Untergrundbahnbau Frankfurt am Main

vom Fachbereich Bauingenieurwesen der Fachhochschule Potsdam

zur Erlangung des Leistungsnachweises im Ingenieurprojekt:

„Bilderarchiv der Philipp Holzmann AG“

Vitali Elin

Gutachter: Prof. Dr. phil. A. Kahlow

Potsdam, Januar 2017

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines 3

2. Geschichte der Frankfurter U-Bahn 6

3. Bauweisen 12

3.1 Tunnelbauten 12

4. Streckennetz 15

4.1. Strecke A 16

4.2. Strecke C 19

5. Kosten 20

6. Quellenverzeichnis 21

1. Allgemeines

Nach der S-Bahn Rhein-Main und vor der Straßenbahn Frankfurt am Main ist die U-Bahn einer der wichtigsten Verkehrsträger des öffentlichen Personennahverkehrs in der Stadtregion Frankfurt.
Der erste Zug fuhr am 4. Oktober 1968 am Theaterplatz in Richtung Heddernheim los – damals war die Londoner U-Bahn, die als die älteste weltweit gilt, schon gut 100 Jahre in Betrieb.
Es benutzen täglich mehr als 300.000 Fahrgäste die Unterirdische Bahn. Die grundsätzliche Entscheidung für den Bau der bis heute einzigen U-Bahn in Hessen traf das Stadtparlament vor 50 Jahren.

Abbildung 1: Sieben Jahre nach dem Bau-Beschluss, wurde 1968 die Frankfurter U-Bahn eröffnet.

Das Verkehrsnetz wurde seit 1968 in mehreren Stufen in Betrieb genommen. Das Transportnetzwerk besteht aus drei Stammstrecken mit innerstädtischen U-Bahn-Tunneln und oberirdischen Strecken in den Außenbereichen.
Die oberirdischen Abschnitte des Verkehrsnetzes haben unterschiedliche Ausbaustandards die sich vom *unabhängigen* bis zum *straßenbündigen* Bahnkörper unterscheiden lassen.

Die *unabhängigen* Bahnkörper sind Strecken, die aufgrund ihrer Lage und Bauart völlig getrennt vom übrigen Verkehr sind.

Straßenbündige Bahnkörper nutzen den Verkehrsraum anderer Verkehrsteilnehmer (Straße, Fußgängerzone). Sie sind ein typisches Merkmal von Straßenbahnen. Für die Bahnen gilt hier die Höchstgeschwindigkeit der anderen Verkehrsteilnehmer, die Fahrzeuge dürfen eine Länge von 75 m nicht überschreiten.

Insgesamt hat die Frankfurter U-Bahn neun Verkehrslinien, davon werden acht Linien durch die Innenstadt geführt, die das Rhein-Main-Gebiet von Ost nach West und von Nord nach Süd erschließen. Heute liegen 27 von insgesamt 86 Haltestellen unter der Erde. Rund 27 Tunnenlbahnhöfe und 59 oberirdischen Stationen.
Über den 65 km langen Streckennetz der Frankfurter U-Bahn, wurden im Jahr 2014 ca. 123 Mio. Passagiere befördert. Im Dezember 2010 kamen mit der U8 und der U9 zwei neue Linien hinzu, die das Neubaugebiet am Riedeberg und den Universitätscampus erschließen. Die U-Bahn-Linie U9 ist die erste Linie, die nicht die Innenstadt berührt.

Die Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main mbH (VGF) ist seit 1996 Eigentümer von Fahrzeugen, Strecken und einem großen Teil der Bahnhöfe. Bis zum Januar 2031 sind die Schienenverkehrsleistungen an die Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main mbH (VGF) vergeben. Seit 1995 gehört die U-Bahn, wie alle anderen Linien des öffentlichen Personennahverkehrs zum Tarifgebiet des Rhein-Main-Verkehrsverbund (RMV). Von 1974 bis zur Gründung des Rhein-Main-Verkehrsverbundes (RMV), waren die Stadtwerke Gesellschaftler im Vorgängerverbund, dem Frankfurter Verkehrsverbund (FVV).

Ende der 1950-er Jahre gab es lange und hartnäckige Staus, die regelmäßig die Straßen der größten Stadt Hessen, Frankfurt am Main verstopften. Die Straßenbahnen standen oft mittendrin und kamen ebenfalls nicht voran, deswegen musste man was dagegen unternehmen.
Zwischen 1950 und 1961 stieg die Einwohnerzahl von 532 000 auf 683 000, damit verbunden war der Umstand, dass innerhalb von knapp zehn Jahren, auch die Zahl der Autos größer wurde.
Da die Zahl der Einwohner Frankfurts immer weiter zunahm, musste ein vernünftiges Konzept zur Trennung von Autos und Straßenbahnen im Straßenverkehr gefunden werden, damit in Zukunft hartnäckige Staus reduziert werden können.

Die Stadt hat sich darüber Gedanken gemacht und ließ Ende 1958 *zwei* Varianten prüfen. Die *erste* Variante war, eine Hochbahn mit Tunnels in der Innenstadt und die *zweite* eine Unterpflasterstraßenbahn, die abschnittsweise unterirdisch fahren sollte.

"Beide Gutachten stießen jedoch auf derart unterschiedliche Resonanz, dass letztlich keine der beiden Optionen auf den Weg gebracht werden konnte", schreibt die Stadt (Zitat aus der „Frankfurter Presse" von Ira Schaible, dpa).

Die 1960 gegründete Arbeitsgemeinschaft Stadtbahnplanung wurde damit beauftragt, für die Unterpflasterstraßenbahn, für die Hochbahn, sowie für eine U-Bahn die unterirdische Streckenführung zu klären, sowie die Kosten und Nutzen abzuwägen. Im Juli 1961 trat das Stadtparlament zu einer Sondersitzung zusammen, um ausführlich über die drei Varianten zu diskutieren.

Abbildung 2: 1961 wurde die Entscheidung zum Bauprojekt, dem immer weiter anschwellenden Autoverkehr in der Innenstadt getroffen.

Schließlich bekam die Unterpflasterstraßenbahn den Zuschlag.

Mit rund 569 Mio. Mark (etwa 280 Mio. Euro) war dies die günstigste Option, mit den bereits vorhandenen Straßenbahnen kompatibel und schrittweise gebaut werden konnte.

"So kam es, dass letztlich doch keine reine Unterpflasterstraßenbahn gebaut wurde, sondern eine Stadtbahn mit Hochbahnsteigen und breiteren Fahrzeugen", schreibt die Stadt. (Zitat aus der „Frankfurter Presse" von Ira Schaible, dpa).

Bei der Eröffnung der ersten Teilstrecke 1968, zeigte sich das große Interesse an dem Projekt, die mit einem zweitägigen Volksfest vorbereitet wurde. Damals strömten 10.000 Bürger herbei. Der Andrang auf die ersten Züge war so groß, dass die Stationen zeitweise geschlossen werden mussten.

Abbildung 3: 1968 wurde eine erste Teilstrecke mit einem zweitägigen Fest eingeweiht.

2. Geschichte der Frankfurter U-Bahn

Am 4. Juli 1961 beschließt die Stadt den Bau der Frankfurter Stadtbahn mit einem unterirdischen Tunnelsystem für die Innenstadt, und kreuzungsfreien, oberirdischen Strecken in den Außenbezirken. Starkes Verkehrsaufkommen in der Rhein-Main- Metropole mit Verkehrschaos in den Stoßzeiten, zunehmender Luftbelastung und steigenden Unfallzahlen machen diesen Schritt dringend notwendig. Die U-Bahn wird zum gewaltigen Projekt, das „die Kraft von Generationen in Anspruch nehmen wird“, so die damalige Meinung der Politik.

Abbildung 4: Der Bau der Frankfurter U-Bahn beginnt.

Nachdem 1961 der Bau eines Stadtbahnnetzes beschlossen worden war, wurde der erste Rammschlag 1963 getätigt. Es musste für den Bau der Station „Hauptwache“ das historische Gebäude der Hauptwache abgebaut werden, welches 1968 wieder konstruiert worden war.

Die erste Stadtbahnstrecke mit vier Kilometer Tunnelanteil kostete 285. Mio. DM, davon kamen 185,5 Mio. DM aus Zuschüssen von Bund und Land.
Die eröffneten neuen U-Bahn Teilstrecken werden mit verschiedenen Abschnitten des bestehenden Straßenbahnnetzes verknüpft. Auf diese Art und Weise wächst die Frankfurter U-Bahn nicht nur schnell: Die Lösung ist außerdem sowohl finanziell als auch organisatorisch sinnvoll, da sie unter rollendem Betrieb erfolgt.
Nach sieben Jahren Planungs- und Bauzeit eröffnet das *erste* Teilstück im Oktober 1968.

Abbildung 5: Abbildung 5: Der erste Rammschlag 1965. Die Untertunnelung und der Bau der Frankfurter U-Bahn begann.

Die *erste* Stadtbahnstrecke wurde also am 4. Oktober 1968 zwischen den Stationen „Hauptwache“ und der „Nordweststadt“ eröffnet, welches ein großes Ereignis für Frankfurt war. Nach Berlin und Hamburg, ist Frankfurt am Main die dritte Stadt Deutschlands, die eine U-Bahn besitzt. Das „moderne“ Verkehrsmittel *U-Bahn* wurde zum Symbol der wachsenden Wirtschaftsmetropole Frankfurts.

Als man die ersten fünf U-Bahnen auf die Strecke geschickt hatte, ließ sich die Frankfurter Bevölkerung mitreißen. Am Eröffnungstag sollen 95.000 Bürger mit den neuen Bahnen gefahren sein, was tatsächlich ein freudiger Ansturm der Frankfurter war, allerdings nicht erwartet.
Es mussten sogar zeitweise, Sicherheitskräfte die Zugänge zu den Stationen sperren.
1973 erfolgt die Eröffnung des Streckenabschnitts von der Hauptwache bis zum damaligen Theaterplatz, dem heutigen Willy-Brandt-Platz. Bis 1978 wurden die zum Großteil oberirdischen Strecken fertiggestellt.

Abbildung 6: Eine der ersten zum Einsatz gebrachten U-Bahn. Es existieren auch heute solche Urtypen von Unterpflasterbahnen.

Parallel wird schon an der B-Strecke gebaut. Sie soll zunächst vom „Scheffeleck“ über die „Konstablerwache“ zum „Theaterplatz“ (Willy-Brandt-Platz) und von 1978 an zum „Hauptbahnhof“ führen. Somit kreuzen sich am früheren „Theaterplatz“ die Strecken A und B, denn die Fortführung der A-Strecke sieht eine Untertunnelung des Mains bis zum Südbahnhof vor.

In einer riesigen, offenen Baugrube von 25 Metern Tiefe entsteht in 29 Monaten der viergeschossige Rohbau. Die Grube reicht nah an das Frankfurter Schauspiel- und Opernhaus heran und erfordert die Sicherung der Baustelle mit 700 Betonpfählen. Trotz des Ausmaßes der Baustelle können alle Aufführungen in diesen zweieinhalb Jahren erschütterungsfrei nach Spielplan stattfinden.

Mit einer gemeinsamen Station der U-Bahn und S-Bahn wird die Station „Hauptwache“ von 1978 an zum neuen Knotenpunkt der Region. Die S-Bahnzüge der Linien S1 bis S6 enden jetzt auf dem Mittelbahnsteig der C-Ebene. Für viele Fahrgäste aus dem Umland heißt das: Sie kommen ohne Umsteigen direkt in die Frankfurter Stadtmitte – zum Einkaufen, zur Arbeit, ins Theater, Konzert oder Kino.

Der neue „U2“-Wagen prägt seit dem Beginn des Frankfurter U-Bahn-Zeitalters das Bild der Stadt – und zwar ober- und unterirdisch. 1968 als Erstausstattung in großer Stückzahl angeschafft, werden bis 1985 insgesamt 104 Fahrzeuge bestellt, die zum Teil heute noch fahren. Allerdings wurden die verdienten und äußerst zuverlässigen Veteranen bis 2015 gegen die modernen „U5“-Wagen ausgetauscht.

Das Streckennetz besteht aus den vier Strecken „A“, „B“, „C“ und „D“ der Normalspurweite von 1435mm. Die erste Linie auf der A-Strecke wurde die Stadtbahnlinie A1 (heute U1) eingeführt. Hinter der Station „Hauptwache“ bestand eine Rampe, von der die Straßenbahnwagen auf das Straßenbahnnetz in Richtung Hauptbahnhof wechseln konnten. Die meisten unterirdischen Stationen präsentieren sich praktisch unverändert, außer den Stationen „Nordweststadt“ (heute: Nordwest-Zentrum) und „Grüneburgweg“.

Zwischen 2001 und 2005 wurden die Bahnsteige von 56 cm auf 80 cm erhöht. Kreuzungsstationen waren durch rote Pfeiler gekennzeichnet, die aber inzwischen grau überstrichen wurden. Die oberirdischen Stationen wurden seit 1999 ebenfalls erhöht. Im Zuge der Umbauarbeiten wurden die alten Bahnsteigdächer gegen gläserne Überdachungen ersetzt.

Von Januar 1980 an wird auch an der dritten, der C-Strecke, gebaut. Diese soll zunächst die „Hauptwache“ mit dem „Opernplatz“ verbinden und später von „Ostbahnhof“ und „Enkheim“ über den „Zoo“ zur „Bockenheimer Warte“ und weiter zur „Heerstraße“ verlaufen.
Neue architektonische Maßstäbe wurden gesetzt und Architekturwettbewerbe ausgeschrieben. Jede neue Station erhält ihr individuelles Konzept. Die Station „Alte Oper“ etwa wird mit einer Gewölbedecke überspannt. So ist unter Verzicht auf weitere Geschosse eine hohe Bahnsteighalle möglich, was erstmals einen offenen und großzügigen Raum unter der Erde schafft.

Eine ebenfalls ungewöhnliche Lösung für die niedrigen Räume bei mehrgeschossiger Bauweise wendet der Architekt an der Station „Zoo“ an: Mit der Konstruktion einer Kassettendecke schafft er durch unterschiedliche Abstufungen in der Decke neben der tatsächlichen Raumhöhe zusätzlich eine optische Raumtiefe.

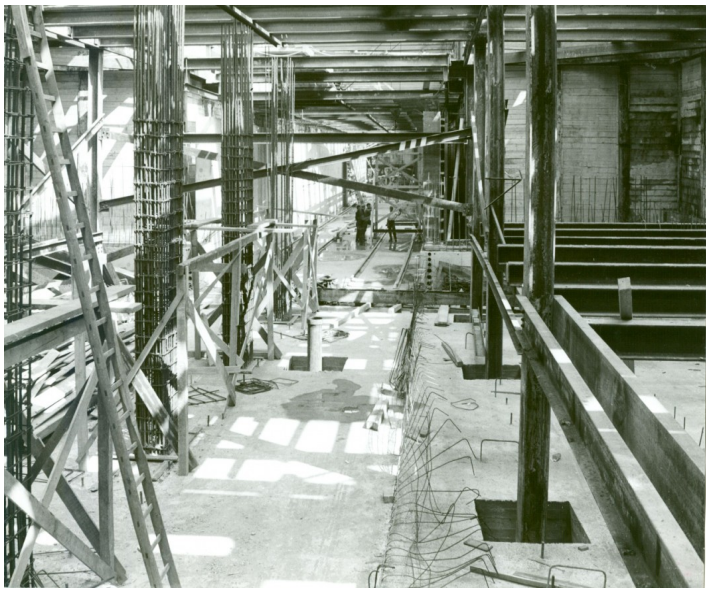

Abbildung 7: Fortgeschrittener Bau des Tunnels in Frankfurt am Main. Stützen wurden bewehrt und Gleise werden aufgestellt.

Abbildung 8: Wiederaufbau des historischen Gebäudes der Station „Hauptwache“, die für den Stationsbau abgetragen und an gleicher Stelle wieder errichtet wurde.

Auch der Station „Hauptwache“ bekommt ein moderneres Gewand. Das in den 60er Jahren geschaffene Bauwerk wirkte düster und veraltet. Mit hellen, freundlichen Materialien und einer offeneren Gestaltung passt sich die Station „Hauptwache“ jetzt besser an die neue Fußgängerzone an.

Die Bauarbeiten an der Einkaufsmeile finden ihren Abschluss 1983 mit der Vollendung der zweiten von U- und S-Bahnen genutzten Station, der D-Ebene der Station „Konstablerwache“. Es ist einzigartig in Deutschland: denn hier halten U- und S-Bahnzüge an zwei Seiten desselben unterirdischen Bahnsteigs. Zur Eröffnung der Bornheimer U-Bahnlinie U4 im Mai 1980 werden 27 Wagen des „U3“-Typs gekauft, die, in Verbindung mit den passenden Bahnsteigen, erstmals einen ebenen Ein- und Ausstieg bieten.

Schon seit 1975 wird an der Verlängerung der A-Strecke vom Theaterplatz über die Station „Schweizer Platz“ zum Südbahnhof gebaut. Die Untertunnelung des Mains ist ein schwieriges und aufwändiges Projekt, das 1984 erfolgreich fertiggestellt wird.

Die schon bestehenden Strecken A, B und C sollen erweitert werden. Die Stadt plant dazu den Bau eines weiteren Abschnitts. Der Startschuss für die zukünftige D-Strecke fällt 1989 für das erste Stück, das zunächst vom Hauptbahnhof bis zur Station „Bockenheimer Warte“ führen soll. Gleichzeitig wird der zweite Abschnitt zwischen „Zoo“ und „Ostbahnhof“ weitergebaut. Beide Bauvorhaben stoppen jedoch 1990 abrupt: Denn zwischen Hauptbahnhof und „Bockenheimer Warte“ tritt verunreinigtes Grundwasser aus. Der Plan, das abgesenkte Grundwasser in den Main zu leiten, ist danach nicht mehr durchzuführen. Die hohen Konzentrationen von Phenol, Toluol und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen dürfen nicht in den Fluss. Die Maschinen stehen still, ganze *drei* Jahre wird nicht weitergebaut. Die Beschaffung einer Reinigungsanlage macht eine Weiterführung der Bauarbeiten von 1992 an zwar möglich, doch kommt durch ein neu eingeführtes hessisches Umweltgesetz ein weiteres Problem hinzu:

Der Aushub beider Strecken darf nur nach bestimmten Richtwerten entsorgt werden – in der Praxis ein Problem, da niemand den als Abfall deklarierten Boden übernehmen will.
Eine glückliche Fügung lässt einen Deponiebetreiber 1993 Verfüllmaterial benötigen und den belasteten Boden zu günstigen Konditionen abnehmen. Nach Ablauf der großen Wassermengen in der Baugrube wird der Rohbau 1998 endlich abgeschlossen.

1998 fährt die U5 endlich bis zum Hauptbahnhof, ein für die Fahrgäste unattraktiver Umstieg an der Station „Konstabler“ in die U4 ist nicht mehr nötig. Wegen der größeren Breite normaler U-Bahn-Wagen – und damit der weiter entfernten Bahnsteigkanten – bekommen die auf der Strecke eingesetzten „Ptb“-Wagen, eigentlich schmalere Straßenbahnfahrzeuge, den markanten rot-weißen Türvorbau, er wurde auch „Blumenkasten“ genannt.
Die 1999 zunächst als Provisorium in Betrieb genommene Station „Ostbahnhof“ wird mit einer ungewöhnlichen Methode bis 2007 verlängert. Nicht architektonisch, sondern bautechnisch geht sie neue Wege: Um die Station auch mit Vier-Wagen-Zügen anfahren zu können, muss ihr Bahnsteig von 75 auf 105 Meter verlängert werden. Hierfür ist ein insgesamt 70 Meter langes Teilstück erforderlich, dass unter den Bahngleisen des Ostbahnhofs verlegt werden muss:
Um nicht aufwändig die neun DB-Gleise nacheinander untertunneln zu müssen, entscheidet sich die beauftragte Baufirma, die komplette Stationshalle, inklusive der Unterführung, der Betriebsräume und der darunter liegenden Tunnel, blockweise unter den Bahndamm zu schieben.Dafür werden zwei Betonblöcke, der größere davon mit einem Gewicht von 8.000 Tonnen, sowie 28 Metern Länge und 15 Metern Höhe, mit acht Pressen Zentimeter für Zentimeter unter die Schienen geschoben. Passgenau sitzen die beiden Betonteile unter den Gleiskörpern, an beiden Enden werden die benötigten behindertengerechten und somit barrierefreien
Zugänge eingebaut. Barrierefrei werden in Frankfurt neue Stationen schon lange gebaut, nun beginnt die Verkehrsgesellschaft Frankfurt am Main mit der Modernisierung der inzwischen 20 und 40 Jahre alten Stationen, um sie auch für Fahrgäste im Rollstuhl oder mit Kinderwagen besser nutzbar zu machen. Aufzüge und entsprechende Rampen werden eingebaut, in unterirdischen Anlagen werden Gleisbetten ausgebaggert, um die Gleise abzusenken.

3. Bauweisen

3.1 Tunnelbauten

Im Tunnelbau wird zwischen verschiedenen Bauweisen unterschieden. Zum Einen gibt es die offene Bauweise, zum Anderen gibt es den bergmännischen Vortrieb, der sog. Tunnelbohrvortrieb, der heute noch in verschiedene Systeme unterschieden werden muss, z.B. den Schildvortrieb.
Bei der bergmännischen Bauweise wird zunächst ein Teilquerschnitt des Tunnels aus dem Gebirge gelöst. In der Regel geschieht dies durch Sprengungen, dem sogenannten Abschlag. Nach der Sprengung wird das ausgebrochene Material abtransportiert und der ungestützte Bereich gesichert. Als Stützmittel wird ein schnell abbindender Spritzbeton, mit oder ohne Bewehrungsstahl verwendet. Sobald der Durchschlag erfolgt ist, wird anschließend der ausgebrochene temporär gesicherte Tunnel mit einer Stahlbeton-Innenschale ausgekleidet. Dies ist dafür da, um das Bauwerk dauerhaft abzusichern. Anschließend wird der Innenausbau des Tunnels erfolgen, unter anderem die Fahrbahn, Leit- und Sicherungstechnik, sowie Oberleitungen.
Beim Bau der Frankfurter U-Bahn kamen seinerzeit alle bis dahin bekannten Bauweisen für Stadtschnellbahnen zum Einsatz. Jedoch wurden die meisten Streckenabschnitte bzw. Stationen und Bahnhöfe in der offenen Bauweise ausgeführt.

Die offene Bauweise ist vor allem für Tunnel in freiem Gelände geeignet, da ja ausreichend Platz für eine Böschung vorhanden ist. Der Vorteil besteht in den relativ geringen Kosten, da es offen gegraben wird. Der Nachteil allerdings ist aufwändig, da provisorische Verkehrsführung über Umwege, sie sich normalerweise über den gesamten Zeitraum des Baus beziehen.

Abbildung 9: Der gesamte Platz zwischen dem Kaufhof und der Katharinenkirche wurde im Rahmen des Baus aufgerissen. Dies erfolge in einer offenen Bauweise.

Eine Baugrubenumschließung ist bei seitlich angrenzender Bebauung erforderlich.
Die älteste U-Bahn Strecke in Frankfurt, ist die „A-Strecke“, deren Bau bereits 1963 begann. Deren erste Teilabschnitt, der vom Stadtzentrum in die Nordweststadt führt, wurde am 4. Oktober 1968 eröffnet, zunächst mit sechs unterirdischen Bahnhöfen, wobei der Tunnel in der Innenstadt anfangs noch von einem kombinierten U- und Straßenbahn-Verkehr genutzt wurde.
In den darauffolgenden Jahren wurde diese Strecke abschnittweise verlängert, verbessert und auch der Ausbau zur "reinen" U-Bahn sollte nach und nach geschehen.
Beim Ablauf muss zuerst der Verbau hergestellt werden, die Baugrube wird ausgehoben, der Tunnel wird abschnittsweise hergestellt und schließlich werden die Arbeitsräume verfüllt.

Wie schon erwähnt, wurden Bahnhöfe und Stationen in einer offenen Bauweise gebaut, wo der Straßenverkehr in Anbetracht der Straßenbreite es zuließ, wurde sie im Interesse des Baufortschritts offen ausgeführt.

Abbildung 10: Abbildung 10: Abbildung 10: Direkt im Zentrum Frankfurts wurde in einer offenen Bauweise gearbeitet. Die Baumaßnahmen der Untertunnelung, dauerten etwa 28 Monate an.

Ansonsten musste die Baugrube so eingedeckt werden, dass der öffentliche Verkehr über ihr aufrecht erhalten bleiben konnte. In solchen Fällen wurden lediglich für den Einbau der Tunneldecke streckenweise temporäre Sperrungen zugelassen. Deswegen wurden Tunnelröhren oft bergmännisch hergestellt werden.
In Frankfurt kam es Anfang den 1970-er zu der so genannten „Neuen Österreichischen Tunnelbauweise“ (NÖT). Sie entstand zwischen 1957 bis 1965 und erhielt ihren Namen zur Unterscheidung von der alten österreichischen Tunnelbauweise. Diese Tunnelbauweise beruht im wesentlichen darauf, den Tunnel zyklisch vorzutreiben und die Sicherungsmittel wie Spritzbeton, möglichst sparsam anzuwenden.

Das Gebirge soll dabei möglichst wenig entfestigt werden, jedoch hinreichend verformabar sein, damit seine Festigkeit um den Tunnel herum weitgehend mobilisiert wird.
Bei diesem Verfahren wird der Ausbruchsquerschnitt durch Stahlbögen gesichert und eine Spritzbetonschale eingebracht. Der Vorteil bei dieser Bauweise: es nutzt die Eigentragfähigkeit des Gebirges zur sicheren und wirtschaftlichen Herstellung von Tunneln.
Die „Neue Österreichische Tunnelbauweise“ hat sich beim U-Bahnbau im Frankfurter Ton in den Jahren 1969 bis 1971 bewährt und als wirtschaftlicher gegenüber dem Schildvortrieb erwiesen.

Um auf die bereits erwähnte offene Bauweise, der Stationen der Frankfurter U-Bahn zurück zu kommen, die sich im Laufe der Zeit durch verbesserte technische Möglichkeiten in bestimmten Arbeitsvorgängen geändert hat, im Grundprinzip jedoch gleich geblieben ist, werden in einer offenen Baugrube, deren Seitenwände aus Trägerbohlwänden (Stahlträger mit Holzbohlen) oder Spundwänden gebildet, nacheinander die Sohle, die Wände, die Stützen und die Decke errichtet.
Es wurden Straßen aufgerissen und von oben weiter gegraben. Ein Problem stellten die benachbarten Häuser dar, denn um sie zu utnterqueren, wurden die Keller in Handarbeit aufgerissen und eine unterirdische Brücke über den künftigen Tunnel gebaut. Der Vorteil war, dass die Häuser abgestützt wurden und vor Bahn-Erschütterungen und Lärm geschützt.
Die wesentlichen Merkmale des Trägerbohlverbaus sind:

- nachgiebig
- nicht druckwasserdicht
- baugrundunabhängig
- rückbaubar

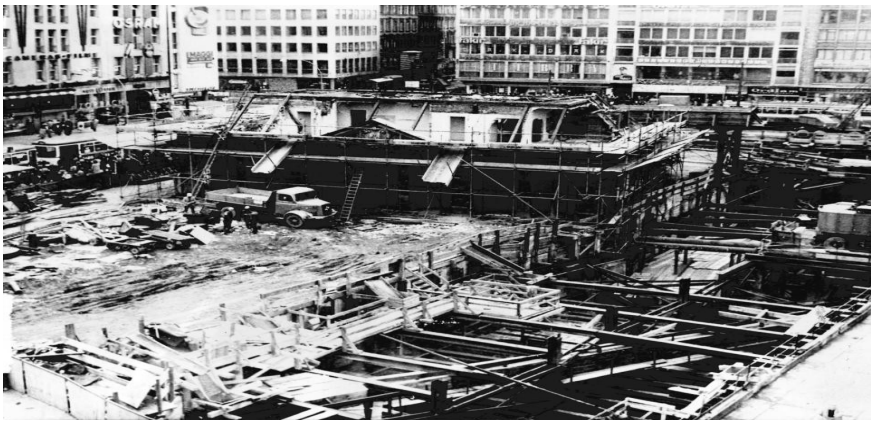

Abbildung 11: Offene Baugrube mit Trägerbohlverbau 1966.

Um Gefahrensituationen im Tunnel zu begegnen, wurde bei der Frankfurter U-Bahn zwischen den Stationen zusätzliche Notausgänge eingebaut sowie auch an den Tunnelwänden grafische Hinweise auf die günstigste „Fluchtrichtung“ angebracht.

Es gibt in Frankfurt den sogenannten unterirdischen Gemeinschaftstunnel, der mit seinen komplizierten Überwerfungsbauwerken offen errichtet wurde. Seine Breite beträgt 36 m und es wurde ca. 187.500 m^3 Erdreich ausgehoben.

43.474 Kubikmeter Beton und 9.500 Tonnen Stahl wurden verbaut.

4. Streckennetz

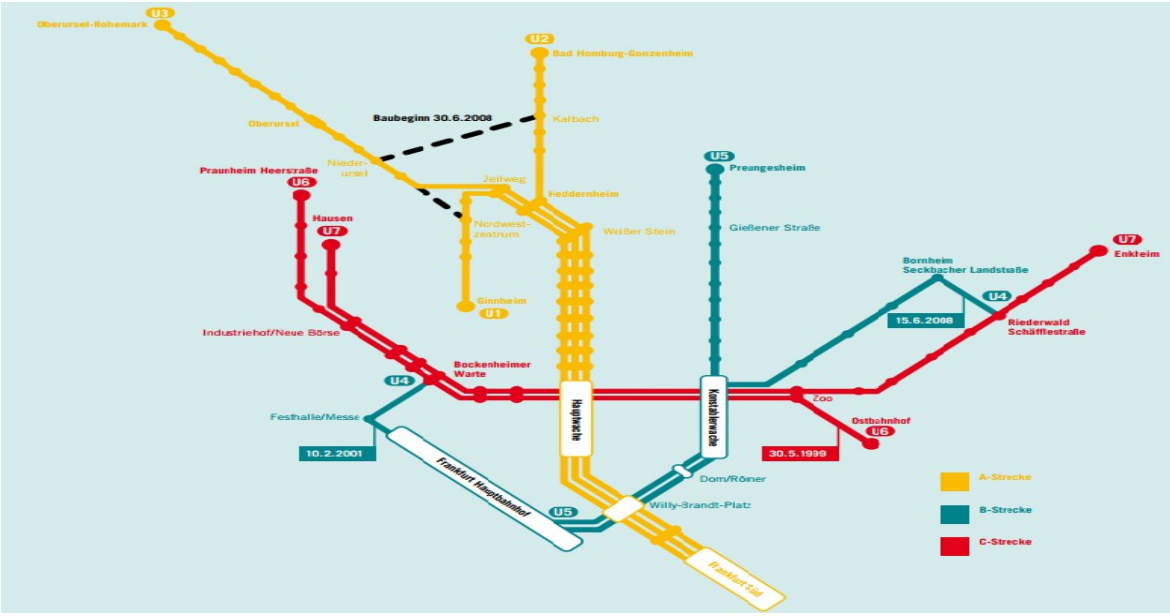

Abbildung 12: Streckennetz A, B und C Frankfurt am Main.

Das Frankfurter Streckennetz besteht aus vier Strecken, „A“, „B“, „C“ und „D“ und der Normalspurweite von 1435 mm. Wobei von der D-Strecke existieren bisher nur zwei kurze, nicht miteinander verbundene Teilstrecken. Die Länge aller betrieblichen Strecken beträgt 64,85 km.

4.1 Strecke A

Wie schon erwähnt ist die A-Strecke die älteste Strecke der Frankfurter U-Bahn. Sie verläuft über eine Nord-Süd-Achse, vom Südbahnhof über die Innenstadt, die sich dort in vier Äste verzweigt. Sie wurde in mehreren Abschnitten von 1968 bis 1984 bzw. 2010 eröffnet. Die A-Strecke besitzt insgesamt 40 Stationen, davon sind 2 Stationen an die D-Strecke angebunden.

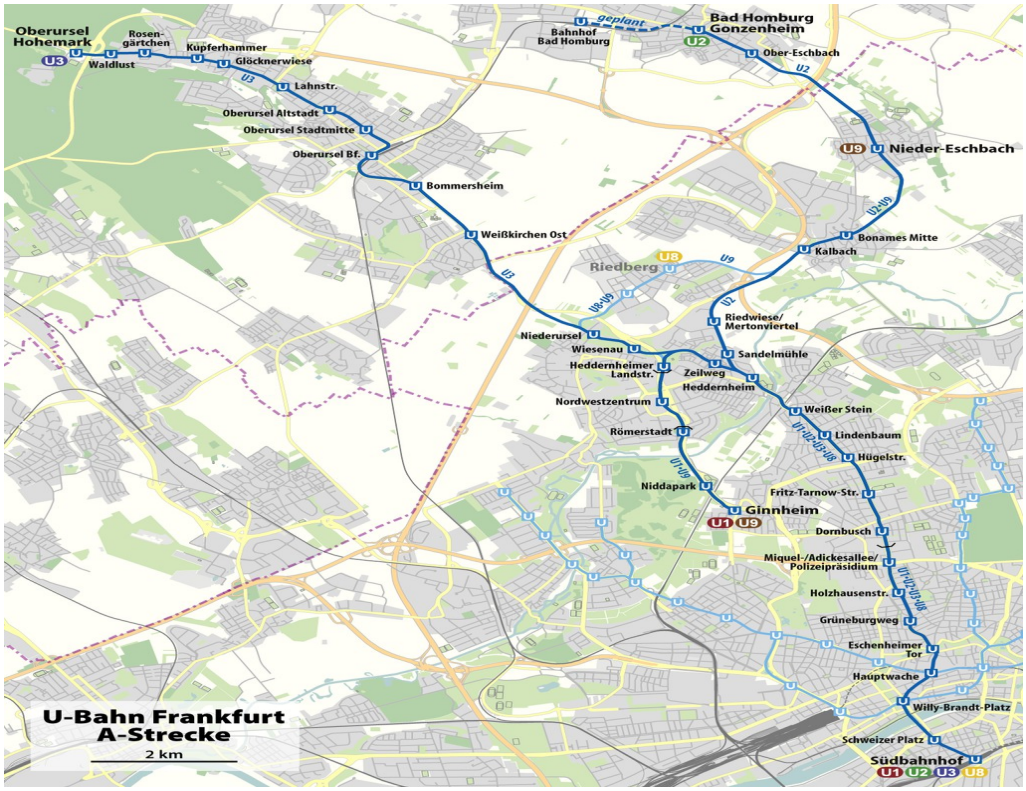

Abbildung 13: U-Bahn A-Strecke; Frankfurt am Main

Bei Bau der Tunnel für die U-Bahnstrecke A, wurden einige unterschiedliche Methoden eingesetzt. Bei den Stationen wurde die offene Bauweise angewandt und die Baugrubenumschließung erfolgte durch den Trägerbohlverbau.

1975 erfolgte das ehrgeizige Projekt der Mainunterquerung. Die Mainunterquerung erforderte zu der Zeit erstmals neue Techniken, wie zum Beispiel den Schildvortrieb und die Neue Österreichische Tunnelbauweise. Es wurde geplant,dass die Frankfurter U-Bahn um ein Stadtteil verlängert wird, und dabei den Main unterquert.

Bei der Mainuntertunnelung wurde das Verfahren der Bodenvereisung mittels Stickstoff eingesetzt. Die grundlegende Idee der Vereisung des Bodens besteht darin, den Boden durch künstlichen Wärmeentzug zu vereisen. Durch die starke Kälte gefriert das Poren-Kluftwasser in Boden, dieses verfestigt und mach ihn wasserundurchlässig. Das Verfahren kann bei allen wassergesättigten Böden und Materialien verwendet werden. Bei nichtbindigen Böden, können durch eine kontrollierte Zugabe von Wasser für die Bodenvereisung aufbereitet werden.

„Bei dem Stickstoffverfahren Verfahren wird als Kältemittel verflüssigter Stickstoff eingesetzt. Stickstoff ist ein ungiftiges nicht brennbares Gas und zu 78 % Bestandteil der Luft. Der verflüssigte Stickstoff wird mit -196°C in speziell isolierten Tankwagen auf die Baustelle geliefert und dort in Tankanlagen zwischengelagert. Über hochwertig isolierte Rohrleitungen wird der flüssige Stickstoff in die Fallrohre eingeleitet, tritt am Fuß der Fallrohre aus und wird bei Kontakt mit den relativ warmen Gefrierrohren gasförmig. Der gasförmige Stickstoff strömt durch den eigenen Expansionsdruck durch weitere Gefrierrohre oder direkt zum Abgasrohr, wo er mit ca. -100 °C bis -60 °C in die Atmosphäre zurückgeleitet wird. Durch den Verdampfungsvorgang wird dem umgebenden Boden Energie entzogen und der Boden gefriert. Die Versorgung der Gefrierrohre erfolgt durch den Eigendruck des verdampfenden Stickstoffs im Tank. Die Menge an Stickstoff, die zum Gefrieren oder zum Aufrechterhalten des Frostkörpers benötigt wird, wird für jedes Gefrierrohr durch ein Magnetventil/Temperaturfühler Regelkreis bestimmt. Regelparameter für die Schaltvorgänge der Ventile sind die Temperaturen des aus den Gefrierrohren austretenden Stickstoffgases. Jedes Gefrierrohr kann durch die Vorgabe einer anderen Abgastemperatur mit einer anderen Gefrierleistung betrieben werden. Alle Temperaturen und Schaltvorgänge werden an einer zentralen Mess- und Steuereinheit beobachtet, dokumentiert, beurteilt und, falls erforderlich, geändert.
In der Gefrierphase wird das Kühlaggregat so lange unter Volllast betrieben, bis sich der Frostkörper vollständig ausgebildet und seine erforderliche statische Dicke erreicht hat.

(www.spezialtiefbau.implenia.com)

Nachdem die Baumaßnahmen abgeschlossen sind, erfolgt die Auftauphase. Durch den Abbau des Eises nach der Erstellung des Tunnels, kam es aufgrund des hohen Druckes zu Verformungen.

Die Durchführung einer Bodenvereisung bietet sich an bei:

•Bau von unterirdischen Notausstiegen, z.B. bei U-Bahn oder Autobahntunnel

•Durchpressen von Eisenbahnunterführungen

•Abdichten von Schlitz- oder Bohrpfahlwänden

•Abdichtung von Fugen zwischen Tübbing und Schlitzwand

•Vertiefen von einer Bodenplatte unterm Grundwasser (Aufzug)

•Entnahme von ungestörten Bodenproben

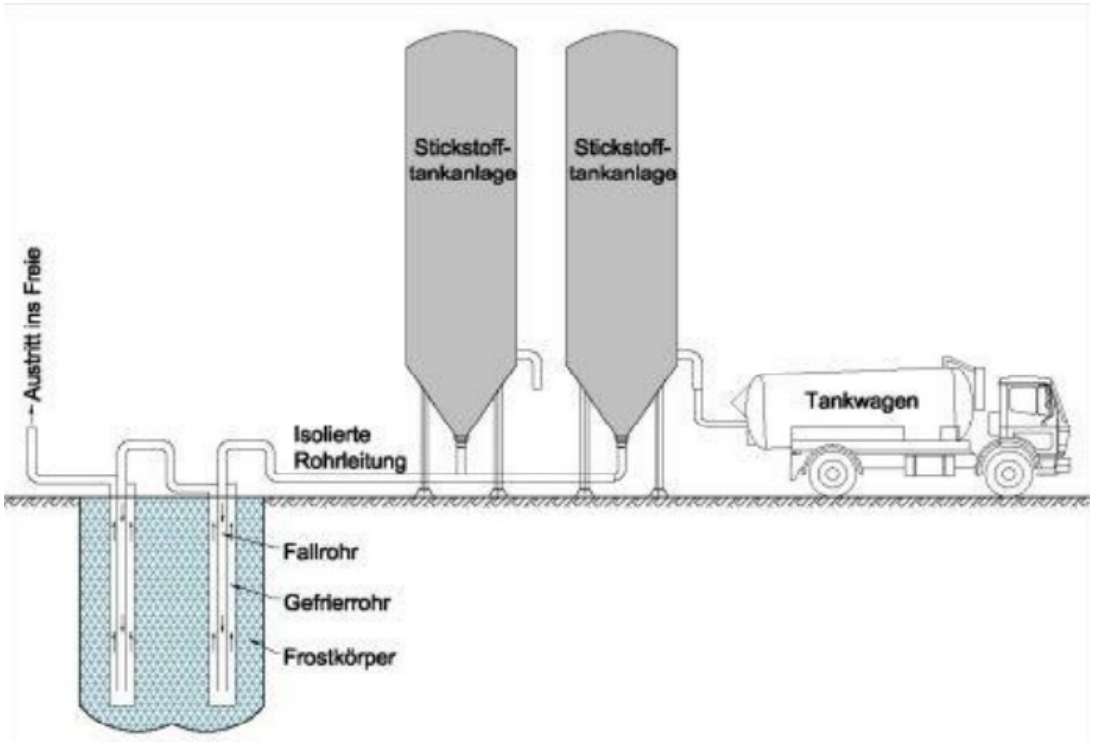

Abbildung 14: Prinzip der Stickstoffvereisung

Schließlich fuhr am 29. September 1984 die erste U-Bahn unter dem Main hindurch. Der 327 Mio. DM teure Streckenabschnitt zwischen dem Theaterplatz (heute Willy-Brandt-Platz) auf der einen Seite des Mains und dem Südbahnhof auf der anderen Mainseite, beträgt 1,483 km.

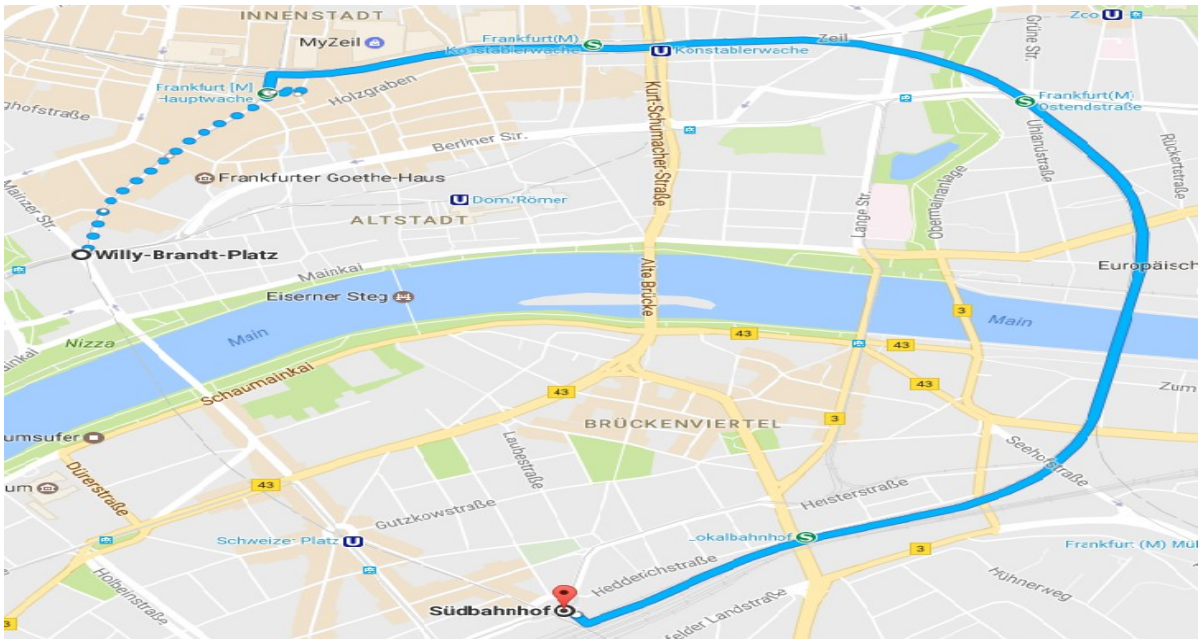

Abbildung 15: Mainunterquerung von "Willy-Brandt-Platz" bis zum "Südbahnhof".

4.2 Strecke C

Die C-Strecke ist die dritte Strecke im Netz der Frankfurter U-Bahn. Sie ist eine West-Ost-Verbindung im Frankfurter Nahverkehr. Sie wurde am 11. Oktober 1986 eröffnet und hat insgesamt 26 Stationen. Auf der Strecke finden sich 12 unterirdische Bahnhöfe, die sich in den dicht bebauten innerstädtischen Stadtteilen befinden, die gemeinsam mit der S-Bahn genutzt werden.

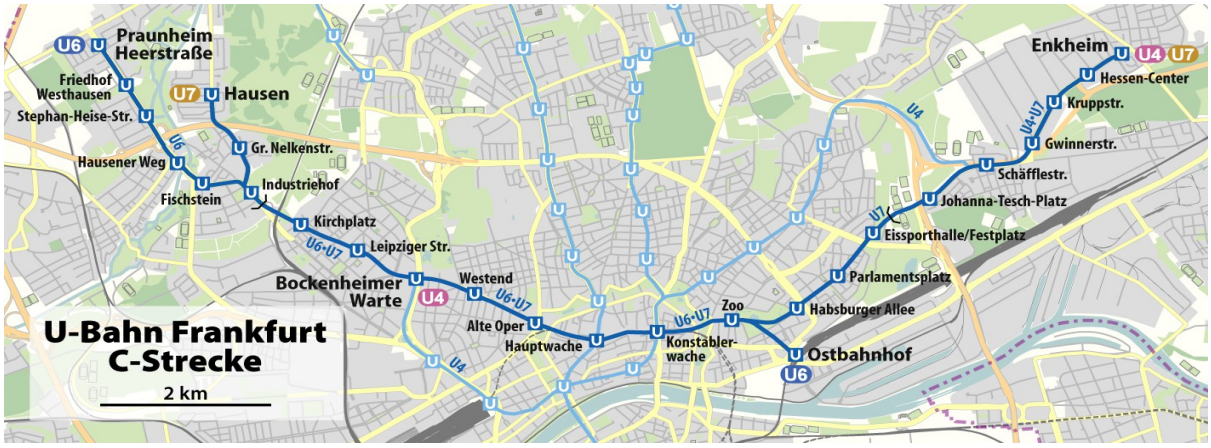

Abbildung 16: U-Bahn C-Strecke; Frankfurt am Main.

2004 wurde die oberirdische Anschlussstrecke umgebaut, zudem erfolgten einzelne Anpassungen an den Stationen, wie zum Beispiel, dass die Endstation um 100 m verschoben wurde. Um weiter Rücksicht auf das bestehende Stadtgefüge zunehmen, wurde der Bau der C-Strecke in bergmännischem Vortrieb ausgeführt. Der C-Tunnel teilt sich im dreigleisigen Bahnhof Zoo in zwei Äste. Im Sommer 2012 wurde die Bahnsteighöhe in den Stationen der C-Strecke durch Aufschotterung von 87 cm auf 80 cm abgesenkt.

5. Kosten

Die Stadt hat rund 1,2 Mrd. DM der Baukosten aufgewendet. Davon allein 642 Mio. DM, also ca. 49,8 % für den Tunnelrohbau. Für Leitungsverlegung wurden 105,2 Mio. DM investiert. 252 Mio. DM für Architektur und betrieblichen Ausbau und weitere 160 Mio. DM für Verkehrslenkung, Straßenbau und Grünanlagen.

Der Bau der Tunnelstrecken dauerte lang, war teuer und hat viele Menschen über einen langen Zeitraum belastet. Es war sehr wichtig, die verkehrsplanerischen Visionen der 1960er Jahre, die in langen Diskussionen der 1970er geschliffen und neuen Anforderungen angepasst wurden, letztlich zu verwirklichen.

6. Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

- https://www.hanau-nantenbach.de/tunnelbauwerke/bauverfahren/bergmaennische-bauweise.html
- http://www.trampage.de/cms.php?id=8&page=217
- http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-58839-6_16#page-1
- http://www.fnp.de/lokales/frankfurt/Die-zuendende-Idee-von-der-U-Bahn;art675,79323
- http://www.fnp.de/lokales/frankfurt/Operation-am-offenen-Herzen-Frankfurts;art675,1525580
- https://de.wikipedia.org/wiki/U-Bahn_Frankfurt
- https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2855&_ffmpar[_id_inhalt]=12553623
- Prof. Dr.-Ing. Bernd Schweibenz, Fachhochschule Potsdam, Fachbereich Bauingenieurwesen, Vorlesungsskript Baubetrieb III
- https://blog.vgf-ffm.de/30jahrecstrecke/
- http://www.bild.de/regional/berlin/u-bahn/wie-wurden-frueher-tunnel-fuer-die-ubahn-gebuddelt-29551228.bild.html
- http://www.fnp.de/lokales/frankfurt/Seit-30-Jahren-faehrt-die-U-Bahn-unter-dem-Main;art675,1061098

Abbildungsverzeichnis

[1]
http://static3.fnp.de/storage/scl/importe/fnpartikel/rhein-main/frankfurt/39508_m3w605h320q75v64872_fnp_import_fff_u_bahn_1968_010811.jpg?version=1367336875

[2]
http://static3.fnp.de/storage/scl/bilderstrecken/2015/frankfurt/vor_50_jahren_begann_der_bau_des_frankfurter_u_bahn_systems/1112588_m1w960v32317_fff_rammstoss_003.jpg?version=1438681549

[3]
http://static1.fnp.de/storage/scl/bilderstrecken/2015/frankfurt/vor_50_jahren_begann_der_bau_des_frankfurter_u_bahn_systems/1112583_m1w960v15291_fff_rammstoss_008.jpg?version=1438681542

[4] http://www.frankfurt-nordend.de/Images/1965_u-bahnbau.jpg

[5] Philipp Holzmann Archiv, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V., Mappe 915 B, Bildnummer 0915B_006

[6]
Philipp Holzmann Archiv, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V., Mappe 915 B, Bildnummer 0915B_010

[7] Philipp Holzmann Archiv, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V., Mappe 915 B, Bildnummer 0915B_008

[8] http://www.hsf-ffm.de/uploads/media/netz_40_jahre_u-bahn.pdf

[9]
http://static2.fnp.de/storage/scl/bilderstrecken/2015/frankfurt/vor_50_jahren_begann_der_bau_des_frankfurter_u_bahn_systems/1112587_m1w960v13799_fff_rammstoss_004.jpg?version=1438681548

[10] Philipp Holzmann Archiv, Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V., Mappe 915 B, Bildnummer 0915B_005

[11]
http://static2.fnp.de/storage/scl/bilderstrecken/2015/frankfurt/vor_50_jahren_begann_der_bau_des_frankfurter_u_bahn_systems/1112577_m1w960v49454_fff_rammstoss_014.jpg?version=1438681533

[12] http://www.hsf-ffm.de/uploads/media/netz_40_jahre_u-bahn.pdf

[13] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f7/Karte_U-Bahn_Frankfurt_A-Strecke.png/1024px-Karte_U-Bahn_Frankfurt_A-Strecke.png

[14]
http://www.spezialtiefbau.implenia.com/fileadmin/conspezialtiefbau/prospekte/deutsch/Bodenvereisung.pdf

[15] Ausschnitt aus Google-Maps

[16] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c4/Karte_U-Bahn_Frankfurt_C-Strecke.png