Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 117 (1999)

Heft: 48

Artikel: Neuer Gepäckfördertunnel im Flughafen Zürich: ein Erfahrungsbericht über PQM im Tunnelbau

Autor: Beck, Gerhard / Hertweck, Michael / Pifferi, Luca

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79829

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Gerhard Beck, Michael Hertweck, Luca Pifferi, Zürich

Neuer Gepäckfördertunnel im Flughafen Zürich

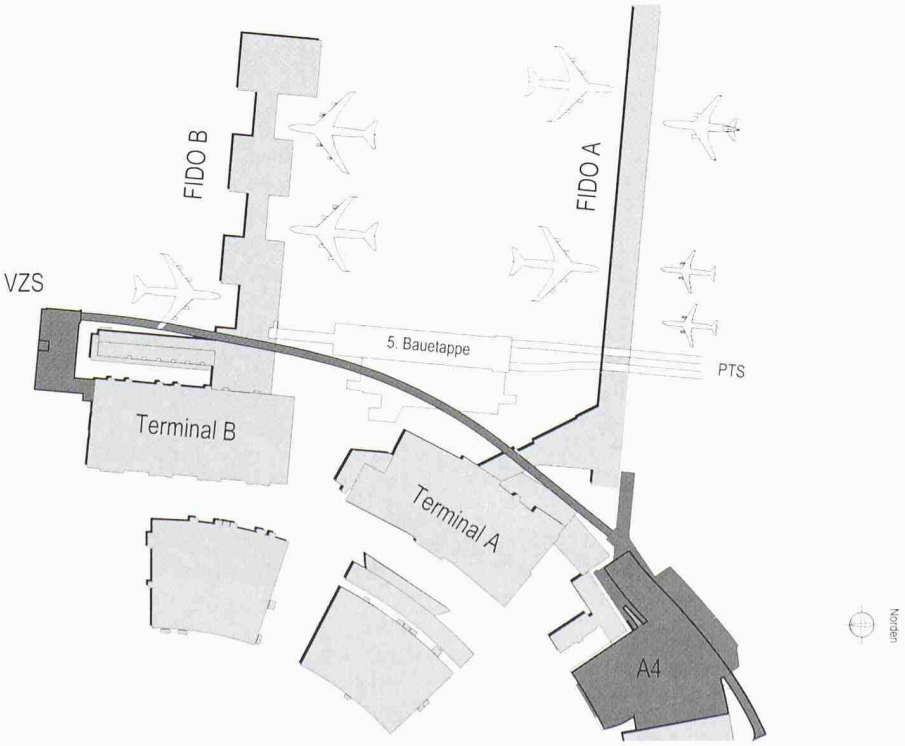
Ein Erfahrungsbericht über PQM im Tunnelbau

Als Teil des neuen Gepäcksystems des Flughafens Zürich, dessen erste Etappe zurzeit im Bau ist, wurde ein Tunnel bergmännisch aufgefahren. Obschon die Länge von knapp 470 m und ein Durchmesser von 5,40 m den Tunnel nicht zu den grossen seiner Art machen, stellte das besondere Umfeld des Flughafens eine Herausforderung bei Projektierung und Ausführung dar. Einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen leistete ein detailliertes Sicherheitsdispositiv, das im Rahmen des projektbezogenen Qualitätsmanagements (PQM) aufgebaut worden war.

Unabhängig von der fünften Ausbauetappe des Flughafens Zürich muss die über 25 Jahre alte Gepäcksortierung im Terminal B ersetzt werden. Gleichzeitig sollen auf der Seite des Gepäckhandlings die Voraussetzungen für den anstehenden Flughafenausbau geschaffen werden. Das neue Gepäcksystem (Bild 1) ist das Resultat intensiver Konzeptstudien, die ein Optimum bezüglich Logistik, Bauvolumen, Bauabläufen und laufendem Flughafenbetrieb zum Ziel hatten. Kernstück bildet die Sortieranlage A4 am Flughafenkopf, zwischen dem Terminal A und dem Operations Center. Südlich des Terminals B werden in einer unterirdischen Verteilzentrale die Gepäckstücke von den Check-in-Schaltern des Terminals B sowie den zukünftigen Schaltern im SBB-Bahnhof zusammengeführt.

Die Verteilzentrale ist über eine rund 470 m lange Gepäckförderstrecke mit der Sortieranlage A4 verbunden. Dazwischen liegen Flugzeugstandplätze mit Heizfeldern und Unterflurbetankungsanlagen, das flach fundierte Fingerdock B und die auf Pfählen fundierte Wurzel des Fingerdocks A. Die Linienführung und Lage der unterirdischen Verbundstrecke wurden durch die bestehenden Bauten und massgeblich auch durch die Projekte der fünften Bauetappe - Airside Center und unterirdische Station des Personentransportsystems zum neuen Dock Midfield - bestimmt.

1
Übersicht über das neue Gepäcksystem am Flughafen Zürich. PTS: Personentransportsystem, VZS: Verteilzentrale Süd, hellgrau die bestehenden Gebäude, dunkler das neue Gepäcksystem



Geologie

Der Flughafen liegt in einem Gebiet nacheiszeitlicher, nicht vorbelasteter Seeablagerungen mit unterschiedlicher Lagerungsdichte und stark variierendem Feinanteil (Bild 2). Der grössere Teil der Strecke zwischen der Verteilzentrale Süd und der Sortieranlage A4 verläuft in vorwiegend sandigen Seeablagerungen, die mit zunehmender Tiefe feinsandig bis siltig, teilweise sogar tonig werden. Rammversuche ergaben eine lockere bis mittlere Lagerungsdichte. Unterhalb der Seeablagerungen liegt eine sehr hart gelagerte Grundmoräne.

Auf den letzten 80 m vor der Sortieranlage A4 trafen die Sondierbohrungen auf eine stark durchlässige Kiesschicht. In diesen Kiesablagerungen sind räumlich begrenzte, horizontale Schichten ohne Feinkornanteil eingeschlossen. Die infolge starker fluviatiler Auswaschung entstandenen reinen Kiese weisen ein grosses Porenvolumen auf. Bei der Ausführung verschiedener bentonitgestützter Grosspfähle (ø 1,70 m) für die Sortieranlage A4 führten sie innerhalb kurzer Zeit zu grossen Bentonitverlusten von bis zu 100 m^3.

Praktisch im ganzen Gebiet liegt ein oberer Grundwasserspiegel rund vier Meter unter der Terrainoberfläche. Ein zweiter, leicht gespannter Wasserspiegel befindet sich etwa acht Meter unter Terrain.

Projekt der Verbundstrecke

Das Variantenstudium bezüglich Baumethode für die Verbundstrecke ergab trotz einer Länge von nur 470 m Kosten- und Zeitvorteile bei der Unterquerung der bestehenden Bauten bei einem bergmännischen Vortrieb. Störungen des Flugbetriebs im sensitiven Bereich der Dockstandplätze konnten minim gehalten werden. Gegenüber einer offenen Bauweise ergab sich keine teure und zeitintensive Stückelung in viele kleine Etappen. Und nicht zuletzt gewährte der bergmännische Vortrieb eine grosse Flexibilität in Bezug auf die Tiefenlage und damit eine grosse Freiheit für die zukünftigen Projekte der fünften Bauetappe.

Auf Grund der vorwiegend in den sandigen Seeablagerungen verlaufenden Linienführung wurde ein Vortrieb mit einer Lockergesteinsmaschine, ein sogenannter Hydroschild, ausgeschrieben, bei dem wäh-

rend des Vortriebs die Ortsbrust mit Bentonitflüssigkeit bzw. für einen Einstieg in die Abbaukammer mit Luftüberdruck gestützt wird. Die Ausbildung des Schneidrads sowie der Schneidwerkzeuge wurde den wechselnden Baugrundverhältnissen angepasst. So waren neben den Werkzeugen für die vorwiegend sandigen Ablagerungen (Schälmesser) auch solche für das Durchfahren der als sehr hart eingestuften Moräne und der zu durchfahrenden Dichtblöcke (Rollenmeissel) eingebaut. Zusätzlich wurde ein Steinbrecher für Steine bis 350 mm Kantenlänge installiert. Eine dreistufige Separieranlage diente dem Trennen des Bodenmaterials von der Bentonitflüssigkeit.

Dank der frühen Koordination mit dem Projekt des Personentransportsystems konnte zudem der Tunneldurchmesser mit 5,40 m so festgelegt werden, dass mit der gleichen Tunnelbohrmaschine (TBM) auch die beiden künftigen Verbindungsröhren vom Flughafenkopf zum Dock Midfield mit je rund 1000 m Länge erstellt werden können.

Sicherheitsmanagement im Rahmen des PQM

Die Sicherheit hat auf dem Flughafen Zürich einen besonders hohen Stellenwert. In erster Linie ist aus der Sicht des Flughafenhalters natürlich die Sicherheit der Passagiere und der Flugzeuge gemeint. Aber auch die dem Ingenieur nahe liegende Sicherheit für die bestehenden und neu zu erstellenden Bauten gehört dazu. Nicht zuletzt umfasst der Begriff zudem die Gewährleistung eines geordneten Flugbetriebs. Alle Bauwerke des neuen Gepäcksystems wurden in ein PQM eingebunden, das sämtliche Beteiligte, den Flughafenbetrieb, die bestehenden und die neuen Bauwerke einschloss. Dies bedingte auch detaillierte Risikobetrachtungen für das Tunnelbauwerk auf Grund der Gefährdungsbilder, woraus sich die Schwerpunkte für das Qualitätsmanagement und die zu erarbeitenden Massnahmen- und Kontrollpläne ergaben. Das begann mit der exponierten Lage des Startschachts unmittelbar neben einem Flugzeugstandplatz und Rollweg (Bild 3), schloss alle acht mit Überlagerungen zwischen 0,50 m und 14 m zu unterquerenden Bauwerke und Flächen sowie zahlreiche Bauten ein, deren Fundationen von der Vorbeifahrt der TBM tangiert waren, und befasste sich natürlich auch mit dem Tunnelvortrieb selbst.

Bei sämtlichen zu unterquerenden Gebäuden wurden zum einen durch ausführliche Planrecherchen die strukturellen Eigenheiten, der Zustand, der Ausbau und die Nutzung erfasst und zum anderen je Gefährdungsbild das Schadenspotential ermittelt. Wo Widersprüche in Angaben oder Plänen auftauchten, erfolgten Sondierungen vor Ort, um eine grösstmögliche Klarheit über die bestehende Situation zu erhalten. Auf Grund von Setzungsabschätzungen und dem vermutlichen Gebäudeverhalten ergaben sich mehrstufige Alarmwerte, die während der Ausführung unterschiedliche Massnahmen auslösen sollten. Für jede Alarmstufe wurden den Risiken entsprechende Massnahmen vorgängig geplant. Auf der Basis von Risiko-Kosten-Nutzen-Betrachtungen wurden sichernde oder verstärkende Massnahmen vor Inangriffnahme des Tunnelvortriebs ergriffen, Materialien und Geräte auf der Baustelle zum Einsatz bereitgehalten oder in gewissen Bauphasen Absperrmassnahmen angeordnet.

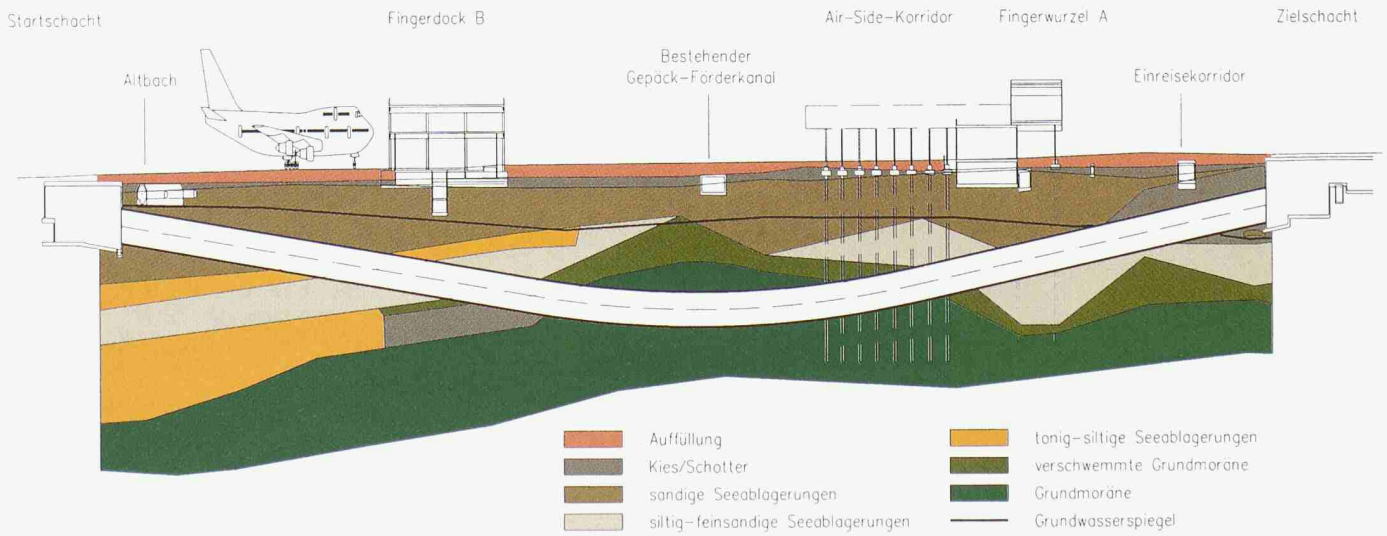
Bauwerksdaten des Tunnels

Länge	467,50 m
Durchmesser innen (fertig)	5,40 m
Durchmesser aussen	6,00 m
Neigung fallend	7%
Neigung steigend	9%
Kurvenradius horizontal	>380 m
Kurvenradius vertikal	1000 m
Überdeckung	6–21 m
Einschalige Tübbingauskleidung	0,30 m
Tübbingelemente	3300 Stk.
Ausbruch	14 600 m^3
Mörtelverbrauch	1970 m^3
Beton	6300 t
Bewehrung	234 t
Rohbaukosten	Fr. 13 Mio.

Wichtige Bestandteile des Qualitätsmanagements waren die Bauwerksüberwachung und die Alarmorganisation. Auch bei der Bauwerksüberwachung wurden entsprechend den Risikobetrachtungen Stufen der Intensität und Art der Überwachungsmassnahmen definiert. So wurden Gebäude mit hohem Schadenspotential durch selbststeuernde Überwachungsgeräte (Digitalnivellier- oder Totalstation) während 24 Stunden in einem festgelegten Intervall kontrolliert und an einen automatischen Alarm gekoppelt. Alle Verkehrsflächen wurden flächendeckend, fortlaufend mit dem Vortrieb, auf Setzungen hin überwacht. Periodische Begehungen ergänzten die Messtechnik. Die Resultate der Messungen und Beobachtungen flossen direkt in die Steuerung des Vortriebs ein.

Die Bauwerksüberwachung wurde in ein Alarmmanagement integriert, das detailliert die Zuständigkeiten, die Erreichbarkeit der verantwortlichen Personen und die Abläufe festlegte. Um ein Aufbie-

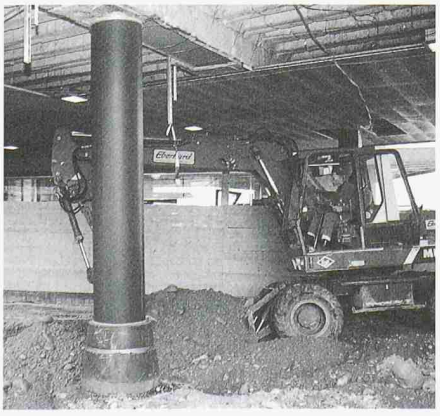
2
Geologisches Längenprofil



3
Blick vom Fingerdock B in Richtung Startschacht während der Montage der Tunnelbohrmaschine

ten sämtlicher Alarmempfangsstellen des Flughafens (Feuerwehr, Sanität usw.) im Falle eines Fehlalarms zu vermeiden, war jeder Weiterleitung eines Alarms eine sofortige visuelle Überprüfung vor Ort durch eine bezeichnete Fachperson vorgeschaltet. Die Funktionstüchtigkeit des Alarmsystems - Unfälle, Brand usw. eingeschlossen - über das ganze Projekt des neuen Gepäcksystems wurde und wird von Zeit zu Zeit in Form von unangekündigten Übungen getestet. Auch wenn das Alarmmanagement während der Bauzeit des Tunnels für einen Ernstfall zum Glück nicht in Anspruch genommen werden musste, trug es doch wesentlich zur Sensibilisierung während der Ausführung bei. Ebenso hatten die Personen vor Ort im Falle eines Ereignisses geregelte Abläufe und Massnahmenpläne zur Hand.

4
Zu entfernende Stütze unter der Fingerwurzel A während des Aushubs der Baugrube



Bewährung der PQM-Massnahmen beim Tunnelvortrieb

Am 22. Februar 1999 wurde offiziell mit dem Vortrieb begonnen. Die Erfahrungen während des gesamten Vortriebs können durchwegs als positiv gewertet werden. Der Einsatz eines Hydroschilds ermöglichte ein verformungsarmes Auffahren des Tunnels. Eine Auswertung des Setzungsverlaufs in Vortriebsrichtung ergab, dass die grössten Verformungen auf der Oberfläche bei der Durchfahrt des Schildschwanzes eintraten. Bis drei Monate nach Beendigung des Vortriebs war nur noch eine geringe Setzungszunahme (< 2 mm) zu verzeichnen. Die vorauseilenden Verformungen (Hebungen und Setzungen) waren vernachlässigbar und lagen im Bereich der Messgenauigkeit. Die Ausdehnung der Setzungsmulde quer zur Vortriebsrichtung beschränkte sich auf einen Bereich von sechs bis sieben Metern beidseits der Tunnelachse.

Die Steuerung des Vortriebs über die Bauwerksüberwachung liess die geforderten Setzungswerte bei sämtlichen Bauwerken einhalten. Die grössten Gebäudeverformungen traten am Fingerdock B mit 6 mm auf. Auf der Hälfte der Tunnelstrecke, vor allem im Bereich der grossen Überdeckung, lagen die Setzungen auf der Oberfläche im Bereich der Messgenauigkeit. Lediglich in zwei kurzen Streckenabschnitten ergab sich eine Überschreitung der festgelegten Werte, deren erste mit 35 mm kurz nach der Unterfahrung des Altbachs auftrat. Sie wurde vermutlich durch eine im Boden verbliebene Spundwandbohle verursacht, die von der Bohrmaschine angefahren und mitgeschleppt wurde (Kasten). Die zweite Überschreitung mit rund 60 mm trat in einer Kiesrinne 15 m vor der Einfahrt in die Sortieranlage A4 auf. Diese Setzungen konnten auf das rasche Ablassen der Bentonitflüssigkeit für die Einfahrt in den Zielschacht (Reduktion des Stützdrucks), die damit verbundene verminderte Stützung der Tunnelfirste sowie die lockere Lagerung des Bodens zurückgeführt werden.

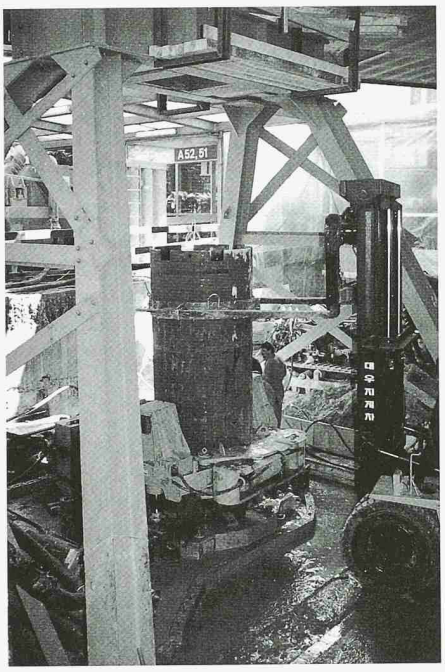
Aber nicht nur die Setzungen konnten im vorgegebenen Rahmen gehalten werden, auch die im voraus geplanten Massnahmen griffen dort, wo sie erforderlich wurden. So zeigte die Analyse erhebliche Risiken im letzten Teil der Tunnelstrecke, in dem ein Bereich stark ausgewaschener Kiese zu durchfahren war. Die Gefahr grösserer Bentonitverluste und damit einer unzureichenden Stützung der Ortsbrust war erheblich. Deshalb wurde ein Massnahmenplan erarbeitet, der die Verlängerung der Vortriebsdauer auf einen 24-Stunden-Betrieb, einen entsprechend grossen Bentonitvorrat und die Einstellung der Dichte der Bentonitflüssigkeit auf den maximal möglichen Wert vorsah. Zusätzlich waren auf der Baustelle Materialien für eine sofortige, zusätzliche Verdickung der Stützflüssigkeit in ausreichenden Mengen einsatzbereit. Zur Verdickung wurde unter anderem ein Polymer vorgesehen. Auf den letzten Tunnelmetern traten, wie befürchtet, zwei grössere Verluste an Bentonit von 150-200 m^3 ein. Dank des schnellen Einsatzes der geplanten Vorkehrungen war die Sicherheit des Vortriebs jederzeit gewährleistet. Materialeinbrüche an der Ortsbrust gab es während dieser Phasen keine.

Das unerwartete Ereignis

Wie sich nach den ersten Tunnelmetern bald einmal herausstellen sollte, verlief der Vortrieb nicht ganz problemlos. Entgegen der Aussage der vorhandenen Planunterlagen traf die TBM nach der Unterquerung des Altbachs auf einen metallischen Gegenstand. Die ersten Hinweise auf eine Unregelmässigkeit lieferten Metallteile, die zu mehrfachen Verstopfungen in der Separieranlage führten. Einzelne Stücke konnten als abgerissene Bohrwerkzeuge identifiziert werden, andere waren Fremdteile. Obwohl sich das Schneidrad mehrmals blockierte, mussten noch rund vierzig weitere Meter Vortrieb erfolgen, bis die Überdeckung genügte, um den Luftüberdruck zur Stützung der Ortsbrust aufzubringen und in die Abbaukammer einsteigen zu können. Dort fanden die Tunnelbauer zu ihrer Überraschung ein 1,2 m langes Stück einer Spundwandbohle, die im Boden verblieben war. Die Schneidwerkzeuge waren teilweise stark beschädigt und mussten sogar ausgewechselt werden. Die bereits in den Bentonitkreislauf eingeschleusten Stahlteile sorgten noch bis zur Hälfte der Tunnelstrecke für Schwierigkeiten vor allem im Bereich der Separationsanlage.

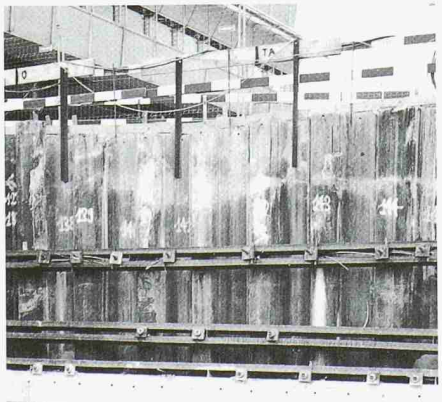
Änderung in letzter Minute ohne Terminauswirkung dank PQM

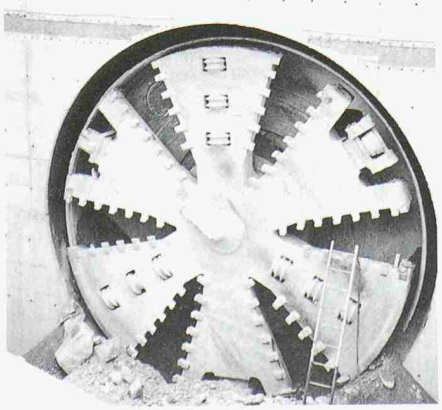
Drei Wochen vor Vortriebsbeginn - die Tunnelbohrmaschine wurde im Startschacht bereits montiert - musste die Linienführung geändert werden. Ausgelöst wurde diese Änderung durch eine Umprojektierung der unterirdischen Station des Personentransportsystems (Bild 1). Jetzt zeigte sich, dass die Wahl eines bergmännischen Vortriebs die richtige gewesen war. Die Linienführung des Tunnels



5
Arbeiten zum Überbohren des Ortbetonpfahls

6
Hydroschild-Tunnelbohrmaschine während der Einfahrt in die Sortieranlage A4





konnte rasch den neuen Randbedingungen angepasst werden. Dank der umfangreichen Projektanalysen und Risikobetrachtungen auf der ganzen Tunnelstrecke gelang es zudem, alle Umplanungsarbeiten innert kürzester Zeit vorzunehmen, so dass termingerecht mit dem Vortrieb gestartet werden konnte.

Die ursprünglich projektierte Linienführung des Gepäcktunnels lag im Bereich der Wurzel des Fingerdocks A in einer Gasse zwischen den Pfahlfundationen. Wegen der geringen seitlichen Abstände des Tunnelquerschnitts von den Pfählen waren Gefährdungsbilder wie Abweichung der Tunnelachse oder Störung der Pfahlfundation detailliert untersucht worden. Schon vor der Änderung der Linienführung lagen somit vertiefte Kenntnisse der bestehenden Strukturen vor. Die für die entsprechenden Risiken erarbeiteten Massnahmenpläne konnten nun für die Umprojektierung genutzt werden.

Wegen der neuen Linienführung kam ein mit 3800 kN belasteter Ortbetonpfahl mit einer Länge von 28 m in den aufzufahrenden Tunnelquerschnitt zu liegen. Die TBM war nicht in der Lage, den bewehrten Pfahl mit einem Meter Durchmesser zu durchfahren. Der Pfahl musste für eine ungehinderte Durchfahrt der Bohrmaschine im Minimum bis in eine Tiefe von 17 m ab Oberkante ausgebaut und durch ein Material geringerer Festigkeit ersetzt werden. Ein unterirdischer Abbau des Pfahls im Zug der Vortriebsarbeiten aus dem engen Raum des Schneidrads heraus wurde wegen des grossen Zeitbedarfs verworfen. Damit blieb nur noch das Entfernen des Hindernisses von der Oberfläche her. Am 26. Februar 1999 wurden die Arbeiten dazu vergeben und am 3. März, also rund eine Woche nach Beginn des Tunnelvortriebs, begann das Abenteuer Pfahlentfernung. Da einerseits ein längerer Stillstand der TBM hohe Kosten verursacht hätte und anderseits der Inbetriebsetzungstermin des Gepäcksystems auf dem Spiel stand, begann ein Wettlauf zwischen Tunnelvortrieb und Pfahlentfernung an einem neuralgischen Punkt des Flughafenbetriebs und unter sehr beengten Platzverhältnissen (Bild 4 und 5).

Bevor mit dem Entfernen des Pfahls begonnen werden konnte, musste die Gebäudelast auf eine auf Mikropfählen fundierte provisorische Stahlkonstruktion umgelagert werden. Im Endzustand wurde die Gebäudelast über zusätzliche Mikropfähle neben dem späteren Tunnelquerschnitt in den Untergrund eingeleitet.

Unter grossem Einsatz vor allem des Unternehmers und dessen Mitarbeitern, die zum Teil in einem verlängerten Zweischichtbetrieb zu je zehn Stunden pro Schicht arbeiteten, gelang es, den Pfahl in 38 Tagen zu entfernen. Für die Tunnelbohrmaschine musste nur ein Tag Stillstand in Kauf genommen werden, der für Revisionsarbeiten genutzt wurde. Die TBM durchfuhr den frisch verfüllten Pfahlbereich problemlos. Der Durchstich des Tunnels beim Zielschacht erfolgte termingerecht am 8. Juli 1999 (Bild 6).

Zusammenfassung

Die sorgfältige Analyse von Gefährdungsbildern und Risiken im Rahmen eines PQM erlaubte eine frühzeitige, vorausschauende Planung von Korrekturmassnahmen bei Abweichungen von den vereinbarten Soll-Werten - selbst auf die späte Projektänderung in der Linienführung konnte dank des dabei erarbeiteten Wissens rasch reagiert werden. Die gezielte Bauwerksüberwachung und das klare Alarmmanagement als Teile des Massnahmen- bzw. Kontrollplans liessen notwendige Anpassungen an der Steuerung der TBM durch Umsetzen vorbereiteter Massnahmen direkt und ohne Zeitverzug einleiten. Die geplanten Massnahmen und getroffenen Vorkehrungen wurden stets auf Grund der drei Aspekte Risiko, Kosten und Nutzen unter Einbezug des Bauherrn und des Unternehmers gemeinsam vereinbart.

Der erfolgreiche Abschluss der Tunnelbauarbeiten bestätigt die Notwendigkeit einer sorgfältigen, systematischen Arbeitsvorbereitung auch durch die Planung, obwohl nicht alle vorbereiteten Massnahmen zum Einsatz kamen. Oder vielleicht gerade deshalb?

Adresse der Verfasser:
Gerhard Beck, dipl. Bauing. ETH SIA, *Michael Hertweck*, Dr. sc. techn., dipl. Bauing., *Luca Pifferi*, dipl. Bauing. ETH, SKS Ingenieure AG, Oerlikonerstrasse 88, 8057 Zürich

Am Bau Beteiligte

Bauträgerschaft:
Flughafen-Immobilien-Gesellschaft, Kloten
Investor Anlagen:
Swissport AG, Kloten
Gesamtplaner:
SKS Ingenieure AG, Zürich
Korreferat:
Bächtold AG, Bern
Örtliche Bauleitung:
Amberg Ingenieurbüro AG, Regensdorf-Watt
Tunnelbau:
Zschokke-Locher AG, Zürich, Prader AG Tunnelbau, Zürich, Wayss & Freitag AG, Frankfurt/Stuttgart, Walo Bertschinger AG, Zürich
Pfahlentfernung
GU Tiefbau AG, Schaffhausen