

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 89 (1991)

Heft: 1

Artikel: Die Bau- und Vermessungsarbeiten für den Kanaltunnel Dover-Calais

Autor: Jacobs, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-234565>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 20.02.2025

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

Die Bau- und Vermessungsarbeiten für den Kanaltunnel Dover-Calais

E. Jacobs

Die lang gehegte Vorstellung einer festen Landverbindung zwischen Grossbritannien und dem Kontinent scheint nunmehr Wirklichkeit zu werden. Die Tunnelbauarbeiten laufen seit 1987 an beiden Küsten unter der Leitung eines privaten Konsortiums. Sie stellen eine enorme Herausforderung an die Bautechnik und nicht zuletzt auch an die Vermessungstechnik dar. Wie bei derartigen Grossbauwerken üblich, sind technische Schwierigkeiten zwar aufgetreten, konnten bisher aber stets gemeistert werden. Elf Tunnelvortriebsmaschinen arbeiten gleichzeitig und nahezu rund um die Uhr, so dass das Jahrhundertwerk voraussichtlich termingerecht im Juni 1993 eröffnet werden kann. Der Durchschlag des Servicetunnels erfolgte am 1. Dezember 1990.

Le rêve, imaginé depuis longtemps d'une liaison terrestre entre la Grande-Bretagne et le continent, semble devenir désormais une réalité. Les travaux de construction du tunnel ont débuté en 1987 sur les 2 côtes, sous la direction d'un consortium privé. Ils représentent un formidable défi aux techniques de construction, mais aussi aux techniques de mensuration. Comme pour d'autres grandes réalisations, des difficultés techniques ont surgi, qui ont toujours pu être maîtrisées. Onze foreuses travaillent en même temps et pratiquement 24 heures sur 24, afin que le chantier du siècle puisse être terminé dans les délais, soit en juin 1993. Le percement du tunnel de service aura lieu le premier décembre 1990.

1. Einleitung

Das jahrhundertalte Vorhaben, England durch einen Tunnel oder eine Brücke mit dem Kontinent zu verbinden, geht derzeit seiner Verwirklichung entgegen. Bekanntlich träumten bereits Cäsar und auch Napoleon davon, ihre Truppen mit Ross und Wagen durch einen unterirdischen Tunnel gegen England zu führen. Ein Napoleon vorgelegter Plan für einen 35 km langen gepflasterten Tunnel, beleuchtet durch unzählige Petroleumlampen, mit Entlüftungskaminen (Abb. 1) und einer Sauerstoffinsel auf halber Tunnelstrecke zur Verschnaufpause für Pferde und Passagiere, blieb jedoch ebenso ein Traum wie mehr als 20 andere Projekte des 19. Jahrhunderts.

Mehr Aussicht auf Erfolg hatte da schon im Zeitalter der aufkommenden Eisenbahnen das gemeinsame Projekt einer französischen Kanal-Tunnelgesellschaft und der britischen Untersee-Kontinent-Eisenbahngesellschaft, das nach zahlreichen Erkundungsbohrungen 1878 in Angriff genommen wurde. Als 1882 sowohl auf französischer Seite als auch an der englischen Küste etwa 1 km Tunnel mit Hilfe der Tunnelbohrmaschine des Obersten Beaumont

aufgefahren waren, brach in England aufgrund militärischer Befürchtungen eine regelrechte Anti-Tunnelcampagne aus, die schliesslich zur Einstellung aller Arbeiten führte.

Im 20. Jahrhundert liessen die Wirren der beiden Weltkriege den Gedanken an einen Tunnelbau in den Hintergrund treten. Erst 1959 gründete sich erneut eine Arbeitsgruppe für das Studium eines Kanaltunnels und vier Jahre später bekräftigten die Regierungen in Paris und London ihre Entschlossenheit, das Tunnelprojekt nun endlich in Angriff zu nehmen.

Entsprechend der heute angestrebten Lösung war auch damals ein Eisenbahntun-

nel mit getrennten Tunnelröhren für die Hin- und Rückfahrt sowie ein dazwischenliegender Service- bzw. Sicherheitstunnel vorgesehen [1], [6]. Die Bauarbeiten begannen 1972 mit dem Bau der Abstiegsbauwerke, mit denen die Tunnelsohle an möglichst küstennahen Startpunkten erreicht wurden. Als 1975 diese Abstiegsbauwerke (Schrägstollen) und beidseitig wiederum mehr als 1 km Tunnel fertiggestellt waren, kam aus London erneut das grosse Halt. Auf französischer Seite wurden die Abstiegsbauwerke zwecks Ersparnis von Pumpkosten geflutet, während auf englischer Seite alle unterirdischen Anlagen staubtrocken konserviert und zumindest teilweise für das heutige Eurotunnel-Projekt genutzt werden konnten.

Im Zeichen des sich einigenden Europas schlossen die Regierungen in Paris und London sodann 1986 einen neuen Vertrag zur endgültigen Realisierung des Tunnelprojektes. Dieser Vertrag räumt einem privaten britisch-französischen Konsortium, der EUROTUNNEL-GESELLSCHAFT, für die Laufzeit von 55 Jahren das Recht ein, den Kanaltunnel auf der Basis einer privaten Objektfinanzierung zu bauen und zu betreiben. Planung und Ausführung der Bauarbeiten haben die Konzessionäre daraufhin einer binationalen Arbeitsgemeinschaft aus je 5 namhaften englischen bzw. französischen Bauunternehmen, der sogenannten TRANSMANCHE-LINK (TML) übertragen. Die Arbeiten sind noch 1987 auf beiden Seiten des Kanals voll angegangen und haben zwischenzeitlich den «point of no return» weit überschritten. Seiner Bedeutung wegen wird das Bauwerk bereits heute mit dem Bau des Suezkanals (1859/69) und dem Bau des Panamakanals (1906/14) verglichen.

2. Umfang und Finanzierung des Gesamtprojekts

Mit dem Zusammenschluss Europas zu einem der mächtigsten Wirtschaftsblocke der Erde erfährt der westeuropäische

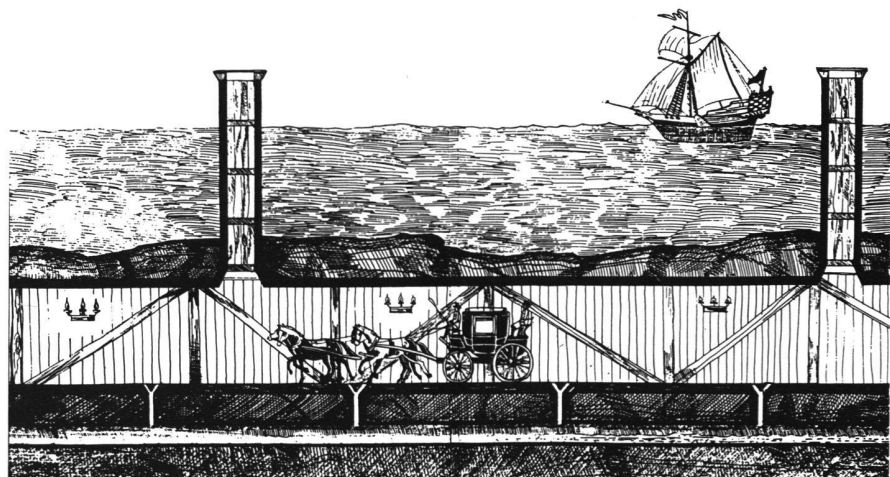


Abb. 1: Tunnelbauvorschlag von A. Mathieu (1802).

Überarbeitete und ergänzte Fassung der vom Verfasser in [8], [9] und [10] veröffentlichten Beiträge, mit freundlicher Zustimmung der betreffenden Schriftleitungen.

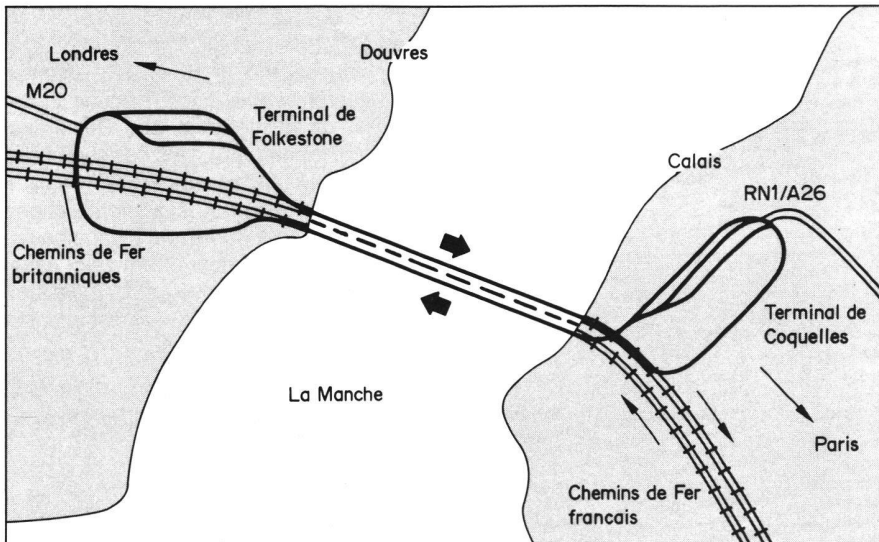


Abb. 2: Eurotunnel mit den Terminals Folkestone und Coquelles sowie den durchgehenden Eisenbahnverbindungen Paris–London.

Raum derzeit eine noch kaum vorstellbare politische und wirtschaftliche Umgestaltung. In diesem Zusammenhang präsentiert sich der Kanaltunnel Dover–Calais zwar nur als kleiner, jedoch wesentlicher Baustein eines gesamteuropäischen Verkehrsnetzes. So werden nach vorliegenden Prognosen bereits für das erste Betriebsjahr 1993/94 etwa 30 Millionen Passagiere und 15 Millionen Tonnen Fracht erwartet, die in Spitzenzeiten mit 15 bis 20 Zügen pro Stunde den Tunnel passieren sollen.

Im Rahmen dieser Tunnelauslastung haben sich die nationalen Eisenbahngesellschaften Frankreichs und Grossbritanniens 50% der Tunnelkapazität für den durchgehenden Personen- und Güterverkehr gesichert. Unter anderem wird auf dieser Strecke dann auch der französische Hochgeschwindigkeitszug TGV von Marseille über Lyon, Paris, Lille, Eurotunnel bis London verkehren. Die Reisezeit zwischen den Metropolen Paris und London wird dabei auf etwa 3 Stunden schrumpfen und eine echte Konkurrenz zum Luftverkehr darstellen. Es bleibt zu hoffen, dass die übrigen west- und auch osteuropäischen Staaten alsbald Anschluss an dieses Hochgeschwindigkeitsnetz finden, das zu einer engen Verknüpfung der europäischen Wirtschaftsräume führen wird. In der Planungsphase befinden sich ja bereits der Nordostanschluss von Lille über Brüssel nach Köln und Amsterdam sowie die Strecke Köln–Frankfurt.

Das von dem Privatkonsortium getragene Projekt EUROTUNNEL (Abb. 2) umfasst den eigentlichen Tunnel, die beiden Terminals Folkestone (westlich von Dover) und Coquelles (südwestlich von Calais) sowie das rollende Material. Der Tunnel selbst besteht aus den beiden aussenliegenden

Fahrtunneln für den Eisenbahn-Richtungsverkehr und dem mittleren Service- bzw. Nottunnel.

Die Finanzierung des Projektes beruht auf dem Prinzip der Objekteigenfinanzierung, d. h. dass die Herstellungskosten und der Kapitaldienst aus den später einkommenden Passagegebühren bestritten werden müssen. Die Gesamtkosten waren 1987 mit rund 15 Milliarden Sfr veranschlagt und werden heute mit 18 Milliarden Sfr angegeben. Dieses Modell der Objekteigenfinanzierung mit privater Trägerschaft wird für den Bau ähnlich grosser Ingenieurbauwerke Modellcharakter haben, da nicht einzusehen ist, dass derart hohe Aufwendungen für spezielle Verkehrsbedürfnisse aus allgemeinen Steuermitteln getragen werden sollen. Analog dem Verursacherprinzip des Umweltschutzes sollten die Finanzmittel bei derartigen Bauwerken nach dem Nutzerprinzip aufgebracht werden.

3. Konstruktion und Bau des Tunnels

Der Eurotunnel (Abb. 3) ist als reiner Eisenbahntunnel konzipiert, da dies als die sicherste Betriebsart angesehen wurde und bisher nicht gelöste Belüftungsprobleme den Bau eines derart langen Strassentunnels unter See nicht erlaubten.

Die durch zahlreiche Bohrungen und geophysikalische Untersuchungen gut bekannte Geologie des Planungsgebietes weist in 25 bis 50 m unter dem Meeresboden die nahezu trockene und relativ leicht zu durchbohrende Schicht der sogenannten blauen Kreide (Kalk-Mergel) auf. Diese günstigen geologischen Verhältnisse bestimmen den Trassenverlauf derart, dass der Tunnel mit horizontalen und vertikalen Krümmungen weitestgehend innerhalb dieser Schicht verläuft (Abb. 4). Lediglich im Bereich der französischen Küste werden darüberliegende, zum Teil allerdings stark wasserführende Schichten durchfahren. Mit seinem tiefsten Punkt liegt der Tunnel 125 m unter dem Meeresspiegel, der grösste Abstand zum Meeresboden beträgt in der Mitte des Kanals etwa 60 m, der geringste im Bereich der französischen Küste hingegen lediglich 20 m.

Der etwa 50 km lange Tunnel besteht aus drei Einzelröhren in Parallelabständen von je 15 m (Abb. 3 und 4) mit Innendurchmessern von 7,6 m für die Fahrtunnel und 4,8 m für den Servicetunnel. Durch abgeschottete Querschläge sind diese Tunnelröhren in Abständen von 375 m miteinander verbunden. Da die mit 160 km/h verkehrenden Züge aufgrund ihrer Kolbenwirkung innerhalb des Tunnels erhebliche Luftbewegungen hervorrufen, sind zwischen den äusseren Röhren in Abständen von 250 m Luftausgleichskamine von 2 m Durchmesser angeordnet (Abb. 4).

Zwecks Minimierung der Bauzeit erfolgt der Tunnelvortrieb jeweils landeinwärts und seewärts von küstennahen Anfahrpunkten aus, wo entsprechende Startbau-

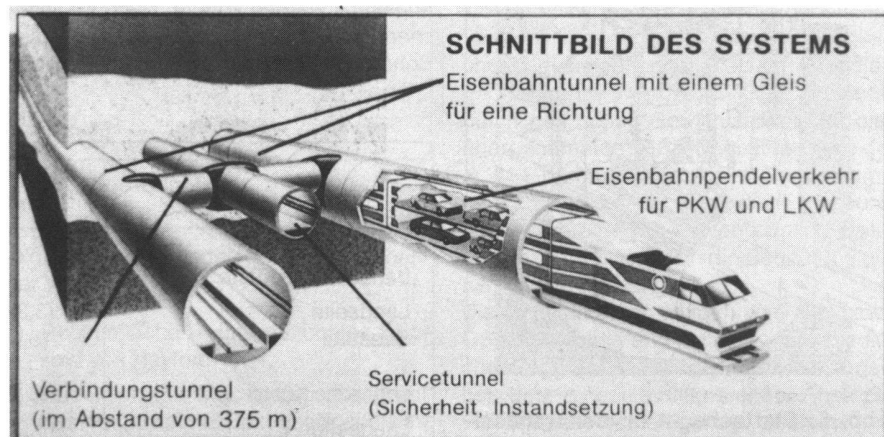


Abb. 3: System des Eurotunnels.

Partie rédactionnelle

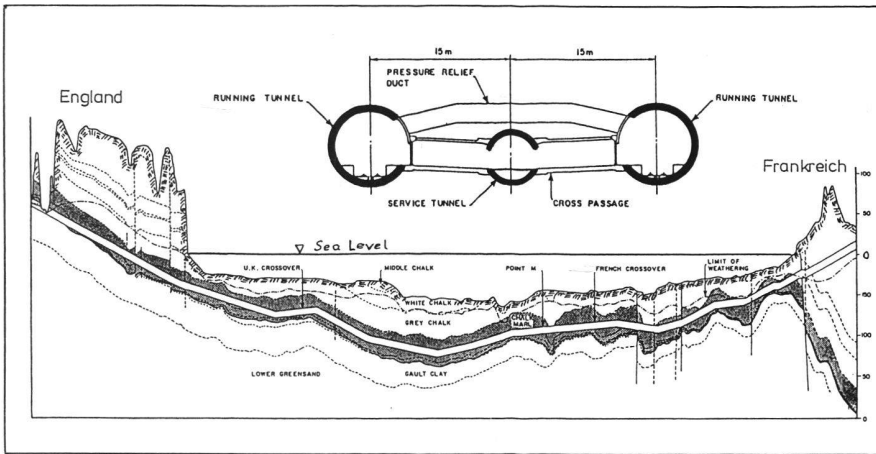


Abb. 4: Längenschnitt, Querschnitt und Geologie des Eurotunnels.

werke bis zur Tiefe der Tunnelsohlen angelegt worden sind. Auf englischer Seite dient hierzu der bereits 1974 aufgefahrenen, etwa 500 m lange Schrägstollen, der von einem Arbeitsplatz unterhalb des Shakespeare-Cliffs mit 15% Gefälle die Startstelle der 6 Vortriebstunnel (3 seewärts, 3 landeinwärts) erreicht. An der französischen Küste ist hingegen bei Sangatt ein neuer Anfahrtschacht von 65 m Tiefe und 55 m Durchmesser angelegt worden, von dem aus in 48 m Tiefe die 6 Tunnel vorgegraben werden (Abb. 5). So gliedert sich der Gesamttunnel in 4 Teilbauabschnitte zu je 3 Röhren mit 3,3 km Landtunnel und 16 km Seetunnel auf französischer Seite sowie 8,3 km Landtunnel und 22,0 km Seetunnel auf englischer Seite.

Der Vortrieb erfolgt in allen 12 Röhren mittels Tunnelvortriebsmaschinen (Abb. 6). Diese erreichen in der anstehenden Kreide Vortriebsleistungen bis zu 50 m pro Tag, wobei im Schutze der Schilde unmittelbar der wasserdichte Vollausbau des

Tunnels vorgenommen wird. Dieser besteht aus gegenseitig verschraubten, konischen Tübbingringen von 1,4 bzw. 1,6 m Baulänge, wobei jeder einzelne Tübbing aus fünf Stahlbetonsegmenten und einem Schlussstein vor Ort zusammengesetzt wird. Mit derartigen Ringen lassen sich bei entsprechender Wahl der Konizität und durch Drehung der Ringe um ihre Längsachse bekanntlich alle geraden und räumlich gekrümmten Tunnelführungen herstellen.

Beim Vortrieb haben die kleineren Servicetunnel stets einen Bauvorsprung von mehreren Kilometern, um so die in den letzten Einzelheiten nicht bekannten geologischen Bedingungen für die Auffahrt der grösseren Fahrtunnel zu erkunden, eventuell auftretende Wasserzuflüsse frühzeitig zu orten und durch Injektionen stillzulegen sowie nach dem Durchschlag der Servicetunnel möglicherweise erforderliche Richtungs- oder Höhenkorrekturen bei den nachlaufenden Fahrtunneln berücksichtigen zu können.

Ende Oktober 1990 standen die von beiden Küsten aus vorgetriebenen TVM des Servicestollens unter dem Ärmelkanal lediglich noch 100 m voneinander entfernt, so dass eine erste Sondierbohrung angesetzt werden konnte. Nach erfolgreichem Abschluss wurde entlang dieser Bohrung ein Richtstollen vorgetrieben, der

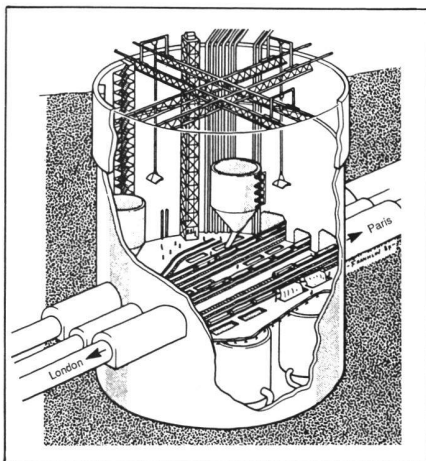


Abb. 5: Startschacht an der französischen Küste bei Sangatt. Durchmesser 55 m, Tiefe 65 m.

am 1. Dezember 1990 durchschlägig wurde. Zwischenzeitlich ist die englische Maschine seitlich in das Kreidegebirge ausgefahren worden und erhält hier ihr Begräbnis, da Demontage und Rücktransport nicht lohnen. Auf französischer Seite wird die TVM über die restlichen 100 m einen ausgleichenden Ausbau vornehmen. Den derzeitigen Stand der Tunnelbauarbeiten (Mitte November 1990) zeigt nachstehende Tabelle, wobei die eingeklammerten Werte fertige Tunnelabschnitte kennzeichnen.

4. Vermessungsarbeiten

4.1 Allgemeines

Beim Tunnelbau besteht eines der schwierigsten Probleme bekanntlich darin, den ein- oder zweiseitigen Vortrieb räumlich so zu steuern, dass die aufgefahrenen Tunnelabschnitte auch dem projektierten Verlauf entsprechen und letztlich in den vorgesehenen Durchschlagpunkten nach Lage und Höhe innerhalb einer zulässigen Toleranz aufeinander treffen bzw. in vorbereitete Endbauwerke einmünden.

Im Prinzip ist hierzu zunächst über Tage durch hochpräzise Lage- und Höhenmessungen eine geometrische Beziehung zwischen den Tunnelstartpunkten herzustellen. Aufgabe der untertägigen Messungen ist es sodann, unter Anschluss an die Übertagenetze fortlaufende Fixpunkte mit hoher Präzision dreidimensional derart zu bestimmen, dass hiervon ausgehend die Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) gesteuert werden können.

4.2 Das Lage-Grundlagennetz

Als 1986 die Vorarbeiten für den jetzigen Tunnelbau in Angriff genommen wurden, lag aus den Messungen für das Vorprojekt (1972/75) und aus den beidseitigen Landesvermessungen umfangreiches Beobachtungsmaterial in Form von Richtungs-, Strecken- und Azimutmessungen vor. Da die Zeit bis zum Baubeginn (Frühjahr 1987) äusserst knapp bemessen war und das Kanalgebiet als geologisch stabil an-

	Service-tunnel	nördlicher Fahrtunnel	südlicher Fahrtunnel
französische Küste			
Landseite	(3,3 km)	(3,3 km)	(3,3 km)
Seeseite	15,6 km	14,0 km	11,3 km
englische Küste			
Landseite	(8,2 km)	(8,2 km)	(8,2 km)
Seeseite	22,3 km	10,3 km	9,7 km

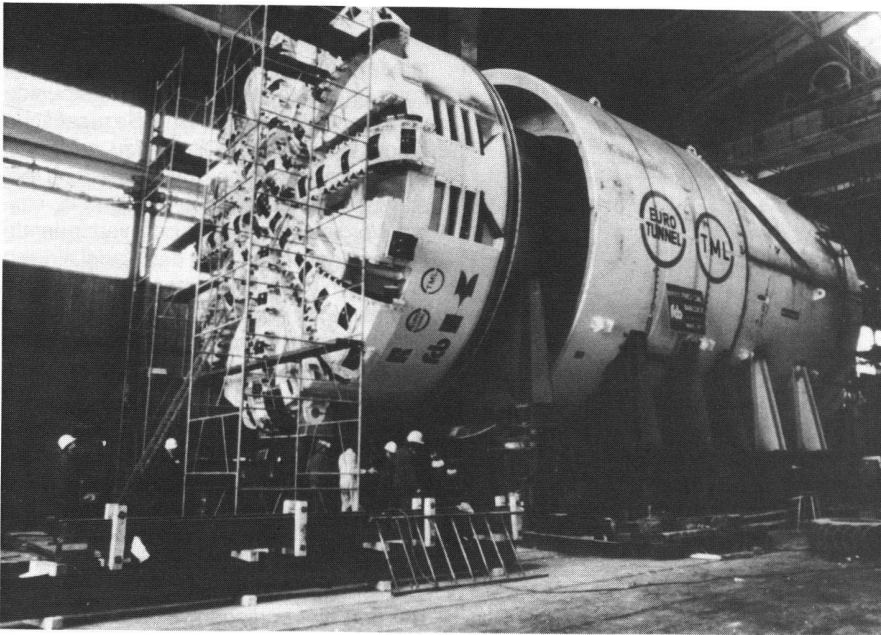


Abb. 6: Tunnelvortriebsmaschine Kawasaki/Robbins, Durchmesser 8,72 m, Länge 13 m (Foto: Phillippe Demail).

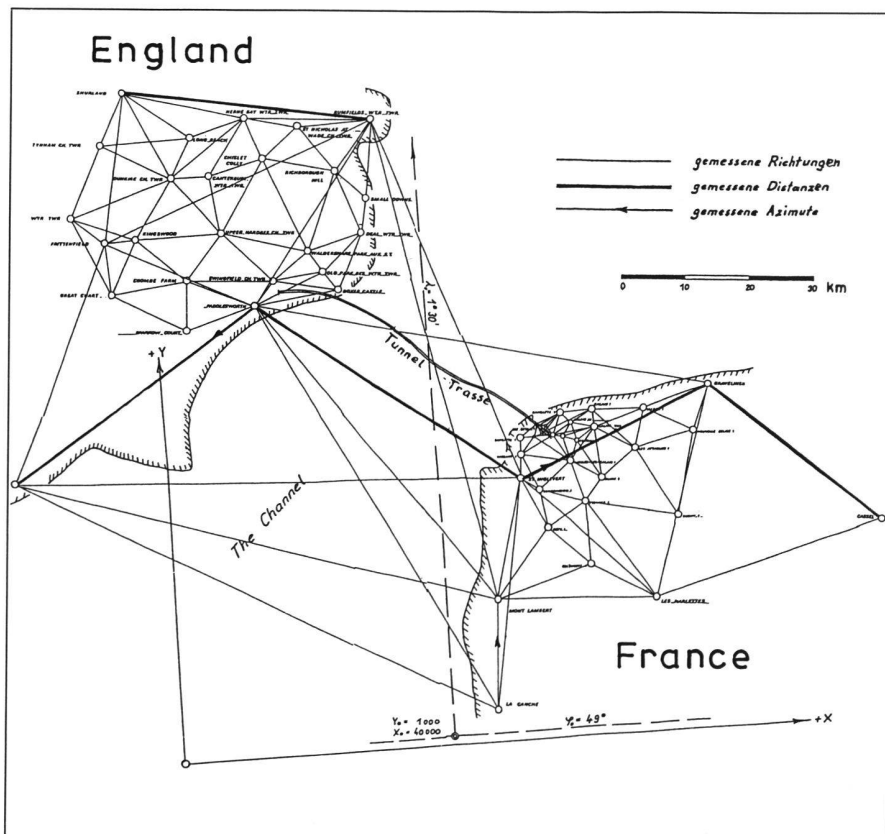


Abb. 7: Trigonometrisches Lagenetz CTG 86 des Eurotunnels.

gesehen werden konnte, wurde dieses Messungsmaterial in einer Gemeinschaftsarbeit zwischen dem französischen Institut Géographique National (IGN) und dem britischen Ordnance Survey (OS) gesichtet und zu einem umfassenden trigonometrischen Netz zusammengestellt [7]. Die gemeinsame Ausgleichung aller Beobachtungselemente er-

folgte unter Zugrundelegung nachstehender Vorgaben:

- Rechenfläche = Internationales Ellipsoid von Hayford 1924,
- Reduktion der Messungsgrößen auf das vorgenannte Bezugsellipsoid unter Zugrundelegung des Geodis von Levallois 1978,

- Gewichtsansatz für die Messungsgrößen umgekehrt proportional zu den a priori angenommenen Varianzen.

Die hieraus hervorgegangenen geographischen Ellipsoidkoordinaten wurden in ein rechtwinkliges konformes X, Y-System mit dem längentreu abgebildeten Mittelmeridian $\lambda_0 = 1^\circ 30'$ und dem Koordinatennullpunkt $\varphi_0 = 49^\circ$ n.Br. (Abb. 7) umgeformt. Zur Vermeidung negativer Koordinaten ist dieser Nullpunkt rein additiv nochmals um $\Delta X = 40\,000$ m und $\Delta Y = 1000$ m verschoben worden.

Dieses Channel Tunnel Grid (CTG 86) konnte sodann zumindest für alle vorbereitenden Bauarbeiten, insbesondere zur Erstellung der Startbauwerke benutzt werden. Für den eigentlichen Tunnelvortrieb stellte das Netz jedoch noch keine voll befriedigende Lösung dar, da die grossen Halbachsen der mittleren Fehlerellipsen im Bereich der Tunnelstartpunkte doch Größenordnungen von mehr als 10 cm aufwiesen [7]. Eine durchgreifende Kontrolle wurde daher bereits 1986 vorgesehen, wozu sich naturgemäss das zwischenzeitlich zur Anwendungsreife gelangte Satellitenmessverfahren GPS anbot. So erhielt NORTECH-SURVEY 1987 den Auftrag, das in Abb. 8 dargestellte kanalübergreifende GPS-Netz mit vier P-Code-fähigen Zweifrequenzempfängern TI 4100 zu beobachten. Im Anschluss daran bestimmte das IGN zwei weitere Punkte mittels SERGEL-Empfängern und der OS auf englischer Seite im Bereich Dover vier weitere Punkte mit TRIMBLE-Empfängern.

Die Ergebnisse aller GPS-Messungen wurden in Ellipsoidstrecken und -azimute umgerechnet und diese als Pseudobeobachtungen in eine gemeinsame Ausgleichung mit den konventionellen Beobachtungen des CTG 86 eingeführt. Zwecks Berücksichtigung eventueller Massstabs- und Orientierungsunterschiede zwischen den GPS-Messungen und den terrestrischen Messungen wurde bei dieser Gesamtausgleichung zusätzlich ein Massstabsfaktor und eine Orientierungsunbekannte angesetzt, die sich später zu $dM = 1,5 \cdot 10^{-6}$ bzw. $d\theta = 0,15$ mgon ergaben. Im übrigen lagen dieser Gesamtausgleichung dieselben geodätischen Grundlagen zugrunde wie dem CTG 86. Bedingt durch den hohen Gewichtsansatz für die übergeordneten GPS-Beobachtungen ($\zeta = \pm 1$ ppm) wird das neue Grundlagenetz praktisch allein durch diese Messungen festgelegt, den konventionellen Messungen kommt lediglich die Bedeutung einer Netzverdichtung zu.

Die Berechnungen wurden vom IGN bzw. OS unabhängig und mittels unterschiedlicher Programme durchgeführt; sie ergaben trotz teilweise differierender Ansätze vollkommen befriedigende Übereinstimmung in den Ergebnissen. Die Genauigkeit (1 ζ -Qualität) ergab sich für den Be-

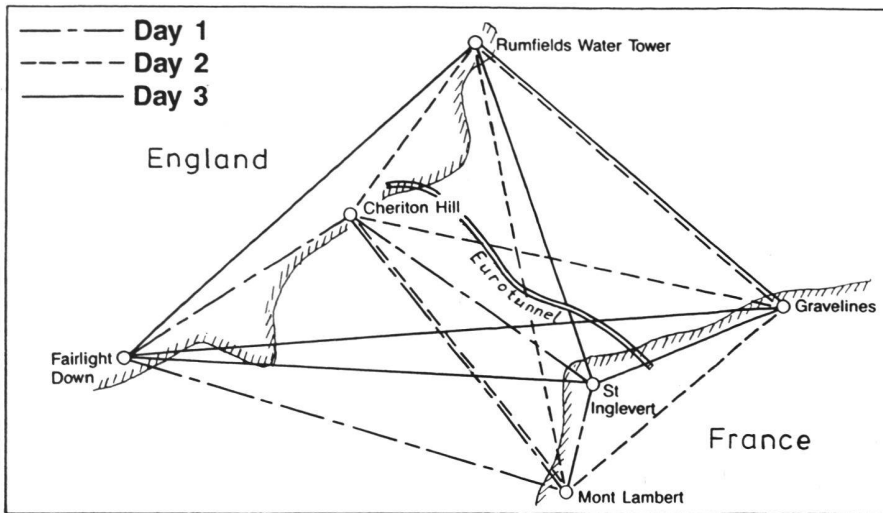


Abb. 8: Kanalübergreifende GPS-Messungen durch NORTECH-Survey.

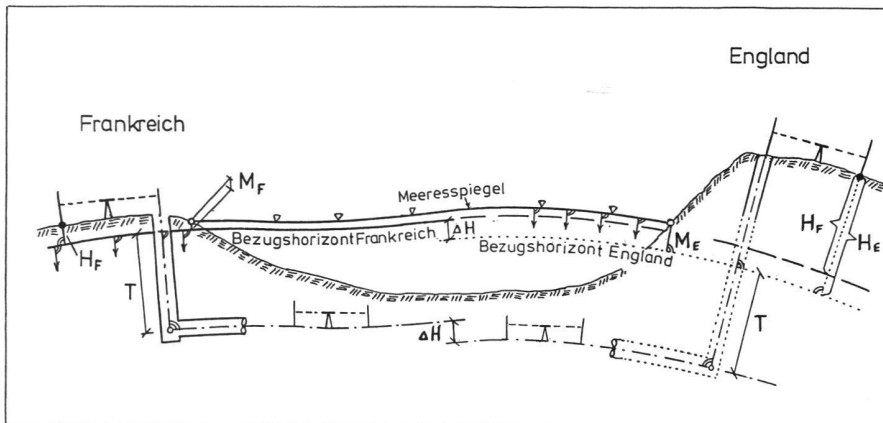


Abb. 9: Auswirkung der unterschiedlichen Höhensysteme.

reich des Kanaltunnels zu rund ± 1 ppm, was bei einer Entfernung der beiden Startpunkte von 38 km einer Längs- und Quergenauigkeit von ± 4 cm entspricht. Die geographischen Ellipsoidkoordinaten wurden abschliessend wiederum in das oben erläuterte Merkator-System ($\lambda_0 = 1^\circ 30'$, $\varphi_0 = 49^\circ$) umgeformt. Dieses Réseau-Tunnel-Manche (RTM 87) bildet gegenwärtig die Grundlage für den Vortrieb aller Tunnelstrecken.

4.3 Die übertägige Höhenverbindung

Nicht so gut wie bei dem durch Satellitenmessung gestützten Lagenetz sehen die Verhältnisse bei der übertägigen Höhenverbindung der Tunnelstartpunkte aus. Zwar liegen an den beiden Küsten gute Nivellements-festpunkte vor, doch beziehen sich deren Höhen auf unterschiedliche Bezugsflächen, da die früher vorgenommene Verknüpfung der englischen und französischen Höhensysteme nicht voll befriedigte.

Unter der Höhe eines Punktes versteht man bekanntlich dessen Lotabstand von einer ausgewählten Niveaufläche des Erdschwerefeldes (Abb. 9 und 10). Niveauflä-

chen aber stellen im Gegensatz zu den sonstigen Bezugsflächen der Landesvermessung (Kugel, Ellipsoid) keine mathematisch exakt erfassbaren Flächen dar, sondern vielmehr Flächen gleichen Schwerepotentials. Auf eine derartige Niveaufläche würde sich auch ein ruhend gedachter Meeresspiegel einstellen. Aus der Vielzahl dieser Niveauflächen hat jedes Land eine bestimmte Fläche als Bezugs- oder Normalnullfläche ausgewählt, und zwar in der Regel diejenige, die durch den Nullpunkt eines angrenzenden Meeresspiegels verläuft. Diese Bezugsflächen der einzelnen Länder laufen zwar annähernd parallel zueinander (Abb. 9), ihre gegenseitigen Abstände kennt man jedoch nur dann, wenn in den Grenzbereichen der Systeme örtlich identische Punkte in beiden Systemen höhenmässig bestimmt worden sind. Das aber ist hier im Kanal jedenfalls nivellistisch nicht möglich.

Würden die Tunneltiefen T an beiden Küsten von Höhenfestpunkten des jeweiligen Systems aus abgesteckt (Abb. 9) und ein verbindender Tunnel horizontal, d. h. parallel zu den Bezugsflächen aufgeföhren, so müssten die beiden Tunnelteilstücke im

Durchschlagspunkt um den Betrag ΔH versetzt aufeinander treffen. Dies wird vermieden, wenn die für die Tunnelabsteckung massgebenden Höhenfestpunkte vorab auf eine einheitliche Bezugsfläche umgestellt werden. Die hierzu erforderliche Korrekturgrösse ΔH liesse sich bestimmen, wenn die Höhen H_F und H_E einiger Vergleichspunkte durch verbindende Höhenmessungen über den Kanal hinweg in beiden Systemen bestimmt werden könnten ($\Delta H = H_E - H_F$). Derartige Höhenbestimmungen sind theoretisch nach verschiedenen Verfahren möglich, so z. B. durch

- verbindende trigonometrische Höhenmessungen,
- ein verbindendes hydrodynamisches Nivellement,
- verbindende Höhenmessungen mittels Satellitenmessverfahren.

Bei den hier vorliegenden Distanzen von etwa 40 km haften jedoch allen Verfahren mehr oder weniger grosse Unsicherheiten an, die in der Grössenordnung mehrerer Dezimeter bis zu einem Meter liegen können. Bei der trigonometrischen Höhenmessung sind es vor allem Restunsicherheiten der Zenitdistanzmessung, der Refraktion und der Geoidkrümmung, die dieses Verfahren praktisch ausschliessen.

Beim hydrodynamischen Nivellement wird die Grösse ΔH aus den an Pegelpunkten beider Küsten gemessenen Höhen M_F bzw. M_E (Abb. 9) einer ruhend gedachten Meeressoberfläche abgeleitet, wobei ergänzend die strömungsbedingte Schiefelage S dieser Meeressoberfläche infolge grossräumiger Wasserbewegungen Berücksichtigung findet [10]. Derartige Auswertungen sind aufgrund vorliegender Tidegangbeobachtungen durch das IGN und den OS für die Verbindungen Dieppe-Shoreham, Calais-Dover und Dünkirchen-Ramsgate vorgenommen worden [15], wobei sich der Höhenunterschied der französischen zur englischen Bezugsfläche im Mittel zu 0,29 m mit einer Standardabweichung von etwa ± 8 cm ergab.

Beim Staellitenmessverfahren können zwar die Höhenunterschiede Δh gegenüberliegender Küstenpunkte mit der gleich

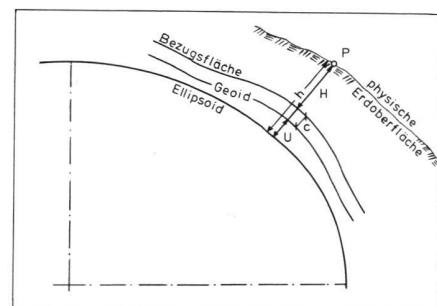


Abb. 10: Beziehungen zwischen ellipsoidischen Höhen h und orthometrischen Höhen H .

hohen Genauigkeit von wenigen Zentimetern bestimmt werden wie die Koordinatenunterschiede Δx , Δy , doch handelt es sich dabei nach Umformung der ursprünglich bestimmten geozentrischen Koordinaten auf das zugrundegelegte Ellipsoid um ellipsoidische Höhen h (Abb. 10) bzw. daraus abgeleitete ellipsoidische Höhenunterschiede Δh und nicht um die gesuchten orthometrischen Höhen H . Liegen jedoch an jeder Küste sowohl die ellipsoidischen Höhen h (Satellitenmessverfahren) als auch die durch Landesnivellement bestimmten orthometrischen Höhen H vor, so kann der Parallelabstand der betreffenden Bezugsfläche gegenüber dem modellhaft angenommenen Geoid mit Hilfe der Geoidundulationen U für jeden Punkt ermittelt werden zu (Abb. 10)

$$c = h - H - U$$

Diese Abstände c müssten für alle Punkte an der englischen Küste den konstanten Wert c_e und auf französischer Seite den entsprechenden Wert c_f ergeben. Die Differenz ΔC entspräche dem gesuchten Höhenunterschied ΔH der Bezugsflächen, der sich für das im Tunnelbereich liegende Satellitenmessprofil Dover–Calais aus 8 Messpunkten zu $\Delta H = 0,17 \text{ m} (\pm 0,08 \text{ m})$ ergab [15].

Unter Berücksichtigung aller Gegebenheiten ist schliesslich doch den Ergebnissen des hydrodynamischen Nivellements das grössere Gewicht beigemessen worden, jedenfalls haben IGN und OS der Tunnelgesellschaft empfohlen, den Höhenunterschied der beiden Bezugsflächen mit $\Delta H = 0,30 \text{ m} (\pm 0,08 \text{ m})$ in Rechnung zu stellen. Unter Einbeziehung der beidseitigen Anschlussmessungen dürfte demnach die Unsicherheit der übertägigen Höhenverbindung beider Startpunkte in der Grössenordnung $\zeta = \pm 10 \text{ cm}$ bzw. $T = 3 \cdot \zeta = \pm 30 \text{ cm}$ liegen.

Für das Gebrauchshöhennetz ist der gemeinsame Bezugshorizont nochmals rein rechnerisch um 200 m tiefer gelegt wor-

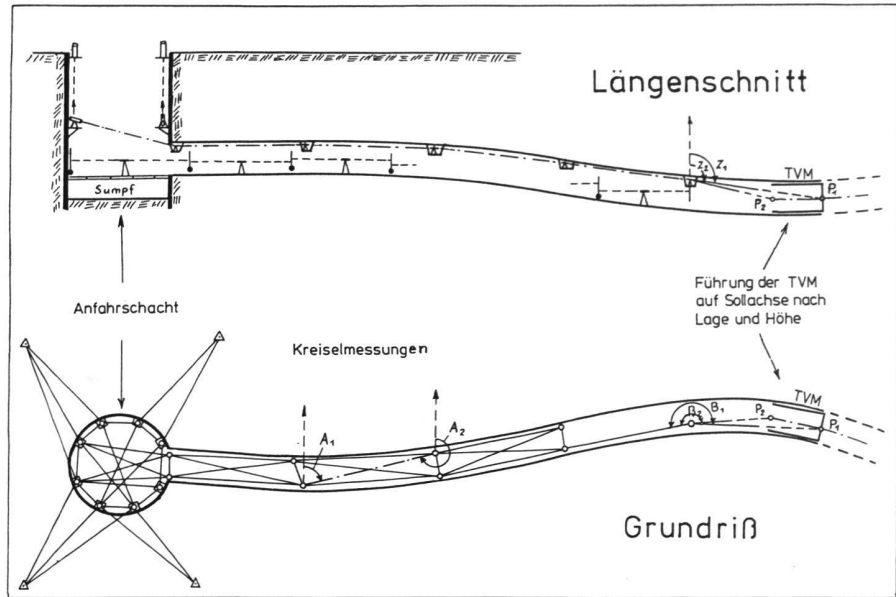


Abb. 11: Tunnelfestpunktsystem zur geometrischen Führung der Tunnelvortriebsmaschinen.

den, um so negative Höhenangaben für das Tunnelbauwerk zu vermeiden.

4.4 Die untertägigen Tunnelvortriebsmessungen

Beim Vortrieb sollen sich die Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) nach Lage und Höhe auf den Sollachsen der projektierten Tunnel vorwärts bewegen (Abb. 11). Für die geometrische Führung sind, dem Baufortschritt entsprechend, fortlaufend Lage- und Höhenfestpunkte im unmittelbaren Bereich hinter den TVM geodätisch festzulegen. Die lagemässige Bestimmung derselben erfolgt über fortlaufend ergänzte und durch Kreiselmessungen gestützte Doppelpolygone mit Diagonalverbindungen, die durch die Startbauwerke hindurch an das übertägige Grundlagennetz angeschlossen sind.

Höhenmässig werden die Tunnelfestpunkte durch geometrische Feinnivellements bestimmt, die ebenfalls durch die

Startbauwerke hindurch an das übertägige Höhenfestpunktsystem Anschluss nehmen.

Die Messgenauigkeiten können bei den erschwerten Untertagebedingungen als Standardabweichungen veranschlagt werden zu

Polygonbrechungswinkel

$$\sigma_\beta = \pm 0,5 \text{ mgon}$$

Kreiselmessungen

$$\sigma_A = \pm 1,0 \text{ mgon}$$

Polygonseiten

$$\sigma_s = \pm 2,0 \text{ mm}$$

Nivellement

$$\sigma_h = \pm 2,0 \text{ mm/km}$$

Damit ergeben sich für die halbe Tunnellänge von etwa 20 km zu veranschlagende Standardabweichungen von rund

$$\text{in Querrichtung} \quad \sigma_q = \pm 5 \text{ cm}$$

$$\text{in Höhe} \quad \sigma_h = \pm 1 \text{ cm}$$

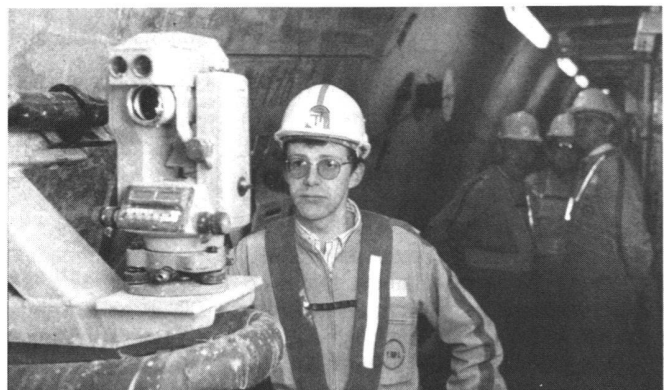
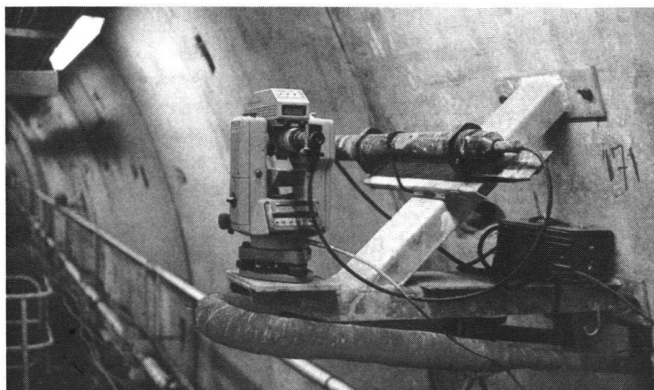


Abb. 12: Alle 45 m sind in den Tunnelwänden feste Vermessungskonsolen angebracht. Hier werden die Instrumente zur Bestimmung der Festpunkte und zur Führung der TVM aufgesetzt.

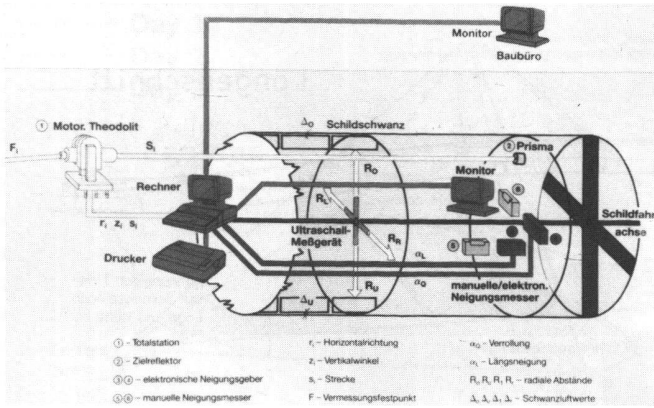


Abb. 13: Das automatische Tunnelbau-Führungssystem TUMA.

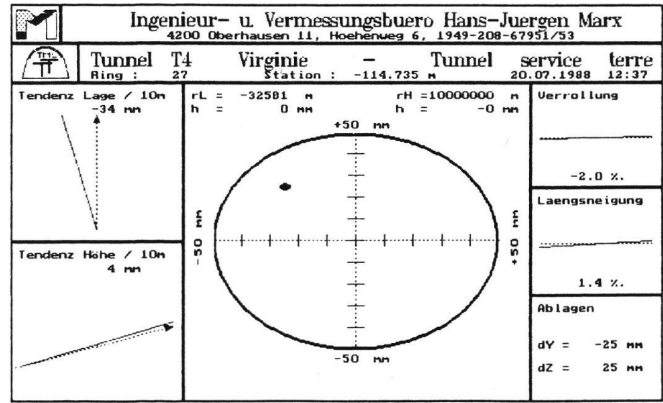


Abb. 14: Monitorbild des Tunnelbau-Führungssystems TUMA.

Zusammenhängende und unabhängige Hauptkontrollmessungen werden in größeren Zeitabständen sowohl auf französischer als auch auf englischer Seite durch das Institut für Lagerstätte und Vermessung der DEUTSCHEN MONTAN TECHNOLOGIE (Bochum) ausgeführt.

Die unmittelbare geometrische Führung der Tunnelvortriebsmaschinen (TVM) erfolgt jeweils von dem vordersten, etwa 30–100 m hinter dem Bohrkopf einer Maschine gelegenen Festpunkt aus mittels spezieller Messsysteme. Dabei wird auf englischer Seite und in den drei Seetunnelabschnitten der französischen Seite das Tunnel-Guidance-System TG 260 der Firma ZED-Instruments (London) eingesetzt. Für die zuletzt angelaufenen drei Landtunnelabschnitte an der französischen Küste haben sich die bauausführenden Firmen für den Einsatz des deutschen Tunnelbauführungssystems TUMA [12] entschieden, das zwischenzeitlich in Zusammenarbeit zwischen dem Ingenieurbüro MARX (Oberhausen) und dem Verfasser entwickelt worden war. Dieses setzt sich entsprechend Abbildung 13 aus einer motorisierten, selbsttätig zielsuchenden und messenden Totalstation GEODIMETER 140 SMS, zwei elektronischen Neigungsgebern, vier Ultraschall-Abstandsmessgeräten und einem Prozessrechner mit angeschlossener Peripherie (Monitore, Drucker etc.) zusammen. Die Arbeitsweise kann zusammenfassend wie folgt beschrieben werden:

1. Der räumliche Verlauf der projektierten Tunnelachse wird dem Rechner in Form dreidimensionaler Koordinaten der Trassenhauptpunkte sowie der Parameter der Grundrisskurve und der Gradienten eingegeben.

2. Der auf dem letzten koordinatenmässig bekannten Festpunkt stationierte Motortheodolit verfolgt beim Vortrieb permanent zwei im Maschinenbereich angeordnete Tripelprismen, misst in bestimmten Zeitabständen Horizontalrichtungen, Zenitwinkel und Distanzen dorthin und leitet diese Messwerte online dem Rechner zu.

3. Gleichzeitig werden über Neigungsgeber die Längs- und Querneigungen der TVM gemessen und ebenfalls dem Rechner zugeführt.

4. Das Rechenprogramm ermittelt aus den Messdaten zunächst X, Y, Z-Koordinaten für die Tripelprismen und im Anschluss daran mit Hilfe der gemessenen Längs- und Querneigungen dreidimensionale Koordinaten für den vorderen Achspunkt der Maschine.

5. Die folgende Fusspunktberechnung auf die theoretische Planungsachse liefert unmittelbar die gesuchten Ablagen, d.h. die horizontalen und vertikalen Abweichungen der augenblicklichen Maschinenachse gegen die Planungsachse. Diese werden graphisch in Form eines Leuchtpunktes und numerisch auf den im Führerstand der TVM und in der übertragbaren Bauleitung installierten Monitoren dargestellt (Abb. 14). Der Maschinenführer hat bei richtiger Schildfahrt also nur dafür zu sorgen, dass während des Vortriebs der Leuchtpunkt (= Maschinenachse) möglichst im Nullpunkt des Bildschirmkreuzes (= Planungsachse) oder doch zumindest innerhalb des vorgegebenen Toleranzkreises (in der Abbildung $r = 50$ mm) zu liegen kommt.

Darüberhinaus ermittelt dieses Führungssystem mit Hilfe aller zur Verfügung stehenden Messdaten Vortriebs Tendenzen, notwendige Korrekturfahrten sowie unter Hinzuziehung der per Ultraschall gemessenen Radialabstände auch die optimalen Einbaustellungen der nächstfolgenden Ringe (optimale Ringbaufolge), wodurch die angestrebte Raumführung des Tunnelausbaus und insbesondere ein berührungsfreier Ausbau innerhalb des Schildes erreicht wird.

4.5 Durchschlagsprognose

Die zu erwartende Genauigkeit, mit der sich die von den Küsten her vorgetriebenen Tunnelstücke unter dem Ärmelkanal voraussichtlich treffen werden, kann entsprechend den unabhängig durchgeführten Lage- bzw. Höhenmessungen in

eine Querkomponente und eine Höhenkomponente aufgegliedert werden. Die ebenso zu erwartende Längskomponente ist bautechnisch bedeutungslos.

Die Querkomponente ζ_q ist bei dem nur schwach gekrümmten Tunnelverlauf im wesentlichen abhängig von der relativen Festlegungsgenauigkeit der Startpunkte durch das übertragene Verbindungsnetz inklusive Übertragungsmessungen ($\zeta = \pm 5$ cm) und von den Fehlereinflüssen der untertägigen Vortriebsmessungen ($\zeta = \pm 5$ cm für die halbe Tunnellänge). Die zu erwartende Standardabweichung des Durchschlags in Querrichtung beträgt somit insgesamt

$$\zeta_q = \sqrt{5^2 + 2 \cdot 5^2} = \pm 9 \text{ cm}$$

oder der mögliche Toleranzbereich in Querrichtung

$$T_q = 3 \cdot \zeta_q = \pm 27 \text{ cm}$$

Die Höhenkomponente des zu erwartenden Durchschlagsfehlers wird im wesentlichen beeinflusst von der in Abschnitt 4.3 erläuterten Ungenauigkeit der übertragene Höhenverbindung ($\zeta = \pm 8$ cm). Demgegenüber sind die Ungenauigkeiten der Anschlussmessungen ($\zeta = \pm 0,5$ cm je Startpunkt) und der untertägigen Vortriebsnivelemente ($\zeta = \pm 1$ cm für die halbe Tunnellänge) praktisch bedeutungslos. Die zu erwartende Standardabweichung des Durchschlagsfehlers in vertikaler Richtung wird damit

$$\zeta_h = \sqrt{8^2 + 2 \cdot 0,5^2 + 2 \cdot 1^2} = \pm 9 \text{ cm}$$

oder der mögliche Toleranzbereich

$$h = 3 \cdot \zeta_h = \pm 27 \text{ cm}$$

Der radiale Toleranzbereich in dem der Durchschlag erwartet werden kann, beträgt somit

$$T = \sqrt{T_q^2 + T_h^2} = \pm 38 \text{ cm}$$

Dieser, für den Tunnelbau relativ grosse Toleranzbereich, wird praktisch dadurch aufgefangen werden, dass bei Annäherung

der beiden Servicetunnel auf etwa 100 m eine geradlinige Sondierbohrung sowie ein Richtstollen zwischen den beiden Tunnelstücken angelegt und bei Sichtverbindung eine messtechnische Verbindung nach Lage und Höhe hergestellt wird. Auf dieser Länge von 100 m wäre dann noch eine hinreichende Angleichung beider Servicetunnel möglich. Die grösseren Fahrtunnel liegen zu diesem Zeitpunkt im Vortrieb noch bis zu 7 km zurück und können mittels Verbindungsmessungen zu den jetzt durchgängig ausgeglichenen Vortriebsmessungen des Servicetunnels frühzeitig abgefangen und praktisch fehlerfrei aufeinander zugeführt werden.

Literatur:

- [1] Bonavia, M.R.: The Channel Tunnel Story. Verlag Davis & Charles, London 1987.
- [2] Braun, W.M.: Das Channel Tunnel Projekt. Zeitschrift «Tunnel» 1987, S. 3 ff.
- [3] Braun, W.M.: Eurotunnel als Modell des Transitverkehrs von morgen. Zeitschrift «Österreichische Bauwirtschaft» 1987, S. 4 ff.
- [4] British Tunneling Society meeting: A History of the Channel Tunnel. Zeitschrift «Tunnels & Tunneling» 1980, S. 60 ff.
- [5] Eurotunnel: The Channel Tunnel. A Technical Description. Informationschrift Eurotunnel, August 1987.
- [6] Heitkamp (Hrsg.): Tunnel unter dem Ärmelkanal. Firmeneigene Informationschrift, Herne 1976.
- [7] Institut Géographique National: The Establishment of a Survey network for use on the cross Channel projekt, Paris 1989.
- [8] Jacobs, E.: Die Bau- und Vermessungsarbeiten für den Kanaltunnel Dover-Calais. VDV-Schriftenreihe Band 1: Aktuelle Ingenieurvermessung, S. 81 ff., Verlag Chmielorz, Wiesbaden 1989. Gekürzte und überarbeitete Fassung in Zeitschrift «Der Vermessungsingenieur» 1989, S. 120 ff.
- [9] Jacobs, E.: Die Bau- und Vermessungsarbeiten für den Kanaltunnel Dover-Calais. Zeitschrift «Die Geowissenschaften» 1990, S. 63 ff.
- [10] Jacobs, E.: Die ingenieurgeodätischen Arbeiten für den Bau des Kanaltunnels Dover-Calais. «Zeitschrift für Vermessungswesen» 1990, S. 279 ff.
- [11] Korittke, N.: Vortrieb und Vermessung beim Bau des Eurotunnels. Zeitschrift «Glückauf» 1990, S. 656 ff.
- [12] Marx, H.J.: Das automatische Tunnelbauführungssystem TUMA. VDV-Schriftenreihe Band 1: Aktuelle Ingenieurvermessung, S. 101 ff. Verlag Chmielorz, Wiesbaden 1989.
- [13] Morlot J.J.: Méthode et construction du lien fixe transmanche: méthodes et instruments topométriques. Zeitschrift XYZ der Association Française de Topographie, Nr. 40, Juli 1989, S. 13 ff.
- [14] Taylor, M.: Geodesy for the Channel Tunnel. Geodetical Info Magazine, März 1988, S. 4 ff.
- [15] Willis, P. u.a.: Connection of the two levelling system datum IGN 69 und ODN trough the Channel by using GPS and other techniques. First international Workshop on Geodesy for the Europe-Africa fixed link feasibility studies in the strait of Gibraltar. March 1989, Madrid.

Adresse des Verfassers:
Prof. Dr.-Ing. Erwin Jacobs
Mendener Höhe 32
D-4330 Mühlheim a.d. Ruhr

Grundbesitz

F. Ponti

Felix Ponti veröffentlicht seit Jahren Kurzgeschichten und Gedichte zu aktuellen Themen. Bände sind von ihm erschienen: «Begegnung im Schatten», 1976, «Die Holosophische Gesellschaft», 1977 (Verlag Sauerländer, Aarau).

Die nachstehende Kurzgeschichte zeichnet auf surrealistisch versponnene Art das Verhältnis von Grundeigentümern, Planern, Behörden und Geometern zum Grund und Boden und stellt damit den Grund«besitz» in Frage.

Félix Ponti publie depuis des années de petites histoires et des poèmes sur des thèmes actuels. Il a écrit des recueils: «Begegnung im Schatten», 1976, «Die Holosophische Gesellschaft», 1977 (Ed. Sauerländer, Aarau).

Le récit suivant décrit d'une façon surréaliste les relations entre les propriétaires fonciers, les créateurs de projets, les autorités et les géomètres, par rapport aux terres et explique ainsi la «propriété» foncière.

Nein, mein bisschen Boden gebe ich nicht her, sagte der Alte zum zehnten und zwanzigsten Male. Unter keinen Umständen. Baut eure Strasse anderswo. Der Alte blieb hartnäckig. Er verkaufte kein Land, keinen Finger breit. Nur seinetwegen musste der Baubeginn der Strasse verschoben werden.

Es sind öffentliche Interessen, sagten die Behördenvertreter immer und immer wieder. Und wir könnten dich enteignen. Gegen das Wohl der Allgemeinheit darf ein einzelner nicht auf sein Recht pochen. Zudem bezahlen wir bar. Der Alte lachte auf seinen Stockzähnen. Die hatte er nämlich noch.

Bezahlen könnt ihr schon, entgegnete er und hüstelte. Aber enteignen nicht. Ihr könnt es nicht. Es ist mein Land. Und ich behalte es. Auch wenn ihr mich vertreiben werdet. Ihr werdet es bereuen, wenn ihr mich zwingt.

Sie lachten nur, und er wurde gezwungen. Es wurde ein Enteignungsverfahren eingeleitet. Da geschah es: Eines Nachts rollte der Alte seine paar mageren Wiesen und Äckerlein zusammen, ganz eng rollte er sie, packte sie in seinen grauen Rucksack aus Segeltuch, zog ihn sich über die Schultern und ging weg. Der Alte war am Morgen einfach nicht mehr da. Das Land war nicht mehr da, und die Strasse konnte nicht gebaut werden.

Die Strasse ist aber nötig. Die einen brauchen sie zum Autofahren, den anderen dient sie als Gelegenheit zu Verdienst und Gewinn. Man sieht: Es kann nicht auf die Strasse verzichtet werden.

Das Land des Alten ist weg, sagten die Leute an jenem unschönen Morgen. Was geschieht jetzt mit der Strasse? Er hatte nicht das Recht dazu, sein Land mitzunehmen, sagte der Bürgermeister. So etwas gibt es doch gar nicht. Kein Mensch tut sowas.