

---

Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt  
Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation  
Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

## Modellierung des Stadtbahntunnels Augsburg mit Hilfe von Siemens NX 9

---

**Franz Miedel**

Bachelorthesis

für den Bachelor of Science Studiengang Bauingenieurwesen

Autor: Franz Miedel

Matrikelnummer:

1. Betreuer: Prof. Dr.-Ing. André Borrmann

2. Betreuer: Dipl.-Ing. Javier Ramos Jubierre M. Sc.

3. Betreuer Dipl.-Ing. Markus Hochmuth

Ausgabedatum: 30. April 2014

Abgabedatum: 30. September 2014

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>V</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>VI</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Offene Tunnelbauweise .....</b>	<b>4</b>
2.1 Merkmale .....	4
2.2 Tiefenlage .....	5
2.3 Ausführungsarten .....	6
2.3.1 Baugrube mit Böschung .....	6
2.3.2 Essener Verbau .....	7
2.3.3 Berliner Verbau .....	8
2.3.4 Hamburger Verbau .....	9
2.3.5 Deckelbauweise .....	10
<b>3. Mobilitätsdrehscheibe Augsburg .....</b>	<b>16</b>
3.1 Projektvorstellung .....	16
3.2 Ausführung des Stadtbahntunnels Augsburg .....	18
3.2.1 Trog .....	18
3.2.2 Tunnel Ost .....	18
3.2.3 Stationsbauwerk .....	19
3.2.4 Wendeanlage .....	20
<b>4. Modellierung des Stadtbahntunnels Augsburg .....</b>	<b>21</b>
4.1 Herangehensweise .....	21
4.2 Erstellen der Bauteile .....	23
4.2.1 Modellierungsgrundlagen .....	23
4.2.2 Steuerdatei .....	27
4.2.3 Tunnelanlagen .....	29

---

4.2.4 Station.....	31
4.2.5 Tragwerke .....	33
4.3 Visualisierung .....	33
4.3.1 Texturierung .....	33
4.3.2 Beleuchtung.....	35
<b>5. Fazit .....</b>	<b>37</b>
<b>Anhang A.....</b>	<b>VII</b>
<b>Anhang B .....</b>	<b>X</b>
<b>Anhang C .....</b>	<b>XI</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>XII</b>

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1-1 GROTTA DI POZZUOLI, EINER DER ÄLTESTEN TUNNEL.....	1
ABBILDUNG 1-2 BAU DES ERSTEN METROTUNNELS IN BUDAPEST 1896.....	3
ABBILDUNG 2-1 BILDICHE DARSTELLUNG VON 3 DER 4 TIEFENLAGEN; 1-, 1,5- UND 2-FACH .....	5
ABBILDUNG 2-2 BAUGRUBE MIT BÖSCHUNG .....	7
ABBILDUNG 2-3 ESSENER VERBAU .....	7
ABBILDUNG 2-4 BERLINER VERBAU OHNE ARBEITSRAUM.....	8
ABBILDUNG 2-5 HAMBURGER VERBAU MIT ARBEITSRAUM .....	9
ABBILDUNG 2-6 BAUABLAUF DER DECKELBAUWEISE AM BSP. DES DÜSSELDORFER U-BAHNBAUS ...	11
ABBILDUNG 2-7 ABSCHNITTSGEWEISE SCHLITZWANDHERSTELLUNG .....	13
ABBILDUNG 2-8 AUFGEÖSSTE, TANGIERENDE UND ÜBERSCHNITTENE BOHRPFÄHLWAND .....	14
ABBILDUNG 3-1 KÖNIGSPLATZ AUGSBURG.....	17
ABBILDUNG 4-1 KOMPLETTES TEXTURIERTES MODELL .....	21
ABBILDUNG 4-2 VISUALISIERUNG DES ARCHITEKTEN .....	22
ABBILDUNG 4-3 ISOLIERTE DARSTELLUNG DER BAUGRUPPEKOMPONENTEN .....	23
ABBILDUNG 4-4 STEUERUNGSELEMENTE DER BAUGRUPPENFUNKTION .....	24
ABBILDUNG 4-5 WIEDERVERWENDUNGSBIBLIOTHEK .....	27
ABBILDUNG 4-6 STEUERDATEI MIT ALLEN SKIZZEN UND BEZUGSEBENEN .....	29
ABBILDUNG 4-7 KOMPLETTES MODELL IM LÄNGSSCHNITT.....	30
ABBILDUNG 4-8 TUNNELKÖRPEREXTRUSION.....	30
ABBILDUNG 4-9 EXTRUSION EINES VERÄNDERLICHEN VOLUMENKÖRPERS.....	31
ABBILDUNG 4-10 EBENE -2, -1 UND 0 DER STATION IM ARBEITSSCHNITT.....	32
ABBILDUNG 4-11 ALLE BOHRPFÄHLE ISOLIERT DARGESTELLT .....	33
ABBILDUNG 4-12 GERENDERTES BILD DER VERTEILEREbene .....	34
ABBILDUNG 4-13 ANSICHT TUNNEL OST GERENDERT MIT BELEUCHTUNG .....	35
ABBILDUNG 4-14 ANSICHT STATION GERENDERT MIT BELEUCHTUNG .....	36

## Abkürzungsverzeichnis

CAD	Computer-Aided Design
DB	Deutsche Bahn
DWG	AutoCAD Drawing Format
NX	Siemens NX
PRT	Siemens NX Part-Dateiformat
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SWA	Stadtwerke Augsburg
UG	Untergeschoss

## **Zusammenfassung**

Der Personennahverkehr in Augsburg verzeichnet in den letzten Jahren einen konstanten Fahrgastzuwachs. Infolgedessen wurde mit dem Projekt „Mobilitätsdrehscheibe Augsburg“ ein Bauvorhaben angestoßen, das den überlasteten bisherigen Hauptknoten neuen Glanz verleihen soll. Durch einen neuen Königsplatz und eine Tramstation unter dem Hauptbahnhof, können neue Tramlinien geschaffen und die Bisherigen mit längeren Zügen erweitert werden.

Dazu wird im Folgenden zunächst ein Überblick über die verschiedenen offenen Tunnelbauweisen verschaffen. Im Anschluss wird dann das Bauvorhaben, mit dem vorher vermittelten Wissen, genauer erklärt.

Als letzter Teil folgt das Darstellen des Tunnelkomplexes unter dem Hauptbahnhof mittels Siemens NX 9. Die Vorgehensweise dabei ist durch allgemeine und modellspezifische Schritte erklärt.

## **Abstract**

The local passenger traffic in Augsburg recorded in recent years a constant passenger growth. As a result, the construction project "Mobilitaets-drehscheibe Augsburg" was initiated, which aimed to give the overloaded previous main nodes new shine. With a new Koenigsplatz and a tram stop below the central station new tram lines can be created and the existing ones be expanded with longer trains.

The following gives initially an overview of the various cut and cover methods, and subsequently the building project will be explained in more detail with the previously mediated knowledge.

Finally the modelling of the tunnel facility under the central station is done with Siemens NX 9. The procedure is explained by general and model specific steps.

## 1. Einleitung

Seine Anfänge nahm der Tunnelbau in der Antike, als unterirdische Stollen noch geschlagen wurden um Schutz zu bieten, Kultstätten für die Götter zu errichten oder um Wasser in eine Stadt zu transportieren. Einzug ins Verkehrs-wesen erhielt er dagegen erst bei den Römern und bekam damit eine völlig neue Bedeutung.

Trotz der damaligen Zeit waren die Tunnelbauwerke so technologisch souverän und gebrauchstauglich ausgeführt, dass einige bis heute noch voll funktionsfähig und begehbar sind. Ein Beispiel hierfür bietet der 36 v. Chr. vollendete und 960m lange Tunnel „Grotta di Pozzuoli“, der den Ort Pozzuoli mit Neapel verbindet.



Abbildung 1-1 Grotta di Pozzuoli, einer der ältesten Tunnel<sup>1</sup>

Mit dem Untergang des römischen Reichs verschwand neben viel Hochkultur und Ingenieursbaukunst auch der Tunnelbau von der Bildfläche. Erst der, während der Industriellen Revolution in der Mitte des 18. Jahrhunderts beginnende, große Hunger nach Energie und dem daraus resultierend florierendem Untertagebau, brachte das Thema wieder in den Vordergrund. Weiteren Aufschwung in der Entwicklung brachte das Schwarzpulver mit sich, das

---

<sup>1</sup> <https://www.flickr.com/photos/13428228@N07/4512290786>; abgerufen am 01.09.2014

beim Vortrieb der Stollen zum Einsatz kam. Die Erkenntnisse aus dem Bergbau dienten fortan als Fundament für die Entwicklung des Tunnelbaus. Zu erkennen ist dies daran, dass nach der Erfindung der Eisenbahn, die ersten Tunnel dafür noch von Bergleuten geschlagen wurden. Im Laufe der Zeit wurde dieses Gebiet jedoch immer mehr dem Bauingenieur zuteil. Gemeinhin waren die Einschränkungen der Eisenbahn, keine großen Steigungen überwinden zu können und keine großen Umwege in Anspruch zu nehmen um wirtschaftlich fahren zu können, ein Segen für den Tunnelbau. Das schnelle Wachsen des Schienennetzes führte zur Nachfrage nach immer mehr Tunnel, um Wege von A nach B möglichst kurz zu halten. Ebenso konnten Strecken verwirklicht werden, die zuvor nur mit sehr viel Mühe und Energie möglich waren.

Der Alpenbereich stellt hier ein Paradebeispiel dar. War eine Reise innerhalb eines Landes in den Bergen bisher sehr aufwendig und zeitintensiv, vereinfachten Tunnel nicht nur Transporte von einem Ort zum Nächsten, sondern machten sogar Reisen über die Alpen zu einem erschwinglichem und ungefährlichen Vorhaben. Mit dem 12,2 km langen Fréjustunnel und dem 14,9 km langen Gotthardtunnel wurden neue Meilensteine im Tunnelbau geschaffen. Auch neue Techniken, wie Tunnelbohrmaschinen mit Druckluftschild, feierten in der Zeit ihre ersten Erfolge.

Als im Zuge der weiterhin wachsenden Großstädte Platz zur Mangelware wurde, bekam der Tunnelbau abermals eine andere Wendung. Eine Bahn im Untergrund hatte nicht mehr den Zweck ein Hindernis zu überwinden, sondern viel mehr schnell, ohne viel Lärm und Verkehr von einem der Teil der Stadt zum nächsten zu gelangen. Vorreiter dafür war Budapest, das Ende des 19. Jahrhunderts auf einer Länge von 3,2 km den ersten Metrotunnel Europas errichtete.



Abbildung 1-2 Bau des ersten Metrotunnels in Budapest 1896<sup>2</sup>

Anstatt den Tunnel in der bisher üblichen, bergmännischen Bauweise auszuführen, setzte man dort auf eine neue Technik, die offene Bauweise. Hierbei wird, bei oberflächennahen Bauwerken, eine Baugrube geschaffen, das Bauwerk erstellt und anschließend überschüttet. In den folgenden Jahren wurde diese Art Tunnel zu bauen viel eingesetzt. So auch beim U-Bahn Bau in Berlin. Heute lässt sich der Tunnelbau in zwei große Bereiche unterteilen, den offenen und den geschlossenen. Im Folgenden wird ersterer näher erläutert.<sup>34</sup>

---

<sup>2</sup> [http://www.siemens.com/history/de/aktuelles/1192\\_u-bahn\\_budapest.htm](http://www.siemens.com/history/de/aktuelles/1192_u-bahn_budapest.htm), abgerufen am 01.09.2014

<sup>3</sup> Striegler, W., Tunnelbau, 1993

<sup>4</sup> Stein, D., Tunnelbauten: Offene und geschlossene Bauweisen

## 2. Offene Tunnelbauweise

### 2.1 Merkmale

Der offene Tunnelbau, im Englischen cut and cover, gilt als der jüngere der beiden und wurde erst durch die Vertikalisierung der Großstädte erschaffen sowie bis heute weiter perfektioniert. Kriterien einen Tunnel durch die offene Bauart zu erstellen sind zum einen, dass die Baugrube von oben frei zugänglich sein muss. Somit liegen U-Bahnstrecken in besagter Bauausführung meist unter Straßenzügen und Stationsbahnhöfe unter Kreuzungen. Außerdem muss es möglich sein eine solche Straße oder Kreuzung während der Bauphase komplett, teilweise oder für einen kurzen Zeitraum zu sperren. Zum anderen ist eine Baugrundsohle von maximal 18-20m ausschlaggebend, wobei dieser Wert wiederum abhängig von der Rammbarkeit des Bodens ist. Tiefere Baugruben führen dazu, dass Aussteifungs- und Rammelemente aus technischer und wirtschaftlicher Sicht nicht mehr tragbar sind.

In den meisten Fällen ist es jedoch eben jener finanzielle Aspekt, der genau für die offene Bauweise spricht. Vor allem große unterirdische Bauwerke wie Bahnstationen lassen sich durch die Arbeit von oben billiger realisieren als vergleichbare Projekte im geschlossenen Tunnelbau. Zwei weitere Punkte können sich begünstigend auf die Kosten auswirken. Zum Ersten bietet es sich an, im Falle einer nicht befahrenen Baufäche und keinem Platzmangel, die Baugrubenwände abzuböschten. Dies verursacht zwar einen erheblich höheren Erdaushub, ist im Allgemeinen jedoch günstiger als vergleichbare Grubensicherungen. Zum Zweiten wirkt sich ein tiefer Grundwasserspiegel ebenso positiv aus, da bei offenen Baugruben die Wasserhaltung einen nicht zu unterschätzenden Teil in der Kostenplanung darstellt. Das Grundwasser spielt zudem eine wichtige Rolle in der Stabilität des Untergrundes, was ein einfa-

ches Abpumpen des auftretenden Wassers oder einen Einsatz von Ersatzbrunnen nicht immer zulässt.<sup>5</sup>

## 2.2 Tiefenlage

Allgemein ist die Baugrubentiefe in vier Hauptgruppen gegliedert.

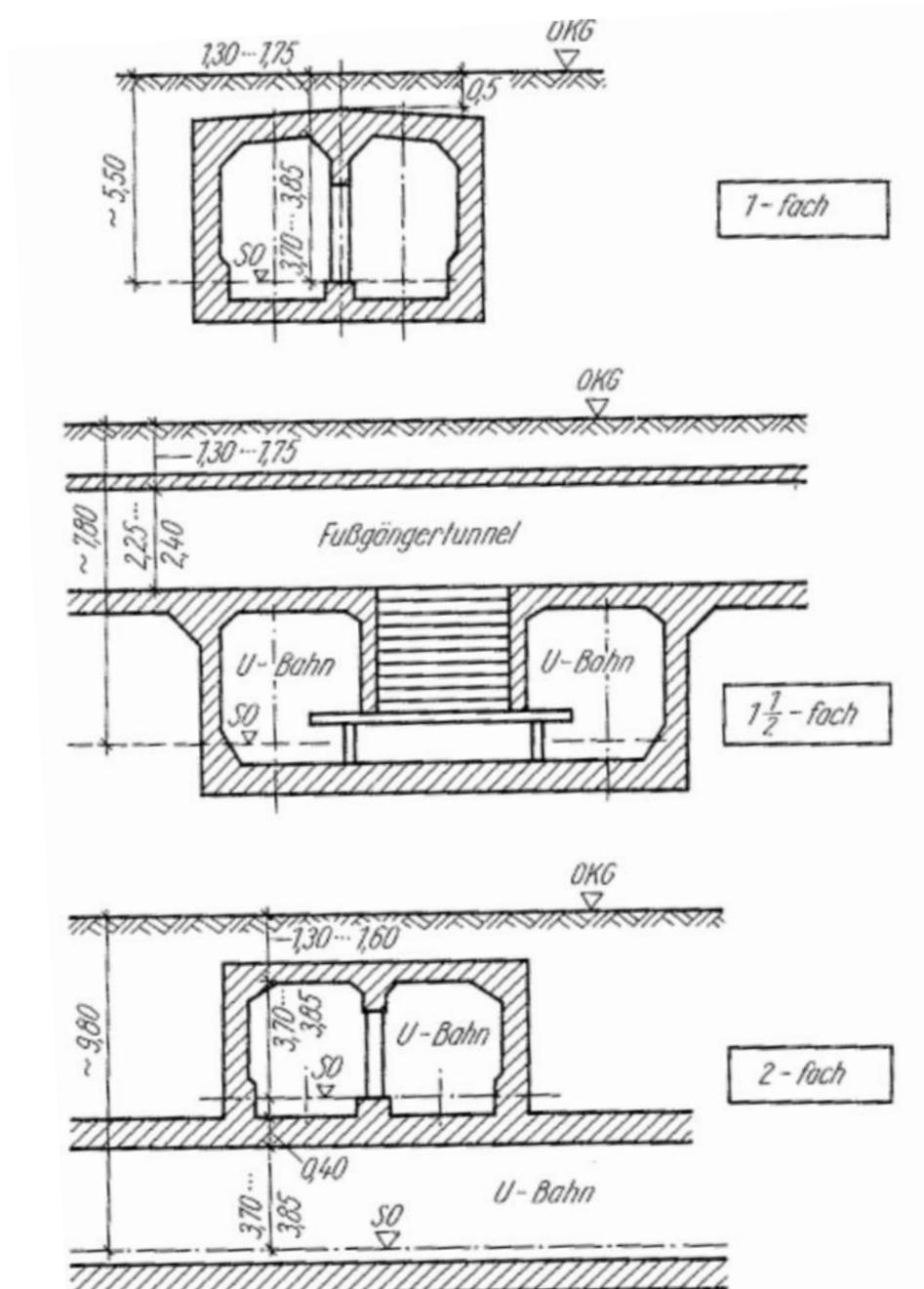


Abbildung 2-1 Bildliche Darstellung von 3 der 4 Tiefenlagen; 1-, 1,5- und 2-fach<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Beckmann, D.-I. U., Unterirdisches Bauen, 1991

<sup>6</sup> Striegler, W., Tunnelbau, 1993

Die einfache Tiefenlage stellt einen Tunnel mit minimaler Überdeckung von 0,50 m dar, wie er für innerstädtische Straßentunnels verwendet wird. Unter der eineinhalbfachen versteht man einen Tunnel, der über oder unter dem eigentlichen Bauwerk noch eine Ebene für Fußgänger besitzt. Diese Variante wird gern in Städten bei vielbefahrenen Kreuzungen gewählt, um ein sicheres Unterqueren der Straße zu ermöglichen. Diese Bauart wird meist bei U-Bahnhöfen eingesetzt. Kreuzen sich zwei Tunnelröhren im Untergrund, wird von einer zweifachen Tiefenlage gesprochen. Ein typisches Beispiel hierfür sind Stationen mit zwei verschiedenen U-Bahnlinien, die sich annähernd senkrecht kreuzen. Als vierte und letzte gibt es noch die dreifache Tiefenlage. Aufgrund des sehr hohen Aufwands, Stationen mit drei Ebenen zu erstellen, wird dies weitestgehend vermieden und findet nur bei großen Verkehrsknoten Anwendung (beispielsweise Marienplatz/München, Karlsplatz(Stachus)/München)<sup>7</sup>

## 2.3 Ausführungsarten

### 2.3.1 Baugrube mit Böschung

Die einfachste Art eine Baugrube zu erstellen, ohne dabei die Wände zu sichern, ist mittels einer Böschung. Diese Methode gilt jedoch als sehr platzraubend und wird daher lediglich in unbebautem Gebiet mit genügend Freiflächen verwendet. Der Neigungswinkel einer solchen Böschung ist abhängig von der Scherfestigkeit und Kohäsion des Bodens sowie von der Sohlentiefe. Der Wert hierfür schwankt zwischen circa 25° bei körnigem Boden bis 63° bei festem trockenem Ton. Wie in Punkt 2.1 angesprochen, rechnet sich der höhere Aufwand bei den Erdarbeiten mit dem Wegfallen von aufwändigen Sicherungen nicht nur auf, sondern vergünstigt den Bau dadurch auch enorm. Böschungen werden deshalb immer dann verwendet, sobald die Umgebung

---

<sup>7</sup> Striegler, W., Tunnelbau, 1993

dies zulässt. Die Hybridform, bei der nur die ersten Meter abgeböschet werden, wird deshalb auch sehr gerne verwendet.

Zur Unterstützung der Böschungstabilität vor oberflächlichen Einflüssen kann der Boden mit Plastikfolie abgedeckt oder eine Schicht Spritzbeton aufgebracht werden.<sup>8</sup>



Abbildung 2-2 Baugrube mit Böschung<sup>8</sup>

### 2.3.2 Essener Verbau

Eine spezielle Art der Böschung ist der Essener Verbau. Hierbei kann eine deutliche Steigerung des Neigungswinkels durch den Einsatz von Baustahl, Spritzbeton, U-Profilen und vorgespannten Bodenankern auf bis zu 65° erreicht werden. Einsetzbar ist diese Methode selbst in sandigem Untergrund. Vorteil gegenüber anderen Verbauungen ist die geringe Aufbaudicke.<sup>8,9</sup>

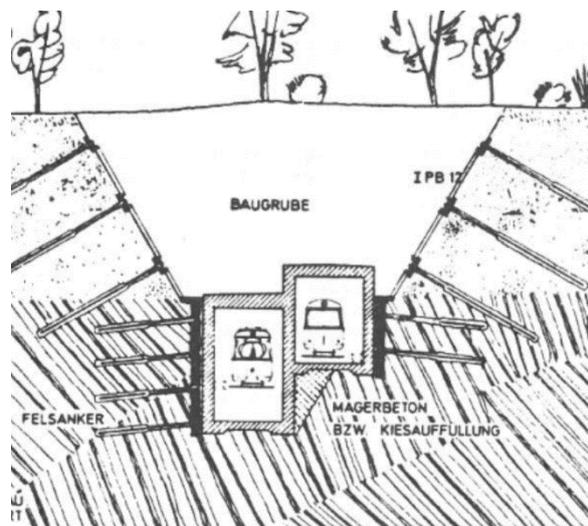


Abbildung 2-3 Essener Verbau<sup>10</sup>

<sup>8</sup> Beckmann, D.-I. U., Unterirdisches Bauen, 1991

<sup>9</sup> <http://www.mast-grundbau.de/traegerbohlwand.html>, abgerufen am 01.09.2014

<sup>10</sup> Beckmann, D.-I. U., Unterirdisches Bauen, 1991

### 2.3.3 Berliner Verbau

Der Berliner Verbau ist eine spezielle Anwendungsform der Trägerbohlwand. Das besondere Merkmal ist hierbei, dass nach Einbringen der I-Träger und der Ausfachung durch Holzbohlen kein Arbeitsbereich mehr zum Erdreich gelassen und das Bauwerk somit direkt an die Baugrubensicherung angebaut wird. Dadurch kann auf der einen Seite der Platz in der Baugrube maximal ausgenutzt, eine Außenschalung weggelassen und der Aushub minimiert werden.

Auf der anderen Seite werden damit jedoch auch hohe Ansprüche an das Setzen der Träger gestellt, damit diese als Schalung fungieren können. Zudem muss, um den horizontalen Kräften des Erdreichs entgegenwirken zu können, die Baugrube durch vorgespannte Anker oder mit Steifen gesichert werden. Infolge der Doppelfunktion aus Sicherung und Schalung wird es schwer bis unmöglich die Träger nach Abschluss der Arbeiten wieder zu entfernen.<sup>10 11</sup>

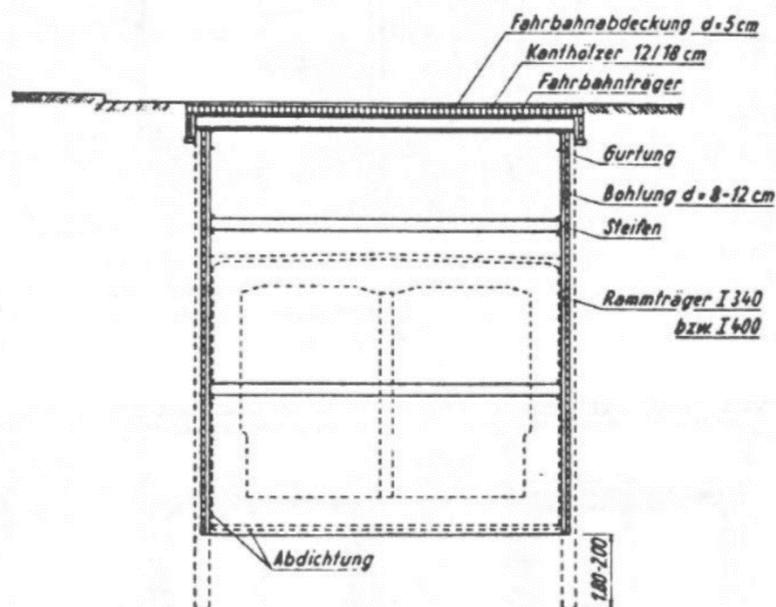


Abbildung 2-4 Berliner verbau ohne Arbeitsraum<sup>12</sup>

<sup>11</sup> <http://www.mast-grundbau.de/traegerbohlwand.html>, abgerufen am 01.09.2014

<sup>12</sup> Striegler, W., Tunnelbau, 1993;

### 2.3.4 Hamburger Verbau

Diese Art des Verbaus entstand aufgrund des in Hamburg vorhandenen, un- einheitlichen Untergrunds, wodurch ein genauer Einbau der Träger nicht möglich war. Beim Rammen werden bei beschriebenen Verhältnissen die Profile stark abgelenkt und die Trägerbohlwand kann im Zuge dessen nicht als Schalung verwendet werden. Als Lösung wird ein beidseitiger, 80cm breiter Arbeitsraum geschaffen, der dafür genutzt wird die Abdichtung des Bauteils zu verbessern und eine steinstarke Schutzschicht zu erstellen. Neben besag- ten Problemen wurde damit auch der Verlust der Trägerbohlwand behoben. Durch den zusätzlichen Platz können Träger und Bohlen geborgen werden.<sup>1213</sup>

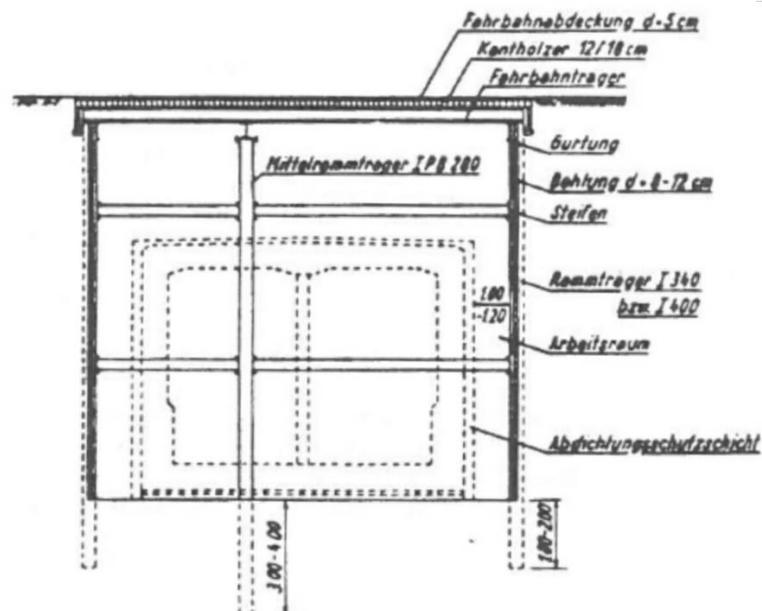


Abbildung 2-5 Hamburger Verbau mit Arbeitsraum<sup>14</sup>

Die Vorteile des Arbeitsraumes erfordern jedoch einen Mehraushub für die 1,60 m breitere Baugrube sowie längere Steifen, um die Baugrubenwände zu stabilisieren. Zum Abschluss der Bauarbeiten muss schließlich der Arbeits- raum wieder kompliziert verfüllt und verdichtet werden.<sup>15</sup>

<sup>13</sup> Beckmann, D.-I. U., Unterirdisches Bauen, 1991

<sup>14</sup> Beckmann, D.-I. U., Unterirdisches Bauen, 1991

<sup>15</sup> <http://www.hk-ingbau.de/Traegerbohlwand.38.0.html>, abgerufen am 01.09.2014

### 2.3.5 Deckelbauweise

Bei den bisher vorgestellten offenen Bauweisen ist der größte Nachteil, im Vergleich zum geschlossenen Tunnelbau, dass die Fläche der Baugrube während der gesamten Bauzeit nicht für den Verkehr genutzt werden kann. Sperrungen, Umleitungen und Verkehrschaos rund um die Baustelle sind die Folge. Mit der Deckelbauweise, auch cover and cut, Wand-Decken- oder Mäi-länder Bauweise genannt, nahm man sich dem Problem an und entwickelte eine Methode die als Hybrid zwischen offenem und geschlossenem Tunnelbau gilt.

Hierbei werden zunächst die Wände der Baugrube erstellt. Zwischen diesen beiden wird auf Höhe der späteren Tunneldecke der Deckel betoniert. Durch sauberes Ausführen der Planumschicht kann auf eine Schalung verzichtet werden. Zum nochmaligen Steigern der Qualität, kann zusätzlich noch eine Folie ausgelegt werden.

Die einzelnen Schritte eines Tunnelbaus in Deckelbauweise sind wie folgt: (Die Ausführung einer Baustelle unter einer Straße in Deckelbauweise ergibt sich wie folgt. Der Verkehr wird zunächst auf eine Fahrspur verlegt. Auf der anderen Seite wird eine Wand gesetzt und der halbe Deckel betoniert. Sind die Bauteile ausgehärtet, kann das Loch verfüllt werden und durch Verlegen der Fahrspur, der gleiche Vorgang auf der anderen Seite ausgeführt werden. Ist diese Bauphase abgeschlossen, kann der Ursprungsstatus wieder hergestellt werden. Diese Art ermöglicht es eine Straße nie vollkommen zu sperren und die Umwelt- und Verkehrsauswirkungen weitgehend zu reduzieren.

Der Hohlraum unter dem Deckel zum Erstellen des Tunnels, wird fortan von der Stirnseite mit Baggern geschaffen. Durch die feste Verbindung zwischen Deckel und Wand ist die Baugrube gesichert und bedarf keiner weiteren Aussteifungen. Ein Arbeiten ist somit behinderungsfrei möglich. Sobald die Baugrubensohle erreicht ist, kann die Bodenplatte betoniert werden. Die Unregelmäßigkeiten an den Wänden, die durch schalungsloses betonieren entste-

hen, werden durch Spritzbeton ausgeglichen. Als finaler Schritt wird nun eine wasserundurchlässige Innenschale mithilfe eines Großschalwagens erstellt.

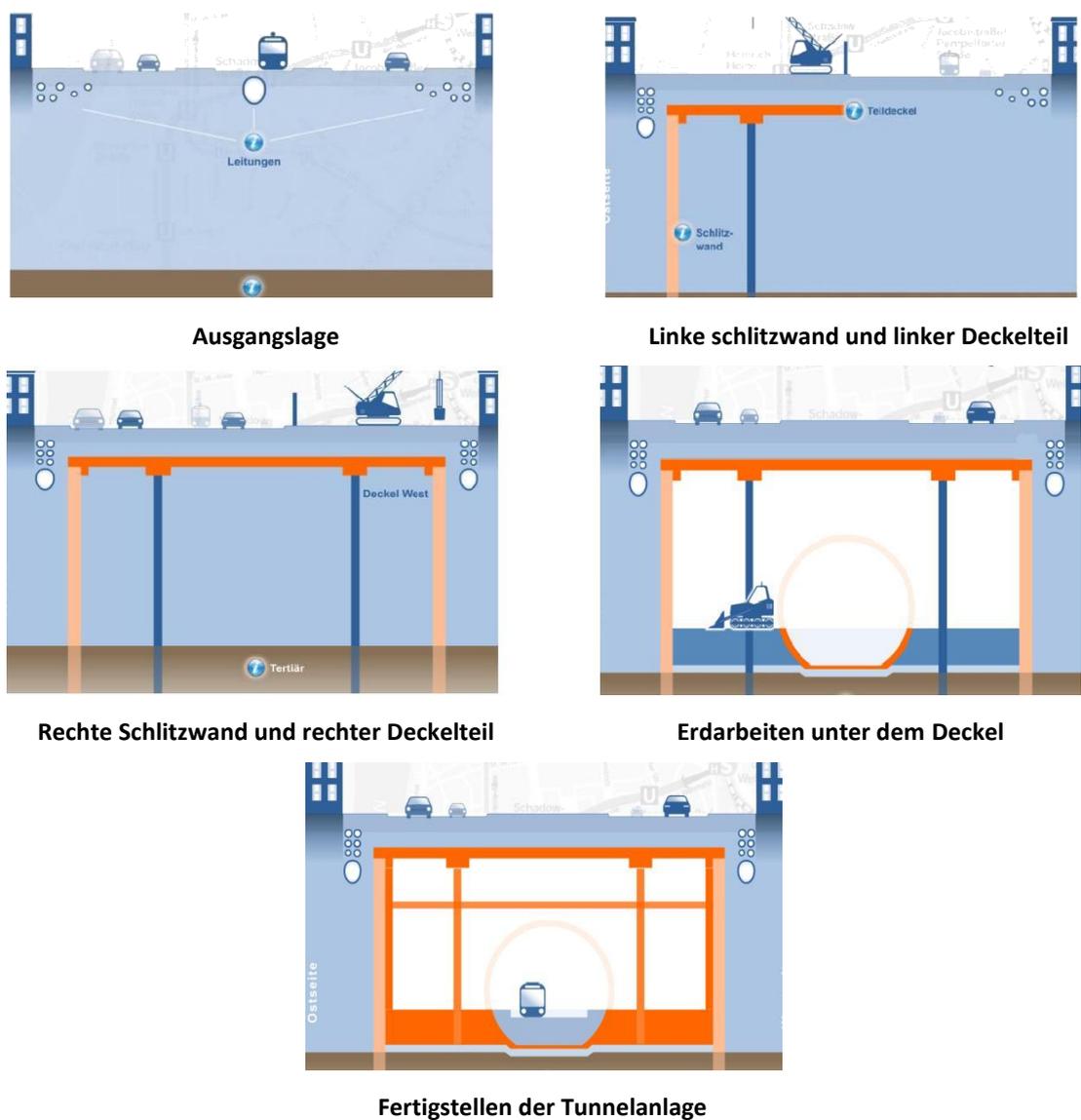


Abbildung 2-6 Bauablauf der Deckelbauweise am Bsp. des Düsseldorfer U-Bahnbaus<sup>16</sup>

<sup>16</sup> <https://www.duesseldorf.de/wehrhahnlinie/verfahren/02deckel/>, abgerufen am 01.09.2014

Die Deckelbauweise hat sich innerstädtisch so stark etabliert, dass sie schon lange nicht mehr nur beim Tunnelbau sondern auch im ganz normalen Hochbau eingesetzt wird. Die Vorteile die Baugrubenwände nicht rückzuverankern und synchron vom Deckel nach oben und unten zu bauen, verringern die Bauzeit- und damit auch die Kosten merklich.<sup>1718</sup>

#### 2.3.5.1 Schlitzwand

Verbleibende Baugrubenumschließungen lassen sich in zwei verschiedenen Arten ausführen. Mit der Schlitzwand lassen sich massive, durchgehende, wasserdichte und zugleich statisch brauchbare Wände erstellen. Die Ausführung kann dabei in Ortbeton oder durch Fertigteile, mit einer Dicke zwischen 0,40 und 1,20 m, erfolgen.

Die Schlitzte, die von seil- oder zwangsgeführten Greifern ausgehoben werden, füllt man mit Betonitsuspension, welche stützend auf die Wände wirkt. Die Flüssigkeit besitzt die besondere Eigenschaft in Ruhe eine hohe Festigkeit auszubilden. Bei Erschütterung sinkt diese jedoch rapide und ermöglicht somit das Arbeiten in der Suspension.

Sind die Schlitzwände in Ortbeton geplant, wird zum abschnittswisen Betonieren ein Fugenrohr eingestellt. In den, bis zum Rohr begrenzten, Abschnitt wird die Bewehrung eingeführt und mit Hilfe des Kontraktorverfahrens, von unten nach oben der Beton eingefüllt. Im gleichen Takt muss die Suspension oben abgepumpt werden. Im Anschluss wird sie gereinigt und beim nächsten Schlitz sofort wieder verwendet.

Fertigteilwände werden benutzt, wenn eine schnelle Belastung gefordert ist. Bis zum Einfüllen der Flüssigkeit ist der Vorgang synchron zur Ortbetonbauweise. Nun wird jedoch anstatt einer Betonitsuspension eine selbsthärtende, meist zementgebundene, Suspension verwendet um die entstehenden Bau-

---

<sup>17</sup> Beckmann, D.-I. U., Unterirdisches Bauen, 1991

<sup>18</sup> Striegler, W., Tunnelbau, 1993

teilfugen abzudichten und eine wasserdichte Baugrubensicherung zu erhalten.<sup>19</sup>

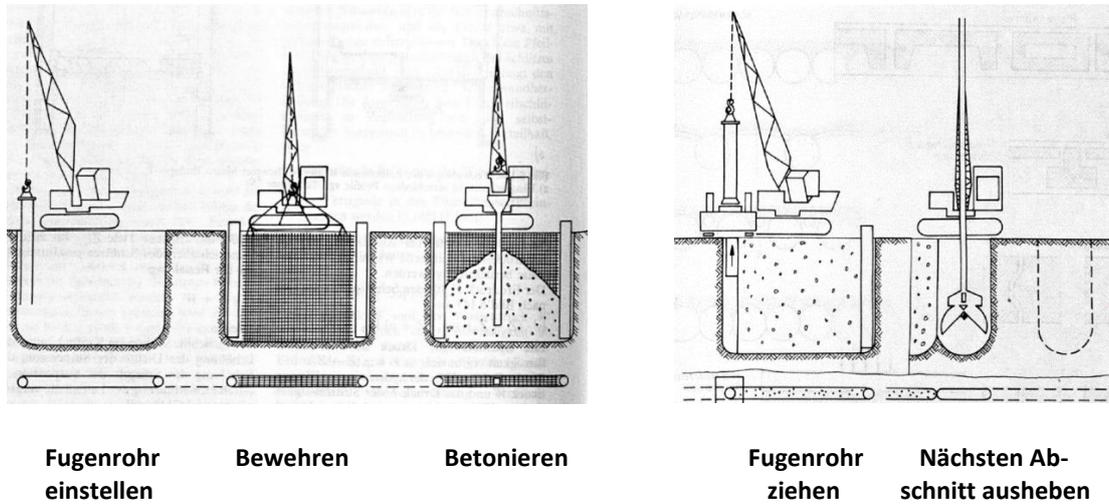


Abbildung 2-7 Abschnittsweise Schlitzwandherstellung<sup>20</sup>

### 2.3.5.2 Bohrpfehlwand

Am häufigsten wird die Bohrpfehlwand als Baugrubensicherung verwendet. Unabhängigkeit vom Baugrund, enorme Stabilität und keine übermäßige Destabilisierung des Untergrundes beim Erstellen machen sie so beliebt. Die Pfehle können je nach Bohrer verschieden gesetzt werden. Im Allgemeinen unterscheiden sich die Möglichkeiten nur sehr gering und es wird wie bei der Schlitzwand nach Fertigstellen des Loches und Einsetzen des Bewehrungskorbes, durch das Kontraktorverfahren von unten nach oben betoniert. Die komplette Wand an sich lässt sich jedoch in drei verschiedenen Arten ausführen.

<sup>19</sup> Striegler, W., Tunnelbau, 1993

<sup>20</sup> Striegler, W., Tunnelbau, 1993

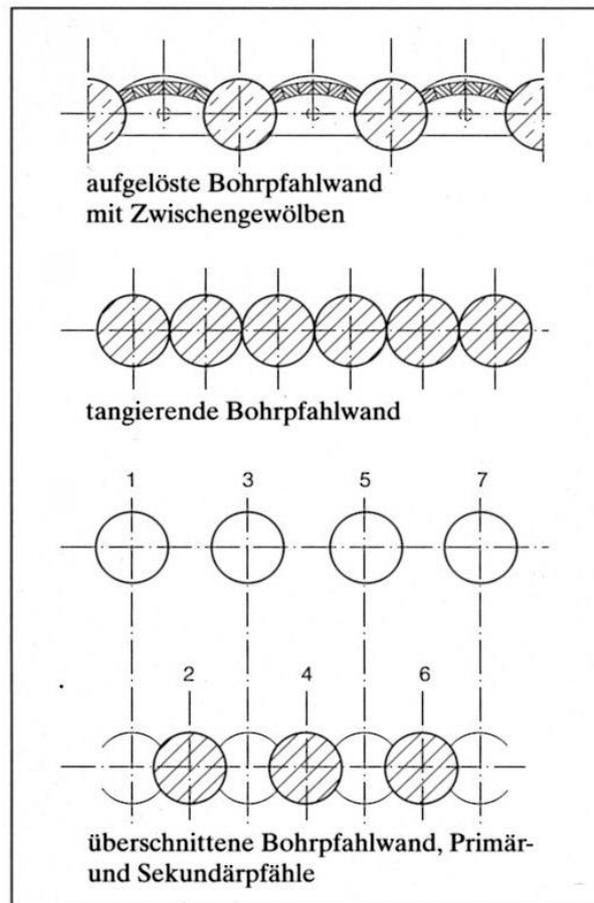


Abbildung 2-8 Aufgelöste, tangierende und überschnittene Bohrpfahlwand<sup>21</sup>

Wenn Grundwasser oder das Senken des Spiegels kein großes Problem darstelle bietet es sich an eine wasserdurchlässige Bohrpfahlwand zu erstellen. Eine Möglichkeit ist hierbei die tangierende Version. Da zwischen den Pfählen nur ein minimaler Abstand herrscht, entsteht ein statisch wertvolles Konstrukt, das aber kein Wasser zurückhalten kann.

Um Kosten zu sparen und keine überbemessene Baugrubenabsicherung erstellen zu müssen kann auch eine aufgelöste Bohrpfahlwand erstellt werden. Die Bohrpfähle werden dabei auf Lücke, im Abstand von 1,80 - 2,00 m, angeordnet. Nach dem Ausbaggern des Tunnelhohlraumes kann in Lücke zwischen den einzelnen Pfählen mit Hilfe von Spritzbeton eine stabile Wand hergestellt werden. Bei beiden Arten werden alle Bohrpfähle bewehrt.

<sup>21</sup> <http://www.beton.org/wissen/infrastruktur/spezialtiefbau/>, abgerufen am 01.09.2014

Um im Grundwasser oder sogar vollkommen unter Wasser eine trockene Bau-grube zu erstellen sind wasserdichte Wände notwendig. Neben der Schlitz-wand ist die überschnittene Bohrpfahlwand eine weitere Möglichkeit für eine konstruktive Baugrubensicherung. Die Bohrpfähle werden hierbei zunächst im Abstand von  $0,875 \cdot \text{Durchmesser}$  auf Lücke und unbewehrt gesetzt. Nach dem Aushärten wird ein weiteres Loch jeweils zwischen die bereits Gesetzten gebohrt, wobei ein Teil der bereits bestehenden Betonpfähle mit abgeschnitten wird. Durch Bewehren dieser entsteht eine geschlossene Wand mit Primär- und Sekundärpfählen.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> *Striegler, W., Tunnelbau, 1993*

## **3. Mobilitätsdrehscheibe Augsburg**

### **3.1 Projektvorstellung**

Die Informationen und Daten zu folgendem Kapitel sind komplett aus der Entwurfsplanung der Firma Obermeyer entnommen.

Der Entschluss das Projekt „Mobilitätsdrehscheibe Augsburg“ in Angriff zu nehmen kam nicht von ungefähr. Viel Verkehr in der Innenstadt und steigende Spritkosten sorgten bei den Stadtwerken Augsburg für starken Fahrgastzuwachs. Seit Ende der 90er Jahre ist die Nachfrage im Personennahverkehr um etwa 25% gestiegen. Um dem eigenen Vorsatz gerecht zu werden, jedem Fahrgast ein möglichst stressfreies und angenehmes Erlebnis im Netz der SWA zu beschern, mussten die Transportmöglichkeiten erweitert werden. Eine einfache Erhöhung der Frequenz konnte nicht des Problems Lösung sein, da bereits zu Beginn der 90er Jahre die fünf Minuten-Taktung eingeführt wurde. Man entschied sich daraufhin weniger auf die Buslinien, sondern mehr auf die Straßenbahn zu setzen und schaffte sich neue Züge der Reihe Combino von Siemens an. Diese konnten fortan durch ihre längeren Ausmaße mehr Passagiere befördern, machten es aber auch unmöglich zwei Bahnen an einer Haltestelle zu bedienen. Auf Grund dessen und durch das Anlegen einer neuen Linie sechs, waren die unterdimensionierten Drehpunkte Königsplatz und Hauptbahnhof sehr schnell überfordert. Ersterer wurde in einem ersten Teil des Bauvorhabens Mobilitätsdrehscheibe Augsburg bereits von Grund auf erneuert.

Als Herzstück des Projekts gilt jedoch die Verlegung der Straßenbahnhaltestelle vom Vorplatz direkt unter den Hauptbahnhof. Wie SWA selbst beschreibt wird „der Hauptbahnhof [...] zu einem modernen Drehkreuz umge-

baut, das den regionalen und überregionalen Schienenverkehr mit der Straßenbahn verknüpft.“<sup>23</sup>



Abbildung 3-1 Königsplatz Augsburg<sup>24</sup>

Die Zahlreichen, damit einhergehenden Vorteile, lassen sich auch von den Kritikern nicht abstreiten. Somit kann der stark frequentierte Bahnhofsplatz, der bisher durch die sich gegenseitig blockierenden überlangen Bahnen zusätzlich strapaziert wurde, für Bus und Taxi neu gestaltet werden. Zudem ist es sehr wichtig, einen ansprechenden Anblick Augsburgs bei ankommenden Reisenden mit dem Zug zu schaffen und somit einen guten ersten Eindruck zu hinterlassen.

Der zweistöckige Tunnel unter den Gleisen des Regional- und Fernverkehrs der Deutschen Bahn ist aufgeteilt in eine Verteilerebene, -1, und eine Stationsebene, -2. Alle Ebenen sind über Aufzüge barrierefrei verbunden. Mit dem Umbau können die Fahrgäste somit nicht nur Zeit sparen, sondern erhalten auch eine qualitativ höherwertige Anbindung zur Straßenbahn.

---

<sup>23</sup> Stadtwerke Augsburg Holding GmbH, Stadtwerke Augsburg <https://www.sw-augsburg.de/fahrgaeste/MDA%20kurz%20erklaert.php>, abgerufen am 01.09.2014

<sup>24</sup> Monika Harrer-Jalovec, Projekt Augsburg City, <http://www.projekt-augsburg-city.de/der-neue-koe/der-neue-koenigsplatz/>, abgerufen am 01.09.2014

Die Modernisierung des Hauptbahnhofs bringt den innerstädtischen SPNV mit dem Regional- und Fernverkehr enger zusammen. Dieser Teil stellt nicht nur eine Verbesserung für Augsburg, sondern auch für das Umland dar. Durch den Umbau verspricht die Stadt den Schienenpersonennahverkehr in Augsburg weiter zu etablieren, sowie den erwarteten Fahrgastzahlen Rechnung zu tragen. Der Bau begann im März 2014 und wird sich bis zur geplanten Fertigstellung im Jahr 2019 hinziehen.

## **3.2 Ausführung des Stadtbahntunnels Augsburg**

Bei der technischen Ausführung ist der Stadtbahntunnel komplett in offener Bauweise geplant. Die Gleise führen über eine Rampe in der Halderstraße hinab, unterführen dann die Viktoriastraße, den Vorplatz und das Bahnhofshauptgebäude. Die Linien der Straßenbahn kreuzen im Anschluss die Gleise der DB unterirdisch im 90° Winkel von Ost nach West.

### **3.2.1 Trog**

Um die Gleise auf die gewollte Sohltiefe für einen Tunnel zu führen, wird in der Halderstraße ab km 1,02 eine zweigleisige Rampe errichtet. Bis km 0,1+57 werden die überschnittenen Bohrpfähle als dauerhafte Bauwerkswände benutzt. In den tieferen Lagen bis km 2,32 werden die Bohrpfähle mit Holzausfachung zur Baugrubensicherung benutzt und der Trog in einer wasserdichten Stahlbetonrahmenkonstruktion ausgeführt. Dieser Teil schließt auch das 10 m lange Tunnelportal mit ein. Als Gesamtlänge des Troges wird auf Grund der Gradientenführung eine Länge von ca. 120m, mit Tunnelportal 130 m, erreicht. Der Grundwasserspiegel hat hier keinen Einfluss auf das Bauvorhaben.

### **3.2.2 Tunnel Ost**

Um den Verkehr in der Halderstraße und Viktoriastraße nicht überzustrapazieren hat man sich dazu entschlossen den Tunnel, solange er unter der Straße verläuft, in Deckelbauweise zu erstellen und erst später, beim Bahnhofsvorplatz, auf die kostengünstigere komplett offene Bauweise zu wechseln.

Der zweigleisige rund 80 m lange Tunnel Ost wird unter dem, auf tangierenden Bohrpfählen gelagerten, Deckel ausgehoben. Die Zwischenräume zwischen den Betonpfählen werden mit Spritzbeton ausgefacht, ehe die Tunnelwände und –sohle mit wasserundurchlässigem Ortbeton ausgeführt werden. Erst ab km 3,12 wird in die kostengünstigere komplett offene Tunnelbauweise gewechselt. Der Bauvorgang hierbei ist derselbe wie beim Trog mit herkömmlicher Stahlbetonkonstruktion, rückverankertem Bohrträgerverbau und Holzausfachung. Grundwasser spielt im gesamten Bereich nur eine geringe Rolle.

### 3.2.3 Stationsbauwerk

Beim Stationsbau spielt der Bauprozess die wichtigste Rolle. Um den Betrieb der DB so gering wie möglich zu beeinflussen, wurde hier ebenfalls auf die Deckelbauweise zurückgegriffen, allerdings in einer modifizierten Ausführung. Durch das Vermeiden eines zusammenhängen Tunnel Schlauchs in der Verteilerebene, konnten die torbogenartigen Tunnelelemente, die immer zwei Bahnsteige überführen, Schritt für Schritt gebaut werden. Die beiden Gleispaare im Baustellenbereich werden gesperrt und anschließend rückgebaut. Dort wird dann der wasserdichte Stahlbetonrahmen auf tangierenden Betonpfählen tiefgegründet um die nötige Stabilität für den Zugverkehr zu gewährleisten. Gleichzeitig wird der Deckel für das Ausheben der Stationsebene erstellt. Die inselartigen Baustellen werden mit Baustoffen und -Geräten über die Schiene versorgt. Bis zur kompletten Fertigstellung der Station sollen sechseinhalb Jahre vergehen. Durch die Deckelbauweise und den komplexen Bauprozess kann nach dreieinhalb Jahren der Bahnhof in seinem vollen Umfang wieder benutzt werden. Die Zeit davor ist durch eine Sperrung von jeweils nur zwei Gleisen der Bahnhof fast in seinem vollen Umfang nutzbar.

### 3.2.4 Wendeanlage

Die Wendeanlage schließt sich im Westen an die Station an und unterquert den angrenzenden Gütergleisbereich. Da es sich hier um 26 Gleise handelt kann der Tunnel in offener Bauweise erstellt werden, wobei einige Gleise während des Baus komplett geschlossen oder durch bauzeitliche Verbauten überbrückt werden können. Die Tunnelsohle wird aus wasserdichtem Ortbe- ton auf einer Sauberkeitsschicht erstellt. Wände und Decke sind aus Stahlbe- ton, der ebenso wasserundurchlässig ist. Die Gründungssohle liegt im mittlere- ren Grundwasserbereich. Ein Aufschwimmen wird durch das Eigengewicht unterbunden

Der Tunnel beinhaltet einen Fußweg um einen bis dato nicht vorhandenen Zugang des Bahnhofes von Westen zu ermöglichen. Bei km 0,5+36 wird zu- dem eine 21 m lange und 18,8 m breite Lichtöffnung eingebaut. Diese ist ar- chitektonisch wertvoll, hat aber auch den Nutzen, dass dort die Entrau- chungszentrale gebaut werden kann. Die Gleise 26 bis 29 werden an dieser Stelle stillgelegt, damit die Ventilatoranlagen der Entrauchung installiert wer- den können.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> Entwurfsplanung Mobilitätsdrehscheibe Augsburg

## 4. Modellierung des Stadtbahntunnels Augsburg

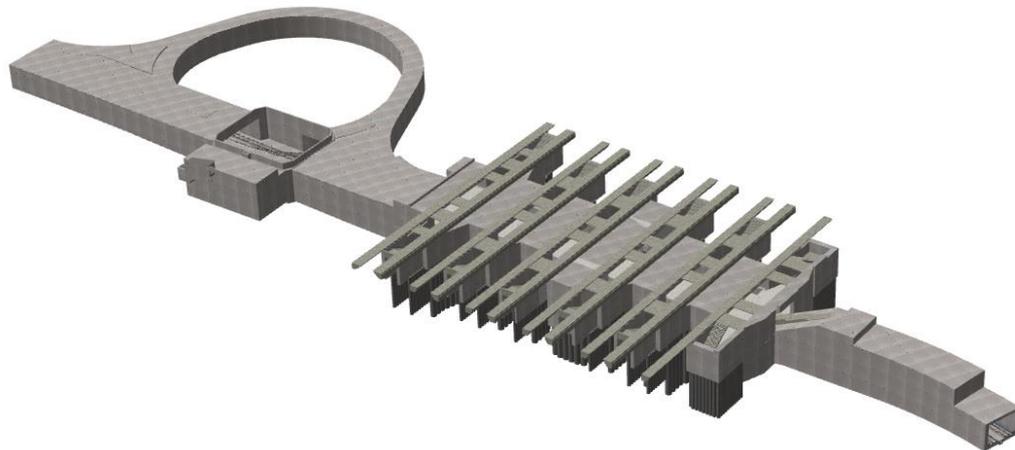


Abbildung 4-1 Komplettes texturiertes Modell

### 4.1 Herangehensweise

Die Vorbereitung zur Modellierung des Stadtbahntunnels Augsburg mit Station erfolgte in drei Schritten. Zunächst musste der Umgang mit Siemens NX gelernt werden. Als sehr hilfreich erwies sich hierbei ein Tutorial der Firma Obermeyer. Dort wurde mit ganz einfachen Bauteilen begonnen und bis zum Bau einer einfachen Brücke gesteigert. Für manche Schritte, die nicht erklärt wurden, gab es einige gute Youtube Videos oder ich konnte mich auf die Tipps von Christos Tsingelidis verlassen, der für Obermeyer mit Siemens NX und Autodesk AutoCAD arbeitet. Für weitere Fragen und zum Erstellen der Arbeit war das Buch „Konstruieren mit NX 8.5“ äußerst Hilfreich: <sup>26</sup>

Der zweite Schritt bestand darin sich einen Überblick über das Projekt zu verschaffen. Die Firma Obermeyer stellte dafür die 2D Pläne in gedruckter Form auf DIN A 3 als auch digital als DWG zur Verfügung. Trotz der Vielzahl der vorhandenen Schnitte und Grundrisse, dauerte es einige Zeit bis sich aus den zahllosen Linien und möglichen Perspektiven ein virtuelles Bild im Kopf zu-

---

<sup>26</sup> Krieg, U., Konstruieren mit NX 8.5, 2013

sammenfügte. Dies erwies sich als zeitaufwändigster Teil, da der Körper im Kopf aus vielen Schnitten vormodelliert werden musste und nach langem Überlegen plötzlich eine Linie auftauchte, die man bis dahin übersehen hatte, und dem Ganzen wieder ein anderes Bild gab. Sehr unterstützend dabei erwiesen sich hierbei simulierte Bilder des Architektenbüros.

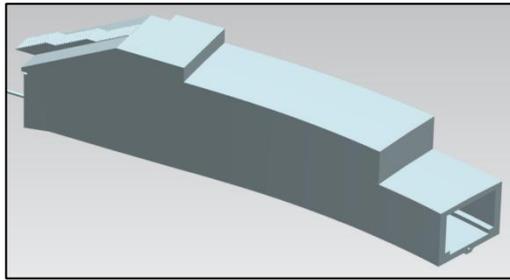


**Abbildung 4-2 Visualisierung des Architekten<sup>27</sup>**

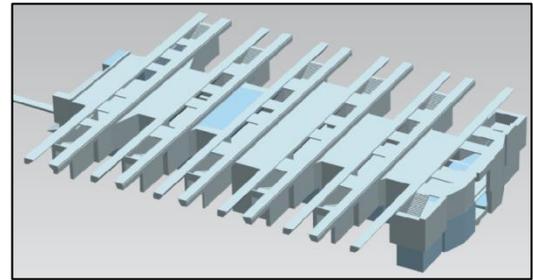
Als drittes und letztes wurde das Bauwerk in fünf miteinander verlinkte Teile geteilt. Diese waren Tunnel\_Ost, Station, Wendeanlage, Bohrpfähle und Gleisachse, wobei die Modellierung jedoch nicht in dieser Reihenfolge ablief. Der Vorteil des Aufteilens ist, dass das Modell nicht aus einer großen Datei besteht sondern aus mehreren kleinen. Zum Bearbeiten kann somit nur ein bestimmter Part ausgewählt werden oder es kann beim Öffnen der Baugruppe durch die Voreinstellung „Lightweight-Darstellung verwenden“ das Bauteil stets nur teilweise geladen werden. Die übrigen Teile können anschließend manuell aktiviert und deaktiviert werden. Siemens NX bietet mit diesen Funktionen somit ein ressourcenschonendes Arbeiten an.

---

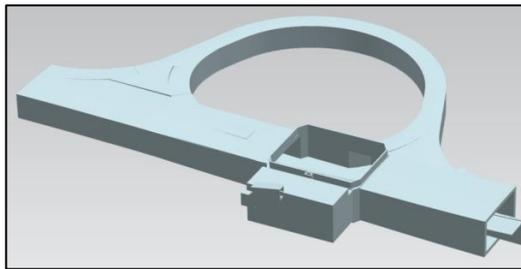
<sup>27</sup> <http://www.projekt-augsburg-city.de/der-neue-hauptbahnhof/die-vision/>, abgerufen am 1.09.14



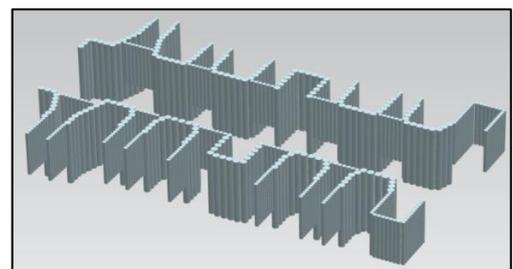
Tunnel\_Ost



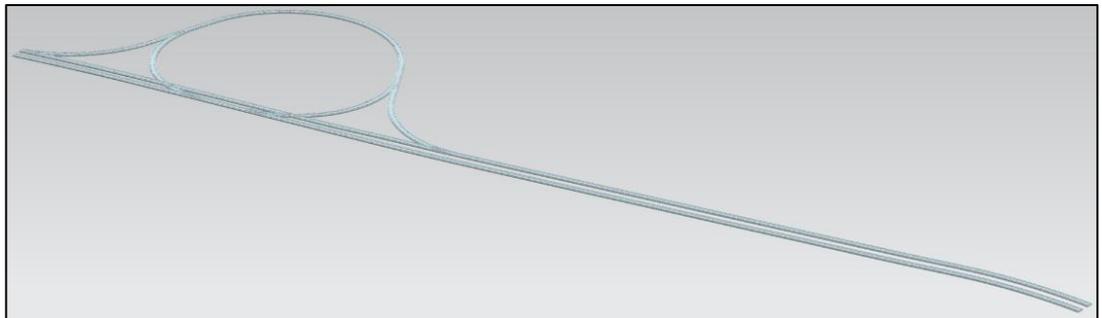
Station



Wendeanlage



Bohrpfähle



Gleisachse

Abbildung 4-3 Isolierte Darstellung der Baugruppenkomponenten

## 4.2 Erstellen der Bauteile

### 4.2.1 Modellierungsgrundlagen

**Baugruppen:** Um Bauteile oder Bauphasen unabhängig voneinander zu modellieren ist in NX die Baugruppenfunktion vorhanden. Die einzelnen Elemente davon heißen Komponenten und sind PRT Dateien. Der Funktionsumfang der Baugruppenfunktion ist immens. Im Zuge dieser Arbeit wurde nur ein

Bruchteil davon benutzt und es werden somit nur die grundlegenden Möglichkeiten erklärt.

Mit Hilfe des „Hinzufügen“-Buttons kann eine neue Komponente zur Baugruppe hinzugefügt werden. Im Baugruppennavigator können diese de- und aktiviert werden.



**Abbildung 4-4 Steuerungselemente der Baugruppenfunktion**

*Links: Hinzufügebutton für Komponenten in Baugruppen*

*Rechts: Baugruppennavigator mit Komponenten*

Um einen Bezug untereinander herzustellen können Körper, Ebenen, freie Kurven, Punkte, Flächen und Skizzen, bzw. Teile davon mit einer anderen Komponente verknüpft werden. Dazu muss zunächst der Wert „Referenz Set“ der Ursprungskomponente auf „Ganzes Modell“ gesetzt werden. Anschließend werden alle Elemente aus der Komponente angezeigt, egal welches Teil der Baugruppe aktiv ist. Um Irritationen zu vermeiden werden die nicht verlinkten Teile sehr blass dargestellt. Mit Hilfe des Wave-Linkers lässt sich nun zunächst die Art der Geometrie einstellen und im Anschluss durch Auswählen eine solche verknüpfen. Die gewählten Elemente erscheinen nun in der neuen Komponente als vollwertiges Teil. Dieses kann jedoch nur an seinem Ursprungsort geändert werden. Wird das dann gemacht werden alle darauf aufbauenden Schritte im Bauteil und in den verbundenen Teilen aktualisiert und angepasst.

**Boolesche Operation:** Um komplexe Volumenkörper zu bekommen ist diese Funktion unabdingbar. In Siemens NX und sie bei fast Teil benötigt. Die drei Möglichkeiten sind fast selbsterklärend. Beim „Subtrahieren“ wird von Körper

1, Körper 2 abgezogen. „Schneiden“ bildet aus beiden die Schnittmenge und bei „Vereinigen“ wird aus 2 Körpern ein gemeinsamer erstellt. Bei allen drei Optionen gibt es die Möglichkeit Körper 1, Körper 2 oder beide in ihrer Ursprungsform beizubehalten.

**Skizzen importieren:** Siemens NX basiert hauptsächlich auf der Extrusion von 2D Schnitten entlang einer Führung. Als Grundlage dienen AutoCAD Skizzen im DWG Format. Um diese in Siemens NX benutzen zu können, ist der Software eine umfassende Importfunktion beigelegt. Nach einer Säuberung der DWG von jeglichen unnötigen Linien, Beschriftungen, Schraffuren und Layern kann mit Hilfe des Addons „DXFDWG“ innerhalb weniger, selbsterklärender Klicks aus der DWG eine PRT Datei erstellt werden. Vorsicht ist hier bei gleich mehreren Stellen geboten. So darf der Ausgangspfad und Dateiname nicht zu lang sein. Mit Umlauten kommt das Programm ebenso nicht zurecht und gibt nur ein Textfile zurück, aus dem sich der Fehler auslesen lässt. Des Weiteren fand ich nach langem Fehlersuchen, heraus, dass DWG Dateien, die mit einer AutoCAD Schulungslizenz erstellt wurden, wie es bei mir der Fall war, nicht konvertierbar sind.

Nach der Wandlung von DWG zu PRT sind die Skizzen aber noch nicht bearbeitbar. Dazu muss eine Skizze in derselben Ebene wie die der neuen PRT erstellt werden. Durch den Befehl „Vorhandene Kurven hinzufügen“ können die Kurven der Skizze beigelegt werden.

**Skizzen bearbeiten:** Die Skizzenbearbeitung ist wie in vielen CAD Programmen ein wichtiges Werkzeug. Durch die Möglichkeit der einfachen Parametrisierung von Zeichnungen kann sich Siemens NX gegenüber anderen Programmen etwas abheben. Dazu kann man einer Kurve während der Bearbeitung einen Namen geben, welcher anschließend als Variable in der Bezeichnung verwendet werden kann. Linie A wird nun beispielsweise als „Breite\_Tunnel“ bezeichnet. Die Höhe lässt sich nun koppeln indem man die Kurven, die die Höhe angeben mit „0.75\*Breite\_Tunnel“ bezeichnet. Beim Än-

dern der Breite wird im Anschluss die Höhe automatisch mitskaliert. Widerlagerverschiebungen bei Brücken oder Dimensionsänderungen bei Tunnelbauwerken lassen sich so schnell und ohne ein Wiederholen aller getätigten Schritte realisieren.

In vorliegendem Modell wurden die Skizzen nicht parametrisiert. Zum Bearbeiten der Skizzen wurden in der Arbeit folgende Befehle am häufigsten aufgerufen.

„Schnell Erweitern“: Eine Kurve wird nach der Auswahl bis zur nächsten Geometrie verlängert. NX zeigt vor dem Bestätigen eine Vorschau in der Systemfarbe.

„Schnell Trimmen“: Analog zum Erweitern ermöglicht dieser Befehl das Verkürzen einer Kurve bis zur nächsten Geometrie.

„Punkt auf Kurve“: Erstellt einen Schnittpunkt von einer Kurve mit einer Zeichenebene. Dies wurde häufig als Einfügepunkt für Skizzen entlang der Trasse aus der Wiederverwendungsbibliothek benutzt.

„Ecke Erzeugen“: Zwei ausgewählte Kurven bilden durch Trimmen oder Erweitern einen Schnittpunkt. Dieser Punkt ist der gemeinsame Eckpunkt der Kurven und somit eine Ecke. Die Skizzen aus AutoCAD hatten oft nicht geschlossene Ecken, was dazu führte, dass alle Ecken bei neuen Skizzen mit diesem Befehl bearbeitet werden mussten.

**Wiederverwendungsbibliothek:** Um importierte Skizzen in der Steuerdatei an den rechten Platz zu bekommen muss man diese vorher in die Wiederverwendungsbibliothek ablegen. Nach dem Auswählen des Typs „2D-Schnitt“ können die Linien markiert und ein Anker gewählt werden, der als Einfügepunkt dient. Durch diesen wird ein lästiges Verschieben verhindert und das korrekte Platzieren der Skizze enorm erleichtert. Außerdem ist es zu empfehlen einen Screenshot als Thumbnail zu erstellen, damit die Organisation in der Bibliothek leichter fällt.

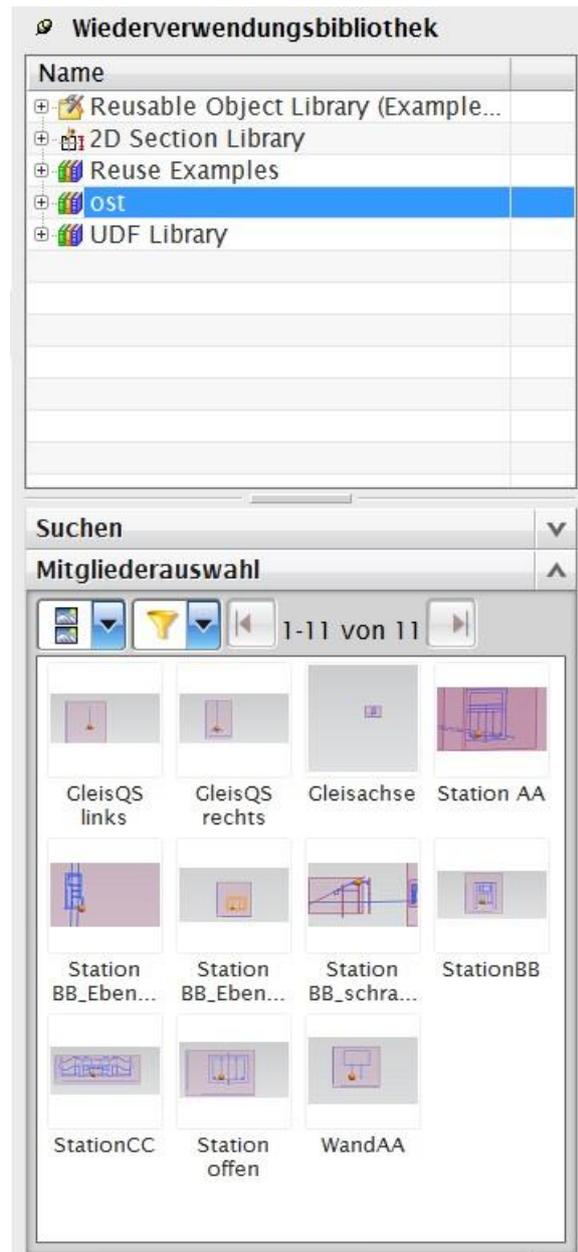


Abbildung 4-5 Wiederverwendungsbibliothek

#### 4.2.2 Steuerdatei

Die Steuerdatei ist das Rückenmark einer Baugruppe in Siemens NX. Wie der Name schon sagt steuert sie das Zusammenspiel aller Komponenten der Baugruppe. Von der Erstellung an sich unterscheidet sie sich nicht von den anderen Bauteilen. Sie ist eine normale PRT Datei, die nur auf Grund ihres Inhalts einen besonderen Stellenwert genießt. Wird eine neue Skizze oder Bezugsebene benötigt, wird diese in der Steuerdatei erstellt. Im Anschluss kann diese dann dank des Wave-Linkers mit der gewünschten Komponente verknüpft

werden. Wie bereits beschrieben, fundiert die Modellierung in Siemens NX hauptsächlich auf Extrudieren von Skizzen und Trimmen von Objekten an einer Bezugsebene. Die Tatsache, dass diese in der Steuerdatei verschoben oder anderweitig verändert werden können, macht sie zu so einem mächtvollen Werkzeug. Beispielsweise lässt sich eine Tunnelröhre durch Verlängern der Führungskurve für die Extrusion ganz einfach erweitern oder verkürzen. Alle untergeordneten Operationen wie Subtraktion oder Trimmen aktualisieren sich automatisch in der Komponente. Sind die Bauteile nicht deutlich voneinander getrennt und noch dazu mit anderen Komponenten verknüpft, erspart die Zentralisierung dieser Aufgaben, dem Anwender das Suchen der zugehörigen Zeichnungen oder Ebenen.

Im Falle einer Straßenbaumodellierung, wie im vorliegenden Modell, ist die Trasse das Herzstück der Steuerdatei. Alle benötigten Skizzen und Bezugsebenen können hier entlang der Spline, dank der Kilometerangaben, an ihren rechten Platz eingefügt werden. Bei einem großen Projekt kann dies sehr schnell unübersichtlich werden. Abhilfe schafft hier jedoch das Ausblenden der ungewollten Teile.

Zur Modellierung des Stadtbahntunnels Augsburg wurden 97 Skizzen und 48 Bezugsebenen in der Steuerdatei erstellt. Ein weiteres wichtiges Mittel war die Projektion von Kurven auf eine Ebene. Damit wurde beispielsweise die Trasse auf eine waagrechte Bezugsebene gespiegelt. Mit dieser konnte eine Führung für waagrechte Bauteile geschaffen werden. Eine Projektion des Tunnelkörpers der Wendeanlage ermöglichte das Erstellen von dreiecksähnlichen Betriebsräumen zwischen den Tunnelabzweigen.

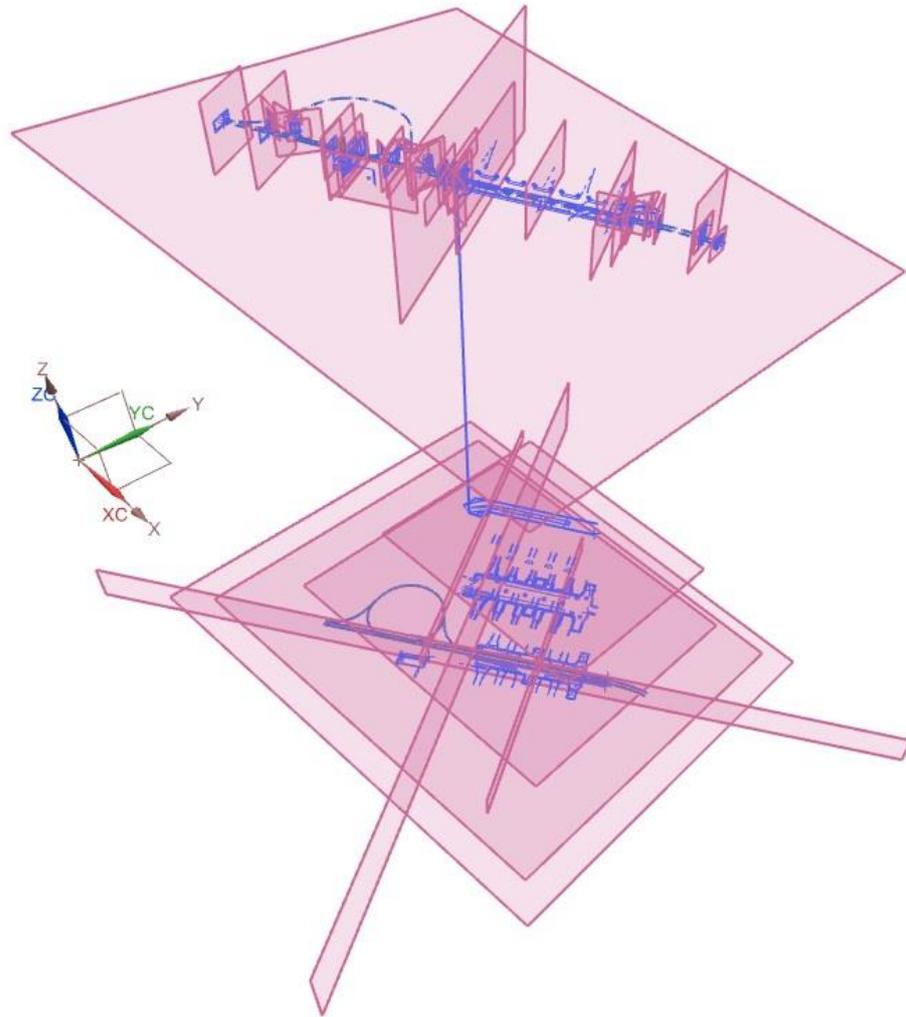
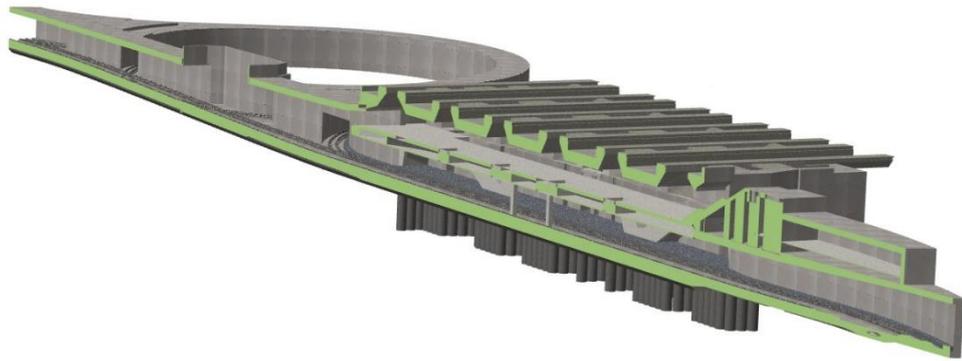


Abbildung 4-6 Steuerdatei mit allen Skizzen und Bezugsebenen

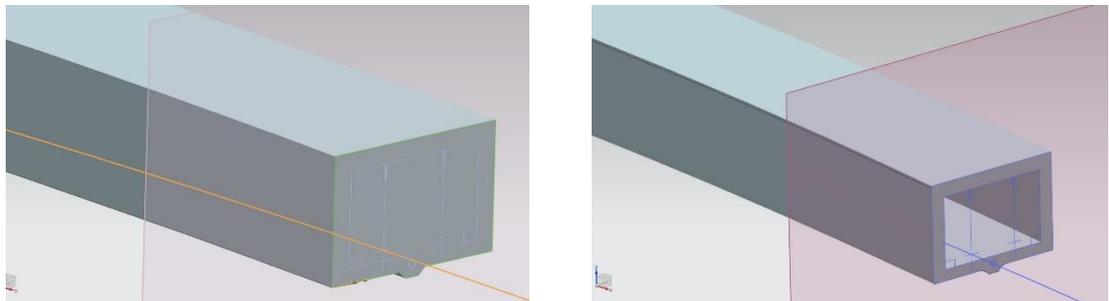
### 4.2.3 Tunnelanlagen

Zum Erstellen der Tunnelteile war die Gradiente der wichtigste Part. Da eine Trassierung meistens ein gewisses Gefälle hat und noch dazu selten geradeaus führt, ist eine einfache lotrechte Extrusion ohne Führung nicht möglich. Die hierfür notwendige Studiospline war fast komplett vorgegeben. Lediglich die vier Verbindungen der Wendeschleife mit der Haupttrasse mussten über extra Punkte händisch erstellt werden. Die Schnittpunkte dazu konnten aus den Längsschnitten der Wendeschleife mit Hilfe der Kilometrierung ausgelesen werden.



**Abbildung 4-7 Komplettes Modell im Längsschnitt**

Der Tunnelkörper im Osten und die Wendeschleife waren sehr ähnlich zu konstruieren. Da die Breite und Höhe in beiden Fällen konstant war, konnten die importierten Querschnitte aus AutoCAD entlang der Trasse extrudiert werden. Der Osttunnel hat bis auf das letzte kurze Stück ein stetiges Gefälle. Die Büroräume oberhalb davon, musste man deshalb aus dem Grundriss extrudieren oder die projizierte Trasse als Führung benutzen um ein waagrechtes Gebilde zu bekommen.

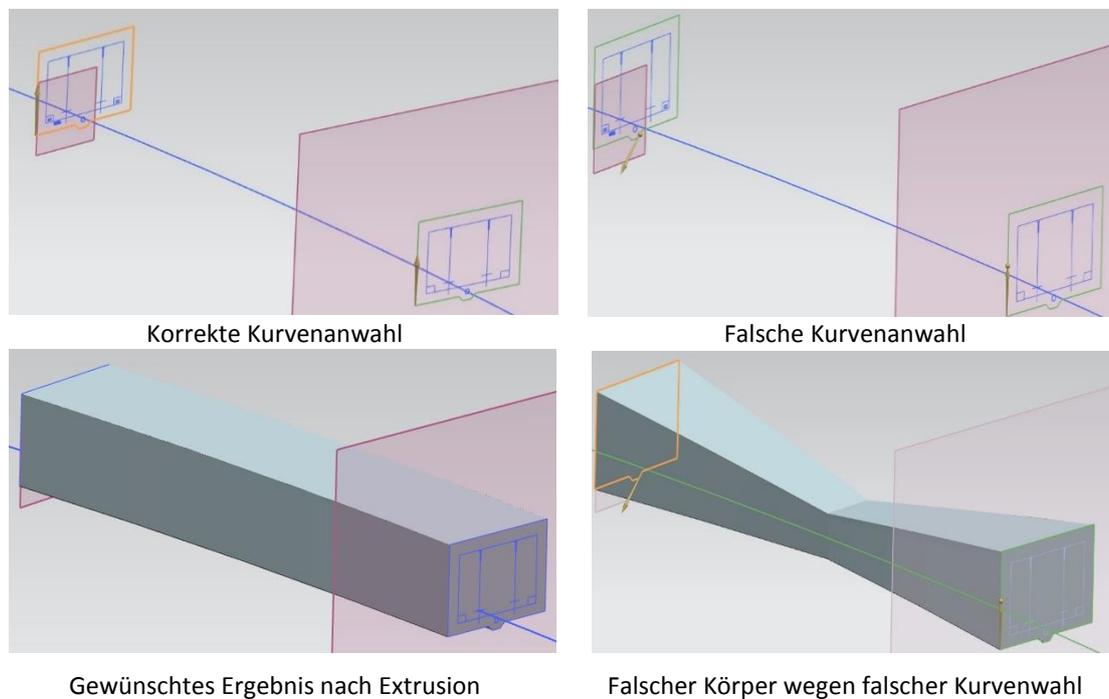


**Abbildung 4-8 Tunnelkörperextrusion**

*(Links; Normale Volumenkörperextrusion; Rechts fertiger Tunnelquerschnitt nach Subtraktion des inneren vom äußeren Teil)*

Deutlich aufwändiger war der, in Höhe und Breite variierende, Tunnel westlich im Anschluss an die Station. Querschnitte dafür waren kaum vorhanden und es mussten ähnliche angepasst werden. Die Informationen dazu wurden aus den Längsschnitten und Grundrissen gewonnen, die mit Hilfe der Bemessungsfunktion in AutoCAD ausgemessen wurden. Bei komplizierteren Messungen, beispielsweise von Bogenabschnitten, wurden Kurven erstellt deren Länge anschließend in den Eigenschaften ausgelesen werden konnte. Die

modifizierten Skizzen konnten dann entlang der Trasse eingefügt werden. Mit der Funktion „Neuen Satz Hinzufügen“ innerhalb des Extrusionsfensters, kann NX variable Volumenkörper erstellen, um eine Aufweitung oder Verengung, zu realisieren. Dabei muss beachtet werden, dass beim Markieren der Skizze der gleiche Startpunkt gewählt werden muss (wird durch gelben Pfeil markiert), da sonst Siemens NX nicht weiß welche beiden Kurven es verknüpfen muss. Wird dies nicht beachtet ergibt sich ein Volumenkörper der in keinsten Weise dem gewollten Produkt entspricht. Um weitere graphische Fehler zu vermeiden ist es förderlich zwei Schnitte zu verwenden, die komplett gleich in ihrem Aufbau sind und sich nur durch die Linienlängen unterscheiden.



**Abbildung 4-9 Extrusion eines veränderlichen Volumenkörpers**

#### 4.2.4 Station

Das Stationsbauwerk hatte dank der waagrechten Lage einige einfache Teile, verlangte andererseits mit den vielen Ebenen und Treppen auch anspruchsvollere Modellierarbeiten.

Die Wände und der Boden im zweiten Untergeschoss konnten aus dem Grundriss mit Hilfe der Höhenangaben aus den Schnitten extrudiert werden.

Eine Führungskurve war hier nicht notwendig. Für die Wände im ersten UG, die sich aus den brückenartigen Überführungen der Gleise ergeben, musste der Grundriss angepasst werden. Die Bohrpfähle hatten im Grundriss einen anderen Durchmesser als im Querschnitt, was wiederum zu einer anderen Wandstärke führte.

Zwischen Stations- und Verteilerebene befinden sich zwei 0,50 m hohe und 3,30 m breite Entrauchungskanäle. Die ersten 22,80 m erfolgt die Entrauchung ohne Ventilatoren über die Luftzirkulation. Deshalb ist dort eine Trennwand eingezogen, die diesen Bereich vom dahinterliegenden, maschinell entlüfteten trennt. Mittig, in der Entrauchungsebene wurden mit Hilfe zweier Quader, Fassungen für die Aufzüge von Ebene -1 zur Oberfläche erstellt.

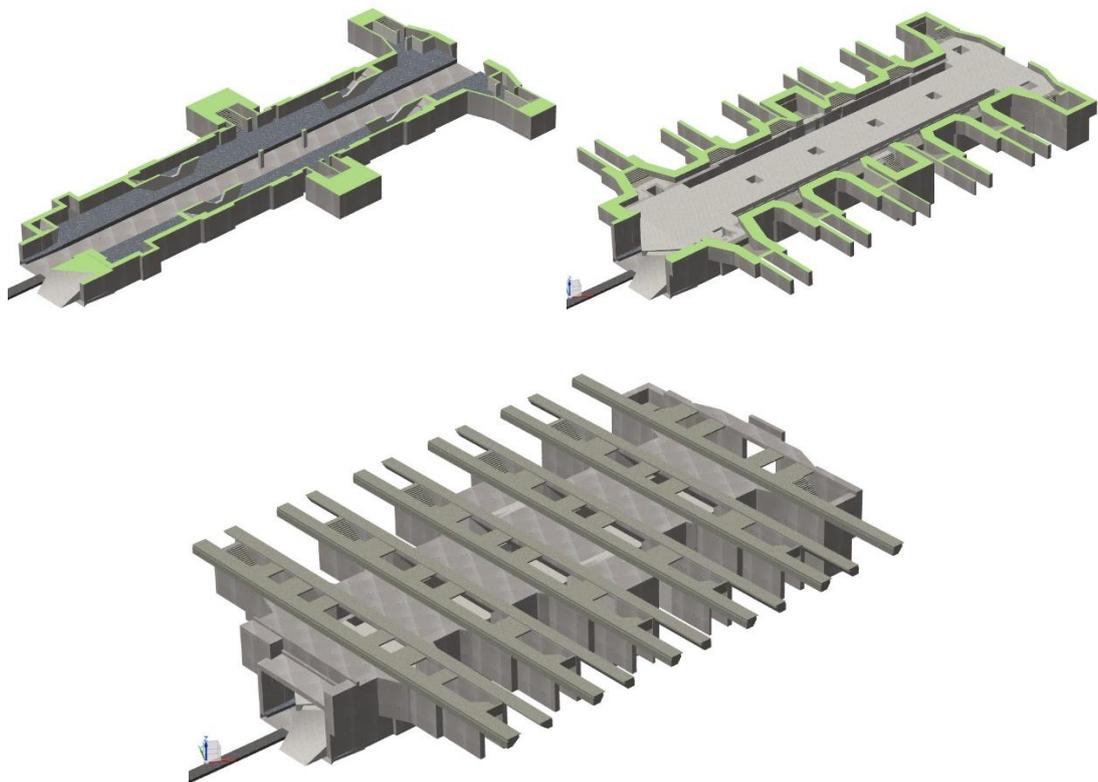


Abbildung 4-10 Ebene -2, -1 und 0 der Station im Arbeitsschnitt

## 4.2.5 Tragwerke

Unter Tragwerken versteht man weithin alle tragenden Betonpfeiler. Zu unterscheiden war zwischen den tiefgründenden mit 1,50 m Durchmesser und den 0,90 m starken und 5 m kürzeren Bohrpfählen. Als Grundlage für die Extrusion diente in allen Fällen eine aus AutoCAD importierte Skizze. Der Befehl „Extrudierter Körper“ machte es zudem möglich alle gleichen Schnitte auszuwählen und man ersparte sich die Mühe den Schritt bei allen 397 Bohrpfählen zu wiederholen. Die beiden Betonstützen zwischen den Gleisen in Stationsmitte, wurden analog erstellt.

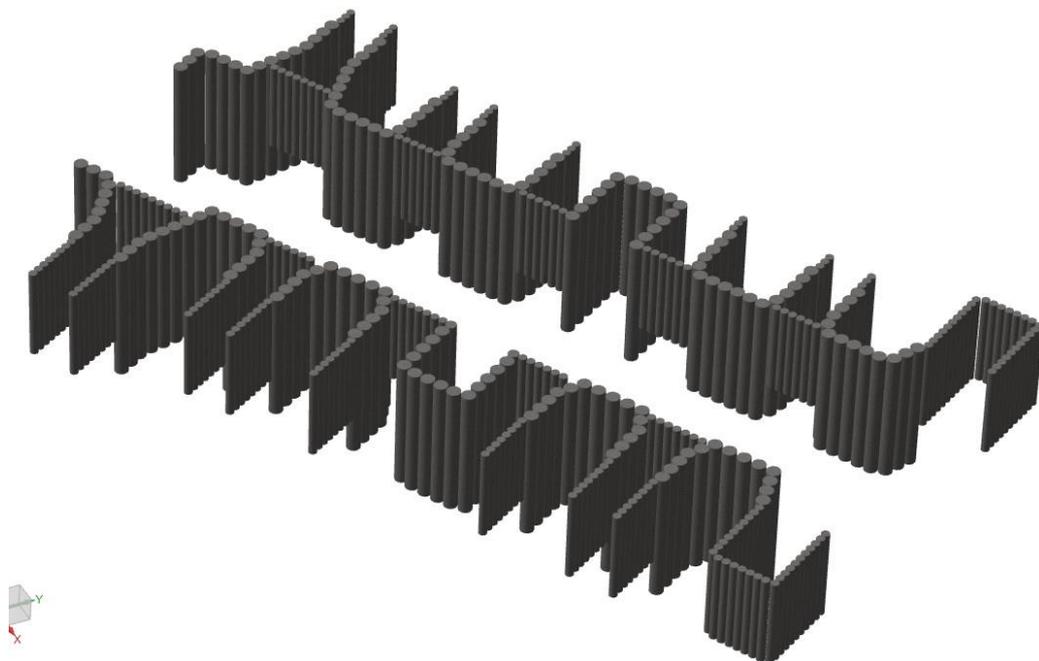


Abbildung 4-11 Alle Bohrpfähle isoliert dargestellt

## 4.3 Visualisierung

### 4.3.1 Texturierung

Die Oberfläche eines Modells ist ein fundamental wichtiger Baustein um ein Modell nicht nur realitätsgetreu sondern auch visuell anspruchsvoll erscheinen zu lassen. Das integrierte Texturierungsmenü in Siemens NX bietet dafür die richtigen Voraussetzungen. Neben den vielen hundert Oberflächen, die

sich eher für die Maschinenbaumodellierung anbieten, hat Siemens auch einen Ordner „Construction“ eingebunden, der von Beton über Asphalt hin zu Pflaster und Holz alle grundlegenden Texturen anbietet.

Bei der Wahl der Materialien konnte man sich jedoch selten auf die Beschriftungen verlassen. Vielmehr musste durch Probieren erforscht werden, welche Oberfläche der wirklichen am nächsten kommt. So erscheint die Textur „concrete“ als einheitlich graue Fläche. Nur bei sehr naher Betrachtung wird eine feine Steinstruktur ersichtlich. Viel passender bot sich stattdessen „concrete highway“ an. Durch die plattenförmige Anordnung und die allgemein ungleichmäßigere Farbgebung ergibt sich für das Auge eine weitaus natürlichere Erscheinung. Für den Glasbetonboden in der Verteilerebene wurde strukturiertes Glas verwendet, das jedoch nur bei gerenderten Bildern zur Erscheinung kommt.



**Abbildung 4-12 Gerendertes Bild der Verteilerebene**

Ein Nachteil der Visualisierung in Siemens NX ist, dass ein Körper nur als Ganzes einer Textur zugeordnet werden kann und nicht die einzelnen Oberflächen. So muss in einem Tunnelkörper die Bodenfläche einzeln konstruiert werden, um ihr eine andere Struktur zu geben, obwohl die Modellierung hierfür eigentlich in einem Schritt geschehen könnte.

### 4.3.2 Beleuchtung

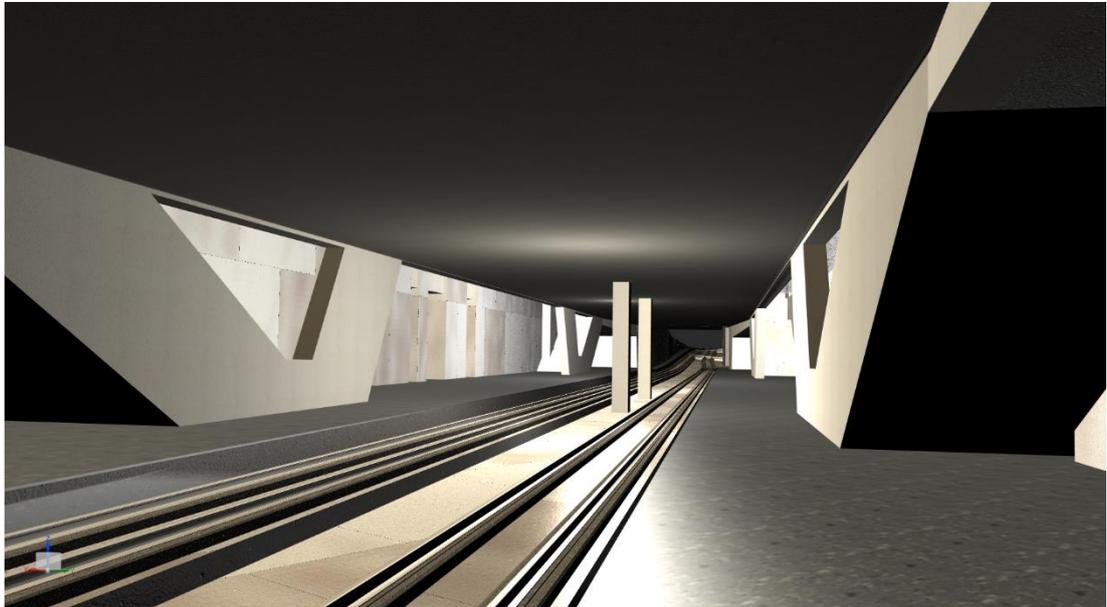
Ein Modell erfüllt für Präsentationszwecke erst dann seinen vollen Sinn, wenn es die endgültigen Bilder dem Betrachter einfach machen, sich das fertige Projekt vorzustellen. Um dies zu ermöglichen ist, wie in der Fotografie, die richtige Beleuchtung entscheidend. Siemens NX bietet hierfür komplexe Einstellungsmöglichkeiten an. Von natürlichem Tageslicht über Spots, punktförmige Lichtquellen und einer ganzheitlich szenischen Beleuchtungen sind die Optionen weitreichend. Mit Hilfe einer manuellen Wahl der Lichtfarbe, -intensität und des Schattenwurfs, können willkürlich im Modell platzierte Lichtquellen ihren Beitrag zur fotorealistischen Darstellung leisten.

Für die Kameraeinstellung in den Tunnels wurde eine selbst erstellte Beleuchtung mit einem Spot und zwei punktförmigen Lichtquellen gewählt.



**Abbildung 4-13 Ansicht Tunnel Ost gerendert mit Beleuchtung**

Für das Stationsbauwerk musste eine Mischung aus natürlichem und künstlichem Licht gefunden werden. Eine ganzheitlich szenische Beleuchtung mit einzelnen Spots bot sich dazu an.



**Abbildung 4-14 Ansicht Station gerendert mit Beleuchtung**

## 5. Fazit

Durch ausführliche Betrachtung des Bauprojektes in Augsburg konnte dem Ganzen ein durchweg positives Bild gewonnen werden. Die ökonomische Wahl der offenen und der Deckelbauweise nehmen dem Tunnelbauvorhaben den Ruf eines teuren Steuergrabs. Des Weiteren verbessert die Deckelbauweise an den hochfrequentierten Stellen das Image des Bauvorhabens, da Behinderungen soweit wie möglich minimiert oder, wenn möglich, vermieden werden.

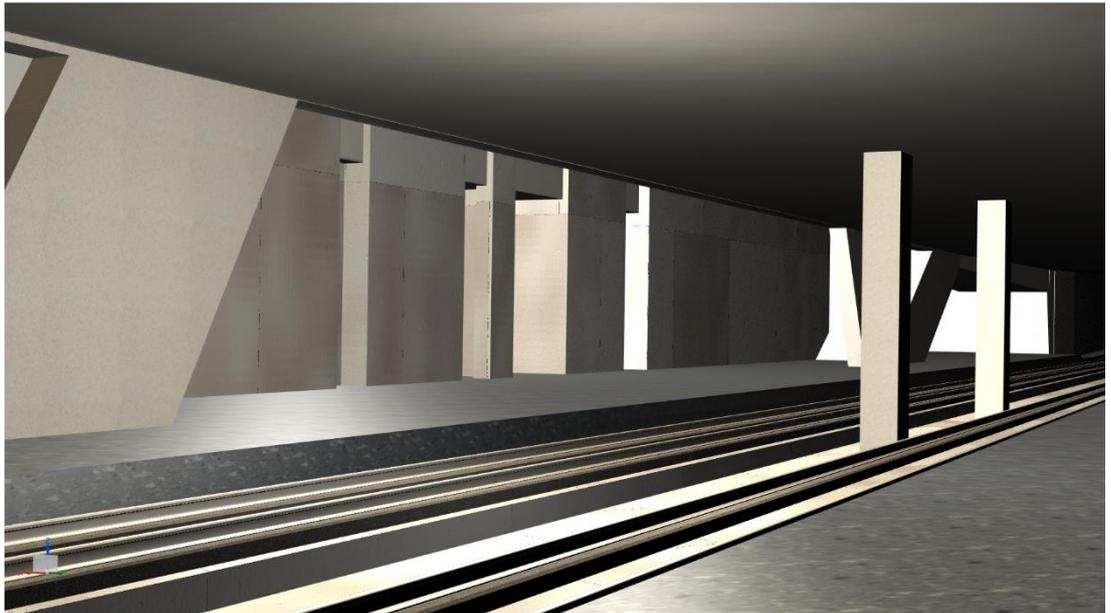
Aus der Sicht des öffentlichen Nahverkehrs war eine Modernisierung unausweichlich. Das Problem dann gleich im Ganzen anzugehen und nicht einzelne Haltestellen auszubauen, ist aus meiner Sicht der richtige Weg. Viele kleine Baustellen und Straßensperrungen sind viel hinderlicher im täglichen Straßenverkehr als ein großes Projekt, bei dem die Verkehrsführung im komplett umgelegt werden kann.

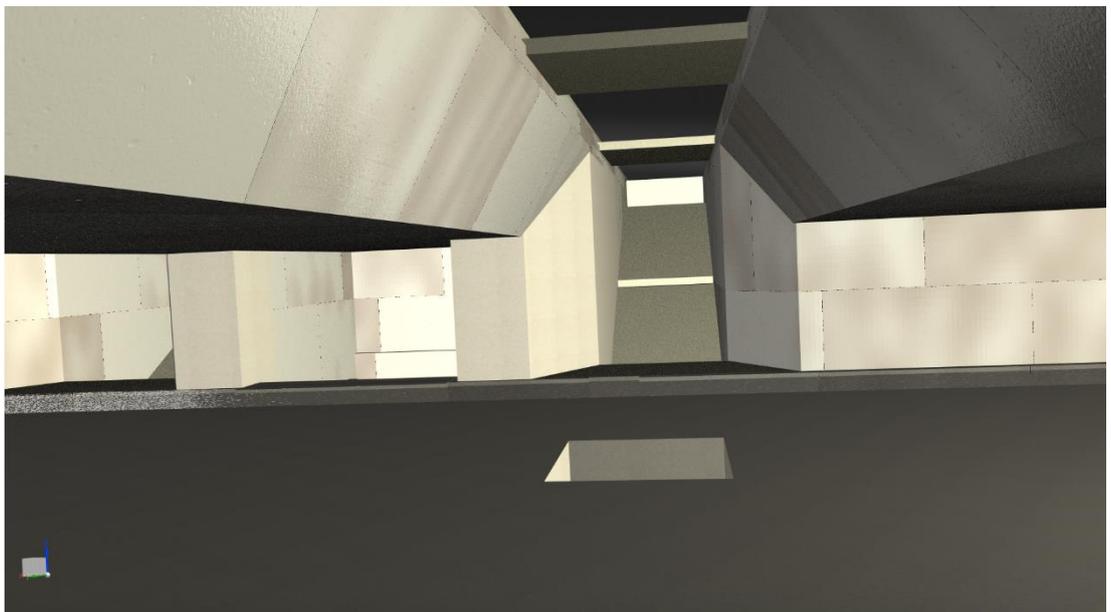
Zum Erstellen des Modells für das Bauprojekt wurde Siemens NX verwendet. Es bietet durch seinen großen Funktionsumfang, trotz eigentlicher Ausrichtung für den Maschinenbau, ausreichend Funktionen, um ein Ingenieurbauwerk realitätsgetreu mit mäßigem Aufwand zu erstellen. Im Vergleich zu herkömmlichen CAD Programmen ist es hierbei möglich jede beliebige Form zu erstellen.

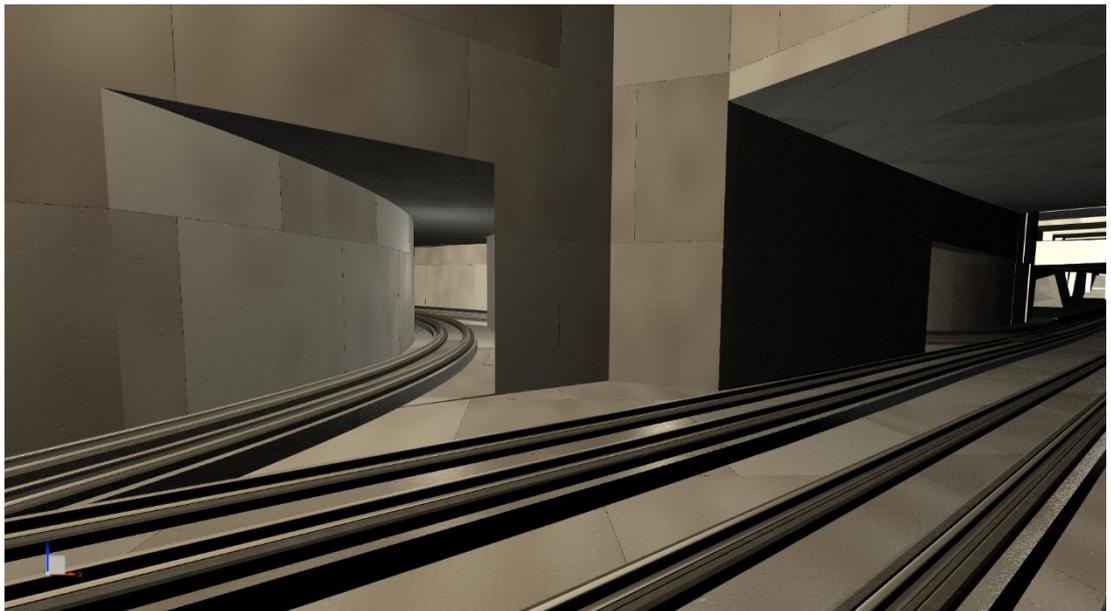
Nachteilig ist zu erwähnen, dass es dadurch online kaum Hilfe für Bauingenieur bezogene Fragen gibt. Die meisten Foren und Videos behandeln explizit das Erstellen von Maschinenbauteilen und deren Probleme. Viele vorgangsschritte mussten deshalb konserviert, transferiert und an geeigneter Stelle angewandt werden.

## Anhang A

### Rendering des fertigen Modells







## Anhang B

### Rechenumgebung:

- **Betriebssystem:** Microsoft Windows 8.1 Pro
- **Prozessor:** Intel Core i5 4300 1.90 GHz
- **Arbeitsspeicher:** 8 GB RAM
- **Grafikeinheit:** Intel HD 4400

---

## **Anhang C**

### **Compact Disc**

Auf der beigefügten CD befindet sich folgender Inhalt:

- Die schriftliche Arbeit als PDF- und Word-Dokument
- Das erstellte Projekt als NX 9 Datei
- Das erstellte Projekt als Step-Datei

## 6. Literaturverzeichnis

*Beckmann, Dr.-Ing. U.* [1991]: *Unterirdisches Bauen*, 1991

*Krieg, Uwe* [2013]: *Konstruieren mit NX 8.5*, München: Hanser, Carl, 2013

*Monika Harrer-Jalovec*: *Projekt Augsburg City*, <http://www.projekt-augsburg-city.de/> (2014-09-01)

*Stadtwerke Augsburg Holding GmbH*: *Stadtwerke Augsburg*, <https://www.sw-augsburg.de> (31.08.14)

*Stein, Dieter*: *Tunnelbauten: Offene und geschlossene Bauweisen*,  
[http://universal\\_lexikon.deacademic.com/312119/Tunnelbauten%3A\\_Offene\\_und\\_geschlossene\\_Bauweisen](http://universal_lexikon.deacademic.com/312119/Tunnelbauten%3A_Offene_und_geschlossene_Bauweisen)

*Striegler, Werner* [1993]: *Tunnelbau*, 1. Aufl., Berlin: Verl. für Bauwesen, 1993

## **Eidesstaatliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelor-These selbstständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ich versichere außerdem, dass die vorliegende Arbeit noch nicht einem anderen Prüfungsverfahren zugrunde gelegen hat.

München, 30. September 2014

---

Vorname Nachname

Franz Miedel