie	43
5.2 Trassenelemente Transformieren	43
5.2.1 Transformation in KorFin	44
5.2.2 Planungsworkflow mit ProVI unter Berücksichtigung der VA-Systeme	48
5.2.3 Card_1	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Die Lage des Koordinatenreferenzsystem für BIM Projekte.	8
Abbildung 2 Für die meisten praktischen Aufgaben werden Punkte.....	9
Abbildung 3 So wie das DB_REF verwendet das VA-System projizierte Lagekoordinaten (2D).....	9
Abbildung 4 Schema des Transformationsablaufes	12
Abbildung 5 Wegen der Erdkrümmung (und dem Erdschwerefeld).....	13
Abbildung 6 Verzeichnisstruktur und Parameterdateien der VA-System Datenbank.	15
Abbildung 7 Vermessung und Modellierung ohne VA-System	19
Abbildung 8 Die übergeordnete Netzverdichtung und Trassierung finden im DB_REF statt.....	20
Abbildung 9 Beim VA+ Sonderfall.....	22
Abbildung 10 Workflow für jede Software	23
Abbildung 11 Proj-String oder CRS/WKT-String	24
Abbildung 12 Punktraster aus der Textdatei localXY.txt.....	24
Abbildung 13 QGIS Datenbank sind mehrere Definitionen des DB_REF Datums gespeichert.....	25
Abbildung 14 lokalen VA System importieren Punkte sind jetzt auf der Karte sichtbar	25
Abbildung 15 Das Punktraster wird vom VA ⇒ DB_REF/GK5 konvertiert	26
Abbildung 16 Mit einem CRS/WKT-String im ESRI Dialek	27
Abbildung 17 Alternativ kann in der Software ArcGIS Pro das VA-System auch manuell.....	27
Abbildung 18 Punktdatei (Beispiel :Lokales_2D_Raster.txt) einlesen.....	28
Abbildung 19 Als Zwischenergebnis wird die importierte Punktdatei als Punkt-Layer angezeigt	28
Abbildung 20 Das konvertierte Punktraster (VA ⇒ DB_REF/GK5) in eine Textdatei exportieren.....	28
Abbildung 21 Mit Quick Export können auch andere Export-Format, z.B. dxf gewählt werden.....	29
Abbildung 22 Tabelle mit transformierten Koordinaten erzeugen und exportieren.....	29
Abbildung 23 Anlegen des VA-Systems manuell	30
Abbildung 24 Manuelle Parametrierung des VA-Systems in Civil3D und Map3D.....	31
Abbildung 25 manuellen Parametrierung wird das erstellte VA-System zusammengefasst	31
Abbildung 26 Das Raster wird in beiden Koordinatenreferenzsystemen angelegt und angezeigt....	32
Abbildung 27: Einstellung VA-System in KorFin® Model für die Bestandsmodellierung	33
Abbildung 28: Initialisierung des VA-Systems in KorFin® für die Planung.....	33
Abbildung 29:Einstellung des Quellsystems für alle Geodaten in KorFin® Model	33
Abbildung 30:Transformationseinstellung bei Anmeldung von IFC-Quelldaten	34
Abbildung 31:Exporteinstellungsdialo aus KorFin -	34
Abbildung 32:Oberfläche Koordinatentransformation ProVI(TRANSF).....	35
Abbildung 33:Bahnhofsauswahlliste ProVI.....	35
Abbildung 34:Auswahl und Definition von Koordinatensystemen	36
Abbildung 35:VA-System eingeben.....	36
Abbildung 36: Auswahl des DB_REF Systems über EPSG-Code	37
Abbildung 37:Eigenschaften des gespeicherten DB_REF System	37
Abbildung 38:Projektdatei transformieren	38
Abbildung 39:VA-System Auswahl.....	38
Abbildung 40:VA-System Auswahl mit Filtereingabe.....	38
Abbildung 40 Projektdatei transformieren	39
Abbildung 42:KorFin Projekt anlegen.....	44
Abbildung 43:KorFin Streckenachse integrieren	44
Abbildung 44:KorFin Definition der Gleise.....	45
Abbildung 45:KorFin export der Streckenachse in das VA-System	45
Abbildung 46:KorFin Export der Gleisachse.....	46
Abbildung 47:KorFin Export der Gleisachse in ein IFC.....	46
Abbildung 48:KorFin Konvertierung MDB zu GRA/TRA	47
Abbildung 49:ProVI-Workflow mit VA-System.....	48
Abbildung 50:Card_1 Auswahl der Bahnsteigkantenlinie	48
Abbildung 52:Card_1 Bahnsteigkantenbezug auf Topografielinie	49

Nr.	Version	Datum	Änderung	Verfasser
01	1.0	11.2022	Erstausgabe	I.SPM4
02	2.0	15.11.2023	Änderungen: Umbenennung „Koordinatensystem Verkehrsanlage“ zu „Koordinatensystem Personenbahnhöfe“ Ergänzung: Abschnitt 3.4 Vermessung im VA+ System; Abschnitt 4.1 weitere Softwareanwendungen Neu Abschnitt 4.1.4 KorFin; Abschnitt 4.1.5 ProVI; Abschnitt 4.1.6 Card_1; Abschnitt 5 Umgang mit Trassendaten	I.SPM4
03	2.1	31.01.2024	Änderung von DB S&S zu InfraGO	I.IPM 4

Im Änderungsindex sind redaktionelle Änderungen, welche aus Rückmeldungen resultieren, nicht im Einzelnen aufgeführt.

Geltungsbereich

Dieses Dokument ergänzt die Vorgaben zur Anwendung der BIM-Methodik für BIM-Projekte der DB InfraGO Personenbahnhöfe AG und ist für die Georeferenzierung in BIM-Projekten der DB InfraGO AG – GB Personenbahnhöfe verbindlich anzuwenden. Dieses Dokument beinhaltet Hintergrund, Vorgaben zum Koordinatensystem Personenbahnhöfe sowie Umsetzungsbeispiele für verschiedene Autorensoftwares.

Das vorliegende **Dokument Georeferenzierung bei DB Personenbahnhöfen in BIM-Projekten** ist urheberrechtlich geschützt. Der DB InfraGO AG – GB Personenbahnhöfe steht an diesen Vorgaben das ausschließliche und uneingeschränkte Nutzungsrecht zu.

Jegliche Formen der Vervielfältigung zum Zwecke der Weitergabe an Dritte bedürfen der Zustimmung der DB InfraGO AG – GB Personenbahnhöfe durch die geschäftsverantwortliche Stelle.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

1 Einleitung

1.1 Ziel und Zweck

Die systematische, geometrische Abweichung zwischen 3D-Planung und Vermessung soll durch die optimale Definition eines Koordinatenreferenzsystems (CRS¹) minimiert werden. Die systematischen Abweichungen entstehen, da in 3D-Planungssoftwares die Erdkrümmung nicht berücksichtigt wird. Mit dem neuen Verfahren wurde für jede Verkehrsstation ein lokales CRS erstellt. Dieser Typ von CRS wird lokales Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) genannt.

Die dreidimensionale Planung und Modellkoordination ist neben dem Informationsmanagement wesentliches Moment des Building Information Modeling (BIM). Die dreidimensionale Vermessung des Bestandes ist die Grundlage der dreidimensionalen Modellierung.

Die Umformung der lokalen Koordinatensysteme Personenbahnhöfe (VA-Systeme) zum DB_REF ist einfach anzuwenden und standardisiert. Das geodätische Datum und die hohe Netzqualität des DB_REF bleiben erhalten. Statt einer globalen Gauß-Krüger Abbildung mit 3°-Meridianstreifen findet beim Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) pro Personenbahnhof eine lokal optimierte kartographische Projektion statt. Das lokale Koordinatensystem Personenbahnhöfe nutzt als Grundlage das DB einheitliche Referenzsystem DB_REF. Dadurch ist insbesondere der Trassenbezug garantiert. Hauptgegenstand ist die einheitliche Definition eines lokalen CRS für einen Maßnahmenbereich.

Weitere vermessungstechnische Motive, das neue Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) als führendes Koordinatenreferenzsystem einer Maßnahme einzuführen, werden Unterabschnitt 3.1 beschrieben.

¹ es wird das englische Akronym CRS für *coordinate reference system* verwendet

2 Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System)

Im Folgenden wird nur begründet, warum bestimmte geodätischen Konzepte für das Erstellen der Datenbank für die Koordinatensysteme Personenbahnhöfe verwendet werden. Dabei geht es um Konzepte der

- Datumsfestlegung und Datumstransformation für Lage-, Höhe- und 3D-Koordinaten
- Art und Umfang von digitalen Schwere- und Geländemodellen
- Streckenreduktionen aufgrund der Projektion und Streckenreduktionen aufgrund der Höhe.

Die praktischen Arbeitsschritte für das BIM Management, Vermessung und Modellierung werden in Abschnitt 3 beschrieben.

2.1 Allgemeine Grundlagen

2.1.1 Analyse des geodätischen Kontexts

Das lokale Koordinatensystem Personenbahnhöfe ist ein einfach zu verwendendes Koordinatensystem, das die Vorteile des deutschlandweiten DB_REF Systems mit den Vorteilen eines lokalen Koordinatensystems vereint. In der Analyse werden unterschiedliche methodische „Bausteine“, die das Koordinatensystem Personenbahnhöfe nutzt, in zahlreichen Publikationen diskutiert.

Einen allgemeinen Überblick zur Georeferenzierung von Modellen findet man im Kapitel Georeferenzierung [Clemen et al. 2022] im DVW Leitfaden "Geodäsie und BIM"². Der Beitrag gliedert die Aufgaben der Georeferenzierung in mathematische, pragmatische und IT-Aspekte. Es werden verschiedene Transformationsansätze zwischen BIM und Vermessung/GIS diskutiert. Im DVW Leitfaden Geodäsie und BIM wird im Beitrag Arbeiten im „lokalen CRS“ [Heuer 2022] ein Workflow des Wasserstraßen-Neubauamt Berlin (WSV) vorgestellt, der, wie das Koordinatensystem Personenbahnhöfen (VA-System), auf einer lokalen Projektion für die Lagekoordinaten basiert. Besonders interessant ist, dass Heuer [2022] auch die praktische Umsetzung in BIM Software in realen Projekten beschreibt.

Die speziellen Probleme, wenn globale CRS für die 3D-Modellierung langgestreckter Anlagen (Schienenwege) verwendet werden, werden u.a. in Jaud et al. [2020] thematisiert. Die Autoren gehen speziell auf die Maßstabsproblematik ein und zeigen auch, wie sich falsch interpretierte Koordinaten auf die Volumenberechnung, zum Beispiel von Erdmassen, auswirken. Clemen und Manthe [2015] haben bereits ein lokales Koordinatenreferenzsystem für das BIM-Pilotprojekt Erneuerung Hauptbahnhof Hannover empfohlen.

In der wissenschaftlichen und technischen Literatur finden sich zahlreiche Verfahren für lokale CRS, die alle das Ziel haben, die Verzerrungen aufgrund der Erdkrümmung lokal zu minimieren. Dennis [2016] zeigt, wie sich im Kontext von Low Distortion Map Projections unterschiedliche Projektionstypen auswirken. Andere Autoren, z.B. Baselga [2021], entwickeln komplexe Verfahren für Gebiete großer Höhe indem sie die Ellipsoiddimension (a,b) für lokale Messungen anpassen. Einen Überblick über die unterschiedlichen Konzepte der Ellipsoidanpassung gibt Rollins und Meyer [2019]. Weitere Publikationen vergleichen mögliche Rechenflächen für die Vermessungspraxis mit dem Ziel eine klare Begrifflichkeit zu entwickeln [Billings 2013]. Wichtige Argumente für die Berücksichtigung

² <http://www.dvw.de/BIM-Leitfaden.pdf>

der Höhe bei der CRS Konzeption beschreiben die älteren Untersuchungen zur erforderlichen Höhengenaugigkeit bei der Bestimmung des Maßstabfaktors k_0 von Burkholder [2004].

2.1.2 Allgemeine geodätische Konzepte

Wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt, stellt die Definition eines Koordinatenreferenzsystems den geometrischen Bezug zwischen 3D-Geometrie der Verkehrsanlage (VA) und Erdkörper dar.

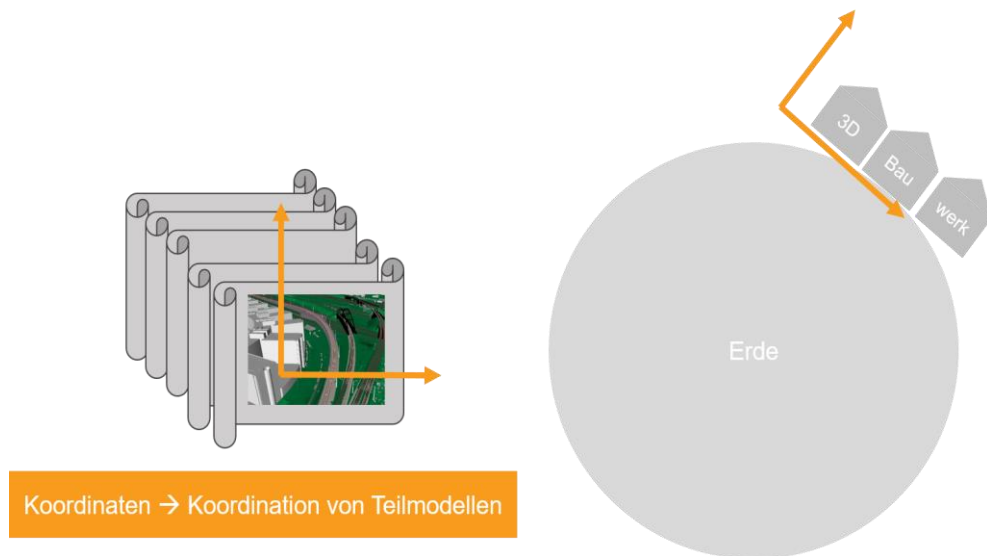


Abbildung 1 Die Lage des Koordinatenreferenzsystem für BIM Projekte muss präzise und eindeutig bezüglich der 3D-Planung und dem Erdkörper definiert werden.

Die Wissenschaft der Geodäsie liefert die mathematischen, physikalischen und konzeptionellen Grundlagen für praktische Vermessungsarbeiten. Die in Abbildung 2 schematisch dargestellten geodätischen Grundlagen sind für das Verständnis der neuen Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-Systeme) erforderlich:

- Umrechnung von erdbezogenen dreidimensionalen, kartesischen Koordinaten (X,Y,Z) in ellipsoidischen Koordinaten (λ,φ,h)
- Streckenreduktion zur Anpassung einer Horizontalstrecke in der Örtlichkeit in die projizierten Koordinaten (z.B. Gauß-Krüger Koordinaten). Die Streckenreduktion muss aufgrund der kartographischen Abbildung und der Höhe der Strecke über dem Referenzellipsoid an gemessenen Strecken angebracht werden, damit gemessene Strecke und Koordinaten zusammenpassen.

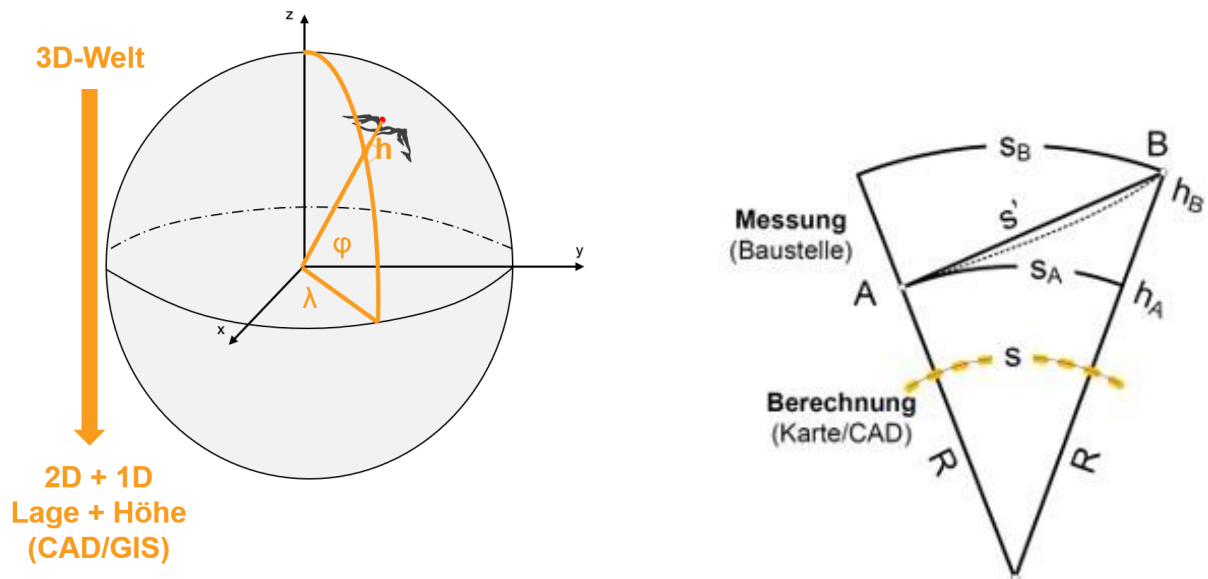


Abbildung 2 Für die meisten praktischen Aufgaben werden Punkte aus der dreidimensionalen Welt nach Lage und Höhe getrennt. Links: Umwandlung kartesischer Koordinaten (X,Y,Z) in ellipsoidische Koordinaten (λ, ϕ, h). Rechts: Die gemessenen Strecken (Baustelle) verjüngen sich auf der zweidimensionalen Rechenfläche (Karte/CAD)

Besonders wichtig für das Koordinatensystem Personenbahnhöfe ist die kartographische Projektion. Diese wird zur Umrechnung ellipsoidischer Koordinaten (λ, ϕ) in projizierte Gebrauchskoordinaten nach Rechtswert, Hochwert (GK) bzw. Easting/Northing (UTM) verwendet. Das DB_REF verwendet eine Gauß-Krüger-Abbildung mit 3°-breiten Meridianstreifen (siehe Abbildung 3). Das Koordinatensystem Personenbahnhöfe unterscheidet, genauso wie das DB_REF, zwischen kartographisch projizierten Lagekoordinaten und schwerefeldbezogenen Normalhöhen. Für die Umrechnung zwischen geometrischen Höhen h und physikalischen Normalhöhen (N) benötigt man das Schwerefeld der Erde (siehe Geoid Abbildung 3). Das Geoid wird durch das Quasigeoid approximiert. Das Quasigeoid wurde von der amtlichen Vermessung mittels Schweremessungen modelliert.

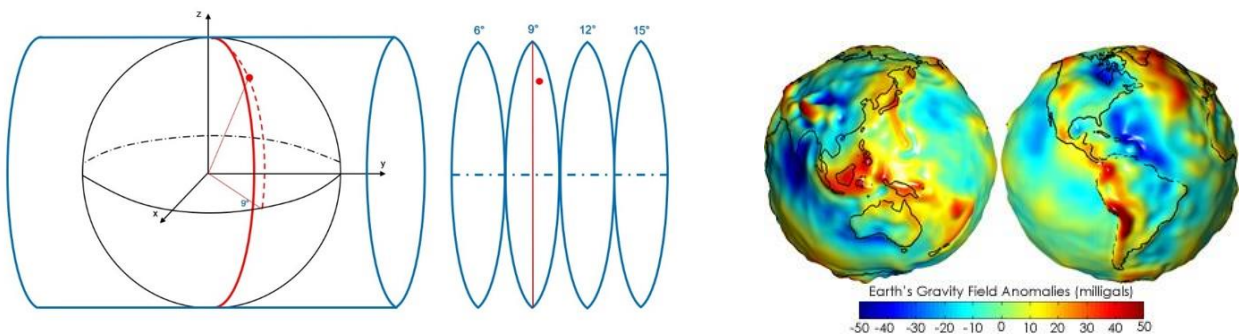


Abbildung 3 So wie das DB_REF verwendet das VA-System projizierte Lagekoordinaten (2D) und schwerefeldbezogene Normalhöhen H (1D). Links: Um zu große Verzerrungen bei der kartographischen Projektion (λ, ϕ) \rightarrow (x, y) zu vermeiden, werden traditionell Meridianstreifen gebildet. Diese werden getrennt projiziert. Rechts: Die Gebrauchshöhen H beziehen sich auf das, durch physikalische Schwere definierte, Geoid³.

³ Bildquelle <https://de.wikipedia.org/wiki/Geoid>

2.1.3 DB_REF

Mit der DB Richtlinie 883.2000 ist die Verwendung des DB_REF Datums bei der Deutschen Bahn geregelt. Darüber hinaus beschreibt die Richtlinie 883.2500 die Verwendung des DB_REF für BIM Projekte mit Trassendaten. Das geodätische Datum des DB_REF wurde bestmöglich an das DHDN90 angepasst und ist aus dem ETRS89 ableitbar.

Für die homogene Datumstransformation⁴ zwischen DB_REF und ETRS89 sind zwei Parametersätze (Tabelle 4) durch die Richtlinien definiert.

Tabelle 1 Transformationsparameter DB_REF / ETRS89 gemäß Richtlinie 883.9010

	DB_REF nach ETRS89	ETRS89 nach DB_REF
Δx [m]	+584,9636	-584,9567
Δy [m]	+107,7175	-107,7277
Δz [m]	+413,8067	-413,8036
r_x ["]	-1,1155214628	+1,1155257601
r_y ["]	-0,2824339890	+0,2824170155
r_z ["]	+3,1384490633	-3,1384505907
m [ppm]	+7,992235	-7,992171

Zusätzlich ist für das DB_REF2016 festgelegt, dass Normalhöhen verwendet.

Tabelle 2 Relevante EPSG-Codes (ab Version v10.042)

EPSG Code	Bezeichnung
5681	DB_REF Geographisch 2D
5828	DB_REF Geozentrisch
5830	DB_REF Geographisch 3D
5682	DB_REF GK Zone 2
5683	DB_REF GK Zone 3
5684	DB_REF GK Zone 4
5685	DB_REF GK Zone 5
9932	DB_REF GK Zone 2 + GNTRANS2016 Höhen
9933	DB_REF GK Zone 3 + GNTRANS2016 Höhen
9934	DB_REF GK Zone 4 + GNTRANS2016 Höhen
9935	DB_REF GK Zone 5 + GNTRANS2016 Höhen
4258	ETRS89 Geographisch 2D
4936	ETRS89 Geozentrisch
4937	ETRS89 Geographisch 3D
9927	GNTRANS2016 Höhen
7837	DHHN2016 Höhen

⁴ Die Umrechnung erfolgt bei der 7-Parameter Transformation ohne Homogenisierung, also ohne eine lokale Restklaffenanpassung wie sie beim Übergang von DHDN ins DB_REF nötig ist und z.B. mit der Software GNTRANS realisiert ist.

Diese lassen sich direkt aus den ellipsoidischen ETRS89 Höhen, reduziert um die Quasigeoidundulation aus dem GCG2016 Geoid-Modell, berechnen. Diese Höhen weichen nicht mehr als 1cm bis 2cm von den Höhen aus dem aktuellen deutschen Höhensystem DHHN2016 ab.⁵

2.1.4 EPSG Definitionen, Umrechnungen und Transformationen

Für Geographische Informationssysteme (GIS) haben sich die sogenannten European Petroleum Survey Group Geodesy (EPSG) Codes etabliert. Die Codes und Parameter werden derzeit durch das Geomatics Committee der International Association of Oil & Gas Producers (IOGP) verwaltet. Alle Parameter sind auf der EPSG-Webseite⁶ verfügbar. Die Formeln zur Koordinatenumrechnung und -transformation sind als kostenloser PDF-Download [International Association of Oil & Gas Producers (IOGP) 2022] auf der IOGP Webseite erhältlich⁷.

Mit den EPSG Codes erhält man eine eindeutige Definition von Koordinatenreferenzsystemen (CRS) und Transformationsparametern zwischen den Systemen. Wenn die EPSG-Codes einem Datensatz zugeordnet werden, können GIS-Systeme raumbezogene Daten mit unterschiedlichen Koordinatenreferenzsystemen erfassen, verwalten, analysieren und visualisieren. Die für DB InfraGO AG – GB Personenbahnhöfe relevanten Codes sind in Tabelle 2 aufgelistet. Mit diesen Codes und den später vorgestellten CRS/WKT-Definitionen der lokalen Koordinatensystem Personenbahnhöfe können viele Softwaresysteme automatisiert und einheitlich zwischen den CRS-Systemen DB_REF/GK ↔ Koordinatensystem Personenbahnhöfe umrechnen.

Zusätzlich definiert EPSG Code 5826 die Umwandlung von DB_REF nach ETRS89. Allerdings sind die Parameter der Transformation in der EPSG Datenbank gekürzt und für beide Transformationsrichtungen identisch. Die Auswirkung der Differenz zu der Originaltransformation ist in der Regel kleiner als 1mm je Koordinatenachse, also im Normalfall vernachlässigbar. Kommt es allerdings auf Millimeter-Genauigkeit an, sollte man die exakten Transformationsparameter aus verwenden.⁸

2.2 Lokales Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System)

2.2.1 Grundsätze

Die Parameter in der Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) Datenbank parametrieren eine automatisierte Umformung von DB_REF Koordinaten zum lokalen System und zurück. Die Umformung der Koordinaten kann mit Standardsoftware durchgeführt werden. Die Parameter (Werte der VA-System Datenbank) wurden unter folgenden Prämissen berechnet:

- Die Parameter beschreiben ein aus Lage und Höhe zusammengesetztes (*engl. compound*) 2D+1D Koordinatenreferenzsystem (CRS).

⁵ In der älteren Variante DB_REF2003 beziehen sich die Normalhöhen auf das *EGG97_{DB_REF}*

⁶ <https://epsg.org/home.html>

⁷ <https://www.iogp.org/bookstore/product/coordinate-conversions-and-transformation-including-formulas/>

⁸ Bei der 7-Parameter-Transformation gibt es zwei Versionen: Die Vorzugsvariante ist die korrekte Implementierung mit trigonometrischen Funktionen in der Rotationsmatrix. Eine näherungsweise Berechnung mit linearisierten Rotationswinkel berechnet die Ergebnisse nach Erfahrungswerten mit einer Differenz kleiner als 1mm.

- Das geodätische Datum des DB_REF (Lagerung und Ellipsoiddimension) bleibt unverändert. Es findet keine geodätische Datumstransformation statt.
- Es wird lediglich die (kartographische) Projektion angepasst. Der Mittelmeridian λ_0 einer transversalen Mercator-Projektion läuft durch die gegebenen geographischen Koordinaten der Verkehrsanlage.
- Der Ursprung der Projektion ist durch Breiten- und Längengrad (φ_0, λ_0) definiert. Die lokalen VASystem Koordinaten erhalten einen Zuschlag in Ostrichtung $f_E = 5000m$ und in Nordrichtung $f_N = 10000m$ damit negative Koordinatenwerten im Maßnahmenbereich vermieden werden.
- Der Maßstab k_0 der Mercator-Projektion wird so optimiert, dass die Differenz zwischen gemessener Horizontalstrecke und aus Koordinaten gerechneter Strecke in der Projektionsebene lokal minimiert wird. Ausschließlicher Einflussfaktor für k_0 ist die Höhe des Projektgebietes.
- Die Höhen des Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-Systeme) sind identisch mit DB_REF2016.

Mit diesen Prämissen wird das Ziel erreicht, die systematischen Abweichungen zwischen Vermessung und 3D-Software zu minimieren.⁹ Abbildung 4 verdeutlicht wie zwischen den gegebenen Systemen transformiert werden kann. Zusätzlich kann eine weitere Transformation zwischen VA und VA+-System durchgeführt werden. Diese ist jedoch nur als Sonderfall (siehe Unterabschnitt 0) zu betrachten, wenn eine Vermessung zeitlich vor der Netzverdichtung im DB_REF-Punkten erfolgen musste.

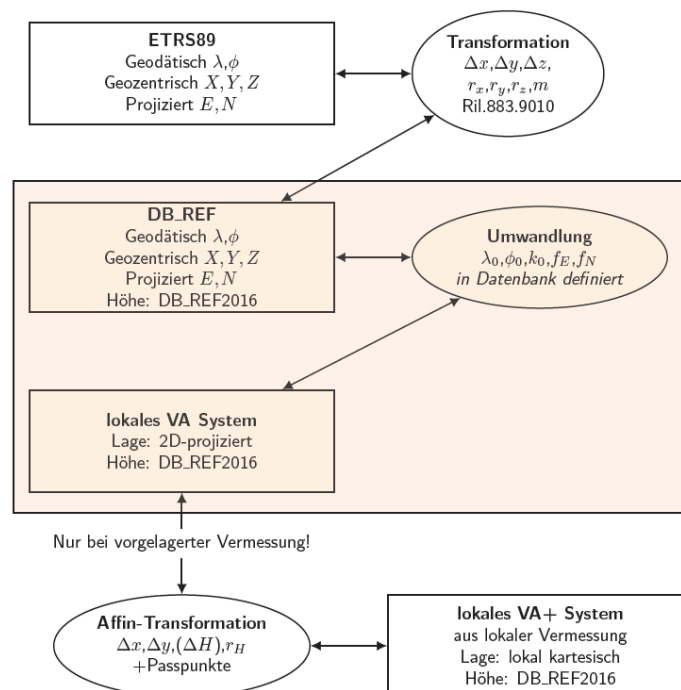


Abbildung 4 Schema des Transformationsablaufes

⁹ Das lokale VA-System berücksichtigt keine Lotabweichungskomponenten und ist deswegen zum Beispiel für große geodätische Grundlagennetze im Tunnelbau ungeeignet.

Die meisten Anwendungen im GIS-Bereich ermöglichen eine Umrechnung zu projizierten Systemen über standardisierte und einfach zugängliche Verfahren (wie zum Beispiel Proj-Strings). Aufgrund des Höhenproblems bei topozentrischen Koordinaten verwendet das Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) Variante 2, also ein projiziertes Koordinatensystem für die Lage und das amtliche Höhensystem für die Höhe (2D+1D).

2.2.2 Art der konformen Projektion

Um bei der Projektion der Koordinaten keine Formveränderungen zu erhalten, wird eine konforme Projektion¹⁰ verwendet. Diese garantiert eine fehlerfreie Abbildung der Richtungen. Die minimalen, aber unvermeidbaren Streckenverzerrungen bei Entfernung vom Projektionszentrum der Transversalen Mercator Projektion sind formelmäßig einfach zu handhaben. Da das Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) nur lokal im Maßnahmenbereich benutzt wird (<1km), sind diese Verzerrungen in der Praxis vernachlässigbar.

2.2.3 Die Höhe

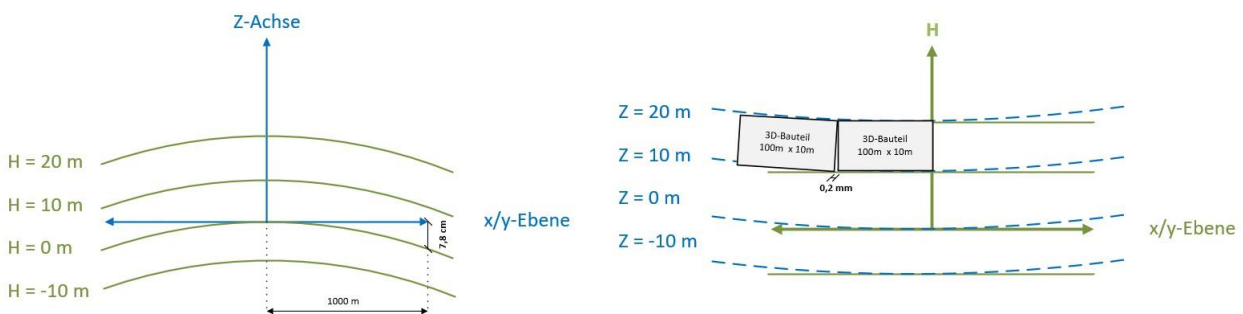


Abbildung 5 Wegen der Erdkrümmung (und dem Erdschwerefeld) unterscheiden sich die Ebenen $Z=\text{konstant}$ und $H=\text{konstant}$. Auf 1000 m beträgt der Unterschied etwa 7,8 cm. Wird die Vermessungshöhe H gleich der kartesischen Koordinate Z gesetzt, hat das für die objektstrukturierte Bauwerkmodellierung nur sehr geringe Abweichungen zur Folge. Zum Beispiel wäre für ein Bauteil mit den Maßen 10 m Höhe x 100 m Länge der Fugendifferenz zwischen Ober- und Unterseite nur 0,2 mm.

Wir empfehlen, die Normalhöhe H auch als Höhe Z in der Modellierungssoftware einzusetzen, damit:

- Vermessung und Modellierung die gleichen Höhenwerte ohne Umrechnung verwenden können.
- Die Höhen zwischen 3D-Modellierung und Trassierung ohne Umrechnung vergleichbar sind

¹⁰ Die konformen Projektionen sind Transverse-Mercator-Projektion und Lambert-Conic-Conformal-Projektion. Beide Projektionen liefern bei der kleinen Ausdehnung des Gebietes eines VA-Systems nahezu (im Bereich 1/100 mm) identische Koordinaten. Für das VA-System wird die Transverse-Mercator-Projektion verwendet, weil diese vermutlich in allen Softwareanwendungen gut funktioniert und weniger Konfigurationsparameter enthält.

- Waagerechte Bauteile auch tatsächlich waagrecht abgesteckt werden

Die Abweichungen aufgrund der (sehr geringen) Krümmung von ca. $K=1/6380000$ m der xy-Ebenen kann bei einer bauteilstrukturierten Modellierung vernachlässigt werden, wie das Beispiel in Abbildung 5 zeigt.

2.2.4 Optimaler Maßstabsfaktor k_0

Zur Definition des Koordinatensystems Personenbahnhöfe (VA-System) gehört der Maßstabsfaktor k_0 . Dieser ist so zu definieren, dass die Differenz zwischen den lokal gemessenen Strecken und den Strecken im Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) minimiert wird. Ausschließlicher Einflussfaktor für k_0 ist die Höhe. Die Referenzhöhe h_0 für die Maßstabsfestlegung k_0 wird über die DGM-Höhen in der weiteren (Kategorie 1-3) oder nahen (Kategorie 4) Umgebung des Koordinatenursprungs (λ_0, φ_0) festgelegt.

2.3 Eingabe, Ausgabe und Struktur der Datenbank

Als Eingangsdaten liegen die von der DB InfraGO AG - GB Personenbahnhöfe bereitgestellten CSV-Dateien der Bahnhöfe vor.

Tabelle 3 Struktur Eingabedaten (CSV-Datei der DB InfraGO AG Personenbahnhöfe)

Spalte	Merkmal	Bemerkung
1	Breite φ_0	WGS84 ¹¹
2	Länge λ_0	WGS84
3	Bahnhofs-ID	
4	Bahnhofname	
5	Bahnhofskategorie	
6	vorgegebene Höhe	
7	Position im DB_REF	(ja/nein)

Damit lassen sich wie oben beschrieben die Parameter des lokalen Koordinatensystems Personenbahnhöfe (VA-Systeme) berechnen.¹²

Wichtigste Ausgabe sind die WKT-Strings für die berechneten Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-Systeme). Als eindeutiges Kennzeichen der einzelnen Bahnhöfe (Verkehrsanlagen VA) wurde die Bahnhofs-ID im Dateinamen und als Namensparameter verwendet. Die

¹¹ Die WGS84 Koordinaten sind mit drei Nachkommastellen gegeben. Das entspricht ca. 111m in Nord-Süd Richtung. Wegen der Unschärfe des WGS84 wurde festgelegt, dass die gegebene Koordinate als ETRS89 interpretiert werden kann. Die Koordinaten wurden von der DB InfraGO AG - GB Personenbahnhöfe bereitgestellt.

¹² Für die Zuordnung der Bahnhofskategorie wurde noch eine CSV Datei mit Nummer; Name; city; zipcode; street; category; regionalbereich_Number; regionalbereich_Name; regionalbereich_ShortName von der DB InfraGO AG GB Personenbahnhöfe bereitgestellt.

Datenbank ist ein Ordner mit Unterverzeichnissen (siehe Abbildung 6). Die Unterverzeichnisse sind mit den Bahnhofs-IDs mit führendem Nullen bezeichnet.



Abbildung 6 Verzeichnisstruktur und Parameterdateien der VA-System Datenbank. Beispielhaft ist VA_0001 HbfAachen und eine Darstellung des Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-Systems) im XML-Format für Autodesk Produkte ausgewählt.

Zusätzlich wird eine CSV-Datei im übergeordneten Ordner ausgegeben, die nochmals sämtliche Bahnhöfe mit folgenden Spalten enthält:

Tabelle 4 Struktur VA-System Datenbank (CSV-Datei)

Spalte	Merkmal	Bemerkung
1	Station_ID	die Bahnhofs-ID (+ evtl. Revisionsnummer)
2	Station_Name	der Bahnhofsname
3	Station_Category	die Bahnhofs-kategorie
4	lat0	Ursprungsbreitengrad der Projektion im DB_REF
5	lon0	Mittelmeridian der Projektion im DB_REF
6	fE	Additionswert des Rechtswertes der Projektion
7	fN	Additionswert des Hochwertes der Projektion
8	k0	Maßstabsfaktor im Ursprung der Projektion
9	h0	verwendete ellipsoidische Höhe für den Maßstab
10	H0	Normalhöhe des Zentrums bzw. des Medians des Gebietes
11	Undulation	Geoidundulation im Zentrum bzw. des Medians des Gebietes
12	ppm_Max	Maximale Maßstabsabweichung durch Höhenunterschied
13	ppm_Range	Spanne der Maßstabsabweichung durch Höhenunterschied
14	ppm_Avg	Mittelwert der Maßstabsabweichung durch Höhenunterschied
15	ppm_StdDev	Standardabweichung der Maßstabsabweichung durch Höhenunterschied

Die letzten vier Spalten (12-15 in Tabelle 4) werden nur bei Bahnhöfen der Kategorien 1 bis 3 berechnet, sonst bleiben die Spalten leer. Für jede Verkehrsanlage ist ein Unterverzeichnis angelegt, das die berechneten Parameterdateien für unterschiedliche Softwaresysteme enthält. Das *Well Known Text (WKT)* Format für Koordinatenreferenzsysteme (CRS) ist ISO 19162:2019 [2019] spezifiziert. Allerdings haben sich in der Praxis viele Formatdialekte als Varianten entwickelt. Folgende Varianten der WKT-Strings werden erzeugt, damit die Datenbank auf möglichst vielen CAD/GIS/BIM Systemen eingesetzt werden kann:

Tabelle 5 Die VA-System Datenbank enthält pro Verkehrsanlage (VA) mehr als fünfzehn Formatvarianten für die Beschreibung der berechneten Parameter

Dateiname	Formatbeschreibung
VA_[Bahnhofs-ID]_Autocad.xml	Parameter für AutoDesk Produkte
VA_[Bahnhofs-ID]_2D_WKT1_SIMPLE.txt	Textdatei mit OGC-WKT String für 2D/Lage
VA_[Bahnhofs-ID]_2D_WKT1_SFSQL.txt	Textdatei mit OGC-WKT String für 2D/Lage
VA_[Bahnhofs-ID]_2D_WKT1_GDAL.txt	Textdatei mit OGC-WKT String für 2D/Lage
VA_[Bahnhofs-ID]_2D_WKT1_ESRI.txt	Textdatei mit OGC-WKT String für 2D/Lage
VA_[Bahnhofs-ID]_2D_WKT2_2015.txt	Textdatei mit OGC-WKT String für 2D/Lage
VA_[Bahnhofs-ID]_2D_WKT2_2018.txt	Textdatei mit OGC-WKT String für 2D/Lage
VA_[Bahnhofs-ID]_2D_ProjJSON.json	Parameter als JSON-String für 2D/Lage
VA_[Bahnhofs-ID]_2D_GML.xml	Parameter als XML Datei (GML) für 2D/Lage
VA_[Bahnhofs-ID]_Proj.txt	Parameter für Proj4 für 2D/Lage
VA_[Bahnhofs-ID]_Compound_WKT1_SIMPLE.txt	Textdatei mit OGC-WKT String als 2D+1D Compound
VA_[Bahnhofs-ID]_Compound_WKT1_SFSQL.txt	Textdatei mit OGC-WKT String als 2D+1D Compound
VA_[Bahnhofs-ID]_Compound_WKT1_GDAL.txt	Textdatei mit OGC-WKT String als 2D+1D Compound
VA_[Bahnhofs-ID]_Compound_WKT2_2015.txt	Textdatei mit OGC-WKT String als 2D+1D Compound
VA_[Bahnhofs-ID]_Compound_WKT2_2018.txt	Textdatei mit OGC-WKT String als 2D+1D Compound
VA_[Bahnhofs-ID]_Compound_ProjJSON.json	Parameter der Projektion als JSON-String (als 2D+1D Compound)
VA_[Bahnhofs-ID]_ppm.png	Grafische Darstellung der Maßstabsabweichungen

Die letzte Datei (VA_[Bahnhofs-ID]_ppm.png) ist nur bei Bahnhöfen der Kategorien 1 bis 3 zu finden und in Abbildung 6 beispielhaft dargestellt. Der Nutzer der Datenbank muss prüfen, welche der über fünfzehn Formatvarianten seine Software interpretieren kann und, ob er nur Lagekoordinaten (2D) transformieren will oder auch die Definition des Höhensystems (2D+1D) als Metadaten mitführen will. Außerdem wird bei der Erstverwendung des Koordinatensystems Personenbahnhöfe (VA-Systeme) empfohlen, die geographische Lage und definierte Höhe des Bahnhofs auf Plausibilität zu überprüfen

3 Workflow für Vermessung und Modellierung

3.1 Ziel und Zweck

Das Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) wird in der Örtlichkeit durch ein VA-Sondernetz realisiert. Mit den einheitlichen Parametern der Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) Datenbank können die Koordinaten zwischen DB_REF und VA-System umgewandelt werden. Das VA-System sollte über den gesamten Bahnhofsbereich und angrenzende Gleisanlagen das führende System bei Vermessung, BIM-Modellierung, Geodatenintegration und Absteckung sein, weil...

- Das Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) ist maßstabsfrei (Maßstab La-gekoordinaten = 1). Alle topographischen Elemente und Bauteile können in ihrer tatsächlichen Größe vermessen, modelliert, koordiniert und abgesteckt werden. Hierfür sind keine besonderen und ggf. fehleranfälligen Softwareprogramme nötig.
- Das neu vermessene und ausgeglichene VA-Sondernetz enthält keine Spannungen. Diese Netzspannungen ergeben sich bei großflächigen geodätischen Gebrauchssystemen aufgrund historischer Messfehler und -ungenauigkeiten.
- Ein geodätisches VA-Sondernetz kann in der Örtlichkeit einfach und zeitlich getrennt vom DB_REF ergänzt werden.
- Das VA-Sondernetz ist durch eindeutige Transformationsparameter zum DB_REF/GK beschrieben. Diese Transformationsparameter können von jeder Vermessungs- und GIS Software interpretiert werden. In 3D-CAD/BIM-Modellierungssoftware ist wegen der Kleinräumigkeit keine geodätische Transformation nötig.
- Bauwerkskoordinatensysteme (z.B. in Modellierungssoftware Revit) können einfach sowie spannungsfrei und ohne Maßstab in ein Sondernetz transformiert werden. Für diese 3+1-Transformation (X0, Y0, Nordrichtung + Höhenniveau) ist keine Spezialsoftware nötig.
- Der Höhenanschluss soll über DB_REF2016 erfolgen.¹³
- Für die 3D-Bauwerksmodellierung¹⁴ kann die vertikale Normalhöhe H (Vermessung) mit der kartesischen Höhe Z (3D-Software/BIM-Modellierung) gleichgesetzt werden. Das kartesische Z in der dreidimensionalen CAD/BIM-Software wird als H interpretiert. Die kleine Krümmung von max. $K=1/6380000$ m wird vernachlässigt, weil sie weit unterhalb der Bau-toleranz liegt. (Siehe Abbildung 5)

Das folgende numerische Beispiel des Hauptbahnhofs Essen (VA 1690) zeigt die Größenordnung der Fehler, wenn bestimmte Eigenschaften der geodätischen Koordinatenreferenzsysteme nicht beachtet werden. Die Problematik wird durch Abweichungen Δ augenscheinlich. Die Abweichungen Δ entstehen, wenn die Koordinatenwerte unsachgemäß verwendet werden oder die 3D-Software die Erdkrümmung nicht berücksichtigt.

Für das numerische Beispiel wurden die in Tabelle 6 gelisteten Koordinaten, ein Projektmittelpunkt und vier Eckpunkte eines Projektgebietes berechnet. Die Koordinaten im VA-System können als lokal gemessen angesehen werden. Die Umrechnung wurde mit den Parametern der VA-System Datenbank (siehe Abschnitt 2) durchgeführt.

¹³ Diese Forderung ist nicht mathematisch begründet. Allerdings wurde festgestellt, dass einige CAD Programme die Z-Verschiebung, die in den WKT-Strings standardkonform angegeben ist, nicht richtig ausführen.

¹⁴ Das VA-Sondernetz darf nicht mit dem Bauwerkskoordinatensystem verwechselt werden. Jedes Bauwerk erhält ein eigenes Bauwerkskoordinatensystem, das im Projektursprung (Gebäudeecke, Schnitt Achsen A-1, ...) die Verortung (e0, n0, Nordrichtung, Höhenniveau) des Gebäudesystem im VA-Sondernetz angibt.

Tabelle 6 Testkoordinaten im VA-System (Maßstab 1), UTM und DB_REF

	1690_Essen_Hbf		ETRS89/UTM32 (EPSG: 25832)		DB_REF/GK2 (EPSG: 5682)	
	e[m]	n [m]	Easting [m]	Northing [m]	Rechts[m]	Hoch[m]
Mitte	5000,00	10000,00	362077,103	5701846,928	2570601,839	5702308,867
SW	4000,00	9000,00	361050,560	5700874,559	2569615,754	5701295,050
SO	6000,00	9000,00	363049,468	5700820,389	2571615,657	5701322,780
NW	4000,00	11000,00	361104,737	5702873,473	2569588,021	5703294,950
NO	6000,00	11000,00	363103,645	5702819,290	2571587,924	5703322,686

Tabelle 7 zeigt große Abweichungen, wenn bei unsachgemäßer Verwendung unterschiedlicher Koordinatenreferenzsysteme (CRS) die Meridiankonvergenz vernachlässigt wird. Diese großen Abweichungen entstehen, wenn zu einem Projektbasispunkt in jeweils unterschiedlichen CRS lediglich die Koordinatenunterschiede addiert werden - also keine sachgemäße Umwandlung der Projektion oder Datumstransformation erfolgt.

Tabelle 7 Wenn lokale Koordinatendifferenzen zu einem Basispunkt einfach unsachgemäß addiert werden entstehen aufgrund der Meridiankonvergenz sehr große Abweichungen

	1690_Essen_Hbf		ETRS89/UTM32		DB_REF/GK2	
	e[m]	n [m]	ΔE vs. Add [m]	ΔN vs. Add [m]	ΔRe vs. Add [m]	ΔHo vs. Add [m]
Mitte	5000,00	10000,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S W	4000,00	9000,00	-26,54	27,63	13,91	-13,82
SO	6000,00	9000,00	-27,63	-26,54	13,82	13,91
NW	4000,00	11000,00	27,63	26,55	-13,82	-13,92
NO	6000,00	11000,00	26,54	-27,64	-13,92	13,82

Tabelle 8 zeigt typische Abweichungen, wenn bei unsachgemäßer Verwendung projizierter Koordinaten (z.B. Gauß-Krüger, UTM) die Streckenreduktion vernachlässigt wird. Die Streckenreduktion ist aufgrund der kartographischen Abbildung (in Abhängigkeit vom Abstand des Projektgebietes vom Mittelmeridian) und aufgrund der Höhe des Projektgebietes erforderlich. Allerdings wird die Streckenreduktion (Maßstab in der horizontalen x,y-Ebene) von 3D Modellierungssoftware nicht angebracht.

Tabelle 8 Wenn die Streckenreduktion nicht an die Strecken (hier simuliert von Mitte zu den vier Randpunkten) angebracht wird, treten Abweichungen im dm-Bereich auf. Weil die 3DModellierungssoftware diese Maßstabsreduktionen nicht anbringt, entstehen systematisch

	1690_Essen_Hbf		ETRS89/UTM32		DB_REF/GK	
	s [m]	ds [cm]	s [m]	ds [cm]	s [m]	ds [cm]
Mitte	0,000	-	0,000	0,0	0,000	0,0
SW	1414,214	-	1413,963	25,1	1414,280	6,6
SO	1414,214	-	1413,958	25,6	1414,282	6,9
NW	1414,214	-	1413,963	25,1	1414,280	6,6
NO	1414,214	-	1413,958	25,6	1414,282	6,9

3.2 Vermessung und Modellierung ohne Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) (problematisch)

Das DB_REF ist das geodätische, dreidimensionale Koordinatenreferenzsystem für die DB AG. Das Festpunktfeld ist einheitlich und deutschlandweit anforderungsgerecht und sehr genau. Die Vermessung lässt sich grob in drei sequentielle Teilschritte gliedern:

1. **Verdichtung des DB_REF Festpunktfeldes (wenn Notwendig).** Die Netzverdichtung erfolgt nach allen Qualitätsvorgaben und Verfahrensvorschriften der DB InfraGO AG GB Fahrwege, die Punkte werden in der Örtlichkeit vermarktet und dokumentiert.
2. **Projektbezogene Verdichtung des Festpunktfeldes.** Die Netzverdichtung erfolgt nach ingenieurgeodätischen Erfordernissen im DB_REF Koordinatensystem, die Punkte werden in der Örtlichkeit vermarktet und dokumentiert.
3. **Messen der Objektpunkte.** Die Koordinaten der Objektpunkte werden im DB_REF/GK-System gemessen. Dies erfolgt mit einzelpunkt Messung mittels Tachymetern. Die Punkte beschreiben das Bauwerk und bilden die Grundlage für die Modellierung in CAD, GIS und BIM. Hier entstehen zwangsläufig Differenzen zwischen Vermessung und Modellierung in 3D-Software, weil diese die Erdkrümmung nicht berücksichtigt.

Aus rein geodätischer Sicht ist dieses Vorgehen vollkommen unproblematisch, weil vermessungstechnische Software mit projizierten (Gauß-Krüger) Koordinaten umgehen kann. Zum Beispiel werden an Strecken Korrekturterme angebracht. Problematisch hingegen ist, das Terrestrische Laserscanner sowie die 3D Modellierungssoftware diese Konzepte nicht kennt.

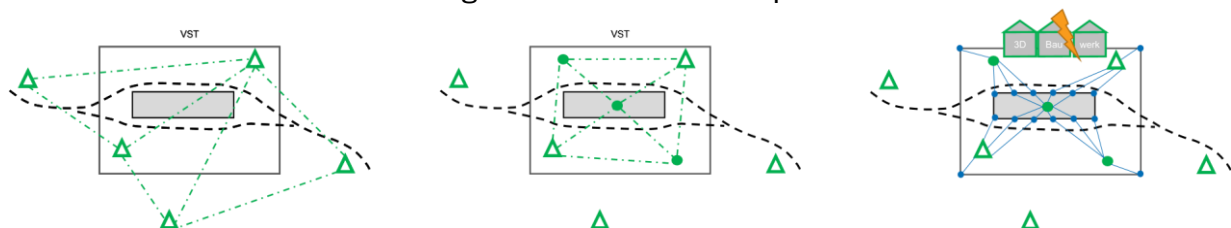


Abbildung 7 Bei der Vermessung und Modellierung ohne VA-System, entsteht der Konflikt, weil die Software für die 3D-Modellierung die Erdkrümmung und daraus resultierende Maßstäbe nicht berücksichtigt. Links: Verdichtung des DB_REF Festpunktfeldes. Mitte: Projektbezogene Verdichtung des Festpunktfeldes. Rechts: Wenn die gemessenen Objektpunkte in DB_REF vorliegen, sind sie nicht für eine 3D Bauwerksmodellierung geeignet.

Die entstehenden Abweichungen sind in Tabelle 6, Tabelle 7 und Tabelle 8 beispielhaft beschrieben.

3.3 Vermessung und Modellierung mit Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) (Normalfall)

Um systematische Abweichungen zwischen Vermessung und 3D-Modellierung zu minimieren, wird eine Umformung der Koordinaten DB_REF → VA-System zwischen Netzverdichtung und anlassbezogener Vermessung im Maßnahmenbereich empfohlen.

1. **Verdichtung des DB_REF Festpunktfeldes (wenn notwendig).** Die Netzverdichtung erfolgt nach allen Qualitätsvorgaben und Verfahrensvorschriften der Ril 883; die Festpunkte werden in der Örtlichkeit vermarktet und dokumentiert. Dies erfolgt nur, wenn ein gleisgeometrisches Projekt Bestandteil der Aufgabenstellung ist, welches mit der Vermessung für den DB Fahrweg (Ingenieurvermessung) im Vorhinein abzustimmen ist.
2. **Umformung DB_REF → Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System).** Die Festpunkte werden automatisiert in das VA-System der Verkehrsstation überführt. Hierfür stellt die VA-System Datenbank Parameter für alle Verkehrsstationen der DB InfraGO AG - GB Personenbahnhöfe bereit.
3. **Projektbezogene Verdichtung des Festpunktfeldes.** Die Netzverdichtung erfolgt nach ingenieurgeodätischen Erfordernissen im maßstabsfreien VA-System, die Punkte werden in der Örtlichkeit vermarktet und dokumentiert.
4. **Messen der Objektpunkte.** Die Koordinaten der Objektpunkte werden im VA-System gemessen. Dies erfolgt bei Projekten der DB InfraGO AG - GB Personenbahnhöfe in der Regel mittels Laserscanning mit dem Ergebnis einer Punktwolke. Die Punkte beschreiben das Bauwerk und bilden die Grundlage für die Modellierung in CAD, GIS und BIM. Es entstehen keine systematischen Differenzen zwischen Vermessung und Modellierung in 3D-Software. Der Einfluss der Erdkrümmung kann aufgrund der Umformung vernachlässigt werden.

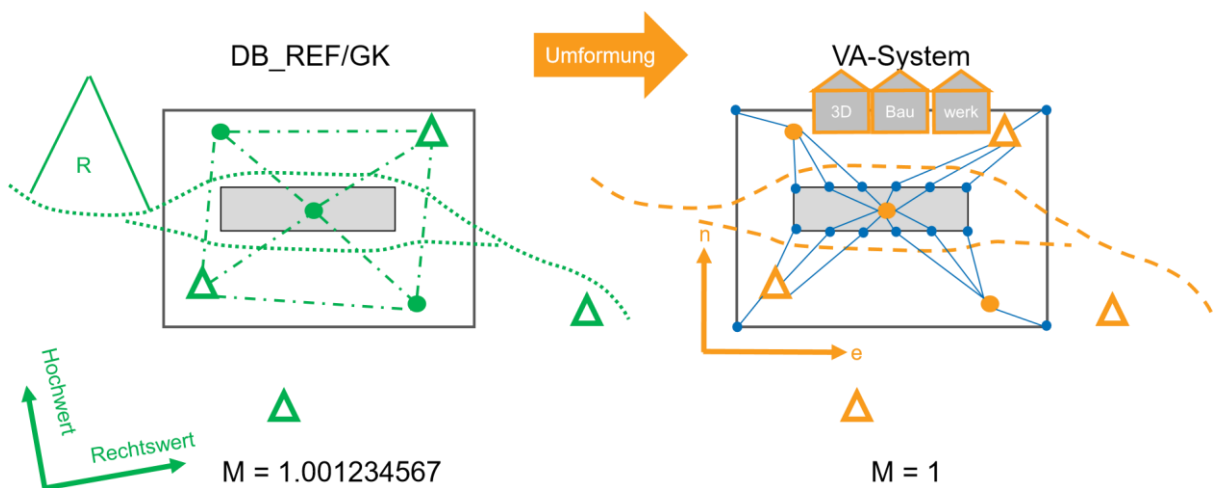


Abbildung 8 Die übergeordnete Netzverdichtung und Trassierung finden im DB_REF statt. Die Festpunkte werden dann automatisiert in das VA-System umgeformt. Für die lokale Verdichtung, Objektvermessung und Modellierung sind keine geodätischen Korrekturen aufgrund des Maßstabes notwendig; Das VA-System hat den Maßstab = 1.

3.4 Vermessung und Modellierung mit Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA+ System) (Sonderfall)

Um systematische Abweichungen zwischen Vermessung und 3D-Modellierung zu minimieren, wird in einem lokalen, maßstabsfreien System mit Höhenanschluss zum DB_REF vermessen und modelliert. Aus organisatorischen Projektzwängen kann aber die Situation entstehen, dass die Objektvermessung und Modellierung zeitlich vor der DB_REF2016-Ertüchtigung erfolgen muss. Dies ist vor allem der Fall, wenn kein DB_REF2016 vorhanden ist und das Projekt keinen Gleisbezug hat. Dieser Sonderfall erfordert einen zusätzlichen Transformationsschritt, sobald DB_REF ertüchtigt wird. Um den Normalfall VA-System von diesem Sonderfall zu unterscheiden wird dieser Typ von Koordinatenreferenzsystemen mit VA+ bezeichnet.

1. **Erstellung oder projektbezogene Verdichtung eines Festpunktfelds.** Eine Netzverdichtung¹⁵ bzw. die Erstellung erfolgt nach ingenieurgeodätischen Erfordernissen maßstabsfrei. Die Festpunkte werden in der Örtlichkeit vermarktet und dokumentiert. Einige wenige Punkte werden mittels GNSS-Messungen in DB_REF2016 ermittelt. Diese Messungen sollten mit mindestens 10 Minuten Messlänge und zwei unterschiedlichen Höhen erfolgen. Diese DB_REF2016 Festpunkte werden dann mithilfe der VA-Transformationsparametern in das VA-System überführt. Der exakte Höhenanschluss erfolgt im DB_REF2016 über Nivellement oder, in Ausnahmefällen, über GNSS-Messungen weniger Festpunkte. Die Grundlagen für das VA-System sind somit hergestellt. Alle Messungen werden im VA-System ausgeglichen. Als Abschluss werden die ausgeglichenen Passpunkte in das DB_REF2016 Koordinatensystem transformiert und dokumentiert.
2. **Messen der Objektpunkte.** Die Koordinaten der Objektpunkte werden im VA System gemessen. Die Punkte beschreiben das Bauwerk und bilden die Grundlage für die Modellierung in CAD, GIS und BIM. Es entstehen keine systematischen Differenzen zwischen Vermessung und Modellierung in 3D-Software.
3. **Verdichtung des DB_REF Festpunktfeldes.** Die Netzverdichtung erfolgt zeitlich nach der Objektvermessung nach allen Qualitätsvorgaben und Verfahrensvorschriften der RIL883. Die Punkte werden in der Örtlichkeit vermarktet und dokumentiert. Es muss sichergestellt sein, dass ausreichend¹⁶ und gut verteilte Passpunkte¹⁷ von den genutzten projektbezogenen Passpunkten im DB_REF2016 Festpunktfeld enthalten sind.
4. **Ermittlung der Unterschiede und Anpassung des Transformationsparametersatzes** Die neu gemessenen DB_REF2016 Passpunkte werden in das VA-System überführt. Im VA-System werden die Parameter für die Translation und Rotation gleichen Punkte ermittelt und der Transformationsparametersatz wird angepasst, durch eine zusätzliche Affintransformation.
5. **Aktualisierung Datenbank VA+System.** Der neu erstellte Transformationsparametersatz wird an BIM_Personenbahnhoefe@deutschebahn.com gesendet.

¹⁵ Hier müssen die anerkannten Regeln der Vermessungstechnik eingehalten werden. Es ist eine freie und dynamische Netzausgleichung durchzuführen. Die Lagerungspunkte der dynamischen Netzausgleichung werden über RTK-Messungen im DB Ref 2016 ermittelt und anschließend transformiert ins VA-System.

¹⁶ Es sollten mindestens sechs identische Punkte (Passpunkte, Kontrollpunkte) vorliegen.

¹⁷ Passpunkte sind in der Örtlichkeit identische Punkte, die sowohl im lokalen ingenieurgeodätischen VA System als auch im übergeordneten DB_REF vermessen und ausgeglichen wurden. Die Passpunkte sind gut verteilt, wenn Sie das Projektgebiet gleichmäßig am Rand umschließen, also wenn die Restklaffen in den Objektpunkten nur interpoliert, nicht extrapoliert werden.

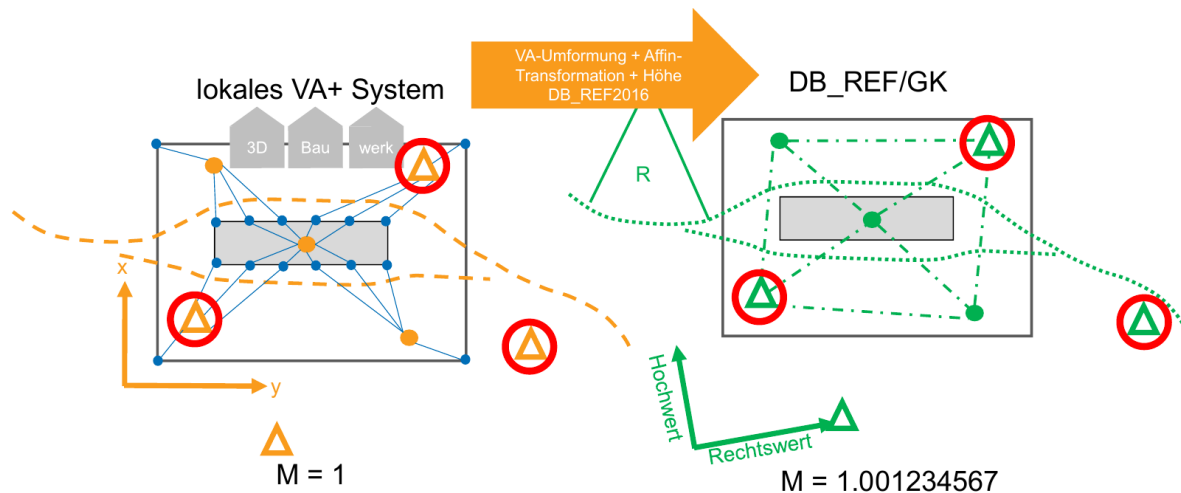


Abbildung 9 Beim VA+ Sonderfall wird die Objektvermessung und Modellierung zeitlich vor der DB_REF Netzverdichtung durchgeführt. Dies erfordert Passpunkte (rot) und eine zweistufige Koordinatentransformation aus VA-Umformung und zusätzlicher Affin-Transformation.

Die erste Umformung DB_REF → VA-System erfolgt mit den Parametern der VA-System Datenbank:

$$(\text{Rechtswert}^{DB_REF}, \text{Hochwert}^{DB_REF}) \mapsto (e^{VA}, n^{VA})$$

Die zweite Transformation VA System → VA+ System erfolgt mit den aus Passpunkten berechneten Parametern der Affintransformation:

$$(e^{VA}, n^{VA}) \mapsto (e^{VA+}, n^{VA+})$$

Nach erfolgreicher Parameterberechnung der Affintranstransformation können diese zentral als WKT in die VA-Systemdatenbank übernommen werden. Es ist aber darauf zu achten, dass nicht alle Softwareprogramme diese Parameter richtig interpretieren (siehe Unterabschnitt 4.3).

Die Höhe ist in beiden Systemen identisch:

$$H^{DB_REF} = H^{VA} = H^{VA+}$$

4 VA-Systeme in Anwendungssoftware

Im Folgenden wird gezeigt, wie die neu definierten VA-Systeme in verschiedenen Softwareprodukten angewendet und parametrisiert werden.

Das lokale VA-System wird in der Modellierungssoftware angelegt. Geodaten aus dem DB_REF/GK-System können mit nativen Funktionen in der jeweiligen Software transformiert und rücktransformiert werden.

Es muss beachtet werden, dass sich die Koordinatenumrechnung nur auf die Lage bezieht. Wenn die Eingangspunkte eine Z-Koordinate, bzw. eine Höhe H führen, wird diese unverändert in den transformierten Datensatz übernommen.¹⁸

4.1 VA anlegen und transformieren

Für folgende Software werden die jeweiligen Schritte des VA-System anlegen und des transformieren beschrieben:

1. QGIS
2. Esri ArcGIS Pro
3. Autodesk Map3D / Civil3D
4. Korfin
5. ProVI
6. Card_1

Hier ist der Workflow dargestellt:



Abbildung 10 Workflow für jede Software

Folgender CRS/WKT-String wird für das lokale VA genutzt:

```
PROJCS["6649_Weixdorf_Bad",  
GEOGCS["DB_REF", DATUM["Deutsche_Bahn_Reference_System",  
SPHEROID["Bessel 1841", 6377397.155, 299.1528128,  
AUTHORITY["EPSG", "7004"]],  
AUTHORITY["EPSG", "1081"]],  
PRIMEM["Greenwich", 0, AUTHORITY["EPSG", "8901"]],  
UNIT["degree", 0.0174532925199433, AUTHORITY["EPSG", "9122"]],  
AUTHORITY["EPSG", "5681"]],  
PROJECTION["Transverse_Mercator"],  
PARAMETER["latitude_of_origin", 51.1412],  
PARAMETER["central_meridian", 13.8038],
```

¹⁸ Einige Software führt die die Umformung der Höhe nicht durch, auch wenn eine Höhentransformation im CRS/WKT-String definiert wurde.


```

PARAMETER["scale_factor", 1.0000294],
PARAMETER["false_easting", 5000],
PARAMETER["false_northing", 10000],
UNIT["metre", 1, AUTHORITY["EPSG", "9001"]],
AXIS["e",EAST], AXIS["n", NORTH]]

```

4.1.1 QGIS

In QGIS kann ein neues CRS mit Hilfe eine CRS/WKT-Strings oder eines Proj-Strings angelegt werden. *Einstellungen* ⇒ *Benutzerprojektionen* ⇒ *Plus-Icon* ⇒ *Eindeutigen Name vergeben* ⇒ *Format wählen (CRS/WKT- oder ein Proj-String)* ⇒ *String einfügen* ⇒ *OK*

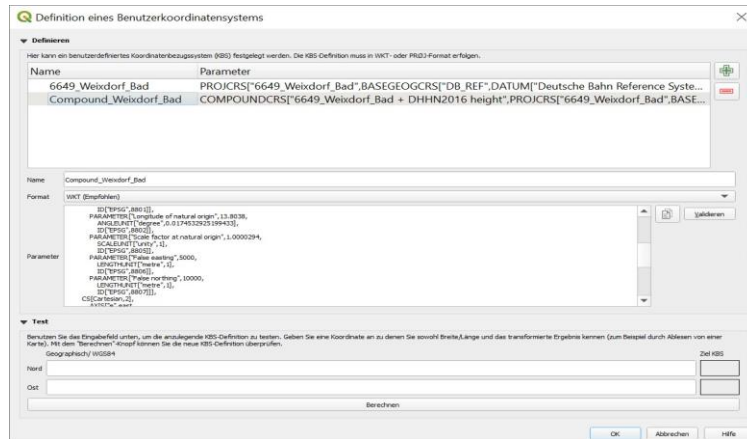


Abbildung 11 Mit einem Proj-String oder CRS/WKT-String kann das lokale VA Koordinatenreferenzsystem für eine Verkehrsanlage im QGIS angelegt werden. Im Beispiel wird das VA System 6649_Weixdorf_Bad angelegt. Damit kennt die GIS Software die vordefinierten Transformationsparameter und kann diese anwenden.

Beim Anlegen des CRS, kann mit *Validieren* geprüft werden, ob die Struktur des Strings gültig ist. Bei den durch die in Abschnitt 2 beschriebenen Parametersätze ist diese Prüfung nicht erforderlich. Das Punktraster aus der Datei localXY.txt für kann in der Software QGIS als Layer hinzugefügt werden: *Layer* ⇒ *Layer hinzufügen* ⇒ *Getrennte Textdatei als Layer hinzufügen*.

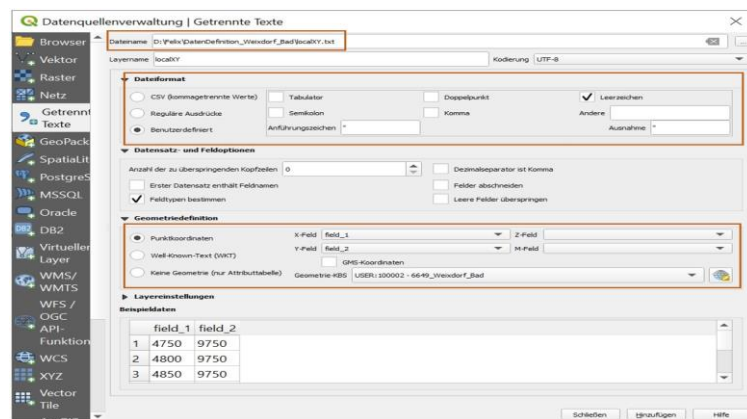


Abbildung 12 Das Punktraster aus der Textdatei localXY.txt eingelesen. Der GIS Software QGIS muss unter *Geometriedefinition* mitgeteilt werden, dass die Koordinatenwerte der Punkte im VA System 6649_Weixdorf_Bad angegeben sind.

Nachdem die Felder ausgefüllt wurden und der Button *Hinzufügen* ausgewählt wurde, erscheint folgender Dialog:

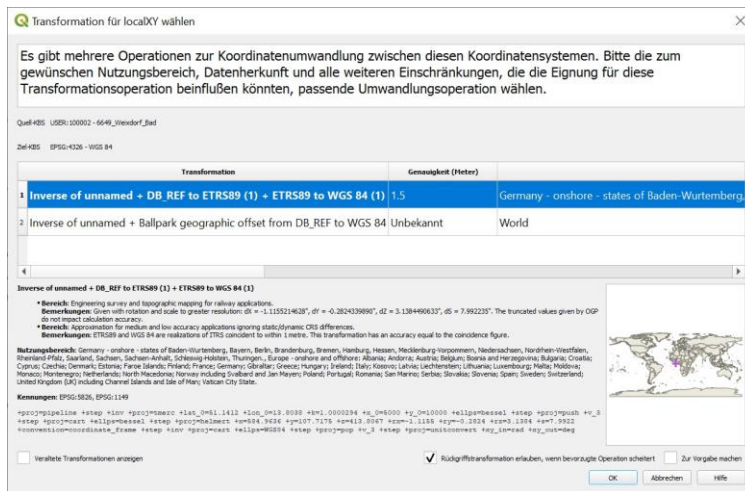


Abbildung 13 In der QGIS Datenbank sind mehrere Definitionen des DB_REF Datums gespeichert. Es muss die durch die DB InfraGO AG GB Fahrwege definierte Variante DB_REF + ETRS89 gewählt werden.

Dabei ist die erste Variante vorausgewählt und kann so bestätigt werden. Der Datenbankeintrag *Genauigkeit* (1,5 Meter) ist für den Anwendungsfall irrelevant.



Abbildung 14 Die aus dem lokalen VA System importierten Punkte sind jetzt auf der Karte sichtbar - egal welche Projektion im GIS gewählt wird.

Jetzt wird die Transformation durchgeführt. Die importierten Rasterpunkte werden in ein anderes Koordinatenreferenzsystem, hier DB_REF/GK5, transformiert und ausgegeben. *Rechtsklick auf Layer ⇒ Exportieren ⇒ Objekte speichern als ⇒ Format (CSV, DXF, GeoJSON...) auswählen ⇒ Datei-Namen vergeben ⇒ als Koordinatenreferenzsystem EPSG:5685 auswählen ⇒ OK*

Für den CSV-Export muss field_1 und field_2 abgewählt werden und bei GEOMETRY AS_XY gewählt werden. Bei dem DXF- oder GeoJSON-Export müssen keine zusätzlichen Optionen konfiguriert werden.

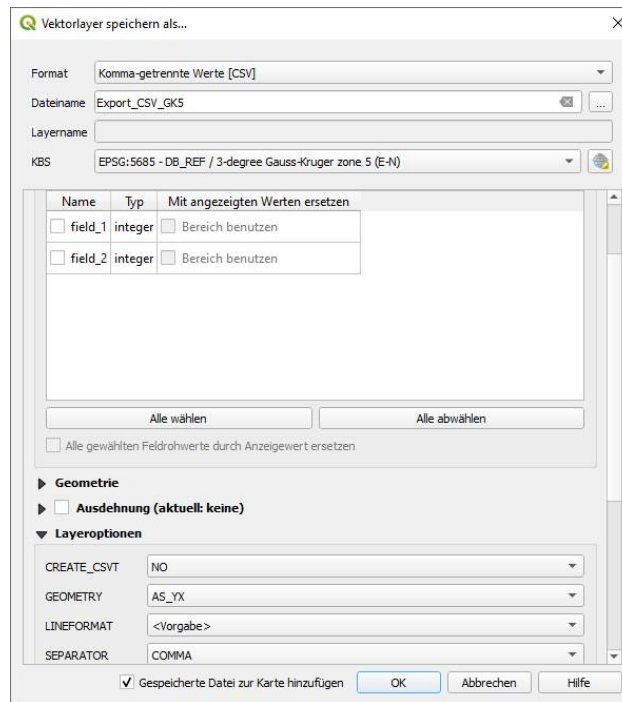


Abbildung 15 Das Punktraster wird vom VA \Rightarrow DB_REF/GK5 konvertiert und die Punkte mit den Koordinatenwerten im DB_REF/GK5 in eine Textdatei Export_GK5_CSV.csv geschrieben.

Die Punktkoordinaten der exportierten Dateien sind identisch mit dem zu erwartenden Soll-Koordinaten. Auch die Rücktransformation ist erfolgreich, dazu wird das erzeugte Punktraster aus Export_GK5_CSV.csv als Layer importiert und beim Export das lokale VA Koordinatenreferenzsystem ausgewählt.

4.1.2 ESRI ArcGIS Pro

In ArcGIS Pro kann ein neues Koordinatenreferenzsystem über zwei verschiedene Wege angelegt werden:

- Eine *.prj Datei mit dem CRS/WKT-String oder
- manuell interaktiv über ein Formular.

Die Vorzugsvariante ist die Konfiguration über eine *.prj-Datei. Dabei ist zu beachten, dass die Firma ESRI einen Dialekt der WKT-Strings entwickelt hat. Von der bereitgestellten Datenbank werden alle VA-Systeme auch mit diesem ESRI-Dialekt exportiert. Der Import des lokalen VA-Systems wird über folgende Anweisungen durchgeführt: *Rechtsklick auf Map (im Projektbaum) \Rightarrow Properties \Rightarrow Coordinate Systems \Rightarrow Add Coordinate System (Plus-Icon) \Rightarrow Import Coordinate System \Rightarrow z.B. 6649_Weixdorf_Bad.prj auswählen (ESRI Dialekt erforderlich) \Rightarrow OK*

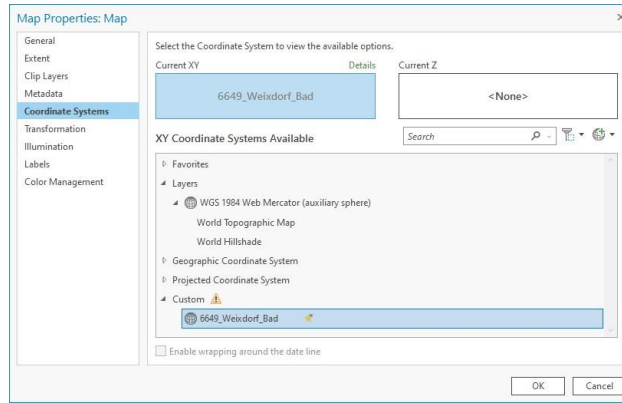


Abbildung 16 Mit einem CRS/WKT-String im ESRI Dialekt, kann das lokale VA Koordinatenreferenzsystem für eine Verkehrsanlage in ArcGIS Pro angelegt werden. Im Beispiel wird das VA System 6649_Weixdorf_Bad erzeugt. Damit kennt die GIS Software die vordefinierten Transformationsparameter und kann diese anwenden.

Alternativ (und etwas fehleranfällig) kann das VA-System interaktiv über ein Eingabeformular der Software ArcGIS Pro parametrisiert werden: *Rechtsklick auf Map (im Projektbaum) ⇒ Properties ⇒ Coordinate Systems ⇒ Add Coordinate System (Plus-Icon) ⇒ New Projected Coordinate System.*

New Projected Coordinate System	
Name	Weixdorf_Bad_Var2
Linear Unit	Meters
Meters per unit	1
Projection	Transverse Mercator
False Easting	5000
False Northing	10000
Central Meridian	13,8038
Scale Factor	1,0000294
Latitude Of Origin	51,1412
Geographic Coordinate System	GCS DB REF
Name	GCS DB REF
Angular Unit	Degree
Radians per unit	0,0174532925199433
Prime Meridian	Greenwich
Longitude relative to Greenwich	0°
Datum	Deutsche Bahn Reference System
Spheroid	Bessel 1841
Semimajor Axis	6377397,155
Semiminor Axis	6356078,96281819
Inverse Flattening	299,1528128
<input type="button" value="Save"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Abbildung 17 Alternativ kann in der Software ArcGIS Pro das VA-System auch manuell parametrisiert werden. Die Projektion und das geographische Koordinatenreferenzsystem können aus einer Liste ausgewählt werden, weil das DB_REF in der globalen EPSG Datenbank geführt wird. Im Beispiel wird ein lokales VA-System *Weixdorf_Bad_Var2* angelegt.

Punktkoordinaten aus der Textdatei werden folgendermaßen dem Projekt als Layer hinzugefügt. *Reiter Map ⇒ Layer ⇒ Add Data ⇒ XY Point Data*

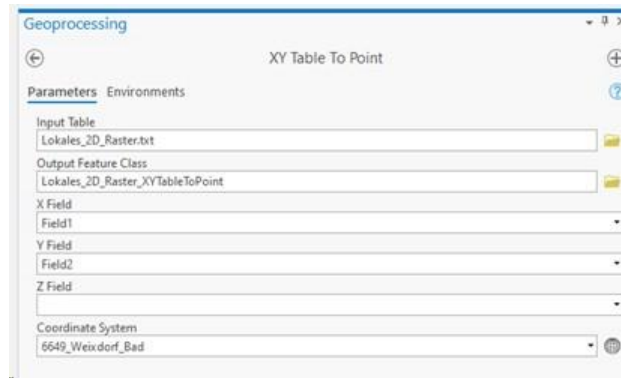


Abbildung 18 Punktdatei (Beispiel :Lokales_2D_Raster.txt) einlesen. Der GIS-Software ESRI ArcGIS Pro muss unter *Coordinate System* mitgeteilt werden, dass die Koordinatenwerte der Punkte im VA System 6649_Weixdorf_Bad angegeben sind.

Als Output wird der Dateiname standardmäßig über den Prozessname erweitert, diese Bezeichnung kann auch geändert werden. Die Koordinatenwerte müssen den Spalten zugeordnet werden und als Koordinatenreferenzsystem wird das zuvor angelegte lokale System gewählt. Der Prozess wird über *Run* ausgeführt. Als Zwischenergebnis erhält man das importierte 2D-Raster als Punkt-Layer angezeigt:

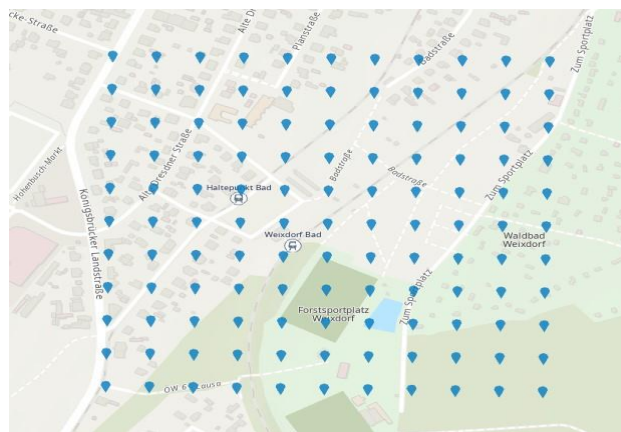


Abbildung 19 Als Zwischenergebnis wird die importierte Punktdatei als Punkt-Layer angezeigt

Für die Transformation wird ArcGIS Pro Tool *Projizieren* verwendet: *Reiter Analysis* ⇒ *Geoprocessing* ⇒ *Tools* ⇒ *Data Management Tools* ⇒ *Projections and Transformations* ⇒ *Project*

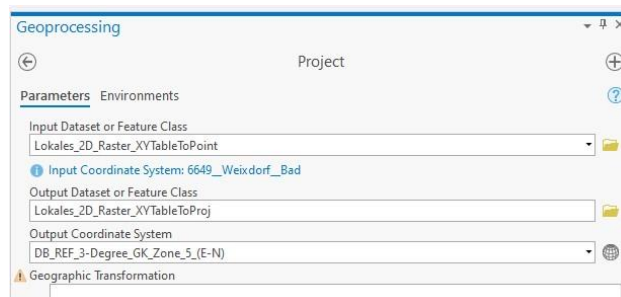


Abbildung 20 Das konvertierte Punktraster (VA ⇒ DB_REF/GK5) in eine Textdatei exportieren

In einem nächsten Schritt kann nun der Export durchgeführt werden. Der einfachste Weg dafür ist die Nutzung der Erweiterung *Data Interoperability Tools*, genauer das *Tool Quick Export*.

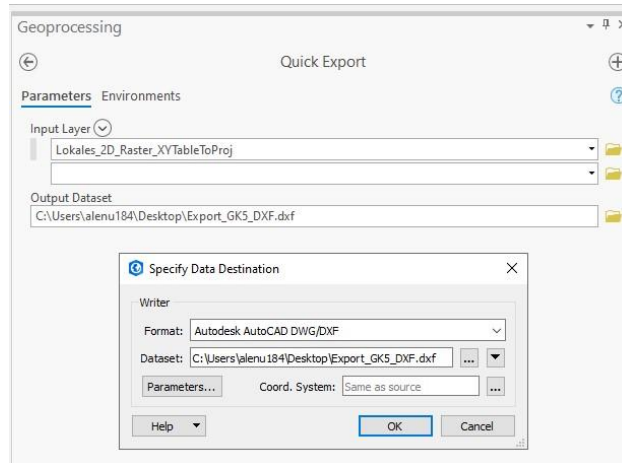
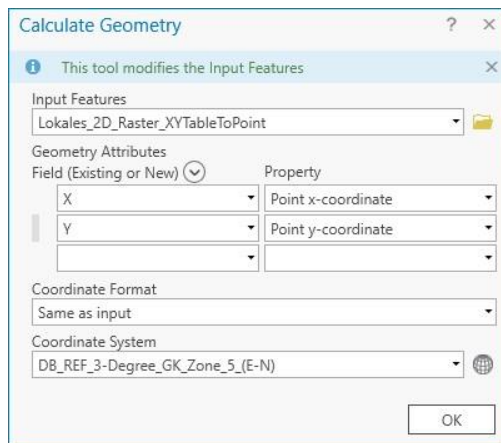


Abbildung 21 Mit Quick Export können auch andere Export-Format, z.B. dxf gewählt werden

Mit diesem Tool konnte wiederum, neben vielen anderen Formaten, *.dxf und *.json exportiert werden.¹⁹ Ohne die Erweiterung Data Interoperability Tools kann die Attributtabelle jeweils um eine Spalte X und Y mit Datentyp double erweitert werden.



Field:	OBJECTID *	Shape *	Field1	Field2	X	Y
1	1	Point	4750	9750	5416042,123533	5667646,746362
2	2	Point	4800	9750	5416092,119779	5667645,933466
3	3	Point	4850	9750	5416142,11602	5667645,120569
4	4	Point	4900	9750	5416192,112256	5667644,307672
5	5	Point	4950	9750	5416242,108486	5667643,494776
6	6	Point	5000	9750	5416292,104712	5667642,68188
7	7	Point	5050	9750	5416342,100932	5667641,868984
8	8	Point	5100	9750	5416392,097147	5667641,056088
9	9	Point	5150	9750	5416442,093358	5667640,243107

Abbildung 22 Tabelle mit transformierten Koordinaten erzeugen und exportieren. Links: Die Werte der neu angelegten Spalten werden automatisch mit den transformierten Koordinaten gefüllt. Rechts: Die Tabelle mit den transformierten Koordinaten kann exportiert werden

Die Berechnung durch die Software ArcGIS pro muss jetzt noch angestoßen werden *Rechtsklick auf Layer ⇒ Attribute Table ⇒ Add ⇒ Spalten hinzufügen und speichern ⇒ Rechtsklick auf neuen Spaltenkopf ⇒ Calculate Geometry*. Es kann auch die Tabelle exportiert werden: *Rechtsklick auf Layer ⇒ Data ⇒ Export Table*.²⁰

In der Tabelle werden nun die richtigen DB_REF/GK Koordinaten aufgelistet.

¹⁹ Beim *.csv Export kann im Werkzeug Quick Export das Koordinatenreferenzsystem nicht geändert werden. Es werden immer die ursprünglichen lokalen Koordinaten exportiert.

²⁰ Diese Möglichkeit ist für Geometrie eher weniger gut geeignet, wenn aber schnell Punkte transformiert werden sollen, ist das eine schnelle Möglichkeit.

4.1.3 Autodesk Map3D / Civil3D

Die Konzepte der Koordinatenreferenzsysteme, Datumstransformationen und Umrechnung sind in den beiden Programmen Autodesk Programme *Civil3D* und *Map3D* identisch.

In den Autodesk Produkten kann das Koordinatenreferenzsystem nicht über einen OGC/ISO-standardisierten CRS/WKT-String oder Proj-String angelegt werden. Autodesk verwendet ein eigenes XML-Schema für die Definition von Koordinatenreferenzsystemen. Die in der Datenbank (Abschnitt 2) spezifizierten VA-Systeme liegen deswegen zusätzlich im XML-Format vor. Die CRS/WKT und Proj-Strings unterscheiden sich nur im Format, aber sind mathematisch identisch. Die XML Spezifikation für jedes VA-System kann mit Hilfe des Befehls MAPCSLIBRARYIMPORT in Map3D oder Civil3D importiert und genutzt werden. Die Software muss nach dem Import neu gestartet werden.

Das manuelle Anlegen der VA-Systeme beginnt im *Ansichtsbereich Planung und Analyse: Reiter Karteneinrichtung* ⇒ *Koordinatensystem* ⇒ *Erstellen* ⇒ *Koordinatensystemdefinition erstellen* ⇒ *Weiter* ⇒ *mit Koordinatensystem beginnen* ⇒ *Weiter* ⇒ *neues Koordinatensystem erstellen (Koordinatensystemtyp: Projiziert)* ⇒ *Weiter*

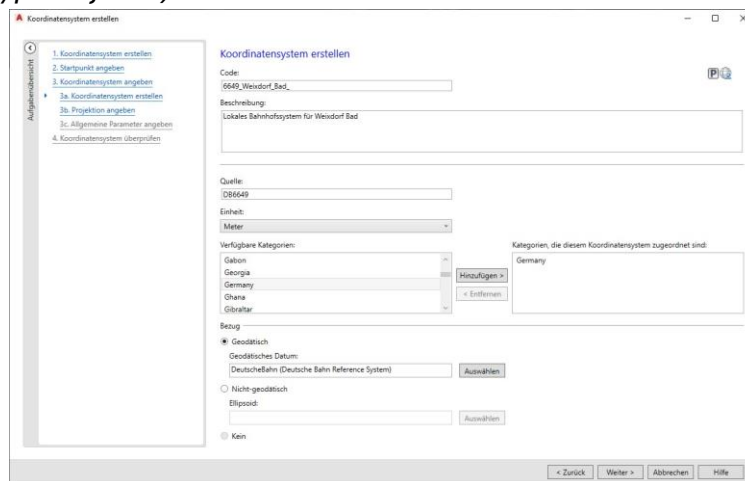


Abbildung 23 Das Anlegen des VA-Systems manuell. Code, Beschreibung, Quelle und Kategorie werden durch den Nutzer festgelegt. Das automatische Anlegen von Koordinatenreferenzsystemen ist mit den XML-Dateien aus der Datenbank ebenfalls möglich.

Nach der Festlegung von Code, Beschreibung, Quelle und Kategorie muss nach dem geodätischen Datum EPSG:1081 gesucht und DB_REF ausgewählt werden.

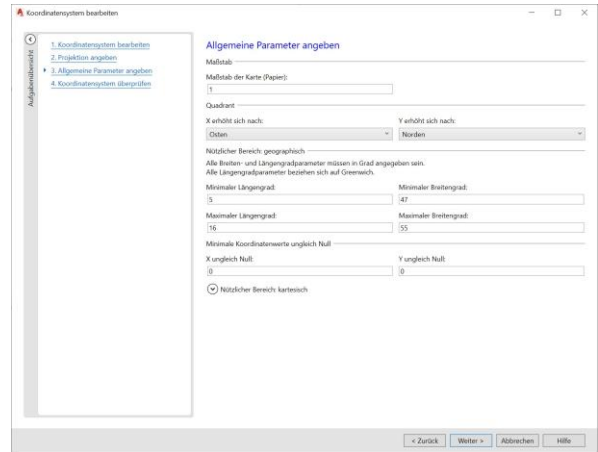
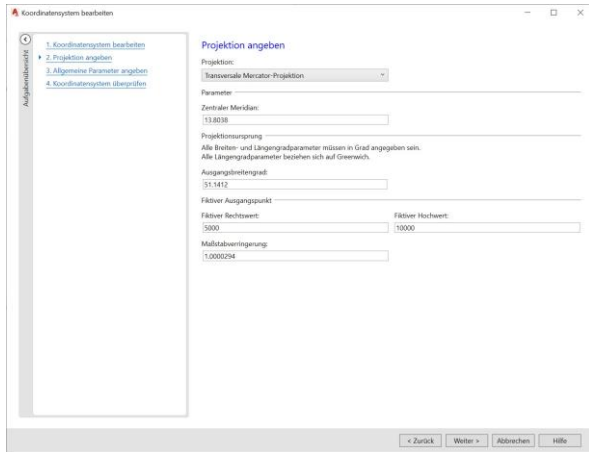


Abbildung 24 Manuelle Parametrierung des VA-Systems in Civil3D und Map3D.

Links: Für das VA-System müssen Zentralmeridian (durch VA) und Ausgangsbreitenkreis, Koordinaten-Offset und Maßstab festgelegt werden.
 Rechts: Der Papiermaßstab bleibt 1 und darf nicht mit dem Abbildungsmaßstab der Projektion verwechselt werden.

Die wichtigsten Parameter für das lokale VA-System sind Zentralmeridian, Ausgangsbreitenkreis, Koordinatenoffset und Maßstab der jeweiligen Verkehrsanlage. Der positive Abbildungsmaßstab >1 bezieht sich auf die Lagekoordinaten und ergibt sich aus der Höhe des Projektgebietes über dem Ellipsoid. Der Maßstab wird benötigt, um zwischen dem Naturmaßstab 1 im Planungsgebiet/Baustelle/BIM-Projekt und den DB_REF/GK Koordinaten auf dem Ellipsoid fehlerfrei umrechnen zu können.

Im folgenden Dialog können noch Zeichnungsgrenzen eingerichtet werden. Der Maßstab, der im folgenden Dialog gesetzt wird, bezieht sich auf den Papiermaßstab und muss 1 sein, die anderen Werte können voreingestellt bleiben. Oder Minimal- und Maximalwerte werden grob auf das Projektgebiet angepasst.

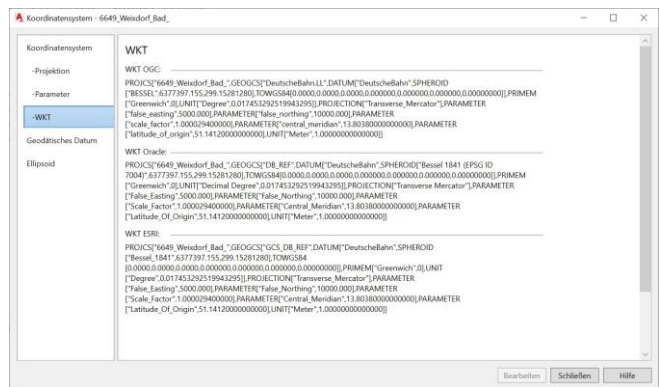
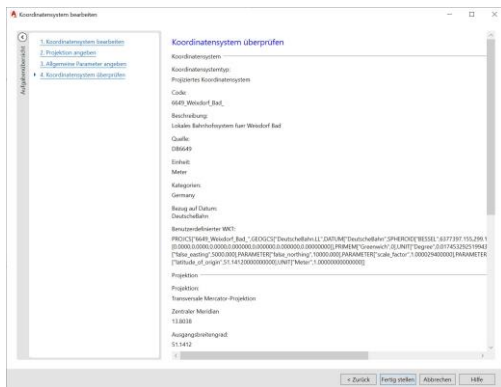


Abbildung 25 Am Ende der manuellen Parametrierung wird das erstellte VA-System zusammengefasst und es werden Kopiervorlagen für andere Software-Programme angezeigt.

Links: Zusammenfassung und Bestätigung.
 Rechts: Die erstellten CRS/WKT-Strings können für andere Anwendungen kopiert werden

Das erstellte Koordinatenreferenzsystem wird in anderen Formaten dargestellt. Mit *Fertig stellen* wird das System in der Software gespeichert. Mit dem Button *Zuweisen* wird das Koordinatenreferenzsystem der aktuellen Darstellung zugewiesen.

Die meisten Anwender benutzen angepasste, selbst entwickelte Tools für den Im- und Export von Punkten.²¹

Eine DXF Datei mit den Punkten im VA-System wird importiert. Das Symbol der Punkte kann nach dem Import mit dem Befehl PTYP angepasst werden. Der Zeichnung wird das Koordinatenreferenzsystem zugewiesen und als *.dwg gespeichert. Danach kann diese geschlossen werden. Nun wird eine neue *.dwg Datei angelegt, der das CRS DB_REF/GK5 (EPSG: 5685) System zugewiesen wird. Die vorher erstellte dwg-Datei im lokalen VA-System kann nun hinzugefügt werden. *Aufgabenfenster* ⇒ *Kartenexplorer* ⇒ *Rechtsklick auf Zeichnungen* ⇒ *Zuordnen* ⇒ *zu erster Datei navigieren* ⇒ *Hinzufügen* ⇒ *OK*

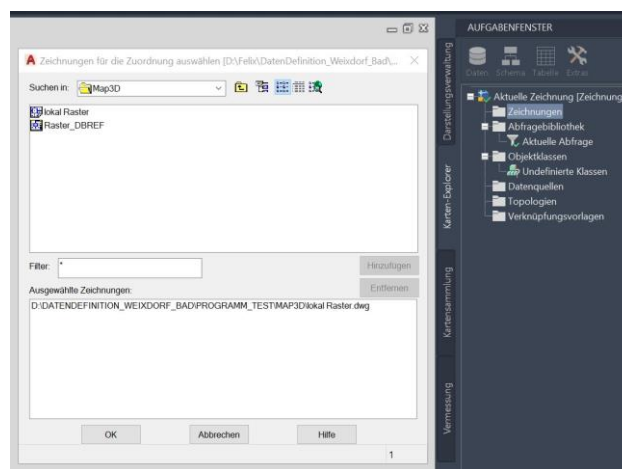


Abbildung 26 Das Raster wird in beiden Koordinatenreferenzsystemen angelegt und angezeigt

Im nächsten Schritt wird die Geometrie der Datei abgefragt und in der aktuellen Datei gezeichnet. *Rechtsklick auf Aktuelle Anfrage* ⇒ *Definieren* ⇒ *Position* ⇒ *OK* ⇒ *Abfragemodus* ⇒ *Zeichnen* ⇒ *Abfrage ausführen*

Die Transformation von DB Ref zum VA-System erfolgt in der gleichen Art.

4.1.4 Korfin

In der Software KorFin® und KorFin® Model kann bei Initialisierung ein Projekt u.a. entweder im DB_REF oder dem VA-System angelegt werden. Die Parameter des VA-Systems sind direkt bei Projektinitialisierung einstellbar:

²¹ Die eigentlich naheliegenden Anweisungen *Vermessungsdatenspeicher anlegen* ⇒ Punkte über *Rechtsklick ASCII-Punkte importieren* lädt keine Punkte, sondern Kartenelemente. Kartenelemente lassen sich später nicht transformieren!

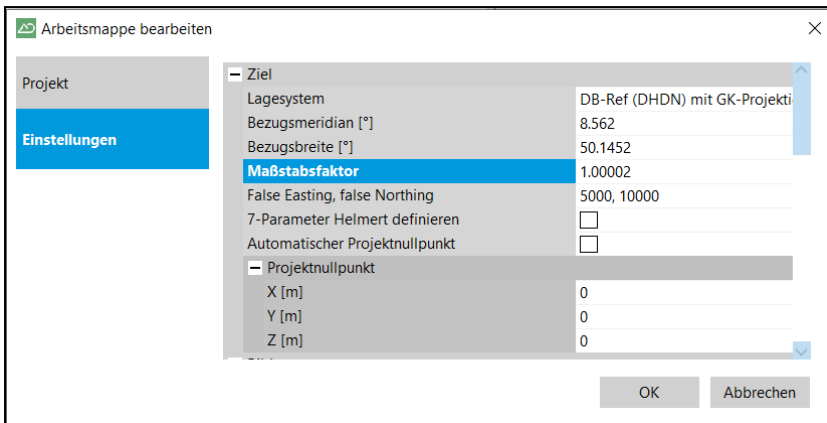


Abbildung 27: Einstellung VA-System in KorFin® Model für die Bestandsmodellierung

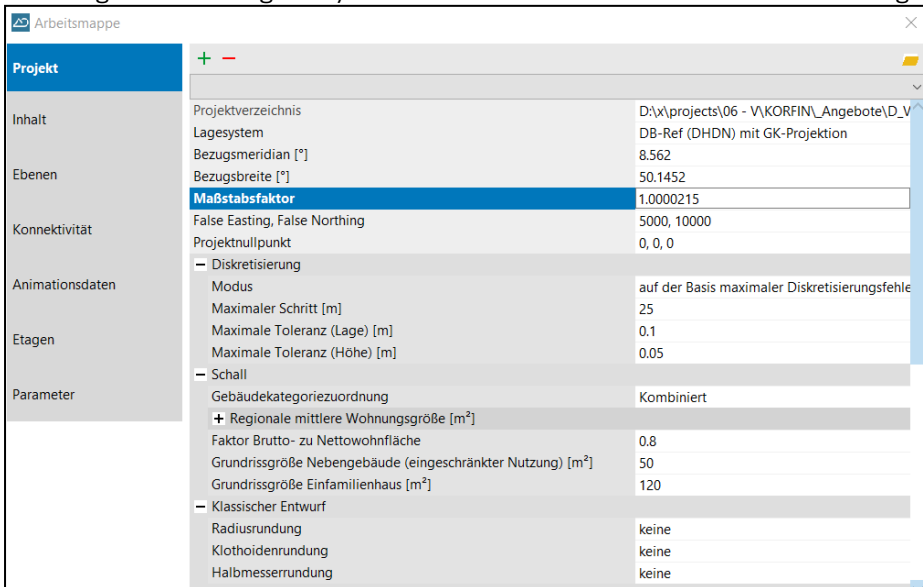


Abbildung 28: Initialisierung des VA-Systems in KorFin® für die Planung

Im KorFin® Model werden im Anschluss alle Geobasisdaten (DGM, DOPs, CityGML, ALKIS, ATKIS, weitere Geoinformation) aus dem amtlichen UTM-System oder dem DB_REF automatisiert in das VA-System transformiert und die entsprechenden Ressourcen (Fachmodell DGM, Stadtmodell, Fachmodelle für Geoinformationen) im VA-System erzeugt. Bei Integration der Datengrundlagen ist Angabe des Quellsystems in KorFin® Model erforderlich:

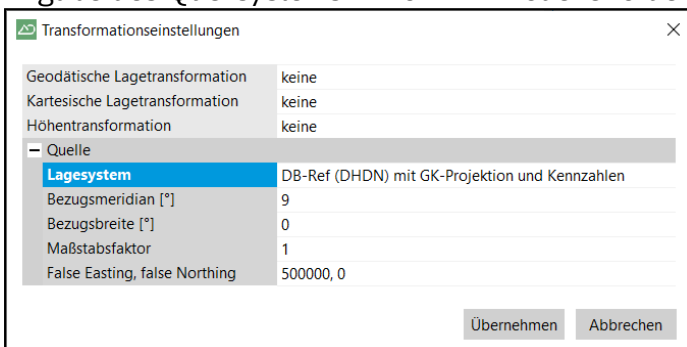


Abbildung 29: Einstellung des Quellsystems für alle Geodaten in KorFin® Model am Beispiel DB_REF

Ist eine geodätische Transformation erforderlich (z.B. bei Datengrundlagen aus UTM, alte Landesysteme), existieren in KorFin® Model entsprechende Voreinstellungen. Für Datengrundlagen im DB_REF ist nur eine Projektion (von DB_REF zum VA-System auf dem gleichen Ellipsoid) und

keine Transformation (mit verbundenem Datumswechsel) erforderlich, somit muss hierbei nur das Quellsystem korrekt angegeben werden.
 Das KorFin® Projekt wird entweder aus dem vorgenerierten KorFin® Model Projekt erstellt und liegt dann bereits im VA-System vor bzw. kann auch ohne Bestandsmodellierung aus Geobasisdaten direkt im VA-System manuell konfiguriert werden.
 Die im KorFin® Projekt geplanten und abgesetzten Objekte und Bauteile erfolgen im VA-System. Alle angemeldeten Quelldaten (wie z.B. Vermessungskerne, Achsen, Gradienten und weitere Fachmodelle) erfordern ebenso eine Einstellung des Quellkoordinatensystems sowie eine Angabe zur geodätischen Transformation, falls erforderlich:

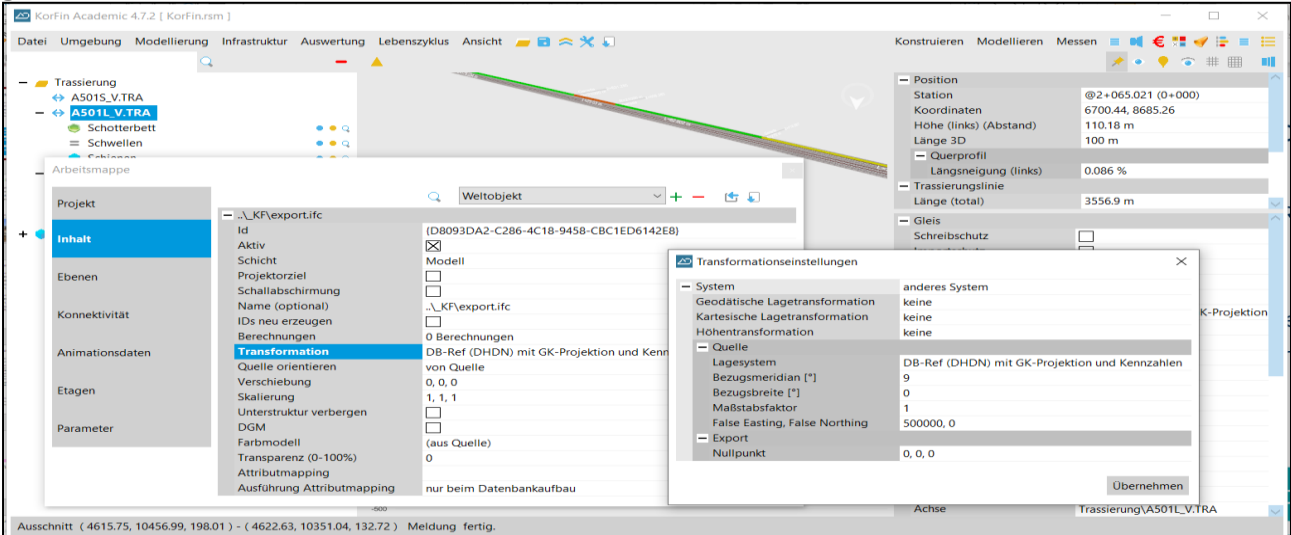


Abbildung 30: Transformationseinstellung bei Anmeldung von IFC-Quelldaten im DB-Ref und Transformation in ein Projekt mit VA-System

Im Falle von Fachobjekten mit Repräsentation als 3D-Geometrie (z.B. in den Formaten IFC 2x3, IFC 4 oder LandXML) werden die 3D-Geometriedaten punktwise vom Quellsystem über die angegebene Transformationsmethodik in das VA-System transformiert.
 Für Trassierungsdaten findet eine automatisierte Transformation der Achsen, Gradienten und Überhöhungen statt, d.h. die Radien/Krümmungen werden entsprechend des Skalierungsfaktors angepasst (siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).
 Die im KorFin® Projekt erzeugten Ergebnisse können entweder im lokalen VA-System oder durch Angabe eines anderen Zielsystems exportiert werden.

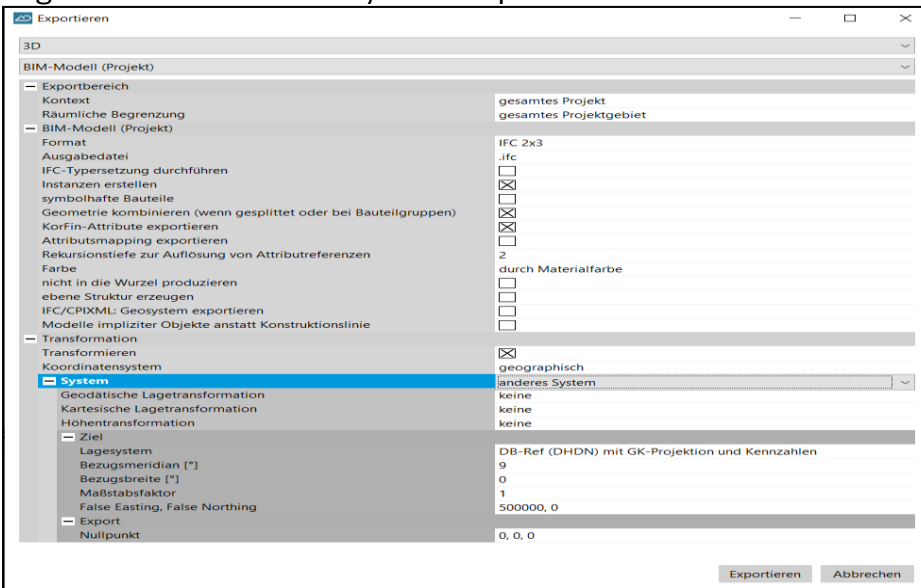


Abbildung 31: Exporteinstellungsdialog aus KorFin - Fachobjekte, Fachmodelle und Teilmodelle können aus dem Projektsystem in beliebige Systeme exportiert werden.

Das gesamte Projekt, eine Objektauswahl oder ein räumlich-geometrischer Modellausschnitt, kann aus KorFin® über verschiedene Trassierungs- (u.a. VermEsn GRA/TRA, LandXML) und BIM-Schnittstellen (IFC 2x3, IFC 4, CPIXML) exportiert werden. KorFin® unterstützt hierbei neben dem Export in projiziert, kartesische Koordinaten (wie DB_REF oder VA-System), zusätzlich den Export in geozentrischen Koordinaten. Zudem kann für den Export ein anderer Ziel-Projektnullpunkt angegeben werden.

4.1.5 ProVI

In ProVI wird die Georeferenzierung von DB-Personenbahnhöfen in der Planung mit dem bereits im Programm vorhandenen Modul „Koordinatentransformation“ ermöglicht. Hierdurch sind die Anwender in der Lage alle vorhandenen koordinatenbehafteten ProVI-Projektdaten oder reine Zeichnungselemente zu transformieren.

Die Transformation zwischen Landeskoordinatensystem und lokalem Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) erfolgt mittels der neuen Transformationsmethode „CAPLAN-Transformation DB-Verkehrsanlage“. Hierbei kann sowohl in als auch aus einem Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) transformiert werden. Die Datengrundlage der lokalen Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) bildet die Koordinatensystem VA-Datenbank Liste („dbref_va_syst.csv“).

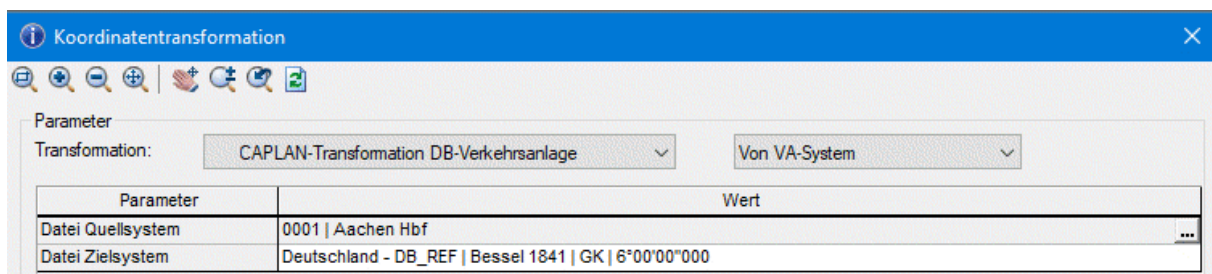


Abbildung 32: Oberfläche Koordinatentransformation ProVI(TRANSF)

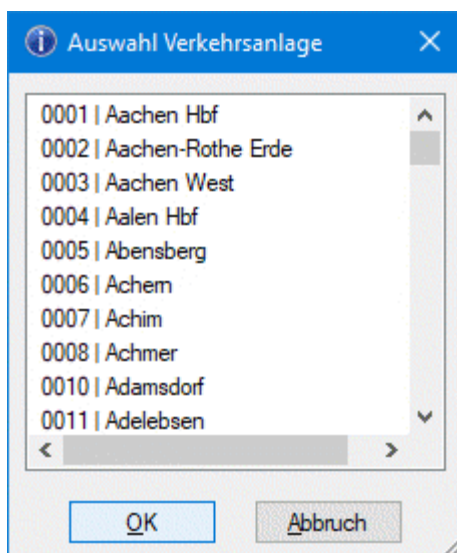


Abbildung 33: Bahnhofsauswahlliste ProVI

Nach Auswahl des Quell- und Zielsystems über Auswahldialoge hat der Anwender noch die Möglichkeit die zu transformierenden Daten auszuwählen und führt dann die gewählte Transformation durch.

4.1.6 Card_1

Bei einer Transformation in card_1 werden die Koordinaten der Projektdaten vom Quellkoordinatensystem ins Zielkoordinatensystem umgerechnet. Das Zielkoordinatensystem ist dasjenige System,

in dem die Projektdaten nach der Transformation weiterbearbeitet werden. Dieses Arbeitskoordinatensystem für die Lage ist in card_1 immer unter der Koordinatensystemnummer 1 gespeichert. Um eine Transformation in card_1 berechnen zu können, müssen zunächst die Koordinatensysteme definiert sein.

Als Vorbereitung für die Transformation zwischen DB_REF und VA-System muss die VA-System Datenbank in den Unterordner \TRAFO\VA-System Datenbank des card_1 Programmordners kopiert werden. Nähere Informationen sind in der Textdatei im Ordner \TRAFO\VA-System Datenbank des card_1 Programmordners enthalten.

Ein neues Koordinatensystem wird mit Hilfe der Koordinatensystemverwaltung angelegt:

Einstellungen ⇒ Koordinatensysteme verwalten.

Nummer	Kurzbez.	Bezeichnung	Systemart	Red. Rechts	Red. Hoch	Rechts min	Rechts max	Hoch min	Hoch max	Bemerkungen
1	VA-System	6649 Weixendorf Bad	örtliches (lokales) Lagesystem	0,0000	0,0000	4628,3832	5176,5172	9558,7110	9868,2883	
2	DB_REF2016	DB_REF2016	Höhensystem							EPSG:927
10	DB_REF	DB_REF_3GK5	übergeordnetes Lagesystem	0,0000	0,0000	0,0000	100,0000	0,0000	100,0000	EPSG:5685

Abbildung 34:Auswahl und Definition von Koordinatensystemen

Das Anlegen eines VA-Systems erfolgt über folgende Arbeitsschritte:

Bearbeiten ⇒ Lagesystem eingeben ⇒ Erläuternde Bezeichnung vergeben ⇒ Systemart ‚örtliches (lokales) Lagesystem‘ einstellen.

Abbildung 35:VA-System eingeben

Im zweiten Schritt wird ein DB_REF System über die Auswahl des EPSG-Kodes gespeichert:

Bearbeiten ⇒ Lagesystem eingeben (EPSG) ⇒ Auswahl des gewünschten DB_REF Systems über EPSG-Kode.

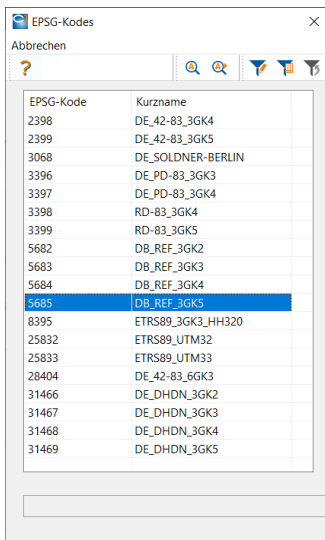


Abbildung 36: Auswahl des DB_REF Systems über EPSG-Code

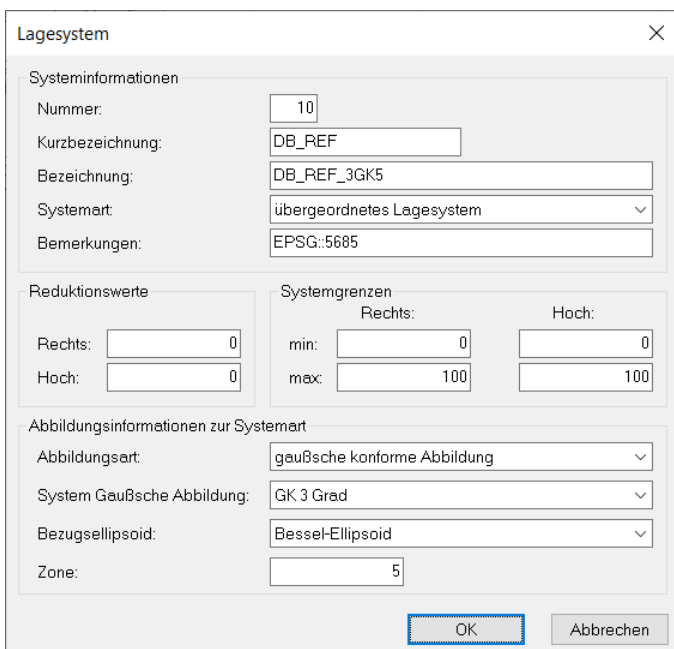


Abbildung 37: Eigenschaften des gespeicherten DB_REF Systems

In dem anschließenden Beispiel sollen vorliegende Projektdaten im Quellsystem ‚DB_REF/GK5‘ in das VA-System ‚6649_Weixdorf_Bad‘ umgeformt werden. Für diese Transformationsrichtung muss das Zielsystem ‚6649_Weixdorf_Bad‘ unter der Nummer 1 gespeichert sein. Das Quellsystem ‚DB_REF/GK5‘ kann unter einer beliebigen Nummer abgelegt sein.

Sollen Projektdaten in umgekehrter Richtung transformiert werden, ist das Zielsystem ‚DB_REF/GK5‘ entsprechend unter der Nummer 1 zu definieren.

Es werden nur Daten (Topografie, Achsdaten, Rasterbilder, CityGML-Daten etc.) transformiert, die in der Lageplanansicht sichtbar sind. Im Darstellungsmenü (einfach erreichbar über F2) kann die Darstellung der Projektdaten gesteuert werden.

Zunächst werden das Transformationsverfahren und die Parameter zur Umformung bestimmt:

Vermessung ⇒ Projektdaten transformieren ⇒ mit Aktivierung der Transformationsart ‚DB_REF<->VASystem‘ öffnet sich automatisch die VA-Systemauswahl.

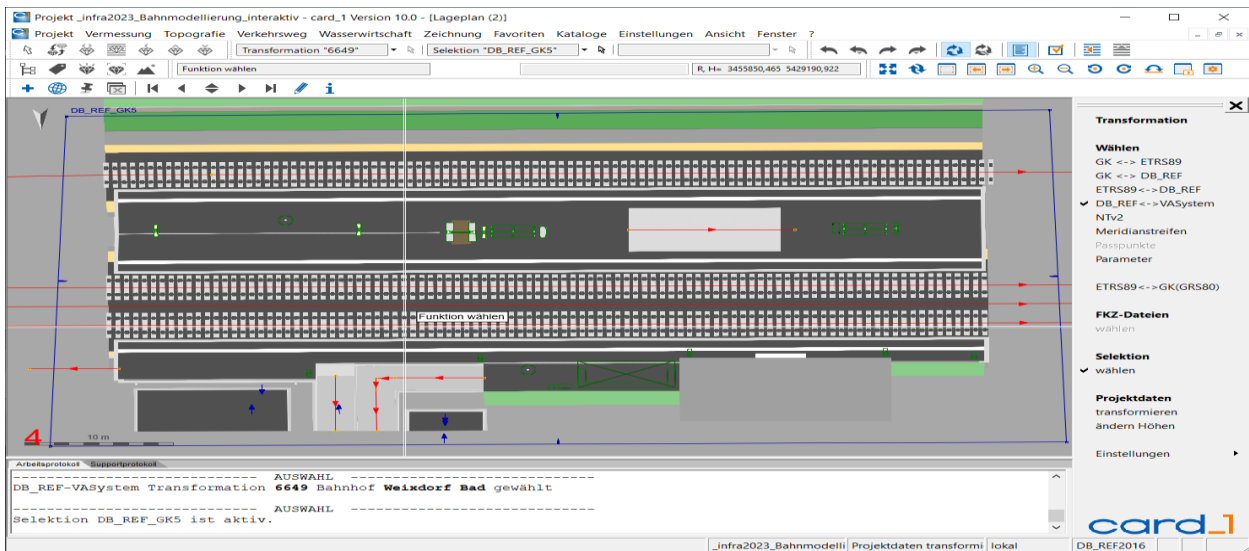


Abbildung 38: Projektdateien transformieren

Da in der VA-Systemauswahl eine Liste aller VA-Systeme geladen wird, kann die Auswahl über eine Schnellsuche per ID oder Bahnhofsnamen vereinfacht werden.

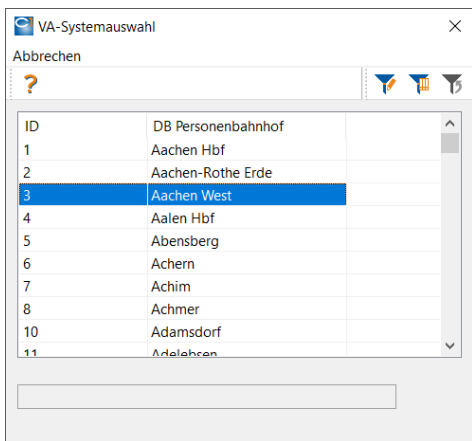


Abbildung 39: VA-System Auswahl

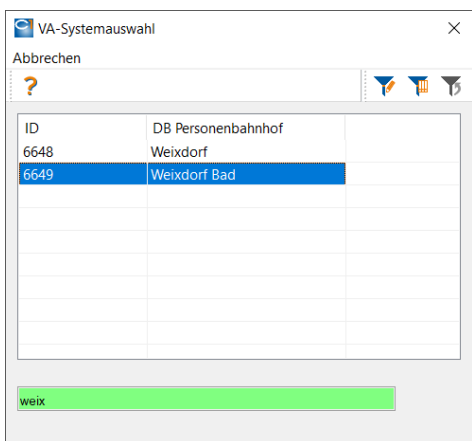


Abbildung 40: VA-System Auswahl mit Filtereingabe

Mit einem Selektionspolygon werden die zu transformierenden Daten weiter eingegrenzt. Es werden alle (dargestellten) Daten innerhalb eines Selektionspolygons transformiert. Über die Funktion

Selektion wählen wird ein vorhandenes Selektionspolygon ausgewählt oder ein neues Selektionspolygon angelegt.

Die Transformation lässt sich über die Funktion Projektdaten transformieren durchführen.

Projektdaten transformieren

Transformation: 6649
Selektion: DB_REF_5

Quellsystem
Nummer: 10 DB_REF
Bezeichnung: DB_REF_3GK5

Abbildungsinformationen
Abbildungsart: gaußsche konforme Abbildung
System Gaußsche Abbildung: GK 3 Grad
Bezugsellipsoid: Bessel-Ellipsoid
Zone: 5

Zielsystem
Nummer: 1 VA-System
Bezeichnung: 6649 Weikendorf Bad

Abbildungsinformationen
Abbildungsart:
System Gaußsche Abbildung:
Bezugsellipsoid:
Zone: 0

Projektausdehnung anpassen
 Zurücknehmen unterdrücken

OK Abbrechen

Abbildung 41 Projektdaten transformieren

Im Dialog muss das Quellkoordinatensystem, in dem die zu transformierenden Daten vorliegen, festgelegt werden. Über den Button mit dem Lupensymbol kann das System ausgewählt werden. Mit OK wird die Transformation gestartet.

4.1.7 Weitere 3D-Software ohne Raumbezug

Autodesk Revit

In der BIM Modellierungssoftware Revit sollten interner Ursprung und Projektbasispunkt identisch sein.

Der (runde) Projektbasispunkt enthält die vier Transformationsparameter Ostwert, Nordwert, Höhe und Nordrichtung. Revit kennt keine Maßstabsanpassung. Der (dreieckige) Vermessungspunkt dient der Koordinierung von Teil- und Fachmodellen. Er wird zur Visualisierung eines vereinbarten Koordinierungspunktes eingesetzt - legt aber selber keine Transformationsparameter fest.

Die Definition der Transformationsparameter des Projektkoordinatensystem des Revit Modells zum übergeordneten Koordinatensystem (Vermessung) erfolgt über *Verwalten* ⇒ *Projektposition* ⇒ *Koordinaten* ⇒ *Koordinaten an Punkt angeben* ⇒ *Projektbasispunkt wählen und Werte in Eingabemaske eingeben*.²²

Autodesk Navisworks/Manage

²² Eine manuelle Eingabe direkt im Zeichnungselement (blaue Schrift) führt zu einer meist ungewünschten Verschiebung des Projektbasispunktes bzgl. der Bauwerksgeometrie.

Die Koordinierungssoftware dient dem Zusammenführen von semantischen 3D-Modellen in einem Koordinationsmodell. Die Teil- und Fachmodelle können auf Konsistenz und Kollisionen geprüft werden. Die Koordinaten werden so übernommen, wie sie zum Beispiel in der IFC, DXF oder RVT gespeichert wurden. In Navisworks ist keine individuelle Anpassung der Transformationsparameter einzelner Datenquellen möglich. Auch der Import von objektstrukturierten GIS-Daten ist nicht möglich.

Desite BIM md pro

Die Koordinierungssoftware dient der Zusammenführung von semantischen 3D-Modellen in einem Koordinierungsmodell. Die Teil- und Fachmodelle können auf Konsistenz und Kollisionen geprüft werden. Die Koordinaten werden so übernommen, wie sie zum Beispiel in der IFC, DXF oder RVT gespeichert wurden. In Desite wird ein lokales dreidimensionales Koordinatenreferenzsystem für das Gesamtprojekt festgelegt. Es ist keine individuelle Anpassung der Transformationsparameter einzelner Datenquellen möglich. Auch der Import von objektstrukturierten GIS-Daten ist nicht möglich.

4.1.8 Zusammenfassung

Tabelle 9 Zusammenfassung: Geosoftware kommt mit dem VA-System problemlos zurecht. Bei der BIM-Modellierungssoftware und BIM-Kollaborationssoftware kann eine Georeferenzierung nur als Workaround konzeptualisiert werden.

Software	Anlegen CRS	Wie?	Umrechnung	Export	Rücktransformation
QGIS	✓	CRS/WKT- oder Proj-String	✓	✓	✓
ESRI ArcGIS Pro	✓	*.prj-Datei mit WKT String (Esri Dialekt)	✓	✓	✓
Autodesk Civil3D/Map3D	✓	XML Import	✓	✓	✓
Korfin	✓	über Eingabemaske	✓	✓	✓
Card_1	✓	Erfolgt softwareseitig über Ablage der CSV Liste im richtigen Ordner	✓	✓	✓
ProVI	✓	Erfolgt softwareseitig auf Basis der Bahnhofsliste	✓	✓	✓
Autodesk Revit	#	Koordinaten und Nordrichtung an PBP angeben	✗	✗	✗
Autodesk Navisworks	#	Alle Daten müssen bereits im gleichen CRS vorliegen	✗	✗	✗
Desite md pro	#	Alle Daten müssen bereits im gleichen CRS vorliegen	✗	✗	✗

4.2 Sonderfall: Vermessung beginnt in VA+

Falls zeitlich vor der DB_REF/GK Netzverdichtung bereits ein lokales Koordinatenreferenzsystem angelegt wurde, kann die Definition des VA um eine zusätzliche Transformation ergänzt werden, damit die bereits koordinierten Festpunkte, Objektvermessungen, Punktwolken und 3D-Modelle weiter in diesem lokalen Koordinatenreferenzsystem VA+ genutzt werden können.

Für diesen Sonderfall, dass die Objektvermessung und Modellierung zeitlich VOR der Netzverdichtung im DB_REF/GK durchgeführt wird sind folgende Arbeitsschritte notwendig:

1. Lokales geodätisches, maßstabsfreies Sondernetz erstellen
 - Einige wenige Punkte werden mittels GNSS-Messungen in DB_REF2016 ermittelt. Diese Messungen sollten mit mindestens 10 Minuten Messlänge und zwei unterschiedlichen Höhen erfolgen. Diese DB_REF2016 Punkte werden dann mittels der VA-Transformationsparameter in das VA-System überführt. Die Grundlagen für das VA-System sind somit hergestellt. Alle Messungen werden im VA-System ausgeglichen. Als Abschluss werden die ausgeglichenen Passpunkte in das DB_REF2016 Koordinatensystem transformiert und dokumentiert.
 - Der exakte Höhenanschluss erfolgt im DB_REF2016 über Nivellement oder in Ausnahmefällen über GNSS-Messungen weniger Punkte.
2. Lokale Objektvermessung zum Beispiel mittels Laserscanning und 3D-Modellierung durchführen
3. Normale und Richtlinienkonforme Netzverdichtung im DB_REF/GK
4. Umrechnung der DB_REF/GK Festpunkte ins VA. Mittels Passpunkten werden die Parameter der Affintransformation zwischen VA und VA+ bestimmt.
5. Ergänzung des CRS/WKT-Strings des VA+ Systems um Affintransformation
6. Publikation des VA+ Systems um eindeutige Umrechnung ins DB_REF/GK zu gewährleisten

Allerdings muss dieses Vorgehen softwareseitig vorher getestet werden, weil einige CAD- und GIS- Programme diese zusätzliche Transformation nicht ausreichend unterstützen.

Es konnten einige Programme der zusätzlichen Affintransformation umgehen, allerdings nur in der Lage. Wenn eine lokale Höhe angenommen wurde, konnte der Offset für die Z-Koordinate nicht automatisch von der Software angebracht werden.

5 Umgang mit Trassendaten

Die Trassierung und Änderung an der Trassierung finden in den projizierten DB_REF Systemen statt. Die beschriebene Transformation dient der Vereinfachung einer angelagerten Planung einer Verkehrsanlage und der Integration der Trassendaten in das VA-System. Die maßgeblichen Parameter der Richtlinien bleiben von der Transformation unberührt, da diese sich auf die geplante Trassierung im DB_REF beziehen.

Im VA System erfolgt keine Trassierung und somit auch keine gleisgeomertische und Fahrdynamische Prüfung

5.1 Trasse als Polylinie Transformieren

Dieses Vorgehen beschreibt die Transformation der Trasse mit dem Ergebnis einer Polylinie im Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System). Grundlagen sind die bereitgestellten Trassendaten, welche i.d.R. als Elemente im .mdb Format bereitgestellt werden.

- Erstellung einer Polylinie (Segmentierung) aus der Trasse, so dass der Abstand zwischen Polylinie und beigestellten Trassendaten kleiner 1mm beträgt
- Überführung der Polylinienpunkte in das Koordinatensystem Personenbahnhöfe (VA-System) durch Umformung der Einzelpunkte mittels Transformationsparameter in das Koordinatensystem Personenbahnhöfe

5.1.1 Transformation Trassendaten in Polylinie

Zur Überprüfung der Ergebnisse sollte anschließend ein Abgleich des Abstands zwischen Polylinie und beigestellter Trassendaten durchgeführt werden. Um Trassenelementinformationen auch in der Polylinie bereitzustellen, können diese als Attribute an die Einzelpunkte der Polylinie angehängen werden:

- Trassennummer
- Kilometrierung
- Überhöhung
- Trassenelement (Gerade, Kreisbogen ...)
- Informationen zum Trassenelement (Radius im DB_REF)

5.2 Trassenelemente Transformieren

Beim Übergang von DB-REF in das VA-System können auch Trassierungsdaten transformiert werden. Hierbei muss die Winkeländerung und der Skalierungsfaktor berücksichtigt werden, d.h. aus einem Radius von „7.000,0 m“ wird je nach Höhe und Abstand des Bezugsmeridians vom VA-System zum DB_REF ein Radius von z.B. „7000,0658 m“. Die Änderungen betreffen

- Radien bei Kreisbögen,
- Start- und Endkrümmungen bei Übergangsbögen,
- Halbmesser bei Gradienten sowie
- stationsabhängigen Daten, wie die Station zum Überhöhungsanfang, Überhöhungsende.

Die Transformation in das VA-System erfolgt elementweise, d.h. jedes Achselement wird für sich genommen transformiert. Somit bleibt die Elementabfolge erhalten. Hierbei sollen die Hauptpunkte der Achse (die Elementübergänge) ohne Transformationsfehler abgebildet werden.

Die Transformation erfolgt über ein Trassierungspaket aus

- Gleisachse und Gleisgradient mit interner Stationierung (die Gleisgradienten beziehen ihre Stationen aus der Gleisachse) oder

Streckenachse, Gleisachse und Gleisgradient mit Fremdstationierung (die Gleisgradienten beziehen sich über ihre Stationen über die Streckenachse inklusive Stationsprüngen).

Eine Überprüfung mit der Polylinien Transformation sollte als Qualitätssicherung erfolgen und dokumentiert werden. Außerdem sollten die transformierten Trassenelemente auch wieder in das DB_REF, gleichen Workflow, transformiert werden, um die Richtigkeit des Workflows in beide Richtungen sicher zu stellen.

5.2.1 Transformation in KorFin

Die Transformation erfolgt entweder

- explizit, d.h. es werden im Projekt die bereits transformierten Trassendaten angemeldet und mit diesen weiter gearbeitet oder
- implizit, d.h. es werden die Trassierungsdaten im KorFin-Projekt mit Quelle DB_REF angemeldet und zur Laufzeit in das VA-System transformiert.

Im ersten Schritt wird ein Projekt mit der Parametrik des VA-Systems angelegt:

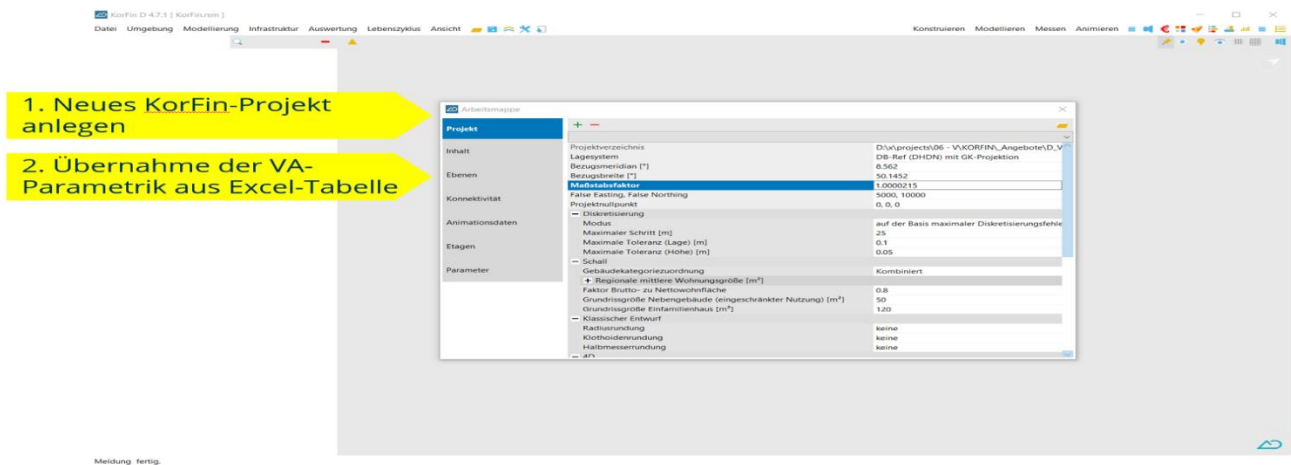


Abbildung 42: KorFin Projekt anlegen

Danach erfolgt die Integration der Streckenachse als Fachobjekt:

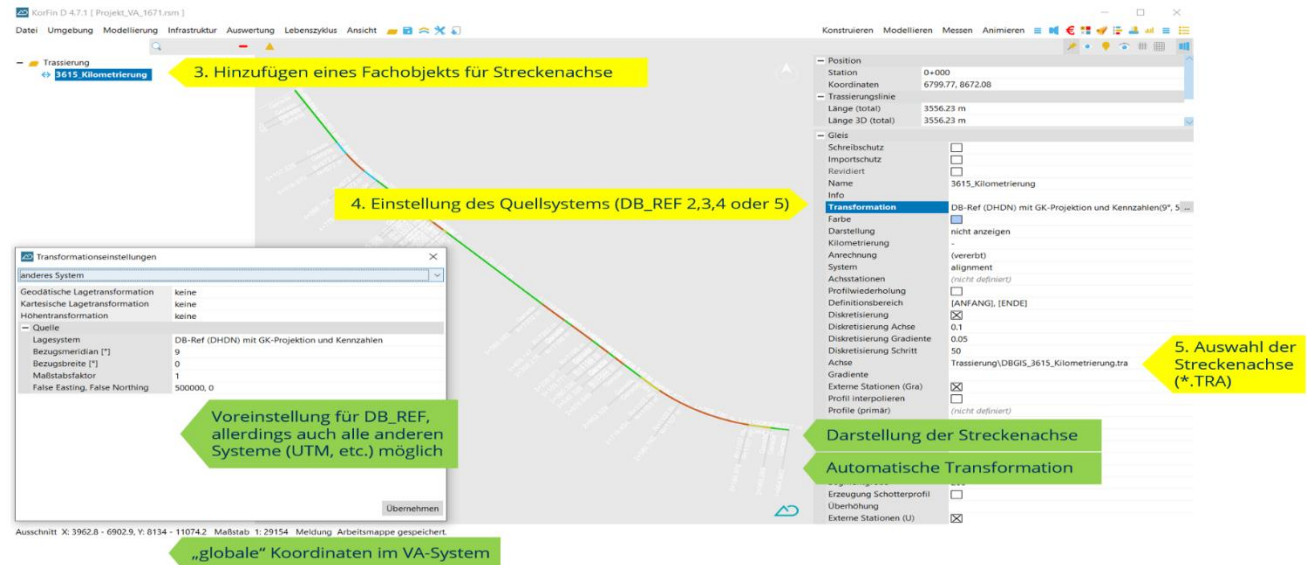


Abbildung 43: KorFin Streckenachse integrieren

Hierzu wird ein Fachobjekt „Gleis“ angelegt und die Streckenachse (z.B. im TRA-Format) definiert. Es erfolgt die Einstellung der Transformation von DB_REF in das Projektsystem (VA-System).

Im Anschluss erfolgt die Definition der Gleise. Hierzu werden Fachobjekte für die Gleise angelegt, die Transformation eingestellt, der Rückbezug zur Streckenachse definiert und die Daten für Achse und Gradiente angemeldet (GRA + TRA).

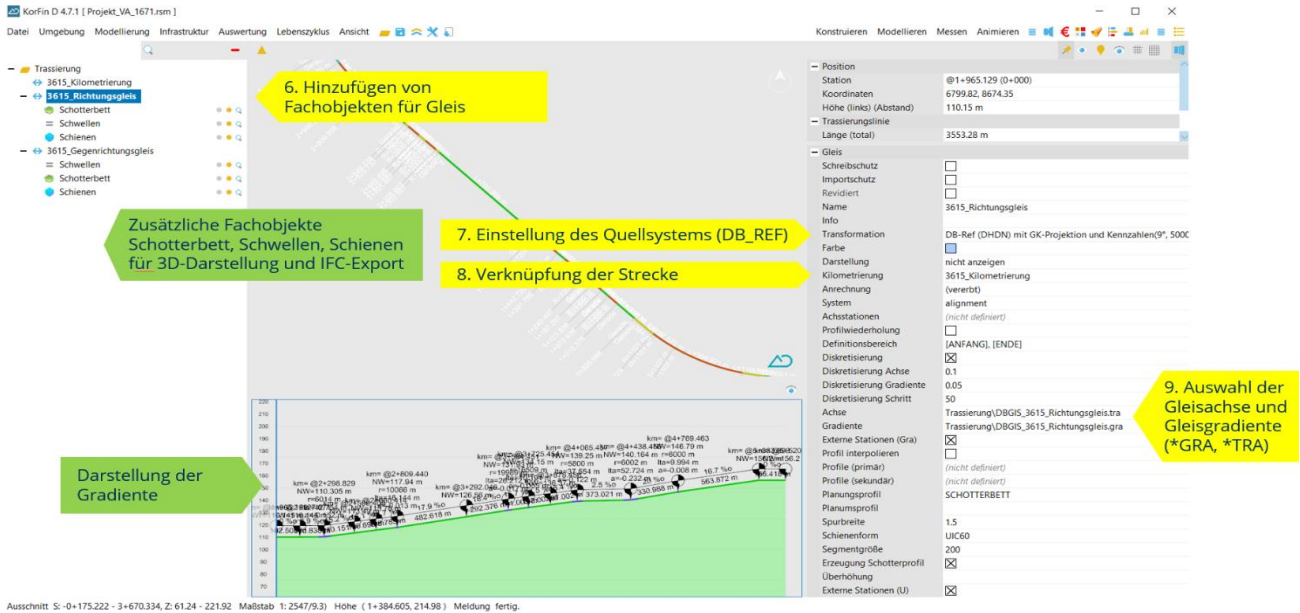


Abbildung 44: KorFin Definition der Gleise

Die angezeigten Gleise sind bereits die transformierten Gleisdaten im VA-System.

Anschließend können noch zusätzliche davon abhängige Fachobjekte definiert werden (z.B. Schwellen, Schotterbett, Schienen, etc.).

Danach können die (implizit) angemeldeten Daten im VA-System exportiert werden. Zuerst wird die Streckenachse exportiert (TRA der Streckenachse):

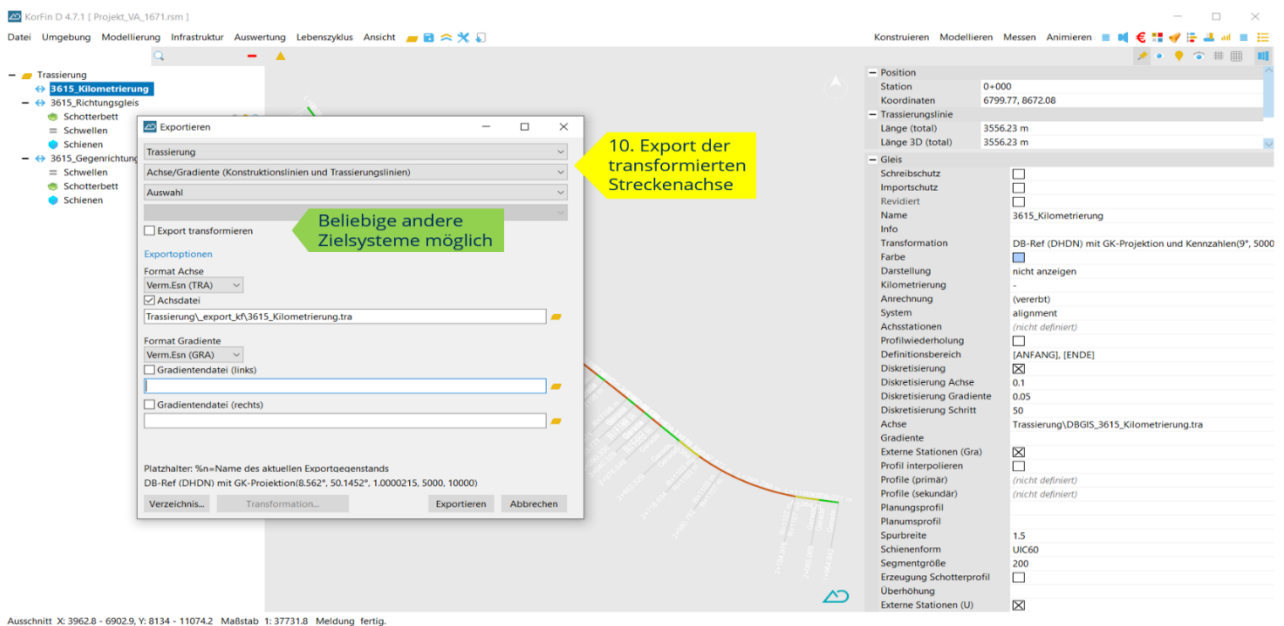
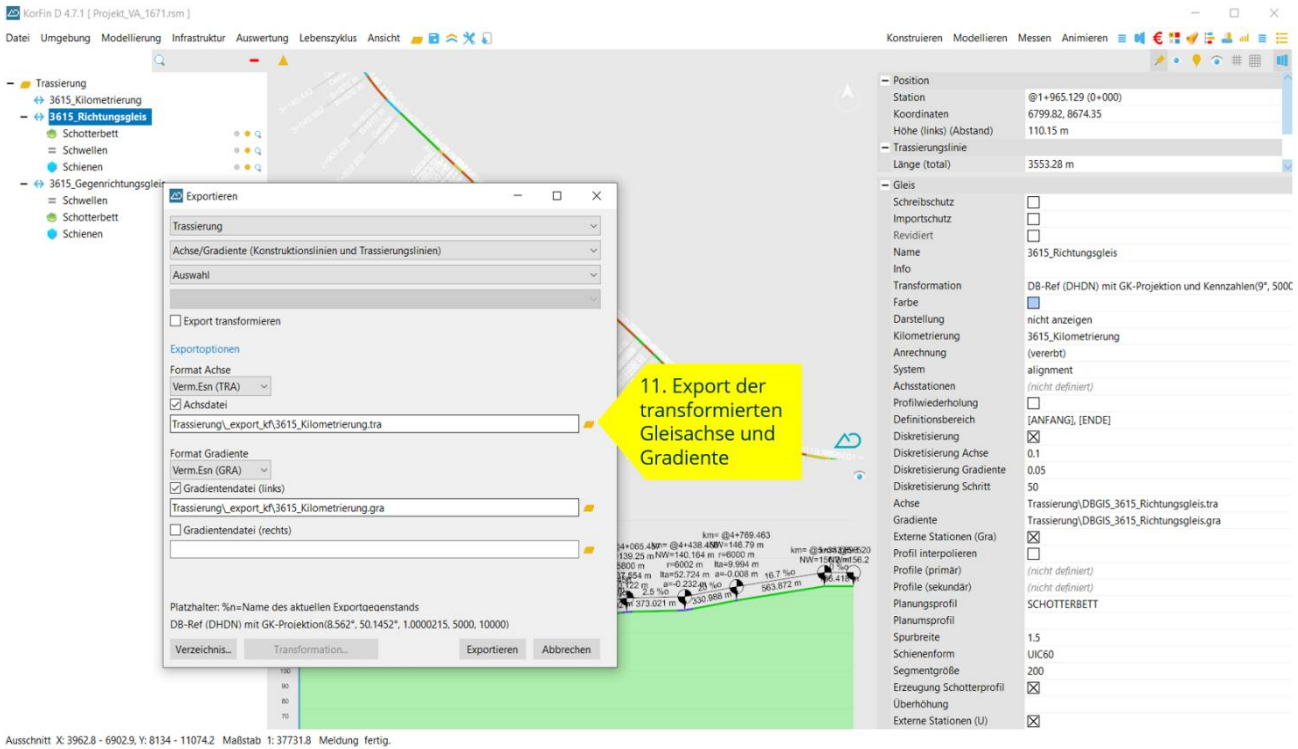


Abbildung 45: KorFin Export der Streckenachse in das VA-System

Danach erfolgt der Export der Gleisachsen (TRA + GRA, wobei sich die Gradiente je nach Einstellung auf die Stationen der Streckenachse beziehen kann):



Ausschnitt X: 3962.8 - 6902.9, Y: 8134 - 11074.2 Maßstab 1: 37731.8 Meldung fertig.

Abbildung 46: KorFin Export der Gleisachse

Die Ausgabe erfolgt ohne zusätzliche Transformationseinstellung im Projektsystem (VA-System).

Zur Verifikation kann die Ausgabe der abgeleiteten Volumenkörper der Gleisachsen (z.B. Schotterbett, Schienen, Schwellen) zusätzlich im IFC-Format erfolgen (IFC 2x3 oder IFC4). Diese enthalten die 3D-Geometrie-Daten als Dreiecksnetze.

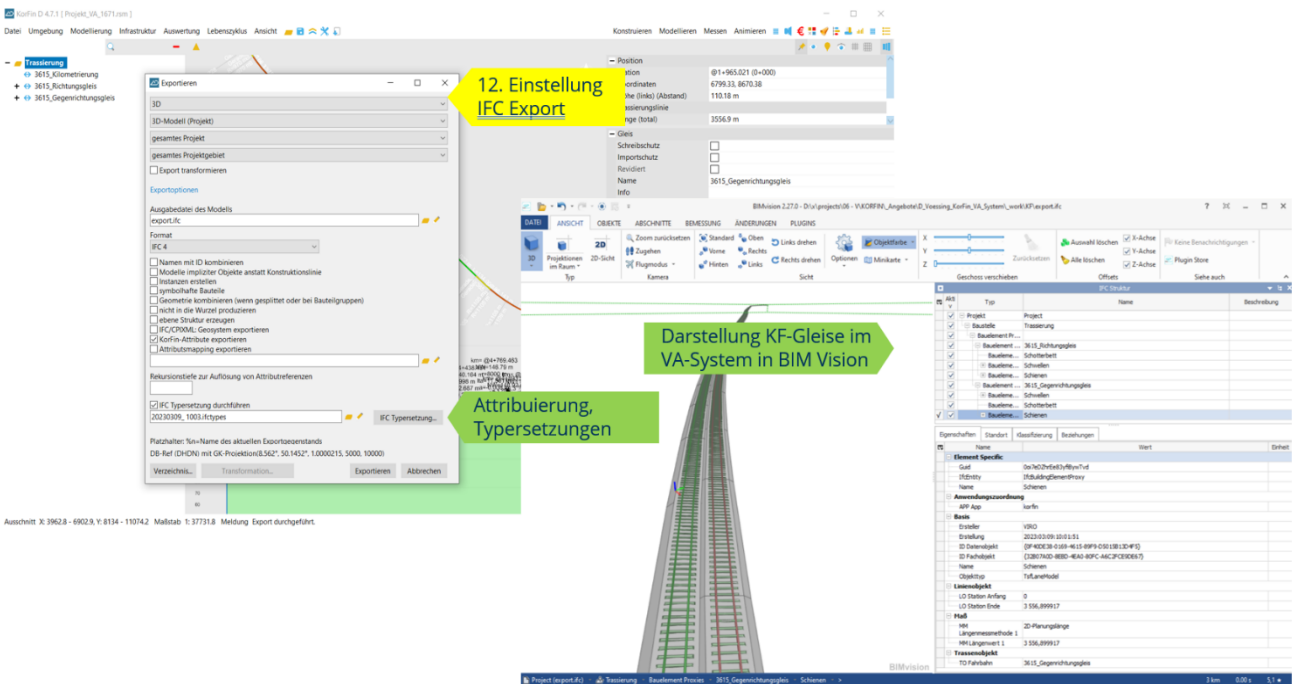


Abbildung 47: KorFin Export der Gleisachse in ein IFC

Neben der direkten Integration bzw. Konvertierung der Daten über das GRA/TRA-Format, können mittels des Zusatzwerkzeugs „MultiApp“ der A+S Consult GmbH als projektbezogenes Unterstützungs-Tool die Daten aus dem AVANI-Export (MDB-Datei) automatisiert in ein GRA/TRA-Format im DB_REF oder VA-System konvertiert werden.

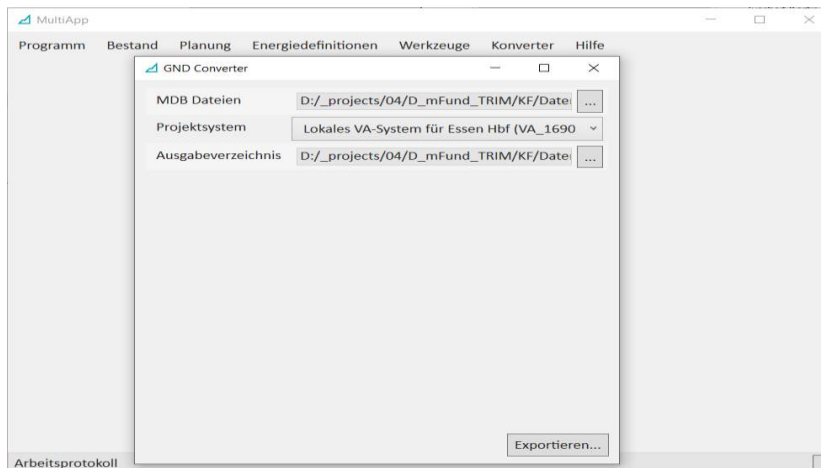


Abbildung 48:KorFin Konvertierung MDB zu GRA/TRA

Das Ergebnis sind CSV-Dateien, in welcher die Strecken- und Gleisdaten im GRA/TRA-Format referenziert werden. Die entsprechende CSV-Datei kann in KorFin® direkt angemeldet werden und enthält die Definition aller Strecken- und Gleisachsen im DB-REF oder VA-System.

5.2.1.1 Anmerkungen zu Transformationsfehlern und Toleranzen in KorFin

Die transformierten Trassierungsdaten erhalten durch die elementweise, lokale Transformation sehr geringfügige Richtungsknicke. Dies lässt sich mathematisch bei Beibehaltung der Elementfolge nicht vermeiden, da z.B. zwei aneinanderstoßende Geraden, ohne Richtungsknick nach einer Umprojektion auf einen anderen Bezugsmeridian, zwingend einen Richtungsknick haben müssen. Dies gilt für Kreisbögen und Übergangsbögen analog. Der Fehler lässt sich nur durch künstliche Elementverfeinerung begrenzen, jedoch nicht vollständig eliminieren (d.h. durch Teilung eines Elementes in zwei oder mehrere Teilelemente).

In das VA-System werden die Achselemente jeweils lokal optimal transformiert:

Die exakte Transformation und Stetigkeit in den Achshauptpunkte wird gewährleistet (es entstehen keine Sprünge). Weiterhin werden die Richtungstangenten der Elemente entsprechend der Transformation optimal angepasst. Hierbei können numerisch minimale Knicke mit Größenordnung „0,0000X Gon“ entstehen (siehe Prüfprotokoll). Die entstehenden minimalen Knicke sind weit weg von den Grenzwerten nach Richtlinie 883.5000, Seite 2 ($< 0,063662$ Gon). Eine Neueinrechnung der Elemente zur Vermeidung dieser numerischen „Knicke“ ist für Anwendungsfälle außerhalb der Trassierung (welche auch weiterhin im DB_REF stattfindet) unzureichend, da dies die vorrangige Genauigkeit der Transformation in den Achshauptpunkten mathematisch verletzen würde. Eine - wenn auch geringfügige - Verschiebung der Achshauptpunkte weg vom eigentlich exakten Transformationspunkt ist außerhalb des Anwendungsfalls Vermessung/Trassierung als schwerwiegender zu betrachten als numerisch minimal entstehende Knicke. In der praktischen Anwendung sind diese Richtungsknicke allerdings im VA-System irrelevant, da hier keine gleisgeometrische / fahrdynamische Prüfung stattfindet.

Weiterhin entsteht eine geringfügige Lageabweichung innerhalb des Elements. Diese ist bei gegebenen maximalen Elementlängen im Bahnhofsbereich (< 1 km Länge) vernachlässigbar und in der praktischen Anwendung im Submillimeterbereich.

5.2.2 Planungsworkflow mit ProVI unter Berücksichtigung der VA-Systeme

ProVI ist eine effiziente und praxisnahe BIM-Lösung für die Planung von Verkehrsinfrastrukturen wie Straße, Schiene und Leit- und Sicherungstechnik (LST). Mit der Einführung der lokalen Bahnhofsysteme ergeben sich keine umfangreichen Änderungen am bewährten Planungsablauf in ProVI. Am Beginn jeden Projekts steht das Zusammentragen von Planungsgrundlagen, wie z.B. das Einlesen von Gleisnetz- oder Achsdaten über die umfangreichen Schnittstellen. Nachdem alle planungsrelevanten Grundlagen in der Datenbank vorhanden sind, werden alle notwendigen koordinatenbasierten Daten von ihren Quellsystemen in das entsprechende VA-System mittels Koordinatentransformation transformiert. Im Anschluss wird auf Grundlage dieser transformierten Daten die weitere Planung wie bekannt fortgeführt und abgeschlossen. Wenn notwendig, können während des Planungsprozesses oder zum Ende jegliche Daten vom lokalen VA-System in die Landeskoordinatensysteme zurücktransformiert werden.



Abbildung 49:ProVI-Workflow mit VA-System

5.2.3 Card_1

5.2.3.1 Berechnung der Bahnsteigkante im globalen DB_REF Koordinatensystem

Zur Ermittlung der Abstands- und Höhenmaße der Bahnsteigkante (BSK) werden diese im DB_REF Koordinatensystem berechnet. Um den Abstand der Bahnsteigkante zu ermitteln, wird der Bahnsteiggenerator im globalen DB_REF System verwendet. Dort befinden sich auch Funktionen zur automatischen Generierung der BSK nach der RIL813. Zu empfehlen ist die Berechnung der BSK in einem größeren Bereich als vom Auftraggeber bestellt. Somit kann der Bahnsteig zu einem späteren Zeitpunkt im lokalen VA-System beliebig verschoben werden. Bei der Erstellung des Bahnsteiges mit dem Bahnsteiggenerator wird automatisch eine Topografielinie (Polylinie) der Bahnsteigkante in card_1 in der Schicht des Bahnsteiggenerators (BSGAAAAVV, A = Achsnummer, V = Vorgangsnummer) erzeugt, siehe Abbildung 1. Diese Linie sollte in eine entsprechende Schicht (z.B. „BSK-Bezugslinie“) kopiert werden.

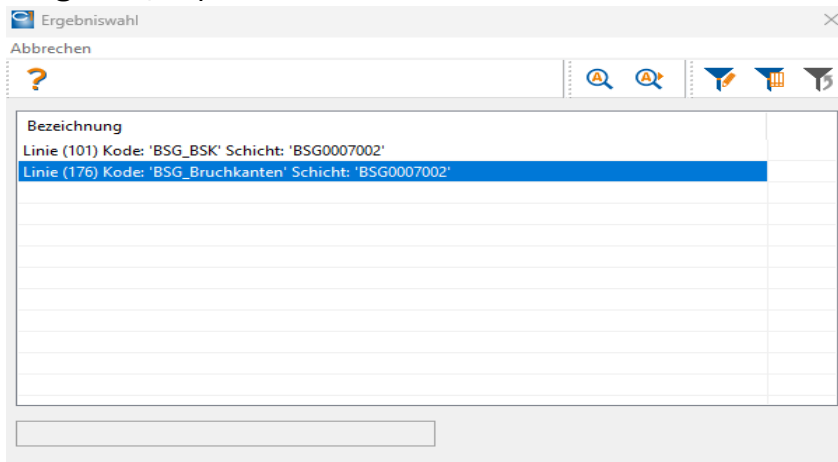


Abbildung 50:Card_1 Auswahl der Bahnsteigkantenlinie aus der automatisch erstellten Schicht des Bahnsteiggenerators

Info: Eine detaillierte Anleitung zur Bahnsteiggenerierung ist der Hilfe von card_1 zu entnehmen

5.2.3.2 Transformation der Grunddaten sowie der BSK-Bezugslinie in das lokale VA-System

Ist die Topografielinie in die entsprechende Schicht abgelegt, kann mit der Transformation begonnen werden. Diese befindet sich unter Vermessung → Projektdaten transformieren.

Info: Eine detaillierte Anleitung zur Transformation ist der Hilfe von card_1 zu entnehmen

5.2.3.3 Planung des Bahnsteiges im lokalen VA-System

Nach der Transformation der Daten kann mit der Planung des Bahnsteiges im lokalen VA-System begonnen werden. Hierbei muss man beachten, dass durch die Transformation die Achsen zwar weiterhin eingerechnet sind, aber ihre wahre Lage durch den Erhalt der Trassierungsparameter verloren ist. Deswegen wurde bereits im Schritt 1 eine Topografielinie erzeugt, welche sich auf die Gleisachse des DB_REF Systems bezieht. Auf diese Linie kann nun im Bahnsteiggenerator unter „Grunddaten“ im lokalen Koordinatensystem zugegriffen werden. Somit bezieht sich die Bahnsteigkante auf die transformierte Polylinie.

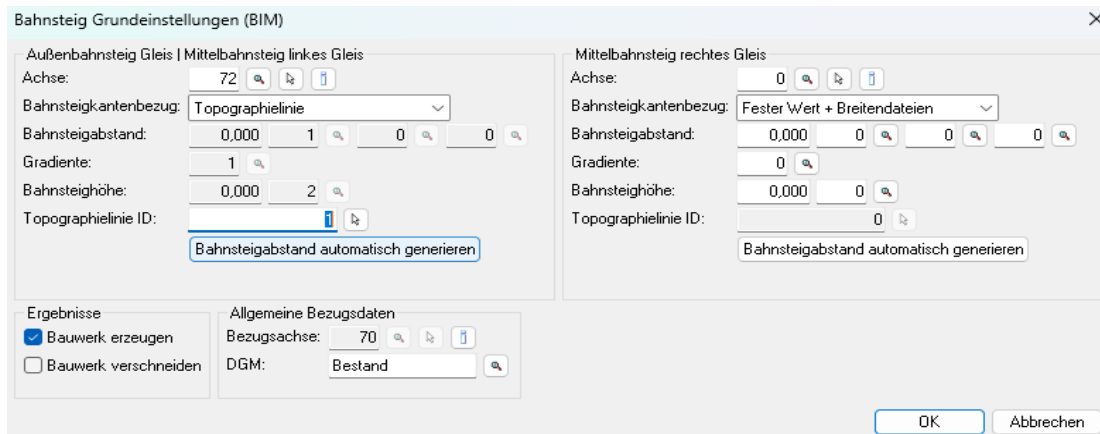


Abbildung 51:Card_1 Bahnsteigkantenbezug auf Topografielinie