

# Umsetzung von mehrskaligen prozeduralen Modellen in eine Multi-Geometrie Umgebung

Javier Jubierre<sup>1</sup>, Matthias Flurl<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation, Technische Universität München

<sup>2</sup>Lehrstuhl für Computation in Engineering, Technische Universität München

jubierre@bv.tu-muenchen.de, flurl@bv.tu-muenchen.de

**Kurzfassung:** Bei der Planung von Infrastrukturmaßnahmen sind unterschiedlichste Größenbereiche zu berücksichtigen, die von mehreren Kilometern bis hinab zu wenigen Zentimetern reichen. Bei der Modellierung ist daher die Einbeziehung des Konzepts mehrskaliger geometrischer Modelle sehr hilfreich. Um Inkonsistenzen zwischen den einzelnen Abstraktionsebenen eines mehrskaligen Modells zu vermeiden, lässt sich ein prozedurales Geometriemodell verwenden, das die einzelnen Schritte einer Konstruktionshistorie beinhaltet und zudem die Möglichkeit eröffnet, Abhängigkeiten zwischen geometrischen Entitäten zu definieren. Das prozedurale Modell lässt sich dabei um eine zusätzliche Datenstruktur erweitern, welche semantische Informationen wie z. B. die verwendeten Werkstoffe enthält. Dieses Paper stellt einen Ansatz zur Umsetzung der mehrskaligen Modellierung auf Basis parametrischer Modellierungstechniken vor und wie diese Modellen und explizite Geometriemodellen zusammenbringen können.

## 1 Einleitung

Bei der Planung von Bauwerken variiert der zu betrachtende Größenbereich stark. Dies gilt insbesondere für den Bereich der Trassenplanung: bei der Planung der Trassierung arbeitet man in einer Größenordnung von einigen Kilometern, bei der Ausgestaltung der einzelnen Knotenpunkte sind jedoch Details in der Größenordnung von wenigen Zentimetern von Bedeutung. Um die Planer hinsichtlich dieser Problematik zu unterstützen, ist die Einbeziehung des Konzepts mehrskaliger geometrischer Modelle hilfreich.

In der Bauwerksmodellierung existieren bereits Ansätze, die das Konzept mehrskaliger Modelle verwenden: In CityGML können Stadtmodelle in fünf verschiedenen „Levels of Detail“ (LoD) dargestellt werden, welche verschiedenen detaillierten bzw. abstrakten Betrachtungsweisen entsprechen. CityGML legt dabei allerdings keine Beziehung zwischen diesen einzelnen LoDs fest. Diese fehlenden Beziehungen können zu Inkonsistenzen zwischen den einzelnen Ebenen führen, wenn Änderungen nur in einem bestimmten LoD durchgeführt werden, ohne die anderen LoDs entsprechend anzupassen. Die Aufrechterhaltung der Konsistenz zwischen den verschiedenen LoDs ist aber offensichtlich von entscheidender Bedeutung.

In parametrischen CAD-Systemen wird die Geometrie nicht explizit gespeichert, sondern die einzelnen Operationen, die das geometrische Modell beschreiben. Die Gesamtheit dieser Operationen ergibt dann das sogenannte parametrische Modell.

Die Verwendung von parametrischen Modellen liefert die Grundlage, automatisiert die Konsistenz zwischen verschiedenen Skalen zu prüfen bzw. aufrechtzuerhalten. Zusätzlich ist es möglich, Änderungen in einem niedrigen LoD automatisiert an die höheren LoDs weiterzuleiten.

Im Rahmen der DFG-Forschergruppe „Rechnergestützte kooperative Infrastrukturplanung in mehrskaligen 3D-Stadt- und Bauwerksmodellen“ werden die Grundlagen mehrskaliger prozeduraler Modellierung untersucht (Borrmann et al. 2012). Im Folgenden wird die Umsetzung dieser prozeduralen Modellierung in einem parametrischen CAD-System erläutert.

## 2 Mehrskalige Modellierung

Mit mehrskaliger Modellierung wird die Darstellung von real existierenden Entitäten auf verschiedene Abstraktionsebenen bezeichnet, deren Genauigkeiten den Anforderungen der jeweiligen Betrachtungsweise entsprechen. Ein typisches Beispiel ist die Modellierung von Straßen in kartografischen Anwendungen: bei kleinen Kartenmaßstäben werden diese stark vereinfacht als linienförmige Objekte, bei großen Maßstäben, z.B. im Liegenschaftskataster, voll aufgelöst als ausgedehntes Flächenobjekt dargestellt. Die mehrskalige Modellierung erlaubt den Zugriff auf relevante Informationen im jeweiligen Abstraktionskontext und ist in der Kartographie wie auch im 2D-GIS-Bereich fest etabliert (van Oosterom und Schenkelaars 1995, Sester 2000). Kartographische Generalisierungsverfahren realisieren den Übergang von Geo-Objekten in Karten aus einer Skala in eine andere sowohl unter geometrischen und thematischen Gesichtspunkten als auch unter dem Blickwinkel der Visualisierung.

Bei 3D-Stadtmodellen werden im Bereich der internationalen Geoinformatik-Standardisierung (OGC) fünf verschiedene Levels-of-Detail (LoD) unterschieden und detaillierte Vorgaben für die semantische Modellierung von Objekten der realen Welt gemacht (z.B. werden Fenster- und Türöffnungen erst ab Level-of-Detail 3 modelliert etc.). Ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt in diesem Bereich ist die Sicherung der Konsistenz zwischen den Repräsentationen auf den verschiedenen Detaillierungsebenen.

Im Bereich der Bauwerksmodellierung (IFC, CIS/2) wurde bislang keine mehrskalige Modellierung eingeführt. Analog zum CityGML-Standard, schlagen wir ebenfalls die Untergliederung in fünf verschiedene LoDs vor. Jeder LoD stellt dabei das Modell in einer bestimmten Abstraktionsebene dar. Die folgende Grafik veranschaulicht dies anhand der fünf LoDs bei der Modellierung eines Tunnels: In LoD1 wird lediglich die Trasse, in LoD2 die äußere Geometrie des Tunnels modelliert. In LoD3 wird eine detailliertere Modellierung des Tunnelquerschnitts konstruiert, in LoD4 die komplette Detaillierung der Tunnelhülle. In LoD5 schließlich wird das Innere des Tunnels beschrieben.

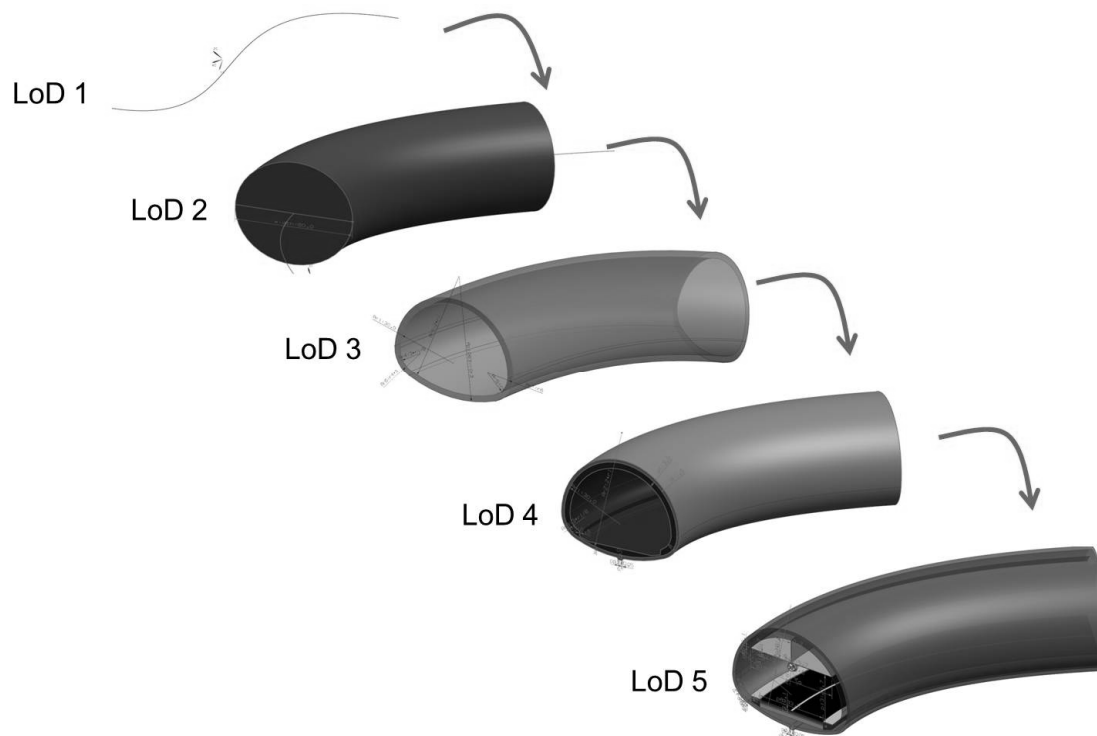


Abbildung 1: U-Bahn-Tunnel mit abgeleiteten fünf LoDs

Auch wenn nur eine bestimmte Abstraktionsebene von konkretem Interesse ist bzw. konkret bearbeitet wird, muss stets im Hintergrund das komplette Modell, welches sich über alle LoDs erstreckt, konsistent gehalten werden.

### 3 Prototypische Umsetzung in einem konkreten parametrischen CAD-System

#### 3.1 Parametrische Modellierung

Mit Hilfe parametrischer CAD-Systeme lässt sich die Konsistenz zwischen verschiedenen LoDs automatisiert aufrechterhalten. Hierzu definieren parametrische CAD-Systeme zwei verschiedene Arten von Grundelementen: parametrische Skizzen und prozedurale Operationen.

##### 3.1.1 Parametrische Skizzen

Parametrische Skizzen sind Modelle in zwei Dimensionen, die ein Profil definieren. Derartige Skizzen enthalten dabei drei verschiedene Arten von Objekten: die elementaren geometrischen Formen sowie die dimensional und geometrischen Randbedingungen.

Bestimmte prozedurale Operationen wie *Sweep* oder *Extrusion* erzeugen dann aus parametrischen Skizzen Volumenkörper.

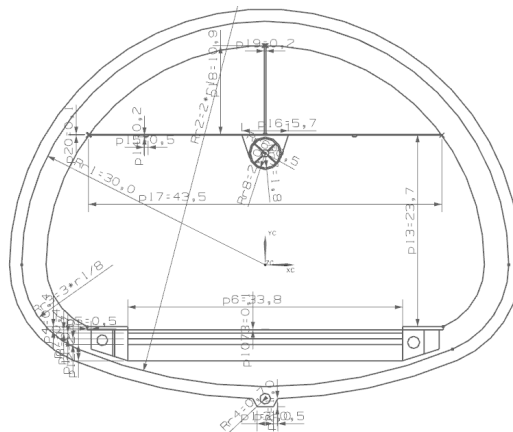


Abbildung 2: Parametrische Skizze eines Tunnels

##### 3.1.2 Geometrische und Abmessungs-Randbedingungen

In parametrischen CAD Systemen sind geometrische und Abmessungs-Randbedingungen von zentraler Bedeutung.

Die geometrischen Randbedingungen legen Beziehungen zwischen verschiedenen geometrischen Objekten fest. Beispielsweise legt eine Orthogonalitäts-Randbedingung zwischen zwei Linien fest, dass diese stets senkrecht aufeinander stehen. Abbildung 3 zeigt Beispiele für konkrete geometrische Randbedingungen.

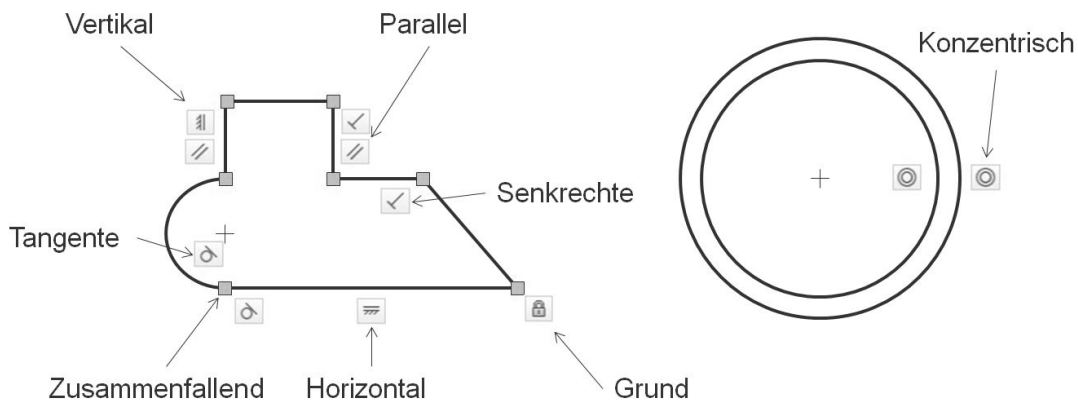


Abbildung 3: Geometrische Randbedingungen

Die Abmessungs-Randbedingungen bestimmen konkrete geometrische Abmessungen. Um diesen Abmessungen einen Wert zu geben, werden Parameter verwendet. Ein Parameter enthält dabei einen Wert, der entweder einer konkreten Zahl entspricht oder aus Beziehungen zwischen anderen Parametern berechnet wird. Parameter sind im Modell global und gehören nicht nur zu einer einzelnen Skizze. Abbildung 4 zeigt Beispiele von Abmessungs-Randbedingungen.

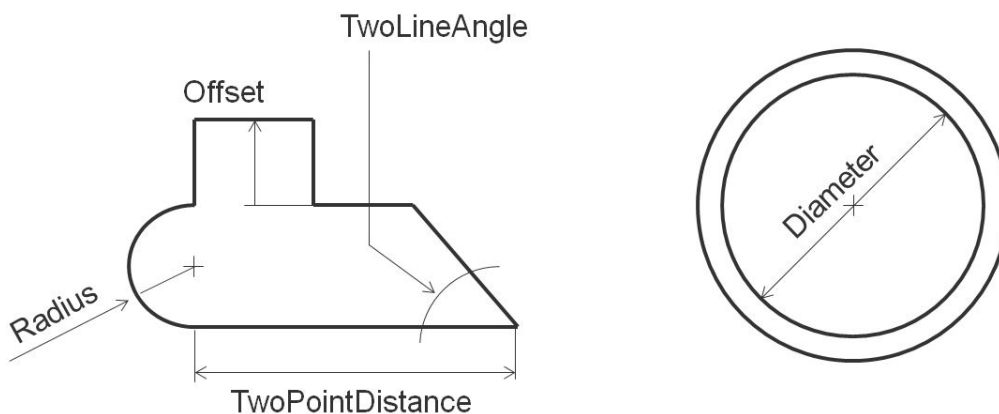


Abbildung 4: Abmessungs-Randbedingungen

### 3.2 Prozedurale Geometrie

Im Gegensatz zu BREP-Modellen, in welchen die Geometrie ausschließlich durch die explizite Angabe der Oberflächen, welche einen Körper beschreiben, gespeichert wird, werden in einem prozeduralen Modell die Konstruktionsschritte, welche einen endlichen Volumenkörper erzeugen, gespeichert. So ergibt sich ein Konstruktionsprotokoll, welches aus einer Abfolge von geometrischen Operationen besteht. Prinzipiell kann man zwischen zwei verschiedenen Arten von Operationen unterscheiden: Operationen, die auf einer oder auf mehreren Skizzen basieren, wie z.B. *Extrusion*, *Sweep* oder *Loft*, und Operationen, die keine Skizze benötigen, wie z.B. die boolesche Operationen *Cut*, *Join* oder *Intersect*.

Im untersuchten prozeduralen Modell ist zusätzlich der Befehl *Define LoD* von zentraler Bedeutung. Dieser gibt an, dass ab der folgenden prozeduralen Operation im angegebenen Level

of Detail gearbeitet wird. Auf diese Weise obliegt es dem Nutzer, während der Konstruktionsarbeit zwischen den Detaillierungsebenen explizit umzuschalten.

1. **Define LoD1**
2. Create Spline1
3. Create Sketch1
4. **Define LoD2**
5. Create Sweep1
6. Create Sketch2
7. Create Sweep2
8. Boolean Operation: Sweep1- Sweep2
9. **Define LoD3**
10. Create Sketch3
11. Define Constraint1: Coincident
12. ...
13. Create Sweep 4
14. Boolean Operation: Extrusion3 + Sweep4
15. **Define LoD4**
16. ...

Abbildung 5: Vereinfachte Darstellung eines prozeduralen Modells

### 3.3 Proxy Produktmodell

Ein Produktmodell enthält nicht nur geometrische, sondern zusätzliche semantische Information wie z.B. das Material, Informationen zum Hersteller oder Ähnliches. Häufig bieten parametrische CAD-Systeme keine Speicherungsmöglichkeiten für diese Informationen. Daher definieren wir eine Datenstruktur, die diese Informationen aufnehmen kann. Dabei folgen wir dem sogenannten Proxy-Pattern (Gamma, E. et al.1994). In der Folge greifen Nutzer nicht direkt auf die einzelnen geometrischen Objekte zu, sondern über sogenannte Proxy-Objekte, welche gleichzeitig die zusätzlichen Informationen bereitstellen. Bild 6 zeigt das zugehörige UML Diagramm.

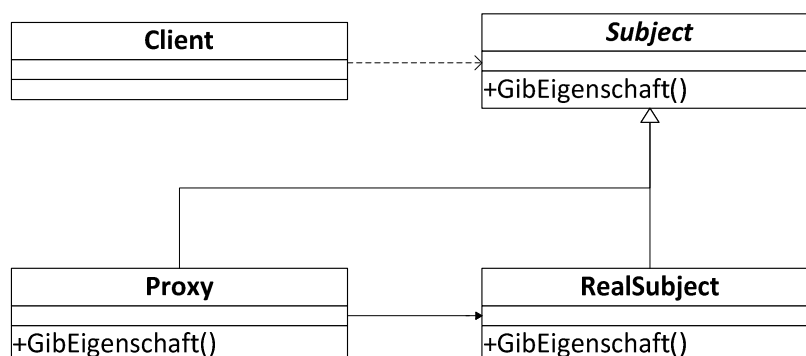


Abbildung 6: Proxy Pattern

### 3.4 Darstellung von Baugruppen

Eine Herausforderung in der modernen Infrastrukturplanung liegt in der Zusammenarbeit von Ingenieuren, die verschiedene Modelle bearbeiten, welche in ihrer Gesamtheit das gewünschte Resultat liefern. So kann es neben dem prozeduralen (Trassen-)Modell weitere explizite Modelle geben, welche etwa Umgebungsdaten enthalten. Für die Speicherung und den Austausch derartiger Modelle bzw. Informationen haben sich Standards wie LandXML oder CityGML etabliert. Um die einzelnen Modelle geschickt zusammenzufügen, verwenden wir das Prinzip der Baugruppe, welches im Bereich der Maschinenbau-CAD-Modellierung bereits fest etabliert ist. Eine Baugruppe setzt sich dabei aus verschiedenen Teilen (Parts) zusammen, die jeweils unabhängig voneinander gespeichert werden.

Um das Baugruppenkonzept umzusetzen, wurde das Composite-Pattern gewählt (Gamma, E. et al.1994). Dieses Pattern unterstützt die Baumstruktur verschiedener Baugruppe bzw. Modelle in natürlicher Art und Weise und erlaubt es dabei, Baugruppen und Modelle „einheitlich“ zu behandeln. Abbildung 7 zeigt das zugehörige UML Diagramm.

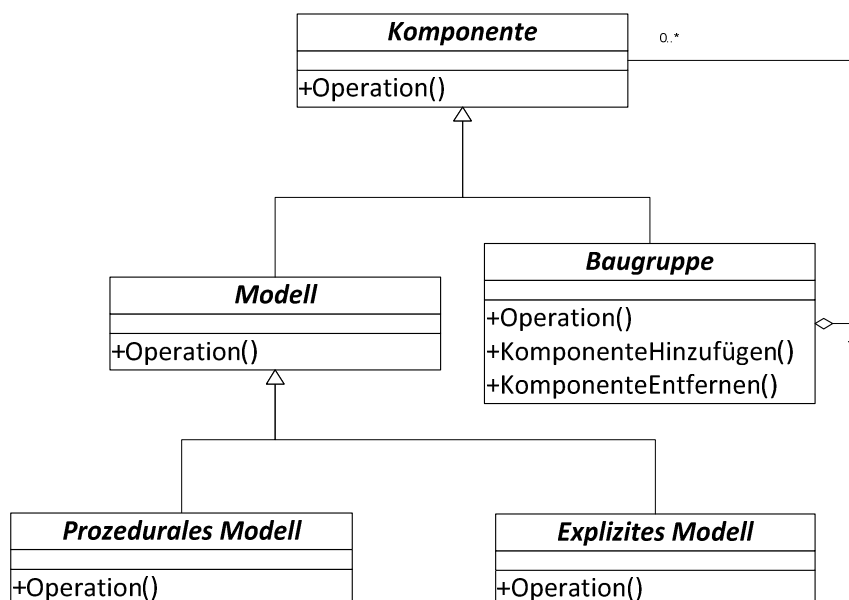


Abbildung 7: Composite Pattern

## 4 Fallstudie

Der Ansatz der Verwendung eines mehrskaligen Modells wurde in einer realen Fallstudie validiert: Dazu wurde aus einem prozeduralen Tunnelmodell und zusätzlichen Umgebungsmodellen ein Gesamtmodell aufgebaut.

Als konkrete Vorlage diente dabei die zweite S-Bahn-Stammstrecke München. Diese enthält das Kernstück des Bahnknotens München: Um die bestehende Stammstrecke zu entlasten, werden in München auf einer Länge von rund zehn Kilometern parallel zur derzeitigen Stammstrecke zwei neue Gleise gebaut. Kernstück dieser neuen Ost-West-Verbindung ist ein sieben Kilometer langer Tunnel, der die beiden Münchner Umsteigebahnhöfe Haupt- und Ostbahnhof miteinander verbindet. Aufgrund der Vorgaben des Brand- und Katastrophenschutzes werden die beiden neuen Gleise in zwei getrennten Röhren geführt. Der zweite

Stammstreckentunnel wird drei neue unterirdische Stationen am Hauptbahnhof, Marienhof und Ostbahnhof erhalten.

Das Modell des zweiten Stammstreckentunnels wurde vom Praxispartner *Obermeyer Planen und Beraten GmbH* freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Im aktuellen Stand der Arbeit wurde das Tunnelmodell in drei verschiedenen LoDs modelliert. Im ersten LoD wurde die Trasse definiert, im zweiten LoD die äußere Geometrie des Tunnels dargestellt und im dritten LoD die Dicke der Tübbing festgelegt.



Abbildung 8: Verlauf der zweite Stammstrecke München

Ein zweiter Schwerpunkt unserer Untersuchungen liegt in der Möglichkeit, die verschiedenen Modelle in einem CAD-System zusammenfügen. Um das zu erreichen, wurde das Konzept der Baugruppen benutzt. Jedes Einzelmodell wie der Tunnel, das bestehende U- und S-Bahn Netz, der Hauptbahnhof oder das CityGML-Modell des Stadtzentrums, kann als Baugruppe hinzugefügt und verwaltet werden. Abbildung 9 zeigt das Ergebnis unserer Umsetzung im CAD-System Autodesk Inventor.

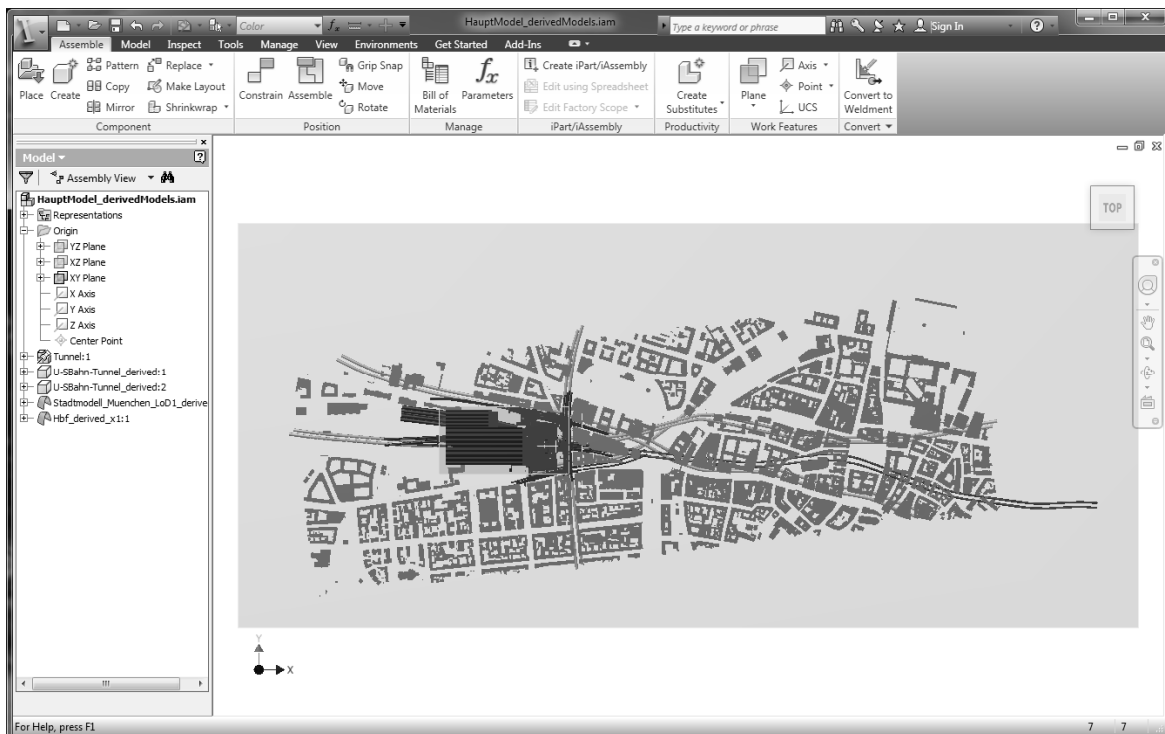


Abbildung 9: Modell der zweiten Stammstrecke München

## 5 Zusammenfassung

In der Modellierung von Infrastrukturprojekten im Bereich des Trassenbaus ist die Verwendung von mehrskaligen Geometriemodellen von großem Nutzen. Mit Hilfe eines prozeduralen Geometriemodells können wir die Mehrskaligkeit abbilden und dabei insbesondere die Konsistenz zwischen verschiedenen LoDs gewährleisten. Die Verwendung des Prinzips von Baugruppen ermöglicht dabei die Integration verschiedener Einzelmodelle zu einem Gesamtmodell. Prototypisch wurde dieser Ansatz bei der Modellierung der zweiten S-Bahn-Stammstrecke München implementiert und überprüft. Die Arbeit mit dem Gesamtmodell erwies sich auch bei der hohen Komplexität dieses Modells als stabil.

### Literaturverzeichnis

Borrmann, A., Ji, Y. und Jubierre, J.R. (2012). Procedural Modeling: A new approach to multi-scale design in infrastructure projects. In Proceedings of the ICCCBE 2012, Moscow, Russia.

CityGML (2012). Exchange and Storage of virtual 3D City Models [Format: HTML, Zeit 12.06.2012, Adresse: <http://www.citygml.org/>]

Flurl M., Mundani R.-P., Borrmann A., Rank E. (2012): A Collaborative Multi-Scale Planning Platform: Concept and Implementation Approach. In Proceedings of the ICCCBE 2012, Moscow, Russia.

Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. und Vlissides, J. (1994). Design Patterns: elements of reusable object-oriented software (22. Aufl.). Massachusetts: Addison-Wesley.

Shah, J.J. und Mäntylä, M. (1995). Parametric and Feature-based CAD/CAM – Concepts, Techniques, Applications. Wiley Press Inc.

Sester, M. (2000). Maßstabsabhängige Darstellung in digitalen räumlichen Datenbeständen. Habilitationsschrift. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 544

van Oosterom, P. und Schenkelaars, V. (1995). The development of an interactive multi-scale GIS. In: *International Journal of Geographical Information Systems* 9(5): 489-507.

Vlissides, J. (1998). Pattern hatching: design patterns applied (1. Aufl.). Massachusetts: Addison-Wesley.