

3

107. Jahrgang
März 2012
ISSN 005-9900
A 1740

Beton- und Stahlbetonbau



Sonderdruck
Seiten
164 bis 174

Stephan Schmidt
Frank Zierath
Horst Amann
Holger Meyer

Die Rollbrücken der neuen Landebahn Nordwest am Flughafen Frankfurt/Main

Stephan Schmidt
 Frank Zierath
 Horst Amann
 Holger Meyer

Die Rollbrücken der neuen Landebahn Nordwest am Flughafen Frankfurt/Main

Die Rollbrücken der neuen Landebahn Nordwest am Flughafen Frankfurt/Main stellen in vielerlei Hinsicht eine Innovation im Großbrückenbau dar. Alle Rollbrücken wurden als integrale Rahmentragwerke geplant und errichtet. Die Anwendung der integralen fugenlosen Bauweise in Verbindung mit vorgespannten Fertigteilplattenbalken mit Ortbetonergänzung wurde in dieser Größenordnung erstmals angewendet. Durch die konsequente Anwendung dieses Konstruktionsprinzips konnte eine kurze Bauzeit mit minimalen Einschränkungen für den öffentlichen Verkehr erreicht werden. Das Ergebnis sind sehr robuste, wartungsarme Bauwerke mit geringer Bauhöhe und sehr hoher Tragfähigkeit. Die speziellen Anforderungen aus dem Flugbetrieb, insbesondere die hohen Flugzeuglasten, erfordern Lösungen, die zum Teil außerhalb der in den geltenden Vorschriften geregelten Bauweisen liegen. Durch die Bereitschaft des Bauherren und aller am Projekt Beteiligten, diesen innovativen Weg mitzugehen, sind einzigartige, wirtschaftliche und auch gestalterisch ansprechende Bauwerke entstanden.

The taxiway bridges of the new runway northwest at the airport Frankfurt/Main

In many aspects, the taxiway bridges of the new Northwestern landing runway at the Frankfurt am Main Airport represent an innovation in large bridge construction. All taxiway bridges were planned and built as integral frame-supporting structures. The application of an integral jointless construction in connection with a pre-stressed prefabricated platform bar with local concrete integration was applied for the first time in these dimensions. Thanks to the consequent application of this construction principle, a short building time with minimal limitations for the public traffic streams could be reached. The result is very stable low-maintenance buildings with reduced building height and very high carrying capacity. The special requirements connected with the aviation operations, in particular the high plane charges require solutions that are partially outside the construction types regulated by applicable regulations. Thanks to the availability by the builder-owner and all the parties involved to opt for this innovating path, unique, cost-effective and design-attractive buildings were created.

1 Einleitung

Wegen des steigenden Luftverkehrsaufkommens und zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit des Flughafens Frankfurt/Main hat es sich die Fraport AG zum Ziel gesetzt, die Kapazitäten des Flughafens auszubauen. Wesentlicher Baustein des zurzeit in Realisierung befindlichen Ausbauprogramms ist die neue Landebahn Nordwest, die im

Oktober 2011 termingerecht in Betrieb genommen wurde. Die neue 2.800 m lange Landebahn liegt nördlich des bestehenden Flughafengeländes und ist durch eine Kreisstraße, eine Bundesautobahn (BAB 3) und die ICE-Strecke Frankfurt-Köln von diesem getrennt. Die Anbindung erfolgt über zwei Rollwege (Rollweg Ost und Rollweg West) mit insgesamt fünf Rollbrücken. Über diese überqueren die gelandeten Flugzeuge rollend die kreuzenden Verkehrswege. Zwischen den Brückenbauwerken verlaufen die Rollwege auf neu errichteten Dammbauwerken.

Der Rollweg West (Bild 1) beinhaltet zwei Rollbrücken, die Rollbrücken West 1 und West 2. Parallel zu



Bild 1. Rollweg West, Luftbild (© Fraport AG)
 Fig. 1. Taxiway West, air photo (© Fraport AG)



Bild 2. Rollweg Ost, Luftbild (© Fraport AG)
 Fig. 2. Taxiway East, air photo (© Fraport AG)

diesen beiden Rollbrücken wurden zusätzlich jeweils eine Straßenbrücke (für die sogenannte Zaunstraße) und eine Leitungsbrücke errichtet. Die unterführten Straßen der Rollbrücke West 2 wurden abgesenkt und in Trogbauwerken neu errichtet.

Zum Rollweg Ost (Bild 2) gehören drei Brückenbauwerke, davon liegen die Rollbrücken Ost 1 und Ost 2 im öffentlichen Bereich, während die Rollbrücke Ost 3, die inzwischen als „Betriebsstraßentunnel“ bezeichnet wird, auf dem Betriebsgelände der Fraport AG liegt. Der Rollbahndamm zwischen der Rollbrücke Ost 2 und dem Betriebsstraßentunnel sowie zwischen Betriebsstraßentunnel und der Anbindung an die bestehenden Flugbetriebsflächen wird durch Stützwände eingefasst, die zusammen mit den Rollbrücken zu planen und zu bauen waren.

2 Aufgabenstellung

Maßgebende Grundlagen für die Planung der Rollbrücken waren neben den flugbetrieblichen Vorgaben – und dabei insbesondere den hohen Verkehrslasten bei Flugzeugüberfahrt – die geometrischen Festlegungen aus der Planfeststellung für die neue Landebahn. Dazu gehören Lage und Gradientenverlauf der Rollbahnen, die als wesentliche Randbedingungen für die zu erstellenden Brückenentwürfe Kreuzungswinkel und maximal mögliche Bauhöhen für die Überbauträger vorgeben. Zu berücksichtigen waren darüber hinaus die Belange der betroffenen Verkehrsträger Straße und Schiene, insbesondere die der intensiv befahrenen BAB 3 und der ICE-Strecke. Die Beeinträchtigung des Verkehrs während der Bauzeit war auf ein absolutes Minimum zu reduzieren.

Ziel der Planung waren Bauwerksentwürfe, die unter den gegebenen Randbedingungen wirtschaftlich und in kurzer Bauzeit in robuste und wartungsarme Bauwerke umsetzbar sind. Die Entwurfskonzepte aus den Planfeststellungsunterlagen beinhalteten bereits das Prinzip der integralen Bauweise. Vorgesehen waren dabei zunächst vorgespannte Ortbetonbauwerke. Die intensive Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung und den Randbedin-

gungen führte im Rahmen der Entwurfsplanung jedoch zur vollständigen Überarbeitung des Konzeptes und zur erstmals bei derartigen Brückenbauwerken umgesetzten Kombination aus integraler Bauweise und vorgespannten Fertigteilträgern.

3 Rollbrücke Ost 1

3.1 Allgemeines

Mit einer Brückenfläche von 19.800 m² ist die Rollbrücke Ost 1 das größte Ingenieurbauwerk, das im Rahmen der Erstellung der Rollwege errichtet wurde. Sie überführt in sehr spitzem Kreuzungswinkel den östlichen Rollweg in West-Ost-Richtung über die ICE-Strecke, die beiden Richtungsfahrbahnen der BAB 3 und eine Flughafenstraße (Bild 3). Diese nebeneinander liegenden unterführten Verkehrswege haben eine Gesamtbreite von ca. 90 m.

Die zwei mittleren Pfeilerwände sind zwischen BAB 3 und ICE-Strecke und zwischen den BAB-Richtungsfahrbahnen nahezu parallel zueinander und zu den Widerlagerwänden angeordnet. Bei der Festlegung der Stützweiten über der BAB 3 wurde die Option einer späteren Verbreiterung der BAB 3 berücksichtigt. Die Gesamtlänge zwischen den Widerlagern beträgt maximal 91,55 m (Bild 4). Da die Bauwerksachsen nicht genau parallel zueinander liegen, ergeben sich zwischen den Wänden unterschiedliche lichte Weiten von 31,565 m (zwischen Achsen A und B), 24,80 m bis 28,525 m (zwischen Achsen B und C) und 25,145 m bis 29,06 m (zwischen Achsen C und D). Der Kreuzungswinkel variiert in den einzelnen Bauwerksachsen und beträgt im Mittel ca. 29 gon.

Aus dem spitzen Kreuzungswinkel und der Breite des Rollweges resultiert die sehr große Gesamtbreite der Rollbrücke von 347 m. Für die unterführten Verkehrswege ergeben sich daraus überdeckte Längen der Richtungsfahrbahnen von 212 m für die Richtung Frankfurt und 191,75 m für die Richtung Köln. Die ICE-Strecke wird auf einer Länge von 216,50 m überdeckt. Die schiefe Länge der Rollbrücke – in Rollbahnnachse und zwischen den Innenkanten der Widerlager gemessen – beträgt ca. 195 m.

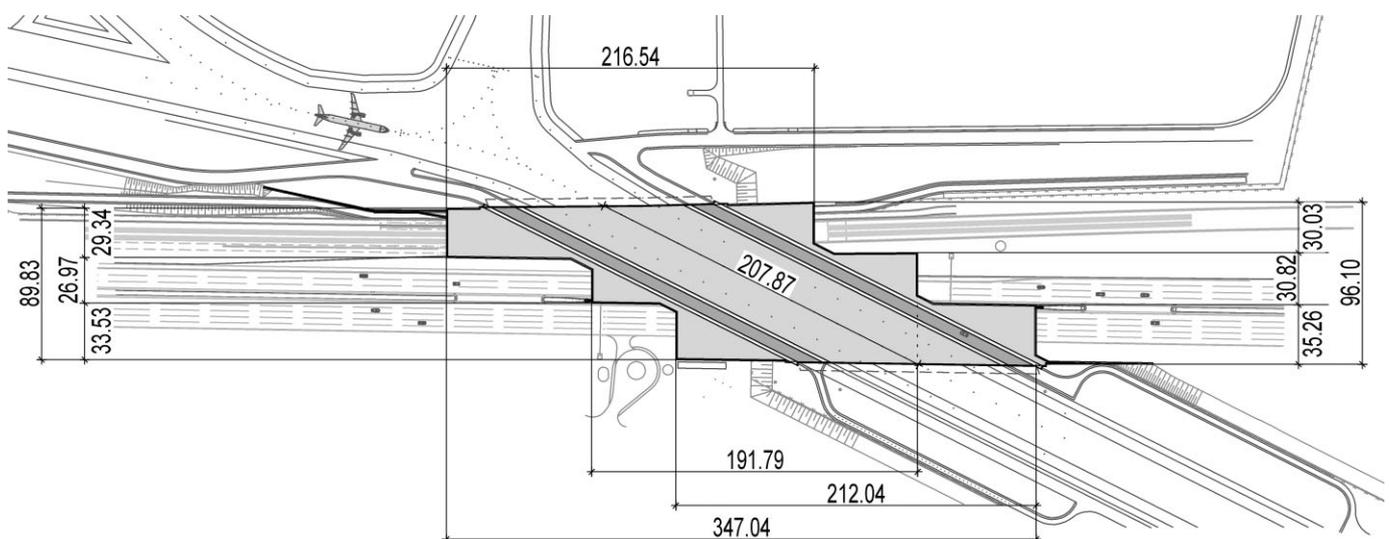


Bild 3. Rollbrücke Ost 1, Draufsicht
Fig. 3. Taxiway Bridge East 1, plan view

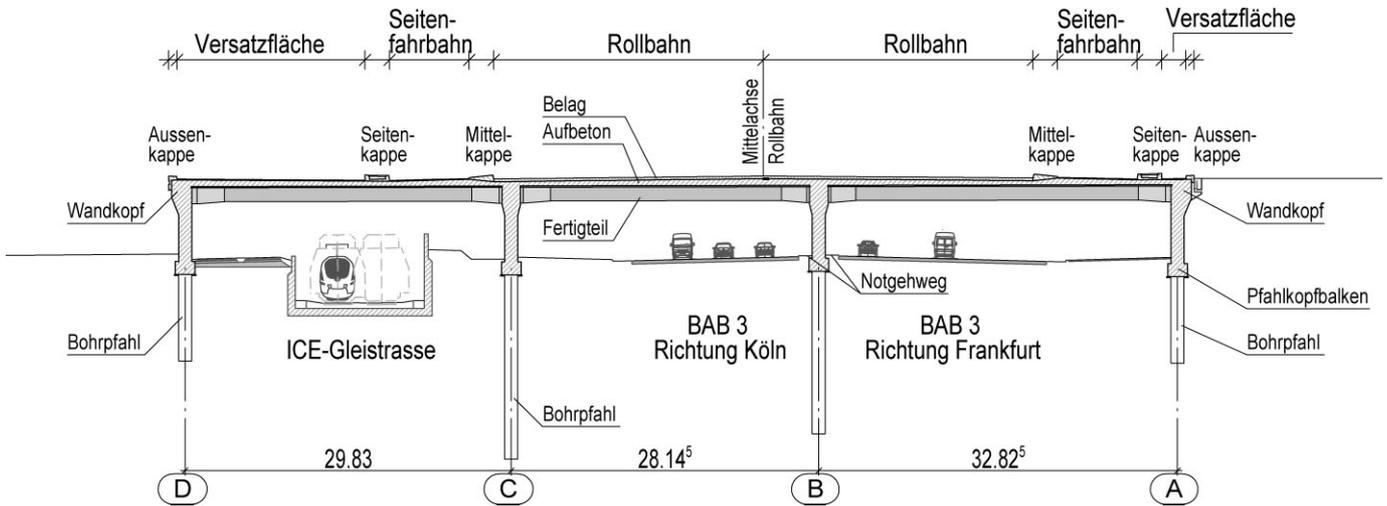


Bild 4. Rollbrücke Ost 1, Schnitt
 Fig. 4. Taxiway Bridge East 1, transverse section

3.2 Konstruktionsbeschreibung

Die Rollbrücke wurde als integrales fugenloses Bauwerk geplant und ausgeführt. Die Gründung erfolgt auf insgesamt 302 in Pfeilkopfbalken eingespannten Großbohrpfählen mit einem Durchmesser von 120 cm und Längen von 8 bis 18 m. Die Widerlagerwände und Auflagerwände mit Längen von 216 m (Achse D) bis 277 m (Achse C) sind 120 cm dick und wurden als fugenlose Konstruktionen geplant und nach intensiver Diskussion mit der beauftragten Baufirma auch erfolgreich ausgeführt. Das Betonieren der Widerlagerwände erfolgte im Pilgerschrittverfahren unter Verwendung von schwindarmem Beton (Bild 5). Im Wandkopfbereich sind die Rahmenwände auf 170 cm (Pfeilerwände) bzw. 185 cm (Widerlagerwände) aufgeweitet.

Der Überbau besteht aus vorgespannten Fertigteilen, Ortbetonergänzung und Kontinuitätsvorspannung. Die Fertigteilträger sind dabei in ihrer Achslage orthogonal zu den Auflagerwänden ausgerichtet. Durch die Fertigteilbauweise konnten die Beeinträchtigungen des Verkehrs auf der vielbefahrenen BAB 3 minimiert und eine kurze Bauzeit realisiert werden. Eine Ortbetonkonstruktion hätte aufwendige Schalkonstruktionen mit Abstützungen und Gründungsmaßnahmen im BAB-Bereich erfordert, was mit erheblichen Einschränkungen im Straßenverkehr verbunden gewesen wäre.

Die Verlegung der Fertigteile erfolgte während kurzer nächtlicher Sperrpausen. Konzipiert sind die Fertigteilträger als T-Träger mit Stegbreiten von 50 cm, Bauhöhen von 140 cm und Flanschbreiten von 223 cm. Im Auflagerbereich sind die Trägerquerschnitte gevoutet (Breiten bis 120 cm, Höhen bis 160 cm). Die Träger erhielten werksseitig bereits eine Vorspannung mit nachträglichem Verbund sowie Hüllrohre für die Herstellung der späteren Kontinuitätsvorspannung. Die Anschlussbewehrungen von Wänden und Fertigteilen sind planerisch exakt aufeinander abgestimmt (Bild 6) und erforderten eine sehr präzise Montage (Bild 7).

Die Ortbetonplatte hat eine variable Dicke von 40 bis 65 cm. Dies ergibt sich aus der Querneigung der Gra-



Bild 5. Rollbrücke Ost 1, Bau der Wandscheiben
 Fig. 5. Taxiway Bridge East 1, construction of the wall panels

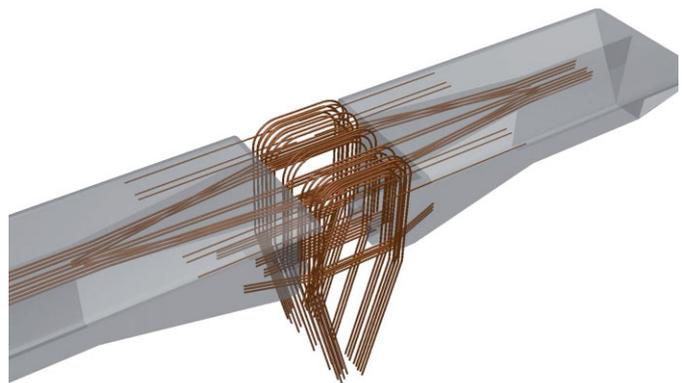


Bild 6. Rollbrücke Ost 1, Bewehrungsplanung Rahmenecke
 Fig. 6. Taxiway Bridge East 1, reinforcement design frame corner

diente, dem Kreuzungswinkel und der orthogonalen Ausrichtung der Fertigteilträger zu den Auflagerwänden. Die Dicke des Ortbetons wurde planungsseitig durch die Anpassung der Höhenlage der Fertigteilträger unter Berücksichtigung der Einhaltung des Lichtraumes der BAB und durch das Dachprofil der Rollbahn optimiert. Infolge der unterschiedlichen Stützweiten und der unterschiedlichen Höhenlagen der einzelnen Träger ist jeder der insgesamt



Bild 7. Rollbrücke Ost 1, Einfädeln der Bewehrung
Fig. 7. Taxiway Bridge East 1, plaited reinforcement



Bild 8. Rollbrücke Ost 1, Betonage der Brückenplatte in einem Gang
Fig. 8. Taxiway Bridge East 1, concreting of the bridge plate in one operation

275 Fertigteilträger ein Unikat mit geringfügigen Abweichungen in seinen Abmessungen. Die Fertigung, Anlieferung und Montage der Fertigteilträger mit Einzelgewichten von 75 bis 90 t stellte eine besondere logistische Herausforderung für die ausführende Baufirma dar, die ein-drucksvoll gemeistert wurde.

Nach Montage der Fertigteilträger und vor Aufbringen der Ortbetonplatte war zunächst die Rahmentragwirkung der Gesamtkonstruktion zu realisieren, um die erforderliche Tragfähigkeit für die nachfolgende Betonage der Ortbetonplatte zu erreichen. Dafür wurden die Bereiche an den Wandköpfen vorab bewehrt und betoniert. Erst anschließend erfolgte bei laufendem Verkehr von BAB und Bahn die Betonage der Ortbetonplatte. Um zeitlich bedingte Schnittgrößenumlagerungen in Brückenquerrichtung zu vermeiden, wurde die Brückenfläche gemäß Planungsvorgabe in *einem* Abschnitt betoniert (ca. 10.000 m³ Beton innerhalb von ca. 60 Stunden, Bild 8). Nach Fertigstellung wurden die Kontinuitätsspannglieder eingeschossen und gespannt. Überbau und Auflagerwände bilden somit ein- bis dreifeldrige Rahmen mit Einzelstützweiten von 26 bis 33 m und Längen von ca. 90 m.

Der Einbau der Betonrollbahn einschließlich der Flüssigkunststoffabdichtung, der Kappen sowie der Seiten-



Bild 9. Rollbrücke Ost 1, Luftbild (© Fraport AG)
Fig. 9. Taxiway Bridge East 1, air photo (© Fraport AG)

fahrbahnen (Bild 9) erfolgte unter laufendem Betrieb der BAB und der Bahn. Dies gilt auch für die Montage der sonstigen Ausrüstungselemente wie z. B. für die Anlagen der Rollbahnbefeuern und die Glatteiswarnanlagen.

3.3 Erddruckfänger

Die Anwendung der integralen Bauweise stellte bei der Planung der Rollbrücke Ost 1 in vielerlei Hinsicht eine Herausforderung dar. So waren bezüglich der Erddruckbelastung auf die Widerlagerwand – insbesondere bei temperaturabhängiger Ausdehnung und Verkürzung des integralen Bauwerks – besondere Überlegungen anzustellen. Eine Ausbildung der Widerlagerwand als Stützwand (z. B. durch Rückverankerung) schied aus. Bei horizontaler Stützung durch die Brückenkonstruktion verursacht die aus dem spitzen Kreuzungswinkel resultierende Bauwerksgeometrie eine unsymmetrische Belastung des Bauwerks. Diesbezügliche Untersuchungen am Gesamtmodell ergeben, dass sich zusätzlich zu den Verformungen in Längs- und Querrichtung die gesamte Rollbrücke um einen imaginären Mittelpunkt dreht. Dies führt bei der Bemessung der eingespannten Gründungspfähle besonders in den Randbereichen zu nicht realisierbaren Bewehrungsgraden. Weiterhin verursacht der Ansatz des Erddruckes eine teilweise Entspannung der werksseitig einzubauenden Vorspannglieder in den Fertigteilplattenbalken, insbesondere im mittleren Rollbahnbereich der Rollbrücke. Diese Spannkraftverluste galt es zu vermeiden.

Erforderlich war also eine Konzeption zur Vermeidung bzw. zur weitgehenden Reduzierung einer Erddruckbelastung auf die Widerlagerwand. Dies führte zu der Entscheidung für den Einsatz von „Erddruckfängern“ hinter dem Widerlager. Geplant und ausgeführt wurden geogitterbewehrte Hinterfüllungskörper (Bild 10) des Systems *Pötzl* [1]. Diese Stützkonstruktion bewirkt, dass der Erdkörper ohne stützende Wirkung der Widerlagerwand standsicher ist. Widerlager und Erddruckfänger sind durch eine kompressible Schicht aus EPS-Platten getrennt. Die Aktivierung des passiven Erdwiderstandes infolge Temperaturexpansion wird so weitgehend verhindert. Für die Bemessung der Widerlager wurde lediglich

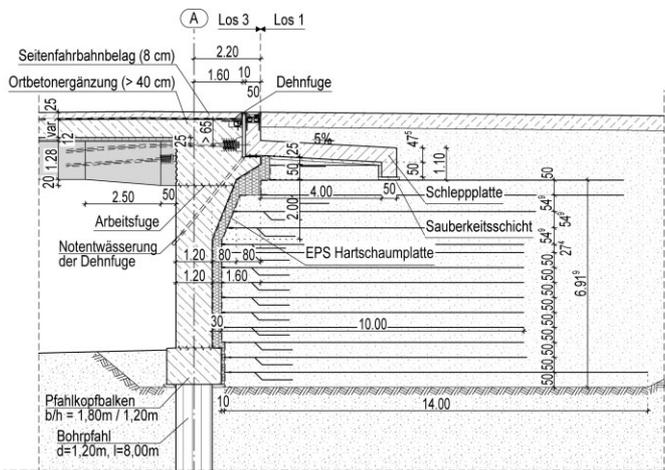


Bild 10. Erddruckfänger, Schnitt
Fig. 10. Geogrid Reinforced Earth, transverse section

ein Rest-Erddruck angesetzt, der infolge der Kompression der Zwischenschicht entstehen kann.

Wegen der statischen und konstruktiven Abhängigkeiten wurde die geogitterbewehrte Hinterfüllungskonstruktion ohne Schnittstelle durch den Planer der Rollbrücken geplant. Die Ausführung von Hinterfüllung und Brücke erfolgte jedoch in unterschiedlichen Baulosen. Nach Fertigstellung der Brückenkonstruktion wurde die Hinterfüllung der Widerlagerwände im Zuge der Erdbaumaßnahmen für die Rollbahndämme eingebaut. Der Einbau von Geogitter und EPS-Platten erfolgte lagenweise in ca. 30 cm dicken Schichten (Bild 11). Diese Arbeiten erforderten eine für den Erdbau ungewöhnlich hohe Präzision. Dabei war sicherzustellen, dass keine unplanmäßige kraftschlüssige Verbindung mit der Brückenkonstruktion entsteht und somit eine ausreichende Abschirmung gewährleistet ist.

Rollbahn und Seitenfahrbahnen werden im Bereich der Erddruckfänger auf Schleppplatten geführt, die an den Widerlagern in zwei Richtungen verschieblich aufgelagert sind. Die Festpunkte der Schleppplatten befinden sich auf den Erddruckfängern, die demzufolge für die auftretenden Verkehrslasten und Bremslasten zu bemessen



Bild 11. Erddruckfänger im Bau
Fig. 11. Geogrid Reinforced Earth under construction

sen waren. Die Relativverschiebungen zwischen Rollbrücke und Erdbauwerk infolge von Temperaturbeanspruchungen werden aufgenommen, ohne zusätzliche Zwangsbeanspruchungen in der Brückenkonstruktion zu erzeugen.

3.4 Fahrbahnübergänge

Die Abmessungen der Rollbrücke, die konstruktive Ausführung der Rollbahn und die hohen Lasten aus dem Flugbetrieb machten die Entwicklung von speziellen Fahrbahnübergängen erforderlich. Zur Anwendung kam ein einschlaufiges Dichtprofil mit einer den Anforderungen des Flugbetriebes angepassten Stahlkonstruktion (Bild 12). Die Übergangskonstruktionen müssen Verformungen von ca. 40 mm in Brückenlängs- und ca. 50 mm in Brückenquerrichtung gewährleisten. Die Fahrbahnübergangskonstruktionen sind an der Rollbrücke Ost 1 ca. 300 m lang. Die der Rollbrücke West 1 erreichen eine Länge von 157 m.

3.5 Technische Ausstattung

Die technische Ausstattung des Ingenieurbauwerks war von Beginn an in die Konzeptionen von Konstruktion, Bauweise und Baufolge einzubeziehen. Dabei war insbesondere zu berücksichtigen, dass das Brückenbauwerk für die unterführte BAB gemäß RABT 2006 [2] als Tunnel gilt und somit die entsprechenden sicherheitstechnischen Anforderungen erfüllen muss. Da die Montage der Fertigteilträger – bis auf kurze nächtliche Sperrpausen – bei laufendem BAB-Verkehr stattfand, waren diese Anforderungen bereits während der Bauzeit zu realisieren. Ab einer überbauten Länge von 80 m war das im Bauzustand befindliche Bauwerk als Tunnel auszustatten. So wurde die für den Endzustand ausgelegte Tunnelbeleuchtung dem Baufortschritt entsprechend bereits während der Bauzeit in Betrieb genommen. In den nächtlichen Sperrpausen wurden parallel zum Auflegen der Fertigteilträger die bereits in der jeweils vorherigen Sperrpause aufgelegten Bereiche ausgerüstet und in Betrieb genommen. Dies erfolgte zeitgleich auch an der Rollbrücke West 1, für deren Montage



Bild 12. Dehnfugenkonstruktion bereit zum Einbau
Fig. 12. Expansion joint ready for installation

und Ausrüstung die gleichen Sperrpausen genutzt wurden. Die erforderliche Energieversorgung musste bereits während der Bauzeit sichergestellt werden. Ein umfassendes Netz aus Versorgungsstrassen mit den dazugehörigen Schachtbauwerken wurde errichtet und ausgestattet. Technische Anlagen und Leitungen wurden vorab installiert.

Die zur technischen Ausstattung gehörenden Anlagen der Feuerlöschtechnik, der zentralen Leittechnik, des Tunnelfunks usw. wurden mit der Fertigstellung der Rollbrücke in Betrieb genommen. Diese Arbeiten wurden mit den zuständigen Stellen des Landes Hessen und der Fraport AG abgestimmt.

Zur technischen Ausstattung der Rollbrücken gehören Betriebsgebäude für die Unterbringung der Energieversorgung, der Steuerung und der zentralen Leittechnik. Die Versorgung der technischen Ausstattung mit Elektroenergie erfolgt im Endzustand redundant aus dem Netz der Fraport AG. Für den Havariefall sind USV-Anlagen vorhanden. Neben diesen elektrotechnischen Anlagen gehört auch die Löschwasser- und -entsorgung zur technischen Tunnelausstattung. An den Rändern der überdeckelten Fahrbahnen wurden Schlitzrinnen mit Tauchwandschächten angeordnet. Die zugehörigen Sammelleitungen, Dükerungen und Auffangbehälter komplettieren dieses vom bestehenden Entwässerungssystem der BAB getrennte System. Die Steuerung und Überwachung der gesamten Tunnelausstattung der Rollbrücken Ost 1 und West 1 erfolgt von der zentralen Tunnelleitstelle des Landes Hessen in Eschwege aus.

3.6 Statische Berechnung und Bemessung

Beim Entwurf und für die statische Berechnung und Bemessung waren umfassende Überlegungen hinsichtlich einer zutreffenden Erfassung des Tragverhaltens anzustellen. Zu berücksichtigen waren dabei neben den bekannten Besonderheiten bei der Berechnung und Bemessung integraler Brücken insbesondere:

- die Kombination von integraler Bauweise und vorge-spannten Fertigteilträgern
- die großen Bauwerksabmessungen und dabei insbesondere die große Brückenbreite und die sich daraus ergebenden Bauteilabmessungen
- die sehr komplexe Bauwerksgeometrie
- der Bauablauf und die Bauzustände

Berechnungen und Bemessungen ausschließlich an vereinfachten Teilmodellen in Brückenlängsrichtung konnten nicht als hinreichend genau angesehen werden. Insbesondere die zutreffende Erfassung des Tragverhaltens in Brückenquerrichtung erforderte parallele Berechnungen am Gesamtsystem. Für die Berechnungen wurden die FEM-Programme von RIB und Infograph verwendet, wobei mit keinem der Programme alle erforderlichen Nachweise geführt wurden. Die Berechnungen wurden laufend durch gegenseitige Vergleichsrechnungen und vergleichende Handrechnungen begleitet. Für die Standsicherheitsnachweise kamen unter anderem das PONTI[®] betonverbund Expert-FEM-System für Betonverbundbrücken inklusive TRIMA[®] fem von RIB Stuttgart [3] zum Einsatz.

Um mit dem Rechenmodell die tatsächlichen Beanspruchungen erfassen zu können, ist bei integralen Bauwerken die wirklichkeitsnahe Modellierung der Steifigkeitsverhältnisse von entscheidender Bedeutung. Dabei sind obere und untere Grenzwerte zu betrachten. Zur realistischen Erfassung der Zwangsschnittgrößen wurden Abminderungen der Steifigkeiten an verschiedenen Bauteilen vorgenommen. Die Steifigkeiten der Wandscheiben wurden unter Berücksichtigung des Zustandes II teilweise auf 60% abgemindert. Für die Bemessung der Pfahlgründung und der Wandscheiben wurden Grenzbetrachtungen unter Berücksichtigung oberer und unterer Grenzwerte der Pfahlbettung durchgeführt und die Pfahlsteifigkeiten örtlich auf 40% reduziert. Auf diese Weise konnten wirtschaftliche Bewehrungsgrade in den betroffenen hochbeanspruchten Bauteilen erzielt werden.

Der geplante Bauablauf erforderte weitergehende statische Untersuchungen und Nachweise. Systemumlagerungen, Querschnittsumlagerungen und Schnittgrößenumlagerungen infolge des Baufortschrittes und unterschiedlicher zu berücksichtigender Lastsituationen wurden umfassend berücksichtigt.

Eine besondere Betrachtung war hinsichtlich des Bauzustandes für die Betonage der Ortbetonergänzung erforderlich. Als Ergebnis dessen sollte bereits vor dem Betonieren der Brückenplatte (nach Auflegen der Fertigteile) eine Rahmenwirkung des Gesamtsystems ausgebildet werden, um eine wirtschaftliche Bemessung für den Lastfall Frischbetonlast zu ermöglichen. Das Rahmensystem aus sehr schlanken Fertigteilträgern und Wandscheiben war für den Betonierlastfall und für den Endzustand zu bemessen.

Weitere Details zur Bemessung, Konstruktion und Bauausführung der Rollbrücke Ost 1 finden sich in diesem Heft im Beitrag auf den Seiten 175–182 [4].

4 Die weiteren Rollbrücken

4.1 Rollbrücke West 1

Die Rollbrücke West 1 befindet sich in 1,8 km Entfernung westlich der Rollbrücke Ost 1 und überführt den Rollweg West über die gleichen Verkehrswege wie die Rollbrücke Ost 1: ICE-Strecke, BAB 3 und eine Betriebsstraße. Die Rollbrücke West 1 folgt hinsichtlich Konstruktion und Bauweise den Prinzipien der Rollbrücke Ost 1. Der Kreuzungswinkel unterscheidet sich mit 64 gon (Bild 13) jedoch von dem der Rollbrücke Ost 1. Dies führt trotz etwa gleicher Breiten der Verkehrswege zu beachtlichen Unterschieden bei den Hauptabmessungen. So fällt die Bauwerksbreite mit ca. 160 m geringer aus als bei der Rollbrücke Ost 1. Widerlager und Auflagerscheiben sind parallel angeordnet. Die Stützweiten betragen von Nord nach Süd 30,40 m, 25,27 m und 25,10 m. Die Gesamtlänge zwischen den Endauflagern beträgt 80,8 m. Die Richtungsfahrbahnen der BAB 3 werden auf einer Länge von 81,50 m überbaut. Die ICE-Strecke wird auf einer Länge von 79,25 m überdeckt. Für die Erstellung des Überbaus der Rollbrücke wurden insgesamt 107 Fertigteilträger verlegt. Für deren Montage wurden die gleichen Sperrpausen genutzt, wie bei der Rollbrücke Ost 1. Hinter den Widerlagern sind ebenfalls Erddruckfänger in Kombination mit Schleppplatten angeordnet.

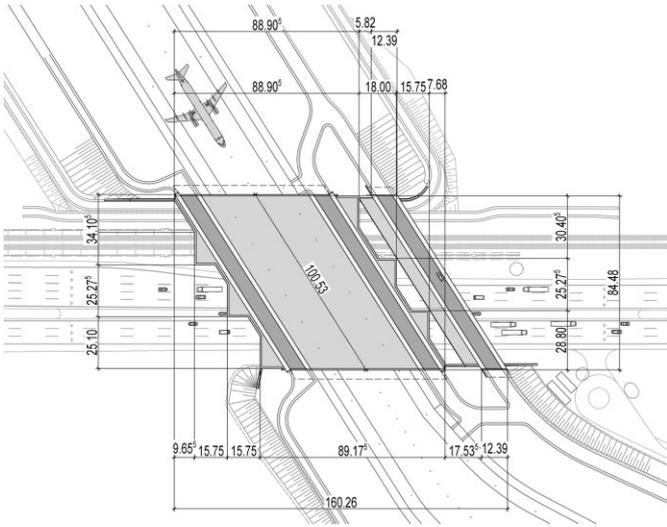


Bild 13. Rollbrücke West 1, Draufsicht
Fig. 13. Taxiway Bridge West 1, plan view

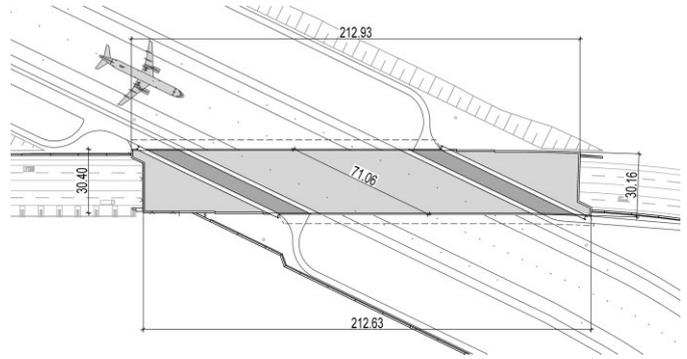


Bild 15. Rollbrücke Ost 2, Draufsicht
Fig. 15. Taxiway Bridge East 2, plan view



Bild 14. Rollbrücke West 1, Leitungsbrücke
Fig. 14. Taxiway West 1, Line Bridge

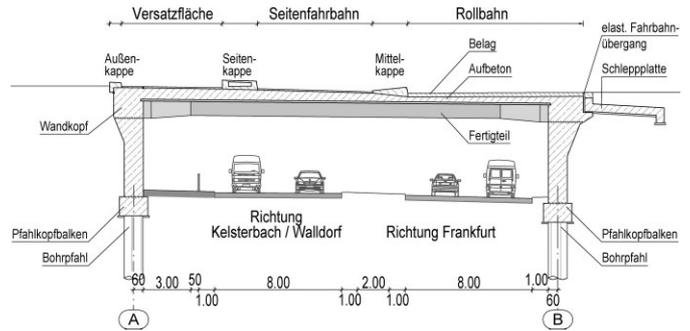


Bild 16. Rollbrücke Ost 2, Schnitt
Fig. 16. Taxiway Bridge East 2, transverse section



Bild 17. Rollbrücke Ost 2, Westportal
Fig. 17. Taxiway Bridge East 2, West Portal

Eine Besonderheit der Rollbrücke West 1 sind die östlich der eigentlichen Rollwegüberführung befindliche Zaunstraßenbrücke und eine Leitungsüberführung. Diese wurden als separate Bauwerke ebenfalls in integraler Bauweise nach dem Konstruktionsprinzip der Rollbrücke ausgeführt. Für beide Überführungen waren 27 Fertigteilträger notwendig (Bild 14).

4.2 Rollbrücke Ost 2

Die Rollbrücke Ost 2 überführt den Rollweg Ost über den vierspurigen Airportring (Kreisstraße K 823) als Einfeldrahmen in integraler Bauweise mit einer lichten Weite zwischen den Widerlagern von 25,50 m (Bilder 15 und 16). Der Kreuzungswinkel von 29 gon ist maßgebend für die sehr große Brückenbreite von 208,80 m. Die Brückenfläche beträgt 6.320 m². Die Gründung erfolgt auf 116 Großbohrpfählen mit einem Durchmesser von 120 cm. Pfähle, Pfahlkopfbohlen und Widerlagerscheiben sind biegesteif verbunden. Die Widerlagerscheiben (Dicke 120 cm, Län-

ge 213,45 m und 212,86 m) wurden fugenlos ausgeführt. Der Überbau besteht aus 92 vorgespannten Fertigteilplattenbalken mit einer fugenlosen Ortbetonplatte. Die Vorspannung der Fertigteilträger erfolgte werksseitig mit jeweils zwei Spanngliedern. Auf der Baustelle wurden nach dem Betonieren der Ortbetonplatte jeweils zwei weitere Spannglieder eingezogen. Zur Aufnahme der Bauwerksverformungen sind an beiden Widerlagern jeweils verschiebbliche Schlepplatten mit Dehnfugenkonstruktionen angeordnet (Bild 17).

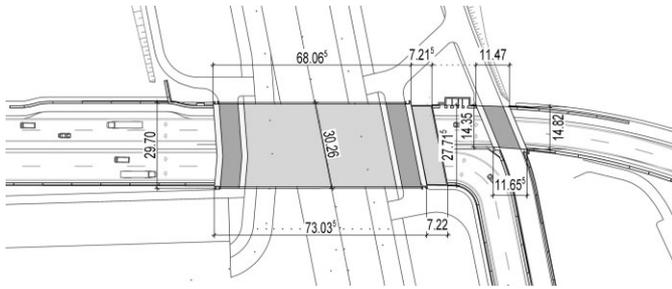


Bild 18. Rollbrücke West 2, Draufsicht
Fig. 18. Taxiway Bridge West 2, plan view

4.3 Rollbrücke West 2

Die Rollbrücke West 2 wurde in konventioneller Bauweise als schlaff bewehrter, zweifeldriger Stahlbetonrahmen konzipiert. Auch bei der Rollbrücke West 2 wurde die fugenlose Bauweise konsequent auf alle tragenden Bauteile angewendet. Unterführter Verkehrsweg in der westlichen Röhre ist der Airportring. In der östlichen Röhre wird eine Vorfeldstraße unterführt. Die Höhenlage des Rollweges West in diesem Bereich machte eine Absenkung des Airportringes um ca. 6 m erforderlich. Daraus resultieren die südlich und nördlich an die Rollbrücke anschließenden Trogstrecken mit den entsprechenden Stützwänden. Die lichten Weiten betragen für die Unterführung des Airportringes 13,25 m und für die Vorfeldstraße 12,25 m. Die überdeckte Länge des Airportringes beträgt 76,20 m. Airportring und Vorfeldstraße werden in getrennten Tunnelröhren unterführt. Die Unterführung des Airportringes erhielt eine Ausstattung nach Tunnelrichtlinie RABT. Die Überwachung der Einrichtungen der Tunnel des Airportringes, der Rollbrücken Ost 2 und West 2, und des Betriebsstraßentunnels (Rollbrücke Ost 3) erfolgt durch die Leitstelle der Fraport AG.

Nördlich der Rollbrücke befinden sich, wie auch an der Rollbrücke West 1, ein Leitungstrogbauwerk und eine Zaunstraßenbrücke. Die Zaunstraßenbrücke überspannt

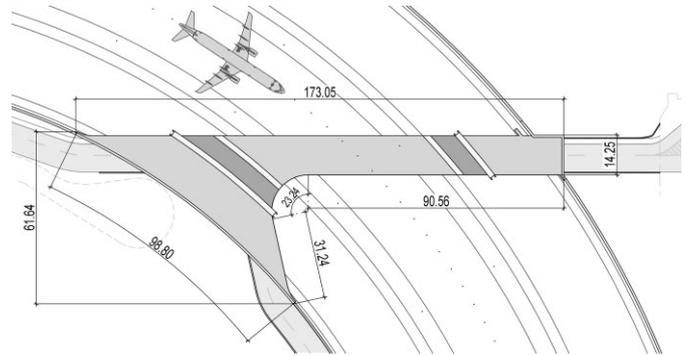


Bild 19. Rollbrücke Ost 3 (Betriebsstraßentunnel), Draufsicht
Fig. 19. Taxiway Bridge East 3, plan view

jedoch nur den Airportring, da die Vorfeldstraße hinter der Rollbrücke im rechten Winkel in Richtung Flughafengelände verschwenkt (Bild 18).

4.4 Rollbrücke Ost 3 (Betriebsstraßentunnel)

Die Rollbrücke Ost 3 befindet sich im Rampenbereich des Rollweges Ost auf dem Flughafengelände. Der Rollweg Ost kreuzt hier eine Betriebsstraße, die um ca. 20 m nach Süden verschoben werden musste. Aufgrund der Rampensituation des Rollweges musste die Betriebsstraße im Bereich der Rollbrücke um ca. 2 m abgesenkt werden. Eine verkehrliche Besonderheit stellt der Anschluss einer südlichen Ausfahrt an die Betriebsstraße innerhalb des Bauwerks dar. Daraus resultierte eine Portalöffnung an der Westseite von etwa 94 m Breite (Bild 19). Das Tragwerk ist ein schlaff bewehrter, flach gegründeter Halbrahmen in fugenloser Bauweise. Die lichte Weite im Regelbereich beträgt 12,0 m. Die überbaute Länge der Betriebsstraße beträgt in Ostwestrichtung ca. 160 m. Die Südausfahrtstrecke ist ca. 37 m lang. Die Rahmenwände sind 1,0 m dick. Die Decke weist eine variable Dicke von 0,80 bis 1,20 m auf. Im Bereich des westlichen Portals wird die Decke durch acht Stützen mit einem Durchmesser von jeweils 0,60 m abgestützt (Bild 20).

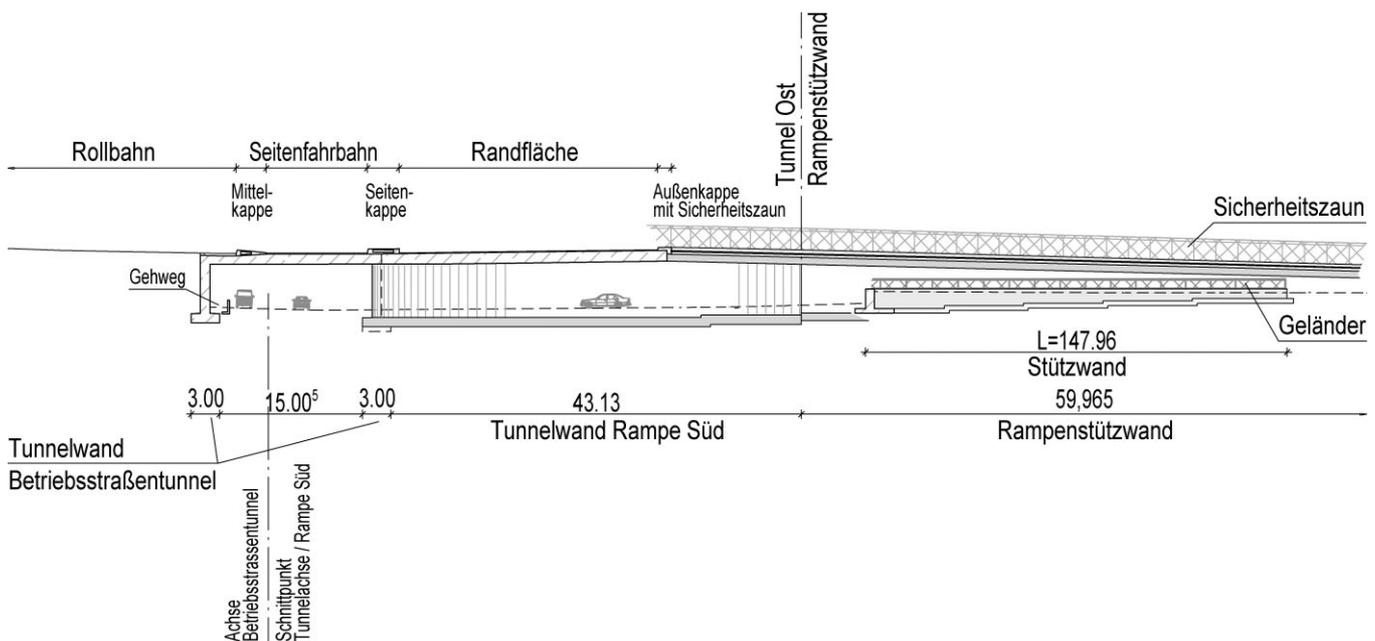


Bild 20. Rollbrücke Ost 3, Schnitt
Fig. 20. Taxiway Bridge East 3, transverse section

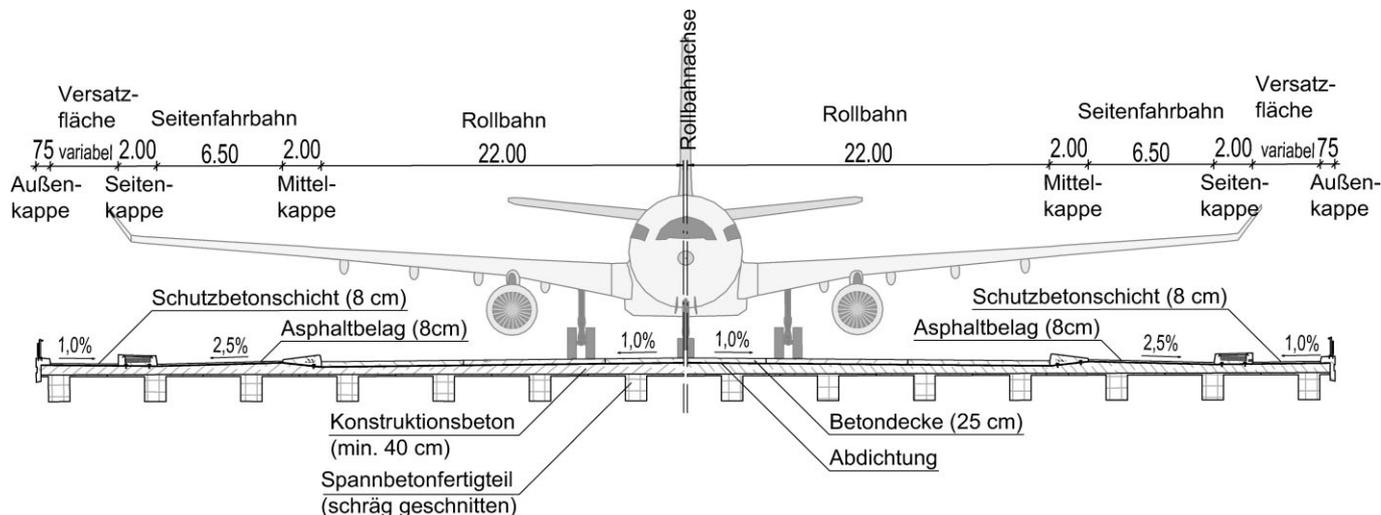


Bild 21. Rollbahn auf Brücken, Schnitt
Fig. 21. Taxiway on Bridges, transverse section

Der Bau der Rollbrücke Ost 3 erfolgte in zwei Bauabschnitten, da das Baufeld auf dem Gelände der Fraport AG sehr begrenzt war und die Zufahrtsmöglichkeiten zu den betrieblichen Einrichtungen gewährleistet werden musste. Erst nach der Verlegung des Tores 25 an die neue Position konnte der 2. Bauabschnitt begonnen werden. Nördlich und südlich schließen an die Portale massive Rampenstützwände an. Der Rollweg ist in diesen Bereichen aus Platzgründen als Fangedamm ausgeführt. Die für den Fangedamm erforderlichen 50 Stützwandblöcke haben Längen von jeweils 14,5 m und sind bis zu 8,75 m hoch.

Die in konventioneller Massivbauweise hergestellten Rollbrücken Ost 3 und West 2 wurden mit den im Brückenbau üblichen FE-Programmen berechnet. Auch bei diesen Bauwerken wurden unter Berücksichtigung des Zustandes II Abminderungen an den Bauteilsteifigkeiten vorgenommen, um eine realistische Abbildung des Tragverhaltens der Konstruktion bei Zwangsbeanspruchungen und eine wirtschaftliche Bemessung zu erreichen.

5 Rollwege für Flugzeuge auf Brücken

5.1 Trassierung und Gestaltung der Rollwege

Die flugbetrieblichen Vorgaben für die Gestaltung des Rollweges bestimmen maßgeblich die Entwürfe der Rollbrücken. Die Trassierungen (Kreuzungswinkel, Gradienten) der Rollwege waren durch den Planfeststellungsbeschluss vorgegeben.

Die weiteren Vorgaben zur Gestaltung der Rollwege ergeben sich aus den Anforderungen des Flugbetriebes, die in den Vorschriften der ICAO geregelt sind. Für die Rollbrücken sind insbesondere die Vorgaben der ICAO, Annex 14 [5] maßgebend. Demnach beträgt die Mindestbreite für einen Rollweg auf einer Rollbrücke für Luftfahrtfahrzeuge mit dem Codeletter E orthogonal zur Rollbahnachse 44 m. Darüber hinaus fordern die Sicherheitsbestimmungen der Luftfahrt beidseitig die Anlage von Seitenfahrbahnen mit Breiten von 6,50 m zur Gewährleistung einer Umfahrt von havarierten Luftfahrzeugen durch Rettungs- und Feuerwehrfahrzeuge. Sowohl zwischen Rollbahnbereich und Seitenfahrbahnen als auch am äußeren Rand der Seitenfahrbahnen werden 2 m breite Kappen vorgesehen. Mit der sich

daraus ergebenden Mindestbreite des Rollweges von 65 m wird der Anforderung Rechnung getragen, dass keine Teile von Flugzeugen mit Spannweiten bis 65 m die Rollbrückenfläche überragen dürfen (Bild 21). Die erforderliche Rollwegbreite führt bei den vorhandenen spitzen Kreuzungswinkeln zu sehr großen Brückenbreiten.

Die Rollwege haben auf allen Rollbrücken ein Dachprofil mit einem beidseitigen Gefälle von lediglich 1%. Das Längsgefälle in Rollwegachse beträgt maximal 1,5%. Der Querschnitt der Seitenfahrbahnen entspricht einer üblichen Bauweise mit einem einseitigen Gefälle von 2,5%. Neben den Seitenfahrbahnen gibt es die Versatzflächen.

Die Seitenfahrbahnen sind durch einseitig befahrbare Mittelkappen von der Rollbahn getrennt. Innerhalb der Mittelkappen werden die Versorgungstrassen für die Rollwegbefeuern geführt. Die Versatzflächen sind durch Seitenkappen von den Seitenfahrbahnen getrennt. Innerhalb der Seitenkappen verlaufen die Versorgungstrassen für die Landebahn. Abweichend von der im Brückenbau sonst üblichen Verlegung von Kabeln in Kabelkanälen sind die Leerrohre auf den Rollbrücken einbetoniert.

5.2 Lasten aus Flugzeugbetrieb

Maßgeblicher Lastfall für die Bemessung der Rollbrücken ist der Flugzeugverkehr. Angesetzt wurde das 750 t Bemessungsflugzeug nach den ADV Leitsätzen „Bemessungslasten für Flugbetriebsflächen“; Ausgabe 1985 [6]. Zusätzlich wurden Radlasten einzelner Flugzeugtypen wie z. B. der A340-500/-600 berücksichtigt. Die Seitenfahrbahnen sind nach DIN-Fachbericht 101 [7] Lastmodell 1 bemessen.

6 Anwendung der Regelwerke auf die Rollbrücken

Der Planung der Rollbrücken wurden die gültigen Regelwerke, wie z. B. die ZTV-ING [8], die DIN-Fachberichte und diverse Merkblätter zugrunde gelegt. Für spezielle Einzelthemen bei der Planung der Rollbrücken stoßen diese jedoch an Anwendungsgrenzen.

Dies trifft beispielsweise auf die konstruktive Ausführung der Betonfahrbahn auf den Rollbrücken zu. Die Fahrbahn besteht wie bei den Rollbrücken des Flughafens Leip-

zig [9] aus einer 25 cm dicken, bewehrten Betonschicht. Die Fahrbahn wird durch Schein- und Pressfugen in einzelne Platten mit Seitenabmessungen bis 7,50 m Seitenlänge unterteilt. Das entspricht einem Verhältnis L/D von 30. Innerhalb der Betonfahrbahnplatten werden diverse Leerrohrtrassen für die Andienung der Rollbahnbefehrerung und von Glatteiswarnanlagen geführt. Grundsätzlich zu klären war die Frage, ob die Fahrbahnplatten zu bewehren sind. Das Regelwerk, insbesondere das Merkblatt für Flugbetriebsflächen [10], sieht eine Bewehrung nicht bzw. nur für Teilbereiche um Einbauten vor. Die entsprechende Regel für Straßenbrücken, die ZTV Beton StB [11] sieht ebenfalls keine Bewehrung im Fahrbahnbeton vor. Hier ist jedoch zwischen Fahrbahnbeton und Konstruktionsbeton eine Vlieschicht vorgesehen, die ein rissfreies Kriechen und Schwinden ermöglicht. Im Falle der Rollbrücken wird die Betonfahrbahn direkt auf eine Flüssigkunststoffabdichtung betoniert, sodass ein planmäßiger Verbund zwischen Beton und Abdichtung zur Ableitung der Bremslasten in die Konstruktion gewährleistet ist. Gleichzeitig verhindert dieser Verbund jedoch das freie Kriechen und Schwinden des Betons, sodass Risse im Fahrbahnbeton nicht ausgeschlossen werden konnten. Daher galt es, diese möglichen Risse zu begrenzen und eine entsprechende konstruktive rissverteilende Bewehrung einzulegen. In Abstimmung mit Bauherrn und Prüfingenieur wurde der Fahrbahnbeton für eine Rissweite von 0,3 mm bemessen.

Ein weiterer Diskussionspunkt während der Planung war auf dem Gebiet der technischen Ausstattung die Wahl der Materialgüte der Befestigungsmittel. Die ZTV-ING, Abschnitt 5 Tunnelbau [8], sieht für Befestigungsmittel von Tunneleinbauten generell die Verwendung von Material der Güte 1.4529 oder 1.4547 vor. Für den speziellen Anwendungsfall bei der Rollbrücke ist diese Anforderung aus der Sicht des Planers überzogen. Die Rollbrücken sind Brückenbauwerke mit einer planmäßigen Lebensdauer von ca. 70 Jahren. Das Erfordernis einer technischen Ausstattung resultiert aus den Bauwerksabmessungen und nicht aus der Bauart. Die Wahl der Materialgüte stellt einen erheblichen Kostenfaktor dar. Die Anwendungskriterien sollten dementsprechend angepasst werden.

7 Termine

Die Erstellung der Entwurfsplanung auf der Grundlage der Planfeststellungsunterlagen sowie die Erstellung der Ausführungsplanung und der Ausschreibungsunterlagen für alle Rollbrücken mit begleitenden Bauwerken und Maßnahmen erfolgten innerhalb eines sehr eng begrenzten Zeitrahmens von ca. 18 Monaten. Eine besondere Herausforderung stellte dabei die termingerechte Fertigstellung der Ausführungspläne für eine Gesamtbrückenfläche von ca. 40.000 m² dar. Insgesamt wurden ca. 600 Schal- und 800 Bewehrungspläne rechtzeitig an die Baustelle geliefert.

Die Bauleistungen wurden nach vorgeschaltetem Präqualifizierungsverfahren in fünf Baulosen an drei verschiedene Baufirmen vergeben. Baubeginn war im dritten Quartal 2009. Neben den technischen Ansprüchen der Bauwerke stellten beengte Platzverhältnisse, schwierige Zu- und Abfahrtsmöglichkeiten und die Gleichzeitigkeit einer Vielzahl großer Einzelbaustellen auf einer Großbaustelle besondere Herausforderungen für die ausführenden Firmen dar. Die Rollbrücken wurden nach knapp zwei Jahren Bauzeit termingerecht fertiggestellt.

Sowohl Planung als auch Umsetzung der Rollbrücken waren durch den engagierten Einsatz und die konstruktive Zusammenarbeit aller Beteiligten geprägt. Der geplante Kostenrahmen wurde eingehalten. Die Rollbrücken wurden zusammen mit der Landebahn Nordwest termingerecht im Oktober 2011 in Betrieb genommen.

8 Zusammenfassung

Die Rollbrücken der Landebahn Nordwest sind die derzeit größten gebauten Brückenbauwerke in integraler fugenloser Bauweise in Deutschland. Die konsequente Anwendung dieser Bauweise bringt enorme Vorteile für den Eigentümer und Betreiber. Aufgrund des Wegfalls aufwendiger Lagerkonstruktionen bietet die integrale Bauweise deutliche Vorteile hinsichtlich Wartung und Robustheit. Die Unterhaltskosten lassen sich dadurch gegenüber einer herkömmlichen Konstruktion deutlich senken.

Tabelle 1. Am Bau Beteiligte

Table 1. Involved parties

Bauherr	Fraport AG, ZIM-R, Frankfurt am Main
Vorplanung, Planfeststellungsunterlagen	Dorsch Consult, Frankfurt Kocks Consult GmbH, Koblenz
Generalplanung, Objekt- und Tragwerks-Planung Ingenieurbauwerke, Bauoberleitung, Bauüberwachung	Ingenieurbüro Dr. Binnewies Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburg
Planung Verkehrsanlagen	Masuch+Olbrisch Ingenieurgesellschaft mbH, Oststeinbek
Planung Technische Ausstattung	RMN-Ingenieure, Norderstedt
Bodengutachten	ELE Erdbaulaboratorium, Essen
Bautechnische Prüfung	Dipl.-Ing. Heinz Steiger, Krebs und Kiefer, Darmstadt
GU Rollbrücken Ost 1, West 1	Max Bögl, Sengenthal
GU Rollbrücken Ost 2, West 2	Ed. Züblin AG, Darmstadt
GU Rollbrücke Ost 2	Lenhardt Weiss GmbH & Co.KG, Satteldorf



Bild 22. Überquerendes Flugzeug
Fig. 22. Plane crossing

Die Landebahn Nordwest wurde zusammen mit den Rollbrücken planmäßig fertiggestellt und zum vorgesehenen Termin am 21.10.2011 in Betrieb genommen (Bild 22). Die Rollbrücken zeigen eindrucksvoll, dass integrale fugenlose Brücken auch in dieser Größenordnung wirtschaftlich realisiert werden können. Die Vorteile dieser Bauart für den Betreiber hinsichtlich Betrieb und Unterhalt der Brücken werden sich in der künftigen Nutzung zeigen. Das Ergebnis der konsequenten Umsetzung des anspruchsvollen statischen Konzeptes sind auch gestalterisch ansprechende Bauwerke. Die gute Zusammenarbeit der Beteiligten (Tabelle 1) während der Planung und der Bauausführung und nicht zuletzt die Bereitschaft der Fraport AG, diesen neuen Weg mitzugehen, hat die Rollbrücken möglich gemacht.

Literatur

- [1] Pötzl, M.: Gutachterliche Begleitung Rollbrücken Flughafen Frankfurt – Landebahn Nordwest. Coburg 2008, unveröffentlicht.
- [2] RABT: Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, FSGV Verlag Köln, Ausgabe 2006.
- [3] RIBTec: PONTI® betonverbund EXPERT-FEM-System für Betonverbundbrücken inklusive TRIMAS® fem, RIB Stuttgart.
- [4] Steiger, H.; Zeißler, T.; Bernhard, M.; Meyer, H.: Integrale Großbrücken mit flexiblen Widerlagern. Erfahrungen beim Bau der Rollbrücke Ost 1 am Frankfurter Flughafen. Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012), Heft 3, S. 175–182.
- [5] ICAO Annex 14: Aerodromes, Volume I – Aerodrome design and operations. International Civil Aviation Organisation, Third Edition 2002.

- [6] ADV-Leitsätze: Bemessungslasten für Flugbetriebslasten. Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen, August 1985.
- [7] DIN-Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken. Beuth Verlag GmbH, März 2009.
- [8] ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. Verkehrsblatt Verlag, 2010.
- [9] von Wölfel, R., Wohlmann, D. und Wurzer, O.: Die Rollbrücken am Flughafen Leipzig-Halle. Beton- und Stahlbetonbau 96 (2001), Heft 5, S. 387–392.
- [10] Merkblatt für den Bau von Flugbetriebsflächen aus Beton. FSGV Arbeitsgruppe Sonderaufgaben, Ausgabe 2002.
- [11] ZTV-Beton StB 07: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. FGSV Verlag Köln, Ausgabe 2007.
- [12] Schmidt, St.: Die Rollbrücken der neuen Landebahn am Flughafen Frankfurt. Tagungsband der 11. Fachtagung Bau- statik-Baupraxis, S. 335–342, Universität Innsbruck, 2010.



Dipl.-Ing. Stephan Schmidt
schmidt@dr-ing-binnewies.de



Dipl.-Ing. Frank Zierath
zierath@dr-ing-binnewies.de

Ingenieurbüro Dr. Binnewies
Ingenieurgesellschaft mbH
Alsterterrasse 10 a
20354 Hamburg



Dipl.-Ing. Horst Amann
h.amann@fraport.de



Dipl.-Ing. Holger Meyer
h.meyer@fraport.de

Fraport AG
Zentrales Realisierungsmanagement ZIM-R
60547 Frankfurt am Main