

Wegleitung zum Use Case Georeferenzierung (GeoRef)

22.01.2021

Zu diesem Dokument

Diese Wegleitung soll **Architekten/Planern und Ingenieuren** die Notwendigkeit der Georeferenzierung ihrer digitalen Bauwerksmodelle und die dafür erforderlichen Grundlagen erläutern. Den **Geomatikern** wird aufgezeigt, wie Ihre Daten in ein BIM-Modell übertragen werden und welche Informationen die Planer dazu von Ihnen benötigen. Die Erläuterungen sind allgemein gehalten und berücksichtigen die lokalen Besonderheiten der Schweiz.

Hierzu werden im ersten Kapitel die theoretischen Grundlagen zum Verständnis der unterschiedlichen Koordinatensysteme vermittelt. Dabei werden nur die nötigsten Elemente behandelt, der interessierte Leser sei auf die unten angeführte Literatur verwiesen. Kapitel 2 gibt praktische Empfehlungen für die Wahl der unterschiedlichen Koordinatensysteme und stellt einen Bezug zu den entsprechenden IFC-Attributen her. Hier haben die Autoren ihre Praxiserfahrung im Sinne von «Best Practices» einfließen lassen.

Zur graphischen Beschreibung des Prozesses der Georeferenzierung wurde eine Prozesskarte entwickelt. Sie zeigt das schrittweise Vorgehen für eine korrekte Georeferenzierung in einer frühen Leistungsphase. Die Prozesskarte, sowie diese Dokumentation sind auf der Use Case Management Plattform von buildingSMART hinterlegt (<https://ucm.buildingsmart.org/>). Sie sind als Grundlage für weiterführende Use Cases, wie beispielsweise «Absteckung aus Modell» oder «Fachkoordination» gedacht. Zudem ersetzt dieses Dokument den bisherigen Use Case «Georeferenzierung (Projektursprung)».

Die folgenden Dokumente wurden bei der Erstellung der Dokumentation verwendet:

- buildingSMART FR, 2020. *Géoréférencer un projet BIM*.
- Clemen, C., Görne, H., 2019. *Level of Georeferencing (LoGeoRef) using IFC for BIM*. Journal of Geodesy, Cartography and Cadastre, 10/2019, S. 15-20. ISSN: 1454-1408.
- Ingensand, H., 2004. *Einführung in die Geodätische Messtechnik für Geomatik- und Bauingenieure*. ETH Zürich.
- Kaden, R., Clemen, C., 2017. *Applying Geodetic Coordinate Reference Systems within Building Information Modeling (BIM)*. FIG Working Week 2017. Helsinki Finland.
- Kaden, R., et al., 2019. *Leitfaden Geodäsie und BIM. Version 2.0 (2019) DVM-Merkblatt 11-2019*.
- Jaud, S., Donaubauer, A., Borrmann, A.: *Georeferencing with IFC: A Novel Approach for Infrastructure Objects, in: Computing in Civil Engineering, ASCE 2019*, pp. 377-385.
- Mitchell, J., et al., 2020. *User Guide for Geo-referencing in IFC. "How to Setup Geo-referencing in a Building or Linear Infrastructure Model". Version 2.0*. buildingSMART Australia.
- SIA D0270, 2018. *Anwendung der BIM-Methodik. Leitfaden zur Verbesserung der Zusammenarbeit*.

Autoren

		
Andreas Barmettler (Projektleiter) Trigonet AG, Luzern	David Holdener bbp geomatik ag, Gümligen	Thomas Marti Jauslin Stebler AG, Muttenz

Redaktion: Bernd Domer ([HES-SO/HEPIA](#)), Andreas Kluser ([GeoplanTeam](#))

Wir danken der [Steuergruppe BIM-Geodaten](#) für die Initialisierung sowie [Ingenieur-Geometer Schweiz](#) (IGS) für die finanzielle Unterstützung bei der Erstellung dieser Dokumente.

1. Einleitung

Die wichtigsten Aspekte dieses Kapitels kurz zusammengefasst:

Das Thema Georeferenzierung ist ganz zu Beginn eines Bauvorhabens durch den Planer bzw. Architekten zu behandeln und zu dokumentieren. So werden Fehler und Mehraufwendungen für alle Beteiligten vermieden. Die Georeferenzierung schafft den Bezug vom Projektkoordinatensystem zum übergeordneten geodätischen Koordinatensystem mittels einer Transformation. Da geodätische Koordinatensysteme verzerrungsbehaftet sind, entstehen bei der Transformation Ungenauigkeiten. Diese müssen nach den Genauigkeitsanforderungen des Bauvorhabens beurteilt und entsprechende Massnahmen wie beispielsweise die Einführung einer Massstabsänderung bei der Transformation getroffen werden.

In der BIM-Methodik müssen Geometriedaten bzw. Koordinaten mit teils unterschiedlichen Koordinatensystemen ausgetauscht werden. So liegen Geodaten wie Liegenschaftsgrenzen, Höhendaten oder Richtpläne typischerweise in einem verzerrungsbehafteten geodätischen (Landes)Koordinatensystem vor. BIM-Projektdateien hingegen werden oft in einem verzerrungsfreien kartesischen Projektkoordinatensystem dargestellt. Wird dieses Projektkoordinatensystem mittels Transformation zum übergeordneten geodätischen Koordinatensystem in Bezug gesetzt, spricht man von Georeferenzierung. Bei einer solchen Transformation, wie beispielsweise bei der Integration von Geodaten als BIM-Planungsgrundlagen oder auf dem umgekehrten Weg der Übertragung von Daten aus dem BIM-Projekt in die Örtlichkeit (Absteckungen/ Schnurgerüst), können Ungenauigkeiten entstehen. Das Ausmass dieser Ungenauigkeiten hängt von folgenden Faktoren ab:

- dem gewählten Projektkoordinatensystem
- der Längen- und Höhenausdehnung des Bauwerks
- der Lage und Höhe (m.ü.M.) des Projekts in der Örtlichkeit

Je nach Genauigkeitsanforderungen und Anwendungsfall muss beurteilt werden, ob die resultierenden Ungenauigkeiten toleriert werden können oder nicht. Aus diesem Grund müssen bereits zu Beginn des Bauvorhabens neben der Wahl des Projektkoordinatensystems Überlegungen zur Transformation ins übergeordnete Koordinatensystem - also zur Georeferenzierung - angestellt werden.

Gängige Koordinatensysteme sind:

- **Lokales Koordinatensystem:** verzerrungsfreies kartesisches Koordinatensystem mit ebenem Bezugshorizont, einem Massstab 1:1 bzw. ohne Massstabsverzerrung, «kleinen» Koordinatenwerten, nach Projektgeometrie orthogonal ausgerichtet (gedreht zu Kartennord) und meist mit einer lokalen Nullhöhe (+/-0.00) als Höhenreferenz. Längenberechnungen aus solchen Koordinaten entsprechen den realen Längen in der Örtlichkeit (keine Längenverzerrung). Mit diesem Koordinatensystem arbeiten in der Regel BIM-Autorensysteme.
- **Geodätisches Koordinatensystem:** verzerrungsbehaftetes, projiziertes Koordinatensystem mit gekrümmtem Bezugshorizont, einem Massstab ungleich 1 und «grossen» Koordinatenwerten, ausgerichtet nach Kartennord mit Gebrauchshöhen als Höhenreferenz (m.ü.M.). Längenberechnungen aus solchen Koordinaten entsprechen meist nicht den realen Längen in der Örtlichkeit (mit Längenverzerrung).

Die Längenverzerrungen bzw. -Reduktionen bei geodätischen Koordinatensystemen setzen sich aus der Abbildungs- und Höhenreduktion zusammen:

- **Abbildungsreduktion:** Bei der Abbildung des ellipsoidisch approximierten Erdkörpers in die Ebene entsteht eine Längenverzerrung. Dies ist abhängig vom Nord-/Süd-Abstand zum Berührungspunkt des Zylinders (Abb. 1). Im Falle der Schweiz liegt dieser Punkt in Bern (Abb. 1). Die Längenkorrektur vom geodätischen Koordinatensystem in ein lokales massstabsfreies System oder in die Realität ist dabei negativ. Das heisst, eine Strecke von 100 Meter, bestimmt aus Landeskoordinaten in Basel-Stadt (65 km Nord-Abstand von Bern), entspricht in der Realität aufgrund der Abbildungsreduktion einer Länge von 99.995m, in Lugano (100km Süd-Abstand von Bern) 99.988m und in Bern 100.000m.

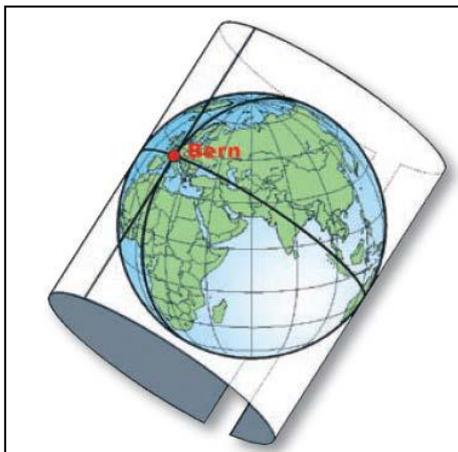


Abb. 1: Abbildung der Erde auf schiefachsigen Zylinder (Quelle swisstopo)

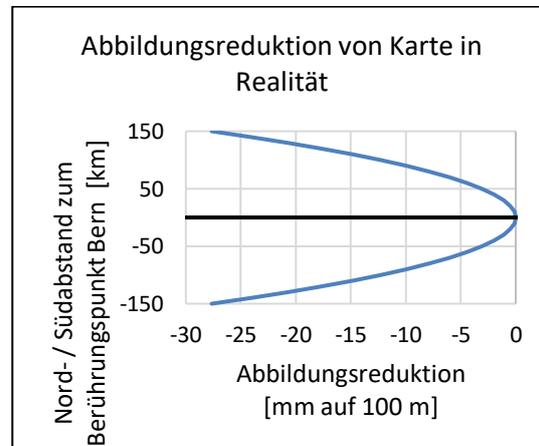


Abb. 2: Abbildungsreduktion

- **Höhenreduktion:** Massstabsbehaftete Geodaten bzw. aus Koordinaten berechnete Strecken beziehen sich auf die Höhe Null des Bezugshorizonts (Bsp. LV95 = 0.00 m.ü.M.). Die Längenverzerrung wächst damit mit der Meereshöhe, auf der sich das Bauwerk befindet. Die Korrektur vom geodätischen Koordinatensystem in ein lokales, massstabsfreies Koordinatensystem oder in die Realität ist dabei positiv. Das heisst, eine Strecke von 100 Metern, bestimmt aus Landeskoordinaten in Basel-Stadt (245 m.ü.M), entspricht in der Realität auf Grund der Höhenreduktion einer Länge von 100.004m, in Zermatt (1'600 m.ü.M) 100.025m und auf dem Titlis (3'240 m.ü.M) 100.051m.

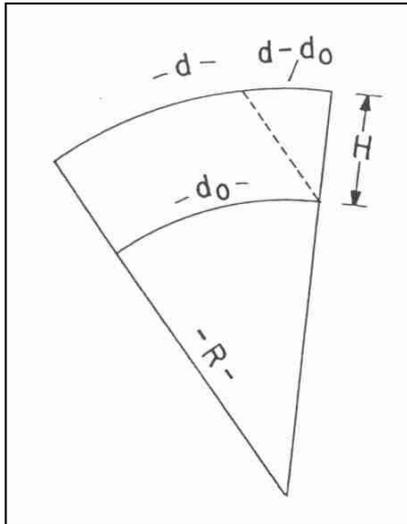


Abb. 3: Prinzip der Höhenreduktion (Ingensand (2004))

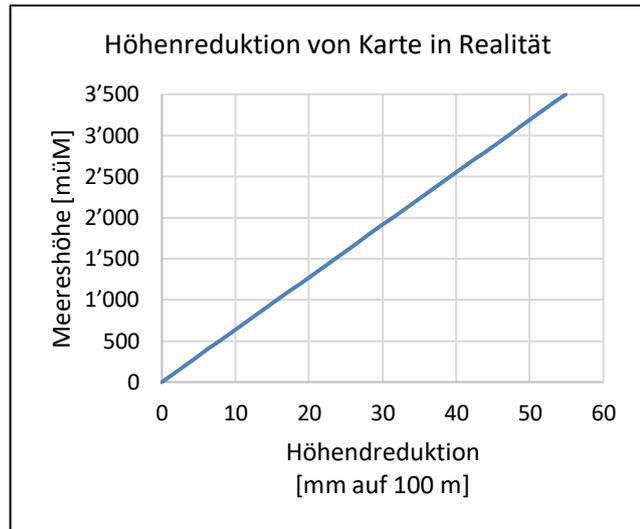


Abb. 4: Höhenreduktion

Das Ausmass der Längenverzerrung und somit des Masstabs ist damit von der Örtlichkeit des Bauwerks abhängig. In nachfolgender Abbildung sind die beiden Komponenten der Längenverzerrung, also die Abbildungs- und die Höhenreduktion miteinander verrechnet. Durch die gegensätzlichen Vorzeichen heben sich diese teilweise gegenseitig auf und es entstehen im Schweizer Mittelland keine Abweichungen von mehr als 15 mm auf 100 Meter.

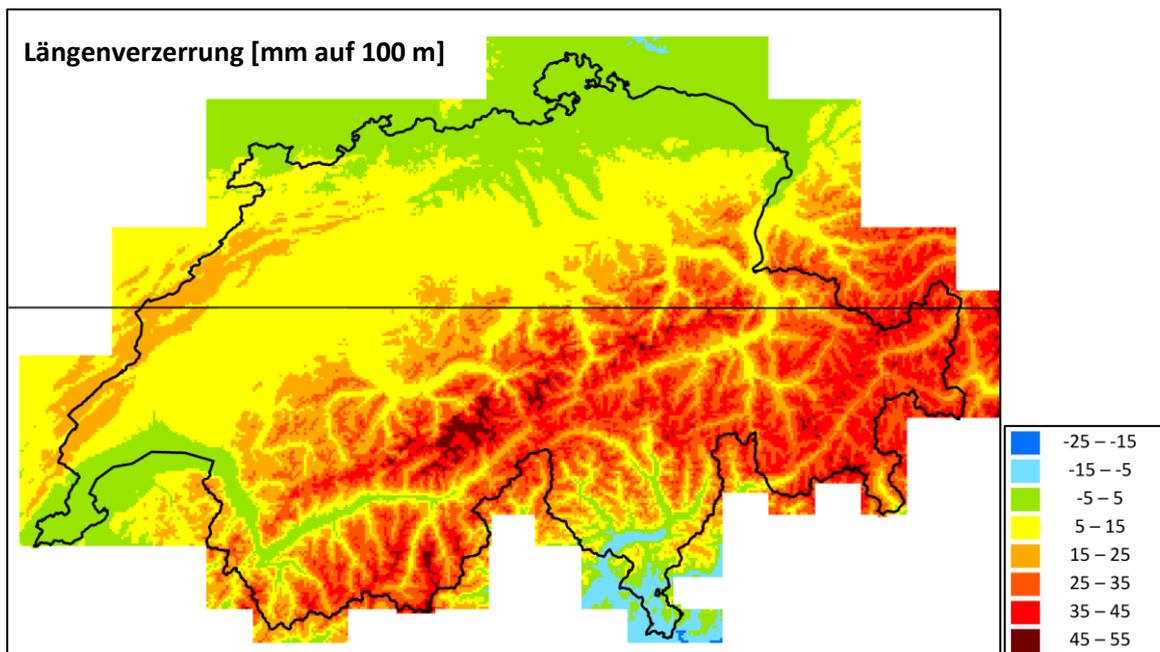


Abb. 5: Längenverzerrung der Schweiz in mm zusammengesetzt aus Abbildungs- und Höhenreduktion

In der BIM-Methodik möchte man mit realen Längen für Messungen oder für Analysen, wie z. B. die modellbasierte Mengenermittlung, sowie mit einem auf das Bauwerk ausgerichteten Koordinatensystem arbeiten. Zudem können die meisten BIM-Anwendungen besser mit «kleinen» Koordinatenwerten umgehen. Aus diesen Gründen wird in BIM-Projekten meist als Projektkoordinatensystem ein lokales und nicht geodätisches Koordinatensystem gewählt.

Jedes lokale Koordinatensystem besitzt einen lokalen Lagenullpunkt in der Autorensoftware ($x=0.00$, $y=0.00$), genannt **Projektreferenzpunkt (PRefP)**, sowie einen lokalen Höhenreferenzpunkt ($z=0.00$), genannt **Projektreferenzkote (PRefK)** nach SIA D0270 (2018). Der PRefP ist somit der Lagenullpunkt eines gesamten Projektperimeters und nicht der Lagenullpunkt eines einzelnen Bauwerks wie

beispielsweise der **Gebäudereferenzpunkt (GRefP)** eines einzelnen Gebäudes innerhalb des Projektperimeters (siehe auch SIA D0270 (2018), Kap. 7.8). Die korrekte Definition und Dokumentation des PRefP und der PRefK ist wichtig und sollte wohl überlegt sein, da sich die gesamte Bauwerksgeometrie auf diese beiden Referenzen bezieht. Mit einer Transformation bzw. Georeferenzierung hat diese auch einen Einfluss auf die resultierende Genauigkeit bzw. die resultierenden Differenzen.

Für die Nutzung von Geodaten als Planungsgrundlagen oder Vermessungsarbeiten muss das lokale Projektkoordinatensystem nun in Lage und Höhe in Bezug zum übergeordneten geodätischen Koordinatensystem gesetzt werden. Dazu werden Transformationsparameter ermittelt, welche sowohl die Bauwerksgeometrie vom lokalen ins übergeordnete Koordinatensystem, als auch die Planungsgrundlagen vom übergeordneten ins lokale Koordinatensystem überführen (Abb. 6).

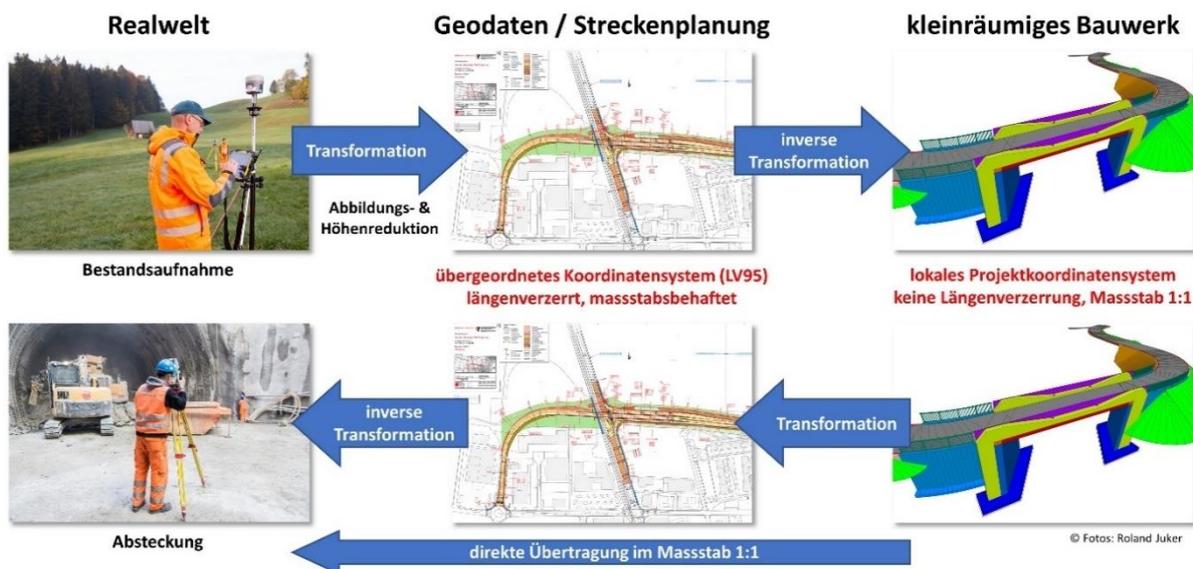


Abb. 6: Koordinatensysteme und Transformationen bei der Arbeit mit BIM im Infrastrukturbau (in Anlehnung an Kaden et al. (2019))

Ein Projektkoordinatensystem, die Bestimmung der Transformationsparameter sowie die Berechnung der daraus resultierenden maximalen Ungenauigkeiten aufgrund der Örtlichkeit und Ausdehnung des Bauwerks müssen zwingend zu Beginn eines Projekts definiert und dokumentiert werden. Dabei ist wichtig, das Projektkoordinatensystem geschickt zu wählen. Bei den meisten Bauvorhaben sind Geodaten als Grundlagen oder für vermessungstechnische Arbeiten wie Aufnahmen oder Absteckungen unerlässlich. Um Fehler und Mehraufwand für alle Beteiligten von Beginn an möglichst zu vermeiden, sind solche Definitionen zwingend erforderlich. Nachfolgend wird der Prozess beschrieben, wie diese Definitionen erfolgreich für eine Anwendung in der BIM-Methodik umgesetzt werden. Darüber hinaus werden praktische Empfehlungen zu unterschiedlichen Aspekten gegeben.

2. Empfehlungen und «Best Practice»

Gemäss SIA D0270 (2018) gibt der Auftraggeber (Bauherr) in der BIM-Methodik seine Ziele bzw. seinen Informationsbedarf in Form der *Informationsanforderungen Auftraggeber* (IAG bzw. *Auftraggeber-Informationen-Anforderungen* AIA) vor. Darin werden neben der Beschreibung des Bauvorhabens die Projektorganisation, -ziele und -prozesse sowie die Rahmenbedingungen aufgeführt. Die IAG beinhalten somit auch Aussagen zur Örtlichkeit und Ausdehnung des Bauwerks. In Bezug auf die Georeferenzierungs-Thematik sollte der Auftraggeber mit den IAG nachfolgende Angaben vom Auftragnehmer (oft Planer) einfordern.

1. Definition und Dokumentation des Projektkoordinatensystems
2. Definition und Dokumentation des PRefP und der PRefK
3. Definition und Dokumentation einer allfälligen Kartennordabweichung bzw. Rotation
4. Definition und Dokumentation einer allfälligen Massstabsänderung
5. Definition und Dokumentation von zwei weiteren Passpunkten zu Kontrollzwecken

Auch sollte der Auftragnehmer beschreiben, wie die Vorgaben eingehalten werden. Somit wird der beauftragte Planer dazu verpflichtet, die nötigen Angaben zur Georeferenzierung spätestens zu Beginn der SIA-Leistungsphase 31 (Vorprojekt) im BIM-Projektentwicklungsplan (BAP) zu dokumentieren. Dies hat vor der Erstellung des ersten Referenzmodells zu geschehen.

Die für die Georeferenzierung relevanten Informationen müssen neben der BAP-Dokumentation auch in den entsprechenden Industry Foundation Classes (IFC) Dateien beim Datenaustausch enthalten sein. Zu diesen einzelnen Punkten werden nachfolgend Empfehlungen abgegeben.

2.1 Empfehlung zur Definition des Projektkoordinatensystems

Die wichtigsten Aspekte dieses Kapitels kurz zusammengefasst:

Für Hochbauten und kleinräumige Bauwerke ist ein lokales verzerrungsfreies Koordinatensystem, welches in Bezug zu einem übergeordneten geodätischen Koordinatensystem gesetzt wird, meist ausreichend als Projektkoordinatensystem (PRefP = Grenz- oder Lagefixpunkt).

Bei grossräumigen bzw. linienförmigen Bauwerken mit grosser Ausdehnung wird die Streckenführung meist in einem geodätischen Koordinatensystem geplant, die zugehörigen kleinräumigen Ingenieurbauwerke hingegen in eigenen lokalen Koordinatensystemen, welche in Bezug zur Streckenführung gesetzt werden. Die für die Georeferenzierung benötigten Transformationsparameter werden anhand identischer Passpunkte in beiden Koordinatensystemen berechnet und die resultierenden Ungenauigkeiten beurteilt. Je nach Genauigkeitsanforderung des Bauvorhabens muss eine Massstabsänderung eingeführt werden oder nicht.

Das Projektkoordinatensystem wird durch den Auftragnehmer bzw. den Planer oft nachlässig behandelt. Entweder wurde kein adäquater Bezug zum übergeordneten System hergestellt (fehlende Georeferenzierung) oder mangelhaft dokumentiert und den weiteren Projektmitgliedern unzureichend kommuniziert. Dies führte zwangsläufig zu Übereinstimmungsproblemen bei der Fachkoordination, Mehraufwendungen und Fehlern. Eine frühzeitige Definition und Dokumentation des für alle geltenden Projektkoordinatensystems ist somit essenziell. Die Projektausdehnung ist ein wesentliches Kriterium, ob ein lokales, verzerrungsfreies oder ein geodätisches verzerrungsbehaftetes Projektkoordinatensystem gewählt wird.

Für **Hochbauten** und **kleinräumige Bauwerke** ist ein lokales verzerrungsfreies Koordinatensystem, welches in Bezug zu einem übergeordneten geodätischen Koordinatensystem gesetzt wird, meist ausreichend als Projektkoordinatensystem (PRefP = Grenz- oder Lagefixpunkt).

Bei **grossräumigen bzw. linienförmigen Bauwerken** mit grosser Ausdehnung wie Strassen- und Bahnnetzen wird die Streckenführung meist in einem geodätischen Koordinatensystem geplant. Die zugehörigen kleinräumigen Ingenieurbauwerke oder Teilstrecken, wie Brücken, Stützmauern, Bahnhöfe und kleinere Tunnel, hingegen in einem lokalen. Dabei wird für jedes dieser Bauwerke bzw.

Teilstrecken ein separates lokales Koordinatensystem definiert und in Bezug zum übergeordneten geodätischen gesetzt, welches die gesamte Streckenführung abbildet (Abb. 6).

Für die entsprechende Überführung in Lage und Höhe müssen folgende Transformationsparameter bestimmt werden:

- Lageverschiebung bzw. Translation ($\Delta x, \Delta y$)
- Rotation gegenüber Kartennord (Rot.)
- Massstab (m)
- Höhenversatz (Δz)

Für die Bestimmung der Lage-Transformationsparameter werden hierfür mindestens zwei Lagepasspunkte benötigt, bei welchen sowohl die Koordinatenwerte im lokalen Projekt- wie auch im übergeordneten Koordinatensystem bekannt sind. Als Passpunkte eignen sich dafür besonders Lagefix- oder Grenzpunkte aus der amtlichen Vermessung. Für die Bestimmung des Höhenversatzes reicht minimal ein Höhenpasspunkt mit den beiden Höhenwerten der unterschiedlichen Koordinatensysteme. Für Überbestimmungszwecke vor allem bei Punktmessungen in der Örtlichkeit wird empfohlen, mehr als die minimal Anzahl Punkte für die Berechnung zu verwenden. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass in der Örtlichkeit lokale Spannungen oder Verzerrungen möglich sein können. Um diese aufzudecken (und z.B. "ignorieren" zu können), braucht es ebenfalls ausreichend Überbestimmung.

Grundsätzlich wird für eine unkomplizierte und praktikable Handhabung ein Massstab von 1:1 bzw. keine Massstabsänderung angestrebt, so dass die Geometriedaten nur verschoben und gedreht werden. Je nachdem aber, wo sich das Bauwerk in der Schweiz befindet, resultieren - abhängig von der örtlichen Abbildungs- und Höhenreduktion und der Bauwerksausdehnung - relevante Massstabsunterschiede (Abb. 5).

Es gilt somit hinsichtlich der Georeferenzierung eines Bauwerks die zwei folgenden Fragen zu klären:

- 1) Ist eine Massstabsänderung bei der Transformation aufgrund der örtlichen Längenverzerrung nötig?
- 2) Ist die Ausdehnung des Bauwerks in Lage und Höhe so gross, dass die örtlichen Unterschiede in der Längenverzerrung zu nicht tolerierbaren Ungenauigkeiten führen?

Können beide Fragen mit «Nein» beantwortet werden, so braucht es für die Transformation keine Massstabsänderung, sondern nur eine Lageverschiebung, eine allfällige Rotation gegenüber Kartennord sowie einen allfälligen Höhenversatz. Sind die örtlichen Längenverzerrungen gemäss Frage 1 jedoch relevant, so muss mit der Transformation eine Massstabsänderung erfolgen. Es wird empfohlen, einen mittleren Massstab über den gesamten Projektperimeter zu berechnen und einzuführen.

Die zweite Frage ist in den meisten Fällen nur bei grossräumigen Bauwerken wie linienförmigen Strassen- und Bahnnetzen mit einer Ausdehnung von über einem Kilometer bedeutsam. Wird sie mit «Ja» beantwortet, so muss das Bauwerk in Teilstrecken aufgeteilt werden, die entweder unterschiedliche Massstäbe oder auch keine Massstabsänderung beinhalten können. Dabei ist der Randproblematik besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Differenzen zum übergeordneten Koordinatensystem zeigen sich an den Rändern besonders und müssen je nach Genauigkeitsanforderungen speziell beispielsweise mit einer Bestimmung einer Ausgleichskurve mittels Passpunktmessungen behandelt werden.

Sollte keine sinnvolle Aufteilung in Teilstrecken möglich sein, ist ein geodätisches Koordinatensystem als Projektkoordinatensystem alternativlos. Hierfür wird meist das Grundlagennetz der Schweiz mit Namen: CH1903+/LN02 und dem zugehörigen Bezugsrahmen LV95 verwendet. Um die Abbildungs- und Höhenreduktion gering zu halten oder gar ohne Massstabsänderung auszukommen, kann in Spezialfällen ein auf CH1903+ basierendes, projektspezifisches Bezugssystem definiert werden. Hierbei wird ein zentral durchs Projekt gelegter Grosskreis mit einem gemittelten Bezugsniveau angelegt.

2.2 Empfehlung zur Definition Projektreferenzpunkt (PRefP)

Die wichtigsten Aspekte dieses Kapitels kurz zusammengefasst:

Der PRefP ist der Lagenullpunkt im Projektkoordinatensystem und muss bewusst auf einem Punkt mit bereits bekannten Koordinaten im geodätischen Koordinatensystem (Grenzpunkt, Lagefixpunkt) definiert werden. Die Darstellung erfolgt als Pyramide mit quadratischer Grundfläche und semantischen Angaben. Der PRefP wird im BAP beschrieben.

Gemäss SIA D0270 (2018) ist der Projektreferenzpunkt (PRefP) der Projektnullpunkt im Autorensystem und besitzt somit per Definition im lokalen Projektkoordinatensystem die Lagekoordinatenwerte ($x=0$, $y=0$). Prinzipiell kann der PRefP willkürlich definiert werden. Dennoch wird hinsichtlich seiner Bestimmung folgendes empfohlen:

- Platzierung «unten links», so dass die gesamte Bauwerksgeometrie im ersten Quadranten liegt und somit positive Koordinatenwerte gewährleistet sind
- Platzierung auf einem Grenz- oder Lagefixpunkt der amtlichen Vermessung für die Sicherstellung eines einfachen Geobezugs
- Der PRefP wird im Referenzmodell geometrisch als Spitze einer rund ein Meter grossen Pyramide mit quadratischer Grundfläche dargestellt. In IFC2x3 ist der PRefP als *IfcBuildingElementProxy* bzw. in IFC4 als gekacheltes Oberflächenmodell (TESSELLATION) des Typs *IfcGeographicElement* mit der Bezeichnung «PRefP» definiert (Abb. 7)
- Die nötigen Attribute des PRefP, wie z.B. der Name «PRefP» und die Koordinatenwerte des lokalen und übergeordneten Koordinatensystems, können in einem PropertySet «PSet_GeoRef» (Abb. 8) beschrieben werden.
- Diese Angaben sind im BAP festzuhalten.

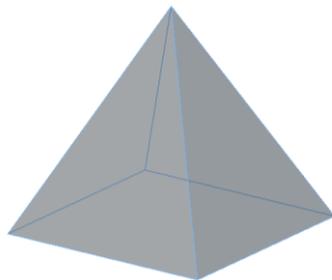


Abb. 7: Geometrische Darstellung des PRefP als Pyramide

PSet_GeoRef	
Name	PRefP
LocalX	0.000
LocalY	0.000
LocalZ	0.000
Easting	2610914.177
Northing	1267868.586
OrthogonalHeight	262.460

Abb. 8: Semantische Angaben des PRefP als PropertySet

2.3 Empfehlung zur Definition Projektreferenzkote (PRefK)

Die wichtigsten Aspekte dieses Kapitels kurz zusammengefasst:

Die PRefK ist die lokale Projekthöhe (+/-0.00) und soll zur besseren visuellen Unterscheidung zum PRefP als eine auf dem Kopf stehende Pyramide mit semantischen Angaben definiert und im BAP beschrieben werden.

Die Projekthöhe wird separat mit der Projektreferenzkote (PRefK) festgelegt und beinhaltet die lokale Projekthöhe (meist Höhe +/-0.00) sowie die zugehörige Gebrauchshöhe bzw. Meereshöhe. Auch dieser Punkt soll mittels einer Pyramide mit quadratischer Grundfläche analog zum PRefP geometrisch definiert werden. Um sich aber vom PRefP visuell zu unterscheiden, sollte die Pyramide für die PRefK auf dem Kopf stehen (Abb. 9). Als Name kann «PRefK» gewählt werden (Abb. 10). Optimalerweise wird die Pyramide lagemässig am definierten Ort der Nullhöhe, wie beispielsweise auf der Schwelle der Eingangstür oder der Oberkante Fertigboden der Küche im Erdgeschoss, abgesetzt. Dies ist jedoch in einer frühen Projektphase nicht möglich. In diesem Fall kann sie an einer günstigen Stelle innerhalb

des Projektperimeters definiert werden. Wichtig ist, dass die exakte Örtlichkeit der Nullhöhe im BAP eindeutig erläutert wird.

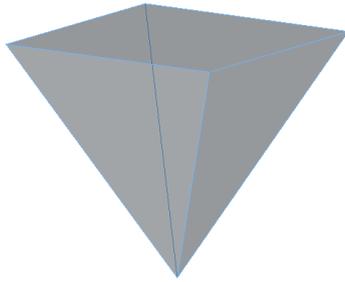


Abb. 9: Geometrische Darstellung der PRefK als auf dem Kopf stehende Pyramide

PSet_GeoRef	
Name	PRefK
LocalX	48.485
LocalY	21.482
LocalZ	0.000
Easting	2610962.662
Northing	1267890.068
OrthogonalHeight	260.460

Abb. 10: Semantische Angaben der PRefK als PropertySet

2.4 Empfehlung zur Definition einer allfälligen Rotation (Nordabweichung)

Die wichtigsten Aspekte dieses Kapitels kurz zusammengefasst:

Wird das Modell gegenüber Kartennord rotiert, muss der Rotationswinkel mit 3 Nachkommastellen als Azimut, also als Winkelwert der Ordinate im Uhrzeigersinn, angegeben und im BAP beschrieben werden.

Entgegen der Empfehlung von SIA D0270 (2018) wird in der Praxis zur effizienten Bearbeitung in der Autorensoftware das Modell orthogonal auf das Bauwerk oder parallel zu einem vor Ort gegebenen Achssystem ausgerichtet. Wird das Modell gegenüber Kartennord rotiert, ist es wichtig, stets mit einem definierten Winkel-Wert in Grad zu arbeiten und sich nicht nur auf ein geometrisches Ausrichtungsobjekt, wie eine Grenze oder Achse, zu beziehen. Der Rotationswinkel ist mit mindestens 3 Nachkommastellen zusammen mit der Translation und der Höhe im BAP festzuhalten. Die Rotation bzw. Nordabweichung sollte grundsätzlich als Azimut, also als Winkelwert der Ordinate im Uhrzeigersinn angegeben werden (Abb. 11). Zu beachten ist, dass je nach Autorensoftware die Definition der Rotation abweichen kann. Es ist deshalb unbedingt zu prüfen, wie der Winkel in der entsprechenden Anwendung definiert ist. In ArchiCAD beispielsweise wird die Rotation im Gegenuhrzeigersinn der Abszisse gemessen (Abb. 12). Die angewendete Rotation kann über den PRefP sowie die weiteren Passpunkte kontrolliert werden.

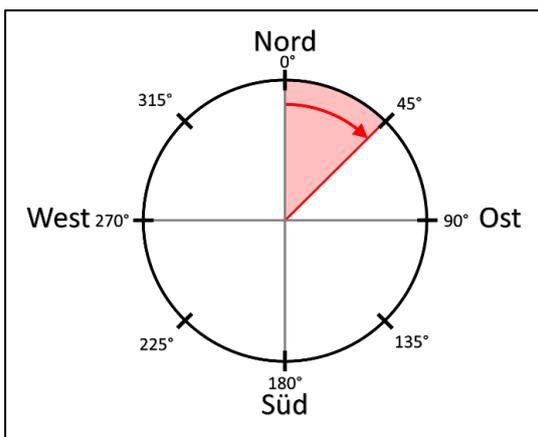


Abb. 11: Definition geodätischer Drehsinn bzw. Azimut (Uhrzeigersinn)

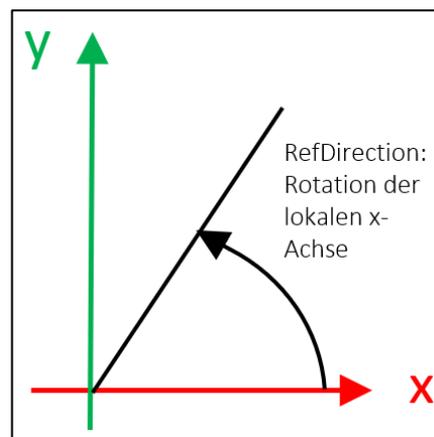


Abb. 12: Definition der Kartennordabweichung mittels Georeferenzierungsvariante IfcLocalPlacement

Generell werden in IFC Rotationen analog ISO 10303-42 nicht mittels Winkelwert, sondern mittels eines Vektors angegeben. Dabei errechnet sich der Winkel aus dem Verhältnis aus x- und y-Anteil dieses Vektors. In IFC wird dazu die Entitätsmenge (Klasse) *IfcDirection* verwendet.

Wie im Kap. 2.7 dargestellt, gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, um eine allfällige Kartennordabweichung in IFC zu übermitteln. Für die Georeferenzierungsvariante mittels *IfcLocalPlacement* wird die Abweichung im Attribut *RefDirection* des Objekts *IfcAxis2Placement3D* hinterlegt. *RefDirection* gibt dabei den Winkel der lokalen x-Achse bzw. der Abszisse im mathematisch positiven Drehsinn - also im Gegenuhrzeigersinn und nicht als Azimut - an (Abb. 12).

2.5 Empfehlung zur Definition einer allfälligen Masstabsänderung

Die wichtigsten Aspekte dieses Kapitels kurz zusammengefasst:

Eine Masstabsänderung sollte mit mindestens 5 Nachkommastellen angegeben und im BAP dokumentiert werden.

Bei einer Masstabsänderung wird die gesamte Bauwerksgeometrie um einen Masstabsfaktor in der Grösse verändert. In der BIM-Methodik wird, wenn immer möglich, ohne Masstabsänderung, resp. mit einem Masstabsfaktor 1 gearbeitet. Das bedeutet, dass das Modell und dessen Längenmasse der Realität entsprechen. Sollte eine Transformation in das übergeordnete Koordinatensystem mit einer definierten Masstabsänderung bzw. einem Masstabsfaktor ungleich 1 aufgrund der Genauigkeitsansprüche notwendig sein, ist diese zwingend im BAP zu dokumentieren. In den meisten Fällen kann jedoch auf eine Masstabsänderung verzichtet werden und es wird empfohlen für die Georeferenzierung eine Transformation ohne Masstabsänderung zu verwenden.

Eine Masstabsänderung wird im IFC-Schema mittels der Georeferenzierungsvariante *LoGeoRef50* angegeben. Dies ist allerdings erst ab der Version 4 möglich. Näheres beschreibt Kapitel 2.7. Dabei ist darauf zu achten, dass die Masstabsthematik getrennt nach Lage und Höhe zu betrachten ist. Eine Masstabsänderung auf Grund der Längenverzerrungen wirkt sich nur auf die Lage (x,y) aus und hat keine Auswirkung auf die Masstabsänderung der Höhe. Die Masstabsangabe sollte mit mindestens 5 Nachkommastellen angegeben werden (Bsp.: 0.99987). Im Sinne einer Qualitätskontrolle wird nach Anwendung einer Transformation ausdrücklich eine Kontrolle über die Passpunkte empfohlen.

2.6 Empfehlung zur Definition von zwei weiteren Passpunkten

Die wichtigsten Aspekte dieses Kapitels kurz zusammengefasst:

Passpunkte dienen einer unabhängigen und einfachen Kontrolle der Georeferenzierung. Sie besitzen als semantische Angaben die Koordinatenwerte im lokalen Projekt- wie auch im übergeordneten Koordinatensystem und werden analog zum PRefP als geometrische 3D-Objekte in Pyramidenform dargestellt und im BAP beschrieben.

Mit der Bestimmung einer Transformation wird der Bezug zwischen dem Projekt- und dem übergeordneten geodätischen Koordinatensystem hergestellt und somit die Georeferenzierung gewährleistet. Um hierbei Fehler zu vermeiden, nutzt man die Möglichkeit einer unabhängigen und einfachen Kontrolle, denn bereits kleine Unterschiede in den Nachkommastellen können bei grossen Distanzen zu nicht tolerierbaren Abweichungen führen. Eine solche Kontrollmöglichkeit bietet die Einführung von zwei zusätzlichen Passpunkten.

Wie vorgängig erwähnt, besitzen Passpunkte die Koordinatenwerte im lokalen Projekt- wie auch im übergeordneten Koordinatensystem. Diese werden für die Berechnung der Lage-Transformationsparameter verwendet. Die Passpunkte erfüllen optimalerweise folgende Anforderungen:

- Punkt mit bereits bekannten Koordinaten im geodätischen Koordinatensystem, vorzugsweise aus der amtlichen Vermessung (Grenzpunkt, Lagefixpunkt)
- Lage ausserhalb oder am Rand des Projektperimeters für eine optimale Berechnung und Kontrolle (Abb. 13)
- Ein physisches Anbringen bzw. Versichern der Punkte vor Ort ist nicht notwendig

Auch die Passpunkte sollen analog zum PRefP als geometrische 3D-Objekte in Pyramidenform (Abb. 7) repräsentiert, mit der Bezeichnung «PP», gefolgt von einer laufenden Nummerierung, z.B. «PP01», «PP02» etc. bezeichnet und im BAP beschrieben werden (Abb. 14).

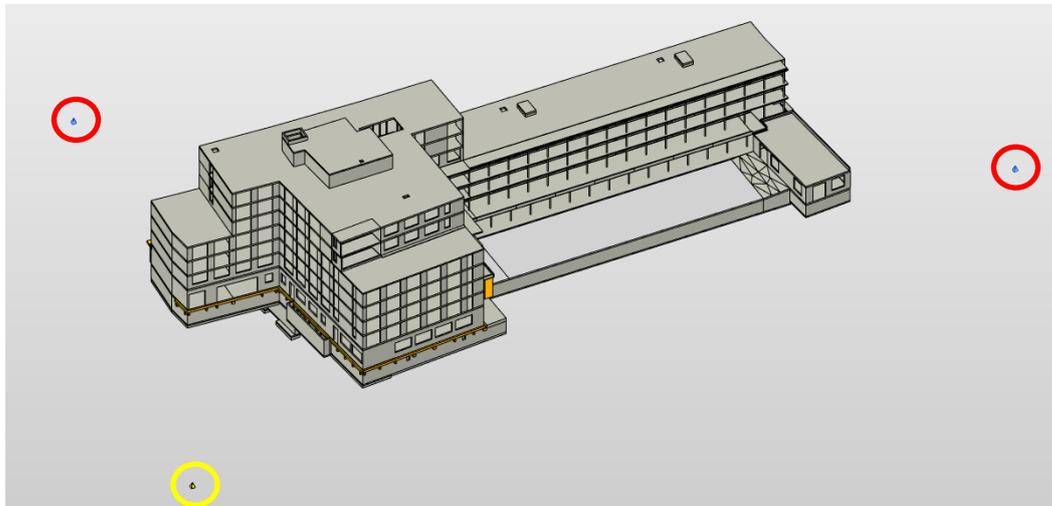


Abb. 13: Gelb umrandet = PRefP, rot umrandet = zwei Passpunkte

PSet_GeoRef	
Name	PP01
LocalX	15.269
LocalY	51.248
LocalZ	1.552
Easting	2610929.446
Northing	1267919.834
OrthogonalHeight	262.012

PSet_GeoRef	
Name	PP02
LocalX	124.532
LocalY	42.196
LocalZ	2.697
Easting	2611038.709
Northing	1267910.782
OrthogonalHeight	263.157

Abb. 14: Zwei Beispiele der semantischen Angaben der Passpunkte als PropertySet

2.7 Empfehlung zu Georeferenzierungsmöglichkeiten in IFC

Die wichtigsten Aspekte dieses Kapitels kurz zusammengefasst:

In IFC gibt es mehrere Möglichkeiten zur Georeferenzierung. Clemen et al. (2019) schlagen mit der Einführung des Konzepts *Level of Georeferencing (LoGeoRef)* 5 Stufen vor. Für eine adäquate Georeferenzierung empfehlen sich die Stufen *LoGeoRef30*, *LoGeoRef40* und *LoGeoRef50*, wobei jedoch nur *LoGeoRef50* die Möglichkeit einer Massstabsänderung und die Angabe von Metadaten zu den Koordinatensystemen besitzt. Diese Stufe ist allerdings erst ab der IFC-Version 4 verfügbar. Ein Konzept für die Beschreibung eines Fixpunktnetzes, von Passpunkten, sowie die Möglichkeit einer dreistufigen Transformation bei Projekten mit mehreren Bauwerken auf einem gemeinsamen kleinräumigen Areal, fehlt im IFC Datenschema.

Im Open BIM Standard IFC können Informationen bezüglich der Georeferenzierung in unterschiedlichen Objekten (Klassen und Typen) und Merkmalen (Attribute und Eigenschaften) gespeichert werden. Die Georeferenzierung verlangt die Angabe von adäquaten Metadaten der Koordinatensysteme und der zugehörigen Transformationsparameter. Zudem muss der Projektnullpunkt in Lage und Höhe (PRefP und PRefK) in der Autorensoftware eindeutig bestimmt sein. IFC schlägt mehrere Möglichkeiten zur Beschreibung der Georeferenzierung vor. Dies führt dazu, dass BIM-Anwendungen beim IFC-Export bzw. IFC-Import die Georeferenzierungen unterschiedlich angeben bzw. interpretieren. Das IFC-Schema lässt prinzipiell sogar eine redundante Angabe der Georeferenzierung zu. Daraus entstehen Missverständnisse, welche Clemen et al. (2019) mit der Einführung des Konzepts *Level of Georeferencing (LoGeoRef)* zu klären versuchen. In diesem Konzept wird die Vielzahl der Georeferenzierungsmöglichkeiten entsprechend ihrer Qualität der Verortung als

Level of Georeferencing (LoGeoRef) in fünf Stufen (*LoGeoRef10* bis *LoGeoRef50*) klassifiziert und beschrieben. Mit jeder Stufe erhöht sich die Qualität der Georeferenzierung in einer IFC-Datei. Allerdings steht jede Stufe für sich und eine höhere beinhaltet nicht automatisch die Informationen der niedrigeren Stufe. Damit gegebenenfalls Zwischenstufen eingefügt werden können, wurden 10er-Schritte für die Stufenbezeichnung gewählt. An dieser Stelle wird auf eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Stufen verzichtet und auf die einschlägige Literatur in Clemen et al. (2019) verwiesen. Die nachfolgende Tabelle beurteilt die fünf Stufen und gibt in der letzten Spalte eine Empfehlung für die praktische Anwendung zum heutigen Stand ab.

Level of Georeferencing	IFC Version	IFC-Objekt	Transformationsparameter	Beurteilung	Empfehlung
LoGeoRef10: postalische Adresse, Projektmanagement	ab IFC2x3	<i>IfcPostalAddress</i> in <i>IfcSite</i> u./o. <i>IfcBuilding</i>	(√) Translation x Rotation x Massstab	<ul style="list-style-type: none"> Einfache postalische Adressangabe für simple Georeferenzierung Keine akkurate Positionierung Menschenlesbar aber nur bedingt maschinenlesbar Keine Möglichkeit für Angaben der Rotation und des Massstabs 	nicht empfohlen
LoGeoRef20: geographische Koordinaten, Punkt auf Karte	ab IFC2x3	<i>RefLatitude</i> , <i>RefLongitude</i> , <i>RefElevation</i> in <i>IfcSite</i>	√ Translation x Rotation x Massstab	<ul style="list-style-type: none"> Einfache „Punktreferenzierung“ über Bauplatzattribute als geographische Koordinaten Lage als kommaseparierte Winkelangabe (nur) in WGS84 Höhenangabe (ReEle.) als metrischer Wert ohne Möglichkeit einer Datumsangabe Keine Rotations- und Massstabmöglichkeit 	nicht empfohlen
LoGeoRef30: 3+1-Parameter für <i>IfcSite</i> Placement	ab IFC2x3	<i>IfcLocalPlacement</i> in <i>IfcSite</i> (oder alt. <i>IfcBuilding</i>) mit <i>IfcCartesianpoint</i> und <i>IfcDirection</i>	√ Translation √ Rotation x Massstab	<ul style="list-style-type: none"> Georeferenzierung für die in der räumlichen Hierarchie zuoberst befindlichen Raumstruktur (meistens ein Bauplatz) Ohne relativen Bezug zu übergeordnetem Bezugssystem 2D/3D-Helmert-Transformation als X-, Y-, Z-Koordinaten-Angabe Rotation als Vektorkomponenten-Angabe für die X- und Z-Achse Keine Massstabmöglichkeit 	empfohlen
LoGeoRef40: 3+1-Parameter mittels <i>GeometricRepresentationContext</i> für <i>IfcProject</i>	ab IFC2x3	<i>IfcGeometricRepresentationContext</i> in <i>IfcProject</i> mit <i>IfcCartesianpoint</i> und <i>IfcDirection</i>	√ Translation √ Rotation x Massstab	<ul style="list-style-type: none"> Georef. auf Stufe Projekt Definition eines Projektkoordinatensystems (Attribut: <i>WorldCoordinateSystem</i>) mit Translation und optionaler Rotation analog zu <i>LoGeoRef30</i> Allfällig redundante Angabe der Abweichung zu Kartennord (Attribut: <i>TrueNorth</i>) = Abw. von Y-Achse zu Kartennord Keine Massstabmöglichkeit 	empfohlen
LoGeoRef50: 3+1-Parameter und Metadaten zum übergeordneten Koordinatensystem	ab IFC4	<i>IfcMapConversion</i> mit <i>IfcGeometricRepresentationContext</i> und <i>IfcProjectedCRS</i>	√ Translation √ Rotation √ Massstab	<ul style="list-style-type: none"> Angabe von Translation und Drehung für Koordinatenumrechnung zwischen Projekt- und übergeordnetem Koordinatensys. 2D/3D-Helmert-Transformation als Easting-, Northing-, OrthogonalHeight-Angabe Rotation als XAxisAbscissa-, XAxisOrdinte-Angabe Massstabsangabe möglich Angaben von Metadaten und Bezeichnung (Bsp. EPSG-Code) der Koordinatensysteme (PRS und CRS) Erst ab IFC4, nicht in IFC2x3 	empfohlen erst ab IFC4

Tabelle 1: Beurteilung der LoGeoRef-Stufen von Clemen et al. (2019) für die praktische Anwendung

Die beiden ersten Stufen **LoGeoRef10** und **LoGeoRef20** können für eine einfache «punktförmige» Kartendarstellung genutzt werden, sind aber für Ingenieur- und Planer-Anwendungen nicht geeignet.

LoGeoRef30 beschreibt die Georeferenzierung des obersten in der räumlichen Hierarchie befindlichen Raumstrukturelements. In den meisten Fällen ist dies ein Bauplatz (*IfcSite*). Im Attribut *RelativPlacement* vom Typ *IfcAxis2Placement3D* des zum Raumstruktur-Element zugehörigen *IfcLocalPlacement* wird die Position des Projektnullpunkts im übergeordneten Bezugssystem als X-, Y-, Z-Koordinatenwerte (*IfcCartesianPoint*) und eine allfällige Abweichung zu Kartennord mittels Vektorkomponenten-Angabe für die X- und Z-Achse (*IfcDirection*) angegeben.

Leider können mit dieser Georeferenzierungsmöglichkeit keine Massstabsangabe und keine Metadaten wie Bezeichnung oder der eindeutigen Angabe des verwendeten Koordinatensystems mittels EPSG-Code¹ angegeben werden. Bei **LoGeoRef40** wird die Georeferenzierung nicht auf Stufe «Element», sondern mit dem zugeordneten *IfcGeometricRepresentationContext* auf Stufe «Projekt» angegeben. Es enthält im Attribut *WorldCoordinateSystem* die Lagekoordinaten und Höhe des Projektnullpunkts im übergeordneten Bezugssystem angegeben wie im *LoGeoRef30* als *IfcAxis2Placement3D*. Der Name des Attributs *WorldCoordinateSystem* ist dabei etwas verwirrend, da in Autorenanwendungen dieser Begriff häufig für das interne «Rechen-Koordinatensystem» und nicht für ein übergeordnetes geodätisches Bezugssystem verwendet wird. Weiter gilt zu beachten, dass eine allfällige Rotation sowohl im Attribut *TrueNorth* als auch im *IfcAxis2Placement3D* des Attributs *WorldCoordinateSystem* redundant, aber schemakonform angegeben werden könnte.

Um Missverständnisse zu vermeiden, wird empfohlen, die allfällige Kartennordabweichung nur im Attribut *TrueNorth* und nicht im *IfcAxis2Placement3D* des Attributs *WorldCoordinateSystem* anzugeben. Eine Angabe zu einer allfälligen Massstabsänderung oder Metadaten zu den Koordinatensystemen kann mit *LoGeoRef40* ebenfalls nicht gemacht werden.

In der Stufe **LoGeoRef50** ist dies möglich, jedoch erst ab der IFC-Version 4. Die mit IFC4 neu eingeführten Objekte *IfcMapConversion* und *IfcProjectedCRS* erlauben eine Angabe der Transformationsparameter zwischen Projekt- (PRS) und übergeordnetem Koordinatensystem (CRS) sowie dessen Metadaten (Bsp. als EPSG-Code). Dabei wird die Translation in den Attributen *Easting*, *Northing* und *OrthogonalHeight*, die allfällige Rotation in *XAxisAbscissa* und *XAxisOrdinate* und der allfällige Massstab im *Scale* (nur Lage) angegeben.

Voraussetzung für eine exakte Georeferenzierung ist die Anwendung der vorangegangenen korrekten Sequenz von relativen Transformationen (*IfcLocalPlacement*) vom Bauteil, Stockwerk, Gebäude und Bauplatz, bevor die Transformationsparameter für die Georeferenzierung angebracht werden können. Diese korrekte relative Positionierung wird meist durch die Autorensoftware übernommen. Was laut Clemen et al. (2019) im IFC-Schema noch fehlt, ist das Konzept für die Beschreibung eines Fixpunktnetzes, von Passpunkten sowie die Möglichkeit einer dreistufigen Transformation bei Projekten mit mehreren Bauwerken auf einem gemeinsamen kleinräumigen Areal.

Die Verwendung der im IFC-Schema vorgegebenen Objekten (Klassen und Typen) und Merkmale (Attribute und Eigenschaften) hat den Vorteil, dass die für die Georeferenzierung nötigen Informationen wie Metadaten und Transformationsparameter maschinenlesbar sind und bei entsprechender Softwareimplementierung direkt gelesen und verarbeitet werden können. Dies ist jedoch zum heutigen Zeitpunkt mit den gängigen BIM- u./o. GIS-Autorensoftware noch nicht der Fall.

¹ European Petroleum Survey Group Geodesy (EPSG): System zur weltweit eindeutigen Bezeichnung für Koordinatenreferenzsysteme und anderer geodätischer Datensätze (Referenzellipsoid, Projektionen etc.)

2.8 Empfehlung für die vermessungstechnische Umsetzung

Die wichtigsten Aspekte dieses Kapitels kurz zusammengefasst:

Das Fixpunktnetz stellt die Realisierung des Projektkoordinaten-Referenzrahmens und damit die Schnittstelle zwischen Planung und Realwelt dar. Eine fachmännische Erstellung und Berechnung ist Voraussetzung für eine hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit. Die Koordinatenwerte im Projekt- und übergeordneten geodätischen Koordinatensystem der einzelnen Fixpunkte werden semantisch explizit als Merkmalswerte angegeben. Geometrisch werden die Fixpunkte als Pyramiden im Fachmodell Geomatik definiert.

Das Fachmodell Geomatik beinhaltet alle Daten, welche in der Verantwortlichkeit des Geomatikers liegen. Neben dem Fixpunktnetz können das somit auch Bestandsdaten, in 3D aufbereitete bestehende Geodaten, Absteckungsdaten oder andere Geoinformationen sein.

Eine zentrale Rolle in der BIM-Methodik spielt der modellbasierte Datenfluss bei der Grundlagenbeschaffung und der Resultatabgabe. Dies führt zu einschneidenden Änderungen in der gewohnten Arbeitsweise und zu nötigen Prozessanpassungen.

Grundlage für Bestandsaufnahmen und/oder Absteckungen bildet das **Fixpunktnetz**. Es stellt die Realisierung des Projektkoordinaten-Referenzrahmens in der Örtlichkeit dar und bildet die Schnittstelle zwischen Planung und Realwelt. Meist wird ein solches Fixpunktnetz mittels tachymetrischer Messungen umgesetzt. Wie erwähnt, wird beim Hochbau oder kleinräumigen Bauwerken, meist ein lokales und verzerrungsfreies Projektkoordinatensystem ohne Massstabsänderung verwendet. Das bedeutet, alle lokalen Projektkoordinaten können mittels einer Transformation in der Lage und Höhe und einer allfälligen Rotation ins übergeordnete Koordinatensystem überführt werden.

Bei der Bestimmung des Fixpunktnetzes über Fix- und Grenzpunkte der amtlichen Vermessung entstehen Spannungen, welche den unterschiedlichen Referenzsystemen geschuldet sind. Jedoch können auch lokale Verzerrungen und Differenzen durch die Toleranzen der amtlichen Vermessung und/oder durch Bodenverschiebungen auftreten. Aus diesen Gründen ist eine Überbestimmung anzustreben, dabei ist auf eine gute Verteilung und die Verwendung von repräsentativen Punkten, welche das lokale Spannungsbild abbilden, zu achten. Bei kleinen übersichtlichen Projekten kann die Einpassung und Beurteilung direkt vor Ort erfolgen, indem bei der Stationierung mittels Tachymetrie die geometrischen Reduktionen am Instrument ausgeschaltet werden. Es ist darauf zu achten, dass von der ersten Instrumentenaufstellung eine gute Verteilung der Punkte der amtlichen Vermessung vorhanden ist. Anschliessend soll nur noch mit den neuen Fixpunkten weitergearbeitet werden.

Bei unübersichtlichen und grösseren Projekten mit mehreren Instrumentenaufstellungen ist ein sogenanntes «post processing» mittels einer Netzausgleichssoftware nach der Methode der kleinsten Quadrate durchzuführen, wobei die Lagerung des Fixpunktnetzes weich erfolgt. Eine gesamtheitliche Beurteilung der Restklaffungen wird dadurch möglich und allfällige Messfehler können zuverlässig detektiert und eliminiert werden. Die atmosphärischen Korrekturen und allenfalls weitere vermessungstechnisch relevante Einflüsse wie Erdkrümmung, Lotabweichung etc. sind zu berücksichtigen.

Die Fixpunkte sind so anzulegen, dass sie während der gesamten Bauzeit einsehbar sind und nicht durch bauphasenbedingte Arbeiten wegfallen (Installationsplatz, Baustellenbaracken, Sichtschutzwände, Zufahrtsstrassen, Aushub/Deponie, etc.). Einzelne Fixpunkte des Fixpunktnetzes können sich während der Dauer des Projektes verändern. Dies kann durch Einflüsse aus dem Bauablauf wie z. B. Grundwasserabsenkungen, Deformationen oder Schwinden des Betons hervorgerufen werden. Durch Überbestimmungen und regelmässige Kontrollen müssen solche Änderungen festgestellt und allenfalls korrigiert werden.

Ergänzend sei erwähnt, dass ein Fixpunktnetz auch mittels satellitengestützter Messtechnologie (GNSS) umgesetzt werden könnte. Dabei müsste aber dem Umstand der reduzierten Genauigkeit sowie der Verwendung der Geoidundulation und der örtlichen Anpassung Rechnung getragen werden. In der Praxis ist der Einsatz solcher Messtechnologie für die Fixpunkterstellung eher selten.

Die resultierenden Fixpunktkoordinaten im übergeordneten Koordinatensystem werden ins Projektkoordinatensystem transformiert und analog zu den anderen Punkten (Passpunkte und PRefP) als Pyramiden geometrisch im Fachmodell Geomatik abgebildet (Abb. 15). Neben den Koordinatenwerten der beiden Systeme sollten ebenfalls Angaben zur Genauigkeit, Lagerung, Messdatum und Versicherungsart im BAP dokumentiert und in der IFC-Datei als PSet mitgegeben werden (Abb. 16).

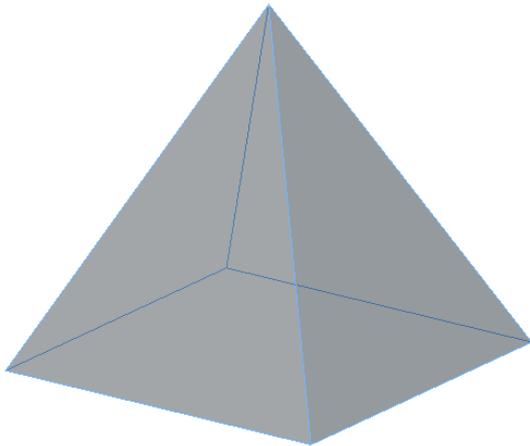


Abb. 15: Geometrische Darstellung eines Fixpunkts als Pyramide

PSet_GeoRef	
Name	FP01
LocalX	121.336
LocalY	38.978
LocalZ	2.998
Easting	2611035.513
Northing	1267907.564
OrthogonalHeight	263.458
PSet_FixPoint	
Accuracy	3mm
AdjustmentPoints	LFP1213, LFP889, LFP19, LFP890
MeasurementDate	2020-11-25
Materialization	Reflexzielmarke

Abb. 16: Semantische Angaben eines Fixpunkts als PropertySet

Das **Fachmodell Geomatik** beinhaltet alle Daten, welche in der Verantwortlichkeit des Geomatikers liegen. Neben dem Fixpunktnetz können das auch Bestandsdaten aus vor Ort getätigten Aufnahmen (Bsp. Gelände- oder Gebäudeaufnahmen), in 3D aufbereitete bestehende Geodaten (Bsp. 3D-Leitungskataster, 3D-Gebäudemodelle) oder Absteckungsdaten sein. Essenziell dabei ist die zwingende Angabe von Metadaten in Form eines IFC-PSet wie Datenherkunft, Bezugsdatum bzw. Aktualität und Qualität und die entsprechende Dokumentation im BAP.

Neben der fachmännischen Arbeitsausführung spielt in der BIM-Methodik der **modellbasierte Datenfluss** eine zentrale Rolle. Bei der Beschaffung von Daten als Grundlage für die Arbeitsausführung gibt es einen Paradigmenwechsel von einer Bring- zu einer Holschuld. Das heisst, alle Projektbeteiligten stehen zunehmend in der Verantwortung, sich ihre relevanten Grundlagen-Informationen selbst von einer zentralen Datenplattform einer sogenannten *Common Data Environment (CDE)* zu beschaffen. Als Grundlage dienen dabei typischerweise 3D-Fachmodelle im IFC-Format und die dazugehörige BAP-Dokumentation oder daraus abgeleitete Produkte. Cloudbasierte Online-Schnittstellen von Vermessungsinstrumenten zu CDE-Umgebungen ermöglichen in zunehmenden Massen einen effizienten Modellbezug für BIM2Field- bzw. Absteckungsarbeiten, jedoch (noch) nicht die modellbasierte auf die Datenstruktur abgestimmte Dokumentation der ausgeführten Arbeiten. Diese erfolgt leider immer noch unstrukturiert, das heisst als einzelne oder losgelöste Absteckungsprotokolle im PDF-Format statt in strukturierter, modellbasierter Form.

3. Schlussbemerkung

Die Autoren haben alle erdenkliche Sorgfalt bei der Erstellung des vorliegenden Dokumentes walten lassen. Sollten dem Leser Fehler auffallen, oder sollte es Verbesserungsvorschläge geben, so werden diese gerne unter folgender E-Mail-Adresse entgegengenommen: info@igs-ch.ch