

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 108 (1990)
Heft: 26

Artikel: Eisenbahnverbindung unter dem Ärmelkanal: Projekt und Ausführungsübersicht über den Bau
Autor: Brugger, Martin
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77461>

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: 16.01.2026

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

Eisenbahnverbindung unter dem Ärmelkanal

Projekt und Ausführungsübersicht über den Bau

Die Idee einer Landverbindung zwischen England und dem Kontinent geht bereits auf das Jahr 1798 zurück, und schon zweimal, 1874 und 1973, begannen Ausbrucharbeiten für einen Kanaltunnel, die aber immer wieder an technischen, finanziellen und politischen Schwierigkeiten scheiterten. Eine Wende brachte das Jahr 1984, als am 30. November die Regierungen von Frankreich und Grossbritannien in einer Absichtserklärung den Bau einer festen Verkehrsverbindung zwischen den beiden Ländern befürworteten. Seit 1986 befindet sich der Kanaltunnel im Bau und soll 1993 in Betrieb genommen werden.

Ablauf

1985

2. April: Vorschläge für privat finanzierte, baureife Projekte, die das Bahn- und Strassenetz beidseits des Kanals fest verbinden, werden ausgeschrieben.

31. Oktober: Auf diesen Termin treffen zehn Angebote ein, die sich auf Strassen und Bahntunnels, Brücke und Brücken-Tunnel-Kombinationen beziehen.

1986

20. Januar: Die beiden Regierungen entscheiden sich für das Projekt des englisch-französischen Baufirmenkonsortiums «Channel Tunnel Group/

France Manche» (CTG/FM), das im wesentlichen zwei eingleisige Bahntunnels mit einem dazwischen liegenden Diensttunnel (Versorgungstunnel) unter dem Ärmelkanal vorsieht. Dazu kommen zwei Verladebahnhöfe für den Huckepackverkehr sowie die not-

VON MARTIN BRUGGER,
ENNENBADEN

wendigen Anschlüsse an Autobahnen und die direkten Tunnelanschlüsse für die staatlichen Eisenbahnen (Bild 1 und 2).

12. Februar: Im Vertrag von Canterbury genehmigen die Regierungen dieses Projekt, und am 14. März unterzeich-

nen sie ein Konzessionsabkommen mit dem Konsortium CTG/FM.

Anfang August entsteht aus CTG/FM die Arbeitsgemeinschaft Transmanche-Link (TML) als Generalunternehmer für die Projektierung, den Bau und die Inbetriebsetzung nach einer Gesamtbauzeit von sieben Jahren und die Eurotunnel (ET) als Bauherr.

13. August: Es folgt die Unterzeichnung des Werkvertrages zwischen der ET und der TML, womit die eigentliche Detailprojektierung beginnt. Die Bauarbeiten beginnen auf der französischen Seite im Oktober 1986 in der Ortschaft Sangatte und auf der britischen Seite erst im April 1987 in Shakespeare Cliff.

15. Oktober: Die TML bestellt die ersten zwei Tunnel-Vollvortriebsmaschinen für den Unterwasser-Abschnitt des Diensttunnels.

1987

29. Juli: Nachdem das französische und britische Parlament dem Abkommen vom 12. Februar und 14. März 1986 zugestimmt haben, tritt das Konzessionsabkommen zwischen den beiden Regierungen und der Eurotunnel in Kraft. Die Konzession für den Bau und Betrieb der festen Verbindung gilt für 55 Jahre, d.h. bis zum Jahr 2042. Grossbritannien und Frankreich werden vor

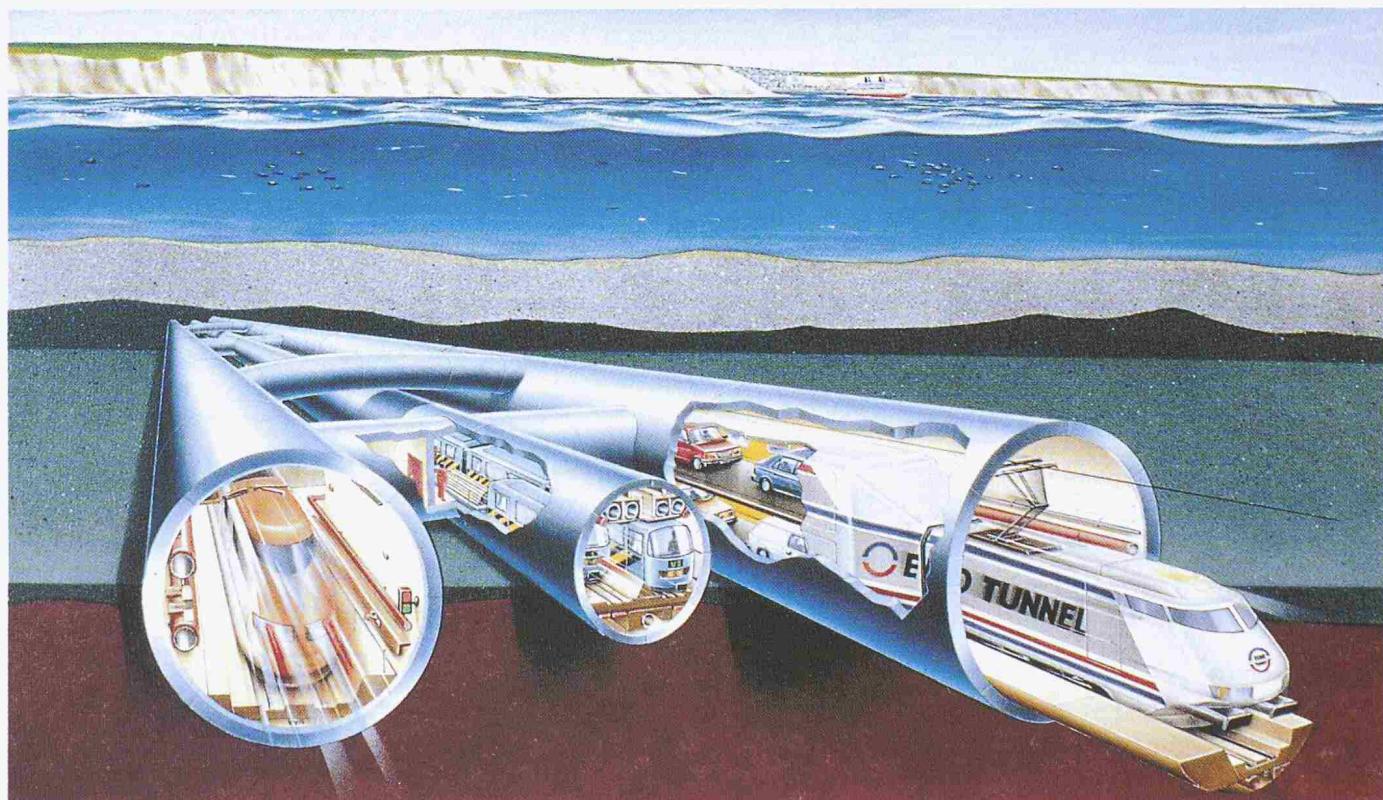


Bild 1. Das Kanaltunnel-System zwischen Grossbritannien und Frankreich. Schnitt durch die drei parallelen Tunnelröhren mit einer Gesamtlänge von je 50,5 km (Zeichnung Franck)

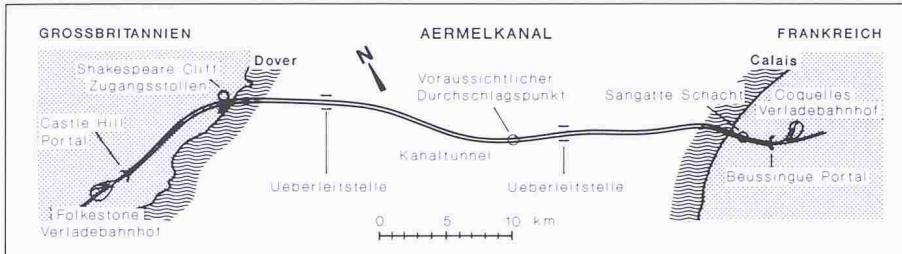
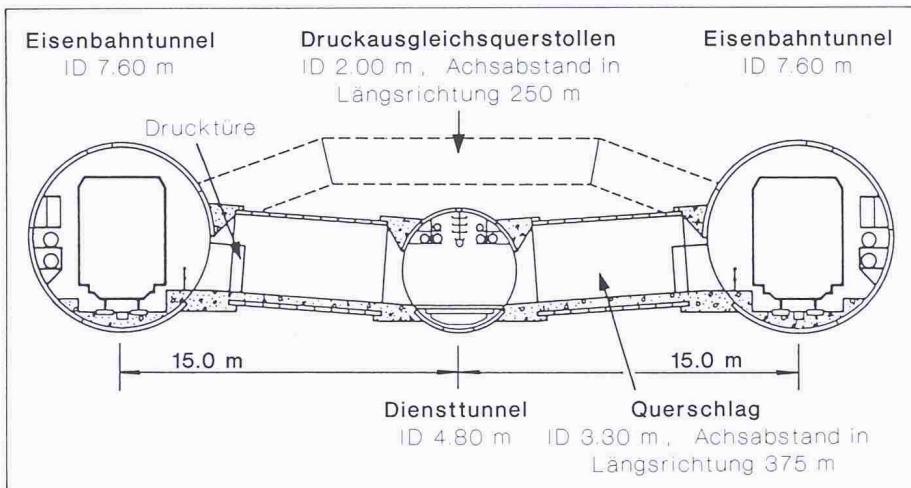


Bild 2. Übersichtsplan der Eisenbahnverbindung unter dem Ärmelkanal



2020 keine Konzession für eine weitere feste Verbindung erteilen und bis 2042 auch keine feste Verbindung mit öffentlichen Geldern und Garantien unterstützen. Eine Kommission der beiden Regierungen erhält den Auftrag, die Einhaltung der Sicherheitsauflagen und Vorschriften über den Umweltschutz zu überwachen.

Oktober: Frankreich beschließt, den Bau der Strecke TGV Nord (Train à grande vitesse von Paris nach Brüssel bis zur belgischen Grenze mit Anschluss von Lille) an den Kanaltunnel rechtzeitig zur vorgesehenen Eröffnung 1993 abzuschließen.

November: Die Eurotunnel und ein internationales Bankenkonsortium (vorerst 198 Banken, davon 11 schweizerische) unterzeichnen ein privates Finanzierungsabkommen für die Bereitstellung eines Kredites von 5 Mrd £ (rund 13 Mrd Schweizer Franken). Das Eigenkapital (Aktienkapital) der Eurotunnel beträgt 1 Mrd £.

Projektbeschreibung

Tunnelsystem

Das Tunnelsystem (Bild 3) besteht aus drei parallelen Tunnels: zwei in einem Achsabstand von 30 m verlaufenden eingleisigen Eisenbahntunnels (Innendurchmesser 7,6 m) und einem dazwischenliegenden Diensttunnel (Innendurch-

durchmesser 4,8 m). Die Eisenbahntunnels sind aus Sicherheitsgründen mit durchgehenden Laufstegen versehen. Der Diensttunnel enthält Belüftungs-, Sicherheits- und Wartungsanlagen und kann im Notfall als Fluchtweg dienen.

Die drei Tunnelröhren werden alle 375 m durch Querschläge miteinander verbunden (Innendurchmesser 3,3 m). Im Notfall stehen somit pro Zug (Länge 750 m) mindestens zwei Fluchtwiege in den Diensttunnel zur Verfügung.

Zusätzlich werden Druckausgleichsquerschläge mit einem Innendurchmesser von 2,0 m alle 250 m über den Diensttunnel hinweg die Verbindung zwischen den Eisenbahntunnels schaffen. Durch diese werden die Luftdruckunterschiede vor und hinter den fahrenden Schnellzügen (Kolben- und Sogwirkung) abschnittsweise mit dem anderen Eisenbahntunnel ausgeglichen. Wie umfangreiche aerodynamische Modell- und Grossversuche (unter anderem auch im Simplontunnel) gezeigt haben, kann durch diese Querschläge die erforderliche Zugkraft der Lokomotive wesentlich reduziert werden (Bild 4).

Die drei parallelen Tunnelröhren mit einer Gesamtlänge von je 50,5 km zwischen dem französischen Beussingue-Portal und dem britischen Castle-Hill-Portal verlaufen zunächst auf einer Länge von 3,3 km unter dem französischen Festland und verlassen die Küste 35 m unter dem Meeresspiegel. 37,9 km misst der Tunnelabschnitt unter dem

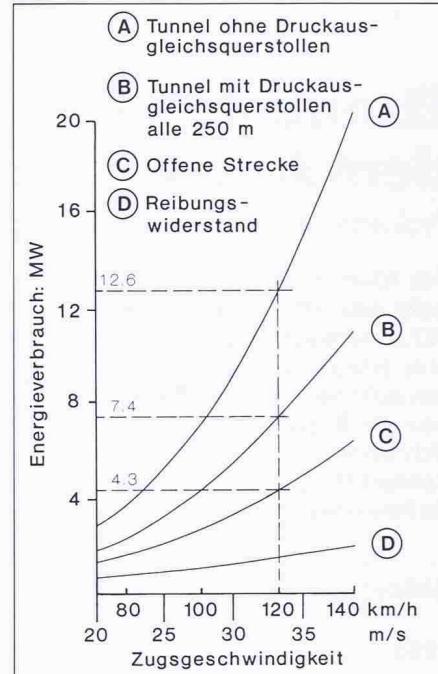


Bild 4. Einfluss der Druckausgleichsquerschläge auf den Energiebedarf

Bild 3. Tunnelquerschnitt

Meer, wobei der tiefste Punkt mit 115 m unter dem Meeresspiegel rund 25 km von der französischen Küste entfernt erreicht wird.

An dieser Stelle beträgt die Felsüberdeckung über dem Tunnelfirst rund 75 m. Die folgenden 9,3 km beginnen an der britischen Küste in einer Tiefe von 45 m und treten bei Castle Hill an die Oberfläche.

Geologische Verhältnisse

Das nachstehende Tunnel-Längenprofil (Bild 5) zeigt die Gesteinsfolge von oben nach unten betrachtet, die aus folgenden fünf Schichten unterschiedlicher Art besteht:

- Weisse Kreide (White Chalk): verwittert und wasserführend
- Graue Kreide (Grey Chalk): wesentlich härter als weisse Kreide, z.T. verwittert und wasserführend
- Blaue Kreide (Blauer Kreidemergel = Chalk Marl): standfester, einheitlicher, relativ weicher Fels, praktisch ohne Verwitterungen oder Verkarstungen, gilt als wasserundurchlässig wegen des hohen Gehalts an tonigen Bestandteilen. Die Schicht weist eine mittlere Mächtigkeit von rund 30 m und eine Druckfestigkeit von 20–40 MN/m² auf, die für den Tunnelbau mit Vollschnittramassen geeignet ist. Allerdings stellten geologische Untersuchungen in der französischen Tunnelhälfte stellenweise wasserundurchlässige, weniger standfeste Verwerfungszonen fest.

□ **Blauer bis grauer, fossiliensreicher Meer-Ton (Gault Clay):** weicher, plastischer, wasserundurchlässiger Ton, der bei Belastung zu ungleichmässiger Deformation neigt.

□ **Grünsand (Greensand):** Wechselnde Ablagerung von schwach verkittetem Sand und Ton.

Tunnelachse

Die Linienführung des Tunnels wurde weitgehend durch den Verlauf der blauen Kreideschicht bestimmt. Bei der ursprünglich vorgesehenen maximalen Zuggeschwindigkeit von 200 km/h hat die Tunnelachse den Bau von Geleisen mit einem Radius von mindestens 4200 m mit einer Neigung von höchstens 1,1% ermöglicht (bei einem minimalen vertikalen Ausrundungsradius von 15 000 m und mit einer Überhöhung von höchstens 50 mm).

Für den Tunnelverlauf unter dem Meeresgrund wurden folgende Kriterien aufgestellt: Distanz zwischen Oberkant der Schicht «Blauer bis grauer, fossiliensreicher Meer-Ton» und der Tunnelsohle in der Regel 5 m, mindestens aber 3 m, und Höhe der Tunnelüberdeckung mit der Schicht «Blaue Kreide» in der Regel 5 m, mindestens aber 3 m, und einer minimalen Gesamt-Tunnelüberdeckung von 19 m.

Überleitstellen

Die beiden eingleisigen Eisenbahntunnels münden an zwei Stellen, die je rund 16 km vom französischen und britischen Portal entfernt sind, in je eine Kaverne von 156 m Länge, 20 m Breite und 14,5 m Höhe (sog. Überleitstellen), wo Kreuzungsanlagen der Gleise die Möglichkeit bieten, den Bahnverkehr auf einzelnen Tunnelabschnitten für Wartungs- und Reparaturzwecke vorübergehend einzustellen (Bild 6). Der Diensttunnel wird an diesen Kavernen vertieft vorbeigeführt. Damit im Normalbetrieb die Eisenbahntunnels getrennt belüftet werden können, ist in den Kavernen zwischen den zwei Gleisen ein rund 156 m langes schweres Schiebertor vorgesehen.

Pumpstationen

In fünf grossen Pumpstationen wird das einsickernde Bergwasser aus den Tunnels gesammelt und durch Rohrleitungen im Diensttunnel zu den Kläranlagen an den beiden Küsten gepumpt.

Verladebahnhöfe

Die Abfertigung sowohl der regulären direkten Personen- und Güterzüge der französischen und britischen Staatsbahnen sowie der speziellen Huckepackzüge erfordern grosse Neuanlagen. Die von Eurotunnel eingesetzten Hucke-

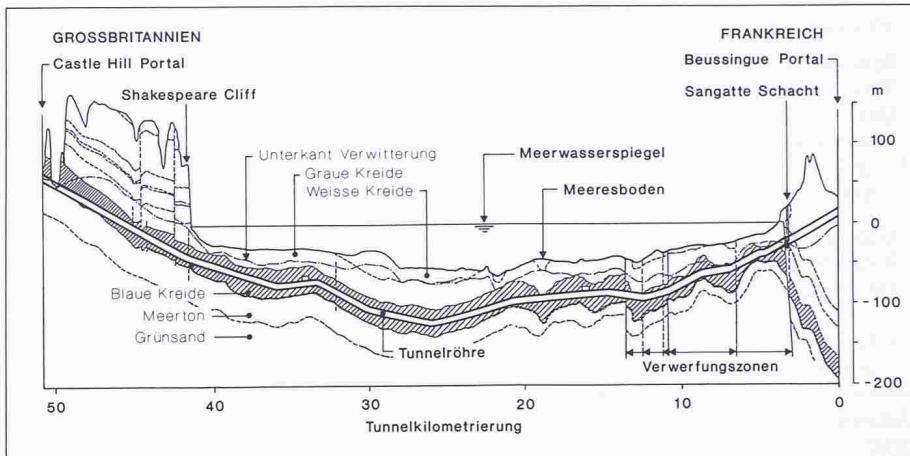


Bild 5. Längenprofil mit geologischen Formationen

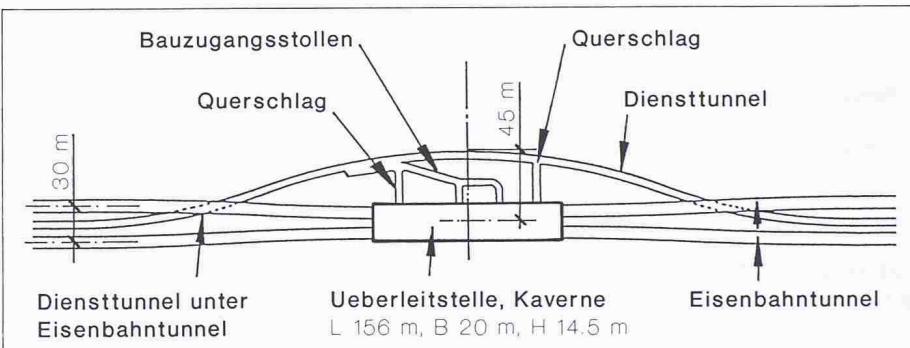


Bild 6. Grundriss-Skizze der britischen Überleitstelle

packzüge verkehren nur zwischen den beiden Verladebahnhöfen in Coquelles auf französischer und Folkestone auf der britischen Seite. Beide Terminals, die zusammen eine Fläche von 850 ha beanspruchen, sind mit Wendeschleifen versehen, die den Huckepackzügen eine Umkehr ohne Rangieren oder Rückwärtsfahrt ermöglichen. Nach Verlassen der Autobahn gelangen die Fahrzeuge über einen direkten Anschluss in den Verladebahnhof, wo sie nach Entrichten der Tunnelgebühr und Erledigen der Ausreiseformalitäten über Verladerampen zu dem wartenden Huckepackzug gelangen.

In den Terminals sind neben den Betriebs- und Versorgungszentralen auch die restlichen Einrichtungen für den Unterhalt, die Verwaltung sowie für Notfälle untergebracht.

Verkehrsprognose

Der Kanaltunnel verbindet dicht bevölkerte Ballungsräume. Im Umkreis von 100 britischen Meilen (160 km) leben rund 23 Mio. Menschen, im Umkreis von 200 Meilen rund 59 Mio. und im Umkreis von 300 Meilen rund 103 Mio. Im Jahre 1985 wurden über den Ärmelkanal im Schiffs- und Flugverkehr 48 Mio. Personen, wovon rund 60% per Flugzeug und 40% per Schiff, sowie 60 Mio. Bruttotonnen Fracht befördert.

Im Unterschied zum Personen-Schiffverkehr konzentriert sich der Frachtverkehr nicht so sehr auf die Route Calais-Dover, sondern verteilt sich auf die französischen, belgischen, holländischen und britischen Kanalhäfen.

Für die Jahre 1993 und 2003 sind die Prognosen für das Verkehrsaufkommen zwischen dem Kontinent und Großbritannien verteilt auf die einzelnen Verkehrsträger in Tabelle 1 wiedergegeben. Rund die halbe Transportleistung des Kanaltunnels wird den französischen und britischen Staatsbahnen mit ihrem eigenen Rollmaterial zur Verfügung gestellt.

Auf dieser Verkehrsprognose beruht der Nachweis der Wirtschaftlichkeit des Kanaltunnels; das Projekt bleibt auch bei Annahme eines etwas geringeren Verkehrsaufkommens, gewissen Erhöhungen der Baukosten und z.T. tieferen Verkehrstarifen wirtschaftlich.

Transportleistung der Huckepackzüge

Die Prognose über die Transportleistung der Huckepackzüge in den Jahren 1993 und 2003 beruht auf Annahmen (gemäss Tabelle 2) über die Zahl der Fahrzeuge, die in den beiden Verladebahnhöfen pro Stunde reibungslos auf die Züge gebracht werden können.

Verkehrsarten	1993	2003
Personenverkehr in Mio. Personen		
Total am Ärmelkanal	77	110
Davon durch den Kanaltunnel Total	30	41
- in Huckepackzügen von Eurotunnel	15	21
- in Transitzügen der französischen und britischen Staatsbahnen	15	20
Güterverkehr in Mio. Tonnen		
Total am Ärmelkanal	91	135
Davon durch den Kanaltunnel Total	15	24
- in Huckepackzügen von Eurotunnel	8	12
- in Transitzügen der französischen und britischen Staatsbahnen	7	12

Tabelle 1. Prognose des Personen- und Güterverkehrs am Ärmelkanal für 1993 und 2003

Fahrzeugarten	1993		2003	
	In Spitzenzeiten des Reise- verkehrs	des Güter- verkehrs	In Spitzenzeiten des Reise- verkehrs	des Güter- verkehrs
Personenwagen				
- bis 1,85 m hoch	570	185	665	220
- über 1,85 m hoch	100	30	120	40
Cars	65	20	74	25
Lastfahrzeuge	40	100	55	130

Tabelle 2. Höchstzahl von Fahrzeugen, die pro Stunde mit den Huckepackzügen in einer Richtung abgefertigt werden können

Objekte	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Baustelleneinrichtungen								
• Sangatte		—						—
• Shakespeare Cliff		—						—
Tunnels								
• Diensttunnel unter dem Meer			—					—
• Diensttunnel unter dem Festland			—	—				—
• Eisenbahntunnels unter dem Meer			—	—				—
• Eisenbahntunnels unter dem Festland			—	—				—
Verladebahnhöfe			—	—				—
Feste elektromech. Anlagen (Montage)								
• Elektrizitätsversorgung								—
• Geleise und Fahrleitung								—
• Belüftung, Kühlung, Wasserversorgung, Entwässerung								—
• Kontroll- und Nachrichtenverb.								—
Rollmaterial								—
• Lokomotiven (Lieferung)								—
• Spez. Eisenbahnwagen (Lief.)								—
Prüfung und Abnahme sämtlicher Anlagen und Inbetriebsetzung								—
Betriebseröffnung								○

Tabelle 3. Bauprogramm

Überschritten werden diese Höchstzahlen nur während rund 30 Stunden pro Jahr, in denen alle 7 Minuten ein voller Spezialzug (sog. Shuttle-Zug) die beiden Bahnhöfe verlässt. Da gleichzeitig alle 7 Minuten auch ein Personen- oder Güterzug der französischen und britischen Staatsbahn in beiden Richtungen verkehren kann, liegt die dichteste Zugsfolge somit bei 3½ Minuten in einer

Richtung. Ausserhalb der Spitzenzeiten richtet sich die Zugsfolge nach dem Verkehrsaufkommen.

Aus Sicherheitsgründen werden Personen und Lastfahrzeuge in separaten Spezialzügen befördert, deren Gesamtlänge rund 750 m beträgt. Der Spezialzug für Personenwagen und Cars besteht aus zwei Wagengruppen mit je 14 geschlossenen, ein- und zweistöckigen

Eisenbahnwagen von 4 m Breite, 5 m Höhe und 25 m Länge und befördert durchschnittlich 135 Fahrzeuge. Die Wagen sind geräuschisoliert, belüftet und beleuchtet und bieten dadurch einen hohen Fahrkomfort. Der erste und letzte Wagen jeder Gruppe ist für den Ein- bzw. Auslad bestimmt. An der Zugspitze und am Zugende befindet sich je eine elektrische Hochleistungskomotive mit einer Leistung von 5,6 MW. Der Reisende kann sich während der Fahrt entweder im Fahrzeug oder daneben aufhalten.

Auch der Spezialzug für Lastfahrzeuge mit total 24 Wagen und einem maximalen Transportgewicht von 1056 Tonnen besteht aus zwei Wagengruppen mit je 14 geschlossenen einstöckigen Eisenbahnwagen von 4 m Breite, 5 m Höhe und 20 m Länge. Der vorderste und hinterste Wagen jeder Gruppe dient auch hier dem Ein- und Auslad, und an der Zugspitze sowie am Zugende steht auch hier je eine elektrische Hochleistungskomotive mit einer Leistung von 5,6 MW.

Vorerst ist der Einsatz von 18 Spezialzügen, je 9 für den Personen- und den Güterverkehr, geplant. Das hiezu benötigte Rollmaterial wurde bereits am 26. Juli 1989 bestellt. Die Lokomotiven werden mit modernster ABB-Antriebstechnik versehen sein.

Die Geschwindigkeit der Huckepackzüge dürfte durchschnittlich 117 km/h erreichen, bei einer Höchstgeschwindigkeit von 160 km/h. Dies entspricht einer durchschnittlichen Fahrzeit zwischen den Verladebahnhöfen von 35 Minuten, wovon 25 Minuten im Tunnel. Rechnet man weitere 25 Minuten für Abfertigung und Wartezeiten, so ergibt sich eine Gesamtreisezeit von einer Stunde, was gegenüber dem Fährschifftransport eine Zeitsparnis von 1,5 Stunden bedeutet. Die Kanaltunnel-Verbindung ist zudem rund um die Uhr in Betrieb und wetterunabhängig. Die Reisezeit von Paris nach London (von Stadtmitte zu Stadtmitte) beträgt im Flugzeug 3 Stunden, im Schnellzug durch den Kanaltunnel 4,25 Stunden und mit den geplanten TGV 3 Stunden. Auf der britischen Seite wird die Schnellbahnverbindung nach London allerdings kaum vor dem Jahr 2000 gebaut sein.

Bauausführung

Organisation und Bauprogramm

Bauherr und Generalunternehmer mit einer Belegschaft von rund 10 000 Personen Ende 1989 teilen sich in folgende Aufgaben:

Eurotunnel als Bauherr:

- Kontakt mit den Aktionären,
- Abschluss eines Kreditvertrages mit dem Bankenkonsortium,
- Abschluss eines Benützungsvertrages mit den französischen und britischen Staatsbahnen,
- Abschluss eines Konzessionsvertrages und Zusammenarbeit mit der gemischtstaatlichen Aufsichtsbehörde (Intergovernmental Commission IGC),
- Abschluss von Versicherungen,
- Ausübung der Oberaufsicht über Projektierung und Bauausführung und Zahlungsverkehr mit Generunternehmer.

Eine Bauabteilung von Eurotunnel ist zuständig für die Oberaufsicht in Fragen der Projektierung und Bauausführung. Nach Beendigung der Bauarbeiten wird sie in eine Ingenieur- und Unterhaltsabteilung umgewandelt werden.

Mit der Prüfung und Inbetriebnahme der festen elektromechanischen Einrichtungen sowie des Rollmaterials ist eine besondere Betriebsabteilung betraut. Was die Bau- und Betriebssicherheit sowie Umweltfragen betrifft, arbeitet Eurotunnel eng mit der Aufsichtsbehörde IGC zusammen. Vorwiegend für diesen Zweck hat Eurotunnel eine unabhängige Ingenieurgruppe (maître d'oeuvre) als Beraterin zugezogen.

Transmanche-Link als Generalunternehmer:

- Projektierung, Bau und Inbetriebsetzung der Anlagen in einer Bauzeit von 7 Jahren.

Daran sind je 5 britische und französische Baufirmen beteiligt. Auf britischer Seite die Arbeitsgemeinschaft Translink Joint Venture mit den Firmen Balfour Beatty, Costain, Tarmac, Taylor Woodrow und Wimpey und auf französischer Seite die Arbeitsgemeinschaft Transmanche GIE mit den Firmen Bouygues, Dumez, Spie Batignolles, Société Auxiliaire d'Entreprises und Société Générale d'Entreprises.

Zur Bewältigung der komplexen Aufgaben bestehen zwei französisch-britische Managementgruppen: eine für die Projektierung und eine für den Bau. Erste mit Sitz in Sutton, 25 km südlich von London, mit 400 Mitarbeitern im Sommer 1989. Sie hat Ingenieurunternehmen der beiden Länder mit der Detailprojektierung beauftragt. Die andere Gruppe für den Bau befindet sich in Folkestone und Calais und beschäftigt ebenfalls 400 Personen. Sämtliche Bau-, Fabrikations- und Montagearbeiten werden an Dritte, d. h. an Sub-Unternehmer und Lieferanten vergeben.

Das Bauprogramm ist in Tabelle 3 wiedergegeben.

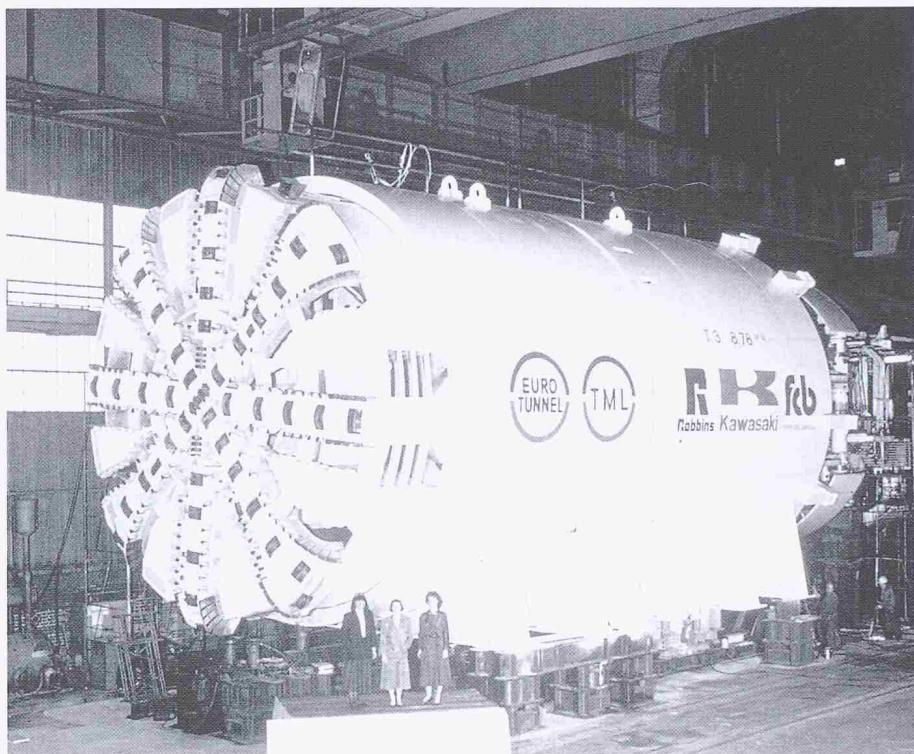


Bild 7. Tunnel-Vortriebsmaschine (Bohrkopf mit Schild), die für die zwei Eisenbahntunnels auf der französischen Seite unter dem Meeresboden im Einsatz stehen

Baustellen

An der Kanalküste befinden sich die beiden Tunnelangriffspunkte Sangatte und Shakespeare Cliff, von denen aus der Vortrieb der drei parallelen Tunnelröhren praktisch gleichzeitig sowohl meerwärts wie landeinwärts begann.

Sangatte, mit einem vertikalen Tunnelzugangsschacht von 65 m Tiefe und 55 m Innendurchmesser, liegt 300 m von der flachen französischen Kanalküste entfernt. Auf der Schachthöhe erfolgte die Montage der Tunnel-Vortriebsmaschinen.

Der andere Baustellen-Installationsplatz mit direktem Eisenbahnanschluss ist Shakespeare Cliff, hart an der britischen Küste, von dem aus zwei schräge Stollen von je 500 m Länge zu einem vertikalen Zugangs- und Entlüftungsschacht und damit zur eigentlichen Tunnelbaustelle führen. In sechs unterirdischen Kavernen erfolgte die Montage der Tunnel-Vortriebsmaschinen.

Nach Fertigstellung der Tunnels dienen die Schächte von Sangatte und Shakespeare Cliff als dauernde Anlagen für Belüftung, Kühlung, Feuerschutz, Entwässerung usw. der Tunnels.

Tunnelausbruch

Der Ausbruch der drei je 50,5 km langen Kanaltunnels erfolgt mechanisch durch 11 mit Schild versehene Vollschnitt-Bohrmaschinen, nachstehend TBM genannt (Bild 7).

Während von Shakespeare Cliff aus je drei TBM landeinwärts und meerwärts

arbeiten, sind vom Sangatteschacht aus drei TBM meerwärts und zwei landeinwärts eingesetzt, nämlich eine für den Diensttunnel und die andere für die beiden kurzen Abschnitte der Eisenbahntunnels.

Im Dezember 1987 wurden mit den ersten zwei TBM die meerseitigen Abschnitte des Diensttunnels in Angriff genommen. Bis Ende 1989 waren insgesamt 50 Tunnel-Kilometer ausgebrochen, somit bereits 1/3 der Gesamtlänge aller Tunnels. Der Durchschlag des landseitigen Abschnitts des Diensttunnels erfolgte auf der französischen Seite im April 1989 und auf der britischen im November 1989.

Am 28. November 1989 wurde der Stand der Vortriebsarbeiten gemäß Tabelle 4 erreicht.

In der Woche vom 21.-28. November 1989 betrug der gesamte Tunnelvortrieb der acht eingesetzten TBM 1,2 km. Zu diesem Zeitpunkt waren 1,6 km weniger erstellt als im Bauprogramm vorgesehen, was einer Verspätung von rund 10 Arbeitstagen entspricht. Täglich wird in drei Schichten zu acht Stunden und während allen sieben Wochenenden voll durchgearbeitet.

Der Diensttunnel-Vortrieb geht dem Vortrieb der Eisenbahntunnels voraus und liefert definitive Angaben über die geologischen Verhältnisse wie Lage der Verwerfungen, Gesteinsfestigkeit, Verwitterungsgrad, Wasserführung sowie Lage und Mächtigkeit der blauen Kreideschicht. Wo erforderlich, werden von diesem Tunnel aus Felsverbesserungen

Tunnelabschnitt	Von Sangatte aus (km)		Von Shakespeare Cliff aus (km)		Total (km)	
	am 28.11.89	am 4.6.90	am 28.11.89	am 4.6.90	am 28.11.89	am 4.6.90
Diensttunnel						
- landseitig	3,70	3,70	9,80	9,80	13,50	13,50
- meerseitig	6,45	11,34	13,47	18,12	19,92	29,46
Eisenbahntunnels						
- Nord, landseitig	0,00	0,94	1,04	6,24	1,04	7,18
- Süd, landseitig	2,72	3,70	0,00	3,76	2,72	7,46
- Nord, meerseitig	3,68	8,83	1,91	5,76	5,59	14,59
- Süd, meerseitig	2,18	7,01	1,30	5,72	3,48	12,73
Im ganzen	18,73	35,52	27,52	49,40	46,25	84,92

Tabelle 4. Stand der Vortriebsarbeiten am 28. November 1989 und 4. Juni 1990

Position	Einheit	Britische Seite		Französische Seite	
		Dienst-tunnel	Eisenbahn-tunnels	Dienst-tunnel	Eisenbahn-tunnels
<i>Tunnelvortriebsmaschinen</i>					
Bohrdurchmesser	m	5,38	8,36	5,77	8,78
Schildlänge	m	ca. 15,00	14,50	11,00	13,75
Totallänge der Maschine mit Nachläufern	m	200	250	280	250
Gesamtgewicht Bohrkopf mit Schild	t	600	1350	470	1250
Leistung am Bohrkopf	kW	760	1320	880	2160
Bohrkopfdrehzahl	U/min.	3,0-4,5	1,6-3,3	2,4-4,8	1,5-3,0
Drehmoment	kNm	1610-2420	3820-7640	1750-3500	6350-12700
Vorschubkraft Bohrkopf bei offenem Schild	kN	10200	41300	17700	19600
bei geschlossenem Schild	kN	-	-	39200	112800
Anzahl Rollenmeissel am Bohrkopf	Stk.	0	58	39	49
Durchmesser der Rollenmeissel	cm	-	33	33	38
Anzahl feststehender Schneidezähne	Stk.	76	276	70	236
Theoretische Vortriebsleistung bei offenem Schild	m/h	5,0	4,0	4,4	4,4
bei geschlossenem Schild	m/h	-	-	3,0	3,0
Hersteller der Tunnelvortriebsmaschinen	Howden + Decon	Robbins + Markham	Robbins	Robbins + Kawasaki	
<i>Tunnelverkleidung</i>					
Ringspaltbreite	cm	2	2	16	19
Tübbingstärke	cm	27	36	32	40
Tübbinglänge	m	1,5	1,5	1,4	1,6
Anzahl Tübbings je Ring (+ je ein Schlussstein)	Stk.	6	8	5	5
Innendurchmesser des Tunnels	m	4,80	7,60	4,80	7,60

Tabelle 5. Daten über die unter dem Meeresboden eingesetzten Tunnel-Vortriebsmaschinen und die Tunnelverkleidung mit Tübbings

in der Zone der auszubrechenden Eisenbahntunnels durchgeführt.

Die zur Anwendung gelangende praktisch erschütterungsfreie *Tunnelbau-technik* mittels TBM wurde 1953 in den USA entwickelt und ist heute weit verbreitet. Störungen, wie sie von Spren-gungen ausgehen und zum Öffnen von Klüften mit Wassereinbrüchen führen können, werden vermieden. Unmittelbar hinter der TBM erfolgt der einschalige Tunnelausbau mit Stahlbetontüb-bings. Die Bauart der sechs mit Schild versehenen TBM, die unter dem Meerestypen eingesetzt werden, unterscheidet sich relativ wenig.

Auf der britischen Seite stehen die TBM nicht unter hydrostatischem Druck, (keine stark wasserführende Verwerfungsschichten). Die Vortriebeinrichtung besteht aus einem offenen flachen Bohrkopf und - im Schutz des Schildes - aus Verspannungs- und Vorschubeinrichtungen. Durch die Drehung des mit Rollenmeisseln und festen Schneidezähnen bestückten Bohrkopfes werden Gesteinsteile zertrümmer-t und herausgebrochen und durch Öffnungen im Bohrkopf der Förderanlage zugeführt.

Die beim Bohren auftretenden Reak-tionskräfte (Drehmoment und Vor-

schubkraft) lassen sich über seitliche Verspannplatten an der Ausbruchober-fläche auf den Felsen ableiten. Unter den verschiedenen Nachläufern befinden sich im vordersten Abschnitt die Vorrichtungen für den Tübbing-einbau und das Verfüllen der Ringspaltöff-nung sowie die durchgehende Förder-anlage für das Ausbruchmaterial und die Tübbings. Es folgen sodann im we-sentlichen die Steuerungszentrale, die elektrischen und hydraulischen Versor-gungsanlagen und die Ventilations- und Luftreinigungseinrichtungen (Bild 8). Die Mehrzahl der elektromechani-schen Einrichtungen sind doppelt vor-handen, um im Falle von Störungen Zeitverluste möglichst zu verringern.

Die drei TBM mit Schild auf der fran-zösischen Seite sind so konstruiert, dass sie sowohl in offener Form - wie auf der britischen Seite - als auch in ge-schlussener unter Druck eingesetzt wer-den können. Die Tunnelabschnitte in stark wasserführenden Verwerfungszo-nen mit hydrostatischem Druck bis zu 10 bar werden in geschlossener Form durchörtert, d.h., der Schild wird was-serdicht unmittelbar hinter dem Bohrkopf geschlossen.

Das Bohrgut gelangt mittels speziellen Rohrschneckenförderanlagen durch die Druckschleuse auf das Förderband des Nachläufers. In diesem Fall wird der Schild mit dem Bohrkopf durch hy-draulische, sich rückwärts auf die Tübbings abstützende Pressen vorgetrie-been. Bohrvortrieb und Tübbing-einbau im Schutz des Schildes können da-durch nicht mehr gleichzeitig erfolgen. In diesem Fall ist auch der Schild-schwanz wasserdicht mit dem verset-ten Tübbingring verschlossen. Bis Ende 1989 haben sich die drei TBM auf der französischen Seite bei Wasserdräcken bis zu 5 bar gut bewährt. Ihre Vortriebs-leistung liegt über den Erwartungen.

Von den vorstehend genannten sechs mit Schild versehenen TBM, die unter dem Meerestypen im Einsatz sind, sind die technischen Hauptdaten in Tabelle 5 zusammengestellt. Beigefügt sind auch Daten über die einschalige Tun-nelverkleidung mit Tübbings. Alle im Bau befindlichen Tunnelröhren verfü-gen über ein durchgehendes doppelspu-riges Geleise (Bild 9) für die Ver- und Entsorgung der Vortriebsstellen.

In Shakespeare Cliff wird das im ganzen auf 5 Mio. m³ geschätzte Ausbruch-material auf einem 530 m langen För-de-derband mit einer stündlichen Leistung von maximal 2400 t an die Oberfläche trans-portiert, wo es grösstenteils zur Gewinnung von etwa 20 ha Neuland an der Küste dient.

Auf der französischen Seite rechnet man mit insgesamt 3 Mio. m³ Aus-

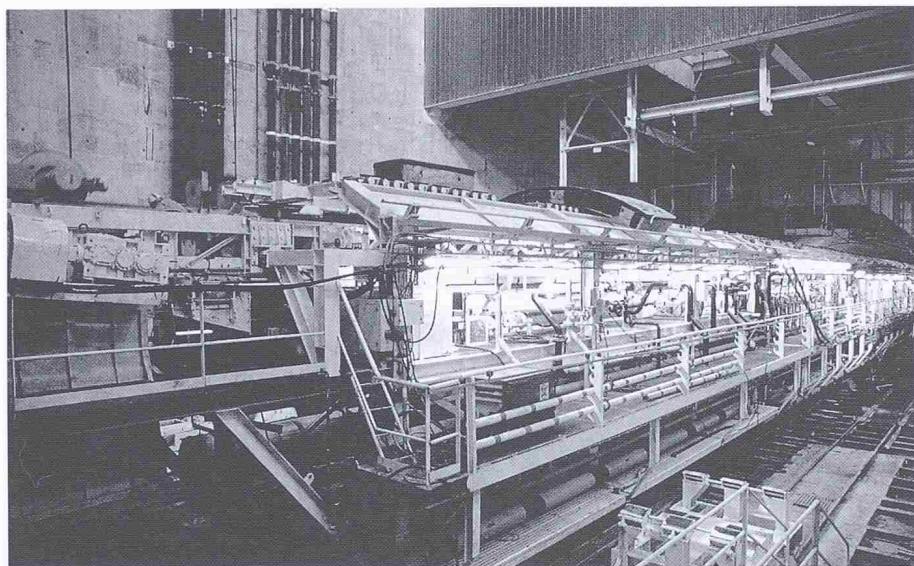


Bild 8. Teilansicht des 236 m langen Nachläufers der Tunnel-Vortriebsmaschine von Bild 7 (Photo Ph. Demail)

bruchgestein (Bild 10). In Sangatte wird es zerkleinert, mit Wasser gemischt und auf eine 1,8 km entfernte Deponie auf dem Festland gepumpt mittels 8 Dickstoffpumpen mit einer maximalen Förderleistung von 700 m³ pro Stunde.

Tunnelverkleidung

Während im Diensttunnel und in den Eisenbahntunnels vorfabrizierte Tübbings aus Stahlbeton zur einschaligen Auskleidung und zugleich zur Felssicherung und Wasserabdichtung dienen, finden in den Querschlägen und den Druckausgleichs-Querstollen vorfabrizierte Tübbings aus Stahlguss Verwendung.

Zur Herstellung von Stahlbeton-Tübbings besteht in Sangatte ein Werk mit fünf Fertigungsstrassen, in denen innerhalb drei Jahren rund 220 000 Tübbings einschließlich der Schlusssteine produziert werden. In der Tübbingfabrik Isle of Grain auf der britischen Kanalseite werden ebenfalls innerhalb drei Jahren rund 500 000 Tübbings auf acht Fertigungsstrassen stehend hergestellt, im Unterschied zu Sangatte, wo diese liegend betoniert werden.

Zur Kürzung der Erhärtungszeit der Stahlbeton-Tübbings werden diese während sechs Stunden in einem Dampfkanal bei 50°C erwärmt. Nach Erreichen der erforderlichen Festigkeit werden die Tübbings (an die sehr hohe Qualitätsansprüche hinsichtlich Massgenauigkeit und Betoneigenschaft gestellt werden) ausgeschalt und zum Schutz vor Austrocknung und zu schneller Abkühlung z.B. auf der britischen Seite in Hüllen aus Isolationsgewebe gepackt und auf dem Lagerplatz gestapelt. Vor dem Betonieren werden alle Einbauteile für die Befestigung der elektromechanischen Ausrüstungen in die Schalung verlegt.

Der hochwertige Tübbing-Beton von Isle of Grain enthält pro m³ Frischbeton (mit einem Hochleistungsverflüssiger): 308 kg Portlandzement, 132 kg Flugasche, 780 kg Sand 0/4 mm aus gebrochenem Granit, 450 kg Kies 4/10 mm aus gebrochenem Granit und 580 kg Kies 10/20 mm aus gebrochenem Granit.

Weitere technische Daten zum Beton: der W/Z Faktor (Wasser/Zement und Flugasche) beträgt 0,34; - die Konsistenz 7,5 cm Slump; - die erforderliche Ausschalffestigkeit 10 N/mm²; - die 28-Tage-Würfeldruckfestigkeit 60 N/mm²; - der Wasser-Durchlässigkeitswert (k) 1×10^{-13} m/s; - und die Eisenüberdeckung 3,5 cm. Vorkehrungen für einen später allfällig notwendigen kathodischen Korrosionsschutz sind vorhanden.

Auf der britischen Seite unter dem Kanal tritt in der blauen Kreideschicht wenig Grundwasser auf und verlangt deshalb keinen wasserdichten Ausbau. Die einzelnen Tübbings, die an der Außenfläche gegen den Fels örtlich 2 cm vorspringende Auflagerflächen aufweisen, werden nach dem Schildschwanz der Vortriebseinrichtung zu einem Tunnelring zusammengebaut, der mittels eines leicht konischen Schlusssteins gegen die Ausbruchoberfläche gepresst (verspannt) wird. Um einen gleichmässigen Kontakt zwischen Tübbing und Fels zu erzielen, verfüllt man den 2 cm breiten Ringspalt mit Injektionsmörtel. Eine Entwässerungsnut in der Betonstirnfläche der Ringfugen leitet allfällig eindringendes Sickerwasser in die Drainageleitung der Tunnelsohle.

Demgegenüber erfordern die Grundwasserverhältnisse auf der französischen Kanalseite den wasserdichten Ausbau mit Stahlbeton-Tübbings. In



Bild 9. Blick in den Diensttunnel auf der britischen Seite (QA Photos)

einer an den vier Stirnflächen des Tübbings umlaufenden Nut wird ein Neoprene-Dichtungsband eingelegt, und jeweils fünf Tübbings werden mit einem Schlussstein im Schutz des Schildes zu einem 1,4 bzw. 1,6 m langen Tunnelring zusammengebaut, verschraubt und gegeneinander gepresst. Der Ringspalt zwischen den Tübbings und der Felsausbruchfläche wird mit Mörtel verpresst.

Baukosten und Abrechnungsverfahren

Nach neuesten Schätzungen (Januar 1990) wird der Bau der Eisenbahnverbindung unter dem Ärmelkanal samt

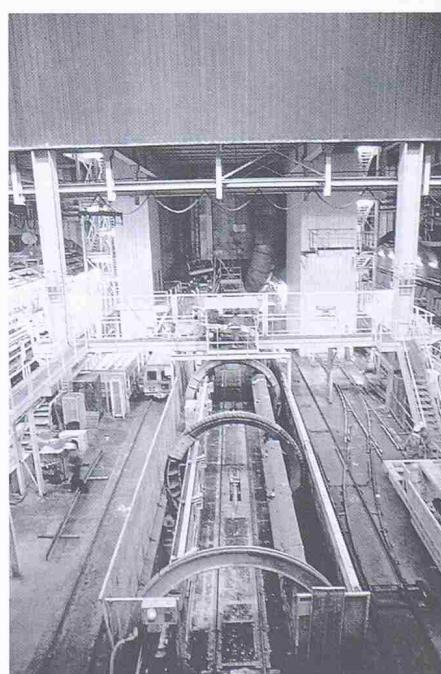


Bild 10. Entlad der mit Tunnelausbruch beladenen Züge mittels Rotationskipper im Sangatte-Schacht (Photo Ph. Demail)

Tunnelbau	50%
Feste elektro-mechanische Anlagen	23%
Verladebahnhöfe	17%
Rollmaterial inkl. Lokomotiven	10%
Total	100%

Tabelle 6. Anteile an den Baukosten

Rollmaterial auf mindestens 7,2 Mrd £ (rund 18,5 Mrd Schweizer Franken) zu stehen kommen. Die prozentualen Anteile sind in Tabelle 6 enthalten.

Die Transmanche-Link als Generalunternehmer erhält von Eurotunnel als Bauherr Vergütungen für die Gesamtleistung auf drei Arten: Für die Arbeiten des Tunnelbaus gilt nach dem Werkvertrag ein verbindlicher Richtpreis. Wird dieser durch die tatsächlichen Gestehungskosten überschritten,

vergütet der Bauherr etwa 70% der Mehrkosten. Umgekehrt erhält der Bauherr bei Kostenunterschreitung einen bestimmten Anteil der Minderkosten als Gutschrift zurück.

Für die festen elektromechanischen Anlagen sowie für den Bau der zwei Verladebahnhöfe erfolgte die Vergabe zu Globalpreisen, bei denen sich die Vergütung durch den Bauherrn nicht nach der Menge richtet. Vom Bauherrn angeordnete Projektänderungen nach Vertragsabschluss werden voll vergütet.

Das Rollmaterial einschließlich Lokomotiven wird gemäß Beschaffungskosten abgerechnet. Diese bestehen aus dem Lieferpreis und einem Zuschlag des Generalunternehmers.

Der Generalunternehmer hat Anspruch auf monatliche Abschlagszahlungen mit einem Rückbehalt von 5%. Die Teuerung wird separat vergütet. Für die Bauarbeiten sowie für das Rollmaterial einschließlich Lokomotiven beträgt die Garantiefrist 1 Jahr, für die festen elektromechanischen Einrichtungen 2 Jahre.

Schlussbemerkung

Der Kanaltunnel zwischen dem französischen Portal in Beusingue und dem britischen in Castle Hill wird nach seiner Fertigstellung 1993 drei Röhren von je 50,5 km Länge umfassen, wovon 37,9 km unter dem Meeresboden lie-

gen. Dies wird der grösste Tunnelabschnitt dieser Art auf der Welt sein.

Er überflügelt damit den 1988 in Betrieb genommenen japanischen Seikan-Eisenbahntunnel, der die Hauptinsel Hondo mit der nördlichen Nachbarinsel Hokkaido unter der 23,3 km breiten Meerenge von Tsugaru verbindet. Die Bauzeit dieses staatlich finanzierten Tunnels dauerte – teilweise bedingt durch schwierige geologische Verhältnisse – 24 Jahre.

Bis Ende 1989 sind vom Kanaltunnel rund 50 km gebaut, d.h. etwa 1/3 der Gesamtlänge. Auch die Bauarbeiten an den zwei grossen Verladebahnhöfen kommen gut voran, wobei etwelche Verzögerungen auf der britischen Seite durch Baufortschritte auf den verschiedenen französischen Baustellen nahezu ausgeglichen werden.

Grosse Schwierigkeiten bereitet nach wie vor die private Finanzierung dieses gigantischen Bauwerks. Kostenüberschreitungen liessen sich nicht umgehen, so dass wiederholt die ursprüngliche Schätzung des voraussichtlichen Gesamtaufwandes erhöht werden musste. Eine Gefährdung des Projektes konnte aber bisher durch Kompromisse zwischen dem Bauherrn, den Baufirmen und den kreditgebenden Banken vermieden werden.

Adresse des Verfassers: Martin Brugger, Bauing. HTL, Bauleiter des Bözbergtunnels bei Gähler & Partner, Integrierte Bauplanung, Badstrasse 16, 5400 Ennetbaden.

Der Verfasser hatte Gelegenheit, an der von den zwei Gesellschaften «Institution of Civil Engineers» und «Société des Ingénieurs et Scientifiques de France» organisierten Tagung vom 20. bis 22. September 1989 in London, auf der Baustelle und in Paris teilzunehmen. Vertreter des Unternehmers und des Bauherrn haben dabei über das Kanaltunnel-Projekt orientiert. Der vorliegende Bericht fasst die erhaltenen mündlichen und schriftlichen Erläuterungen zusammen. (Tagungsband: «The Channel Tunnel», Verlag von Thomas Telford Ltd., 1 Heron Quay, London 1989, S. 331)

Bücher

Wer baut Maschinen und Anlagen 1990

Etwa 1000 S., Preis: DM 25,-, Hoppenstedt-Wirtschaftsverlag GmbH, Darmstadt 1990. ISBN 3-87362-054-5

Mit insgesamt 34 500 Exemplaren, weltweit verbreitet in vier Sprachen (deutsch, englisch, französisch, spanisch), ist die 52. Ausgabe des Einkaufsführers «Wer baut Maschinen und Anlagen» für 1990 soeben in den Markt gegangen. Von allen IVW-geprüften Wirtschaftsadressbüchern hat dieses Werk die höchste Auslandsverbreitung.

Was das Informationsangebot betrifft, so verweist der VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.) als Herausgeber ausdrücklich auf die Tatsache, dass hier auch Nichtmitglieder präsentiert werden. Konkret gesagt: 2700 VDMA-Mitgliedern stehen 2000 Nichtmitglieder gegenüber, so dass alles in allem rund 4700 einschlägige deutsche Hersteller vertreten sind. Damit bietet dieser Einkaufsführer umfassende Bezugsquellen für alle Erzeugnisse des

deutschen Maschinenbaus und seines Umfeldes.

Aufgegliedert ist der flexible Band in drei Teile. Im alphabetischen Suchregister orientiert sich der Benutzer anhand von Stichworten und damit verbundenen Kennziffern auf Anhieb so eingehend, dass er in dem nach branchenbezogenen Fachbereichen sortierten Hauptteil schnell fündig wird und für die gewünschten Einzelergebnisse rasch die entsprechenden Hersteller findet. Der letzte Teil schliesstlich – mit kompletter Anschrift, Telefon-, Telefax-Verbindungen usw., Auslandsvertretungen sowie Zusatzangaben über Lieferprogramme – erfüllt alle Voraussetzungen für eine direkte Kontakt- aufnahme.

Und wer sich grundsätzlich mit Fachinformationen und -quellen in Sachen Maschinen- und Anlagenbau – bedeutender deutscher Industriezweig – beschäftigen möchte, dem ist mit diesem Buch ebenfalls gedient; denn diesbezügliche Auskünfte werden in vorwiegend tabellarischen Darstellungen sehr anschaulich gleich im Vorspann geliefert.

Fördermittelkatalog 1990

15. Ausgabe, ca. 300 Seiten, Preis: Fr. 22.-, Verlag Binkert AG, 4335 Laufenburg

Im ersten Kapitel kommen kompetente Fachleute aus Beratung, Forschung und Praxis zu Wort. Aktuelle Fachaufsätze zeigen Trends und Möglichkeiten moderner Logistik auf. Hightech hat in der Lager- und Fördertechnik ihren festen Platz.

Das neue Kapitel «Logistik-Gesamtsysteme, Beratung» wie auch die Kapitel «Krane-Hebezeuge», «Stetigförderer», «Flurfördermittel», «Lager- und Systemtechnik» und «Besondere Produkte und Zubehör» enthalten wie üblich eine grosse Zahl von zum Teil farbig illustrierten Neuheitenmeldungen aus der Branche. Anzeigen geben Aufschluss über das derzeitige Angebot der führenden Firmen. Zwei weitere Kapitel enthalten ein Verzeichnis der Firmenmarken und ausländischen Vertretungen, einen firmenkundlichen Teil mit detaillierten Angaben über rund 250 auf dem Schweizer Markt aktive Unternehmungen und schliesslich ein umfassendes Bezugsquellenregister mit Suchwortverzeichnis.