

Die Neue Österreichische Tunnelbaumethode

Wulf SCHUBERT, TU Graz
Georg M. VAVROVSKY, HL-AG Wien

1. Vorwort

Im Rahmen eines historischen Vortrages anlässlich des XIII Kolloquiums der Internationalen Gesellschaft für Felsmechanik in Salzburg stellte L. v. RABCEWICZ im Oktober 1962 eine Tunnelbaumethode vor, welche auf den theoretischen und praktischen Erkenntnissen der damaligen Zeit aufbauend den von ihm selbst im Jahre 1948 postulierten Gedanken eines nachgiebigen Hilfsgewölbes mit den damals aufkommenden Möglichkeiten der Meß - und Sicherungstechnik zu einem geschlossenen Gesamtkonzept verknüpfte. An den Beginn seiner Ausführungen stellte er ein Zitat von LEONARDO DA VINCI, welches er seiner neuen Baumethode gleichsam als Leitgedanken mit auf den Weg gab [1]. Es ist heute noch in gleichem Maße aktuell und vermag mehr über diese Baumethode zu vermitteln, als jede noch so detaillierte Beschreibung.

„Man sagt, daß die Erkenntnis, die von der Erfahrung kommt, rein handwerksmäßig sei und nur jene wissenschaftlich, die im Geiste entsteht und endet. Doch scheint mir, daß jene Wissenschaften eitel und voller Irrtümer sind, die nicht geboren wurden aus der Erfahrung, der Mutter jeder Gewißheit.“

Tatsächlich stand die vorgestellte Tunnelbaumethode auf den Schultern der Erfahrung einer über 100 Jahre währenden, vornehmlich in den Alpenländern beheimateten Tradition, welche bis auf die Anfänge des Eisenbahnbaues in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zurück reicht.

In der veröffentlichten Fassung dieses Vortrages [2] gab L. v. RABCEWICZ seiner Baumethode den Namen „Neue Österreichische Tunnelbauweise“. Als New Austrian Tunnelling Method (NATM) ist sie heute weltweit zum Begriff und zum Meilenstein in der Entwicklung des modernen Tunnelbaues geworden.

"Neu" nannte L.v. RABCEWICZ diese Methode, um sie von der bisher bekannten (alten) Österreichischen Bauweise (

Bild 1) zu unterscheiden, "Österreichisch" bezeichnete er sie, um zum Ausdruck bringen, daß „österreichische Ingenieure an ihrer Entwicklung einen wesentlichen Anteil hatten“ [3].

Die NATM baute sowohl auf alt überlieferten Erfahrungen und Beobachtungen als auch auf den neuesten theoretischen Untersuchungen und Erkenntnissen auf. Teils wegen der Komplexität des Baugrundes, teils wegen der erst Anfang des 20. Jahrhunderts einsetzenden wissenschaftlichen Beschäftigung mit der Materie, hat sich der Tunnelbau erst nach Ende des 2. Weltkrieges in eine Richtung entwickelt, welche heute allgemein als die richtige anerkannt wird. Bei der Weichenstellung waren österreichische Bauherren, Ingenieure, Poliere und Mineure wesentlich be-

teilt. Sie haben den Mut gefunden, eine neue, bisher nur in Teilelementen erprobte Methode unter Übernahme hoher persönlicher Verantwortung einzuführen.

Die mit dem wirtschaftlichen Aufschwung einhergehenden Aufgaben, wie der zügige Ausbau der Wasserkraft, des Verkehrsträgers Straße sowie zunehmend auch der städtischen Untergrundbahnen, nicht zuletzt aber auch die Faszination der neuen Tunnelbaumethode brachte in den Folgejahren eine ansehnliche „Österreichische Tunnelbauschule“ hervor, welche bei der Umsetzung und Ausformulierung dieses Gedankengebäudes immer neue Räume entdeckte und erschloß.

Die Initiative, dieses Haus zu beziehen, ist nachweisbar von Österreich ausgegangen, an der Erschließung und Ausgestaltung hat aber eine Vielzahl von Ingenieuren und Wissenschaftlern aus aller Welt teilgenommen. Das Gedankengebäude der NATM ist daher heute zum gemeinsamen Haus der internationalen Tunnelbau-Fachwelt geworden.

2. Entwicklung des Tunnelbaues vor 1944

Mit dem Einsetzen des Eisenbahnbaues in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts stieg der Bedarf an Tunnelbauten außerordentlich. Die Tunnelbautechnik aber stand wegen einer praktisch jahrhundertelangen Inaktivität auf diesem Gebiet vollkommen am Anfang. Löse- und Ausbautechniken für die Verkehrstunnelbauten wurden daher weitgehend aus dem Bergbau übernommen, welcher an die Dauerhaftigkeit der Bauwerke jedoch bedeutend geringere Anforderungen stellte.

Die Stabilisierung der freigelegten Laibung erfolgte noch bis etwa in die Mitte dieses Jahrhunderts zumeist mit Hilfe von Holzeinbauten. Die Ausbauten beanspruchten dabei einen erheblichen Teil des neugeschaffenen Hohlraumes, was die Arbeiten nicht unwesentlich erschwerte. Als endgültiger Ausbau diente in der Regel Mauerwerk aus behauenen oder unbehauenen Naturstein, vereinzelt auch aus Ziegeln. Dabei war sowohl Trockenmauerwerk wie auch vermörteltes Mauerwerk gebräuchlich (*Bild 1*).

Der mangelhafte flächige Kontakt, die Nachgiebigkeit des Ausbaues und die zusätzlich hervorgerufenen Bewegungen durch das oftmalige Umstützen führte in vielen Fällen zu einer Auflösung des Gebirgsverbandes in Hohlraumnähe. Das entfestigte und durch Gefügauflockerung entspannte Gebirge belastete in der Folge den Ausbau durch sein Gewicht, was zum Teil mächtige Gewölbemauerungen erforderte.

Bild 1: Alte österreichische Bauweise: Ausbruch- und Ausbauabfolge am Beispiel des Semmering-Haupttunnels (aus RZIHA [4])

Eine ingenieurmäßige Behandlung des Untertagebaus setzte mit dem von RZIHA im Jahre 1867 (Band I) und 1874 (Band II) veröffentlichten ersten großen Standardwerk "Lehrbuch der gesamten Tunnelbau-Kunst" ein. RZIHA, dessen Grab am alten Bergfriedhof von Maria Schutz am Semmering bis in die heutige Zeit erhalten blieb, ist damit zweifellos zum Altvater des Tunnelbaus geworden.

Schon damals stellte er richtungsweisend fest:

"Die Kunst des Ingenieurs ist, großen Gebirgsdruck fernzuhalten, das heißt, nicht entstehen zu lassen, eine weit größere Kunst als jene, einmal vorhandenen Gebirgsdruck zu bewältigen"

Besonders die Diskussionen rund um den Bau des Simplontunnels haben in der weiteren Folge einen wesentlichen Anstoß zur Beschäftigung mit den verschiedenen Formen des Gebirgsdruckes gegeben. Zu schaffen machte damals vielen Ingenieuren die Tatsache, daß Tunnel auch bei großer Überlagerung oft nur geringe Auskleidung benötigten, während andere wieder behaupteten, die Tunnel würden im Laufe der Zeit zuwachsen. Bedeutende Erkenntnisse wurden schließlich in den Jahren 1909 und 1912 von WIESMANN in [5] und [6] veröffentlicht, wobei er als erster die Spannungsumlagerung um den Hohlraum im Grunde richtig erkannt hat und daraus u.a. folgende wichtige Schlußfolgerung zog:

"Der Tunnelbauer hat also gar nicht die Aufgabe, den Hohlraum gegen Überlagerungsdruck abzustützen, dies bewirkt die Schutzhülle, sondern er muß nur um deren Erhaltung besorgt sein."

Besonders hervorzuheben ist auch die Arbeit von LEON und WILLHEIM [7] von der TH Wien, welche sowohl theoretisch als auch mit Versuchen den wirklichen Zusammenhängen schon sehr nahe kamen. Es ist jedoch bezeichnend für die

Wirren der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts, daß die theoretischen Erkenntnisse über Jahrzehnte keinen Eingang in die Praxis fanden. Der Bemessung von Tunnelauskleidungen lagen weiterhin oft völlig unrealistische gebirgsmechanische Annahmen zugrunde. Auch eine systematische Beobachtung des Gebirgsverhaltens wurde praktisch nicht durchgeführt. Der erste große Weltkrieg und die Rezession in den zwanziger und dreißiger Jahren des 20. Jhdts. ließen zudem viele der Erkenntnisse wieder in Vergessenheit geraten.

3. Der Erkenntnisstand an der Schwelle zum modernen Tunnelbau

Diese Umstände bewogen L.v. RABCEWICZ, welcher in der Zwischenkriegszeit im Iran und der Türkei große Erfahrung im Tunnelbau sammeln konnte, im Jahre 1944 seine eigenen Erfahrungen sowie die Erkenntnisse der damaligen Zeit zusammenzufassen. Er nennt dabei auch all jene, die im zurückliegenden Jahrhundert maßgebend an der Entwicklung des Verständnisses für die geomechanischen Vorgänge im Tunnelbau beteiligt waren [8]. Einige der Zitate aus diesem beachtenswerten Werk mögen den richtungsweisenden Weitblick verdeutlichen.

Zum **Auflockerungsdruck**:

„Die Ursache des Auflockerungsdruckes liegt vor allem in den Mängeln unserer Minierung und des hierbei verwendeten vorübergehenden Ausbaues, der Setzungen und Hohlraumbildungen begünstigt.“

Er weist auf den Einfluß der Zeit hin, indem er sagt: *„Einer der bedeutendsten Faktoren für die Erzeugung des Auflockerungsdruckes ... ist die Zeit. Je rascher ein Hohlraum geschlossen wird, umso geringer sind die Setzungen.“*

Im Zusammenhang mit der Bestimmung der Größe des entstehenden Auflockerungsdruckes weist L.v. RABCEWICZ auf den Einfluß der Gebirgsstruktur hin, indem er schreibt: *„Da das Gebirge nur in Ausnahmefällen homogen ist ... so kann wohl kein Zweifel darüber herrschen, daß der Auflockerungsdruck weitgehend von den geologischen Verhältnissen abhängt. Es ist dabei falsch, den Querschnitt allein zu betrachten, man muß stets das räumliche Gebirge vor Augen haben.“*

Zu den entsprechenden Bau- und Betriebsweisen im Falle der Gefahr des Entstehens von Auflockerungsdruck merkt er an:

„Bei Auflockerungsdruck ist stets jene Tunnelbau- und Betriebsweise als die geeignetste zu bezeichnen, welche den schnell und mit geringsten Setzungen geöffneten Querschnitt möglichst rasch wieder durch einen unzusammendrückbaren, endgültigen Einbau schließt.“

Zum **Echten Gebirgsdruck**:

Aufbauend auf den Erkenntnissen von LEON und WILLHEIM erläutert L.v. RABCEWICZ: *„Das Primäre bei lotrechtem Überlagerungsdruck ist eine Stauchung der Ulmen mit elastischem Ausweichen gegen den Hohlraum. Wird dabei die Gebirgsfestigkeit nicht überschritten, so geschieht nichts, der Tunnel bedarf keiner Ausmauerung.... Im Augenblick aber, wo es zu Zerstörungen kommt, ändert*

sich das Spannungsbild. Bei den Ulmen sinkt die Spannung auf 0, und der Druckanstieg verlagert sich weiter in den Berg hinein.“

In Anlehnung an die „Schutzhülle“ nach WIESMANN und Beachtung der Versuchsergebnisse und theoretischen Erkenntnisse von LEON und WILLHEIM schreibt er:

„Bei Überschreitung der Gebirgsfestigkeit bildet sich also um den Hohlraum eine Zone, die den Druck von diesem fernhält: „Die Schutzzone.“

Eine weitere wichtige Erkenntnis ist die Auswirkung des echten Gebirgsdruckes auf die verschiedenen Gesteine. Bei sprödem Gestein äußere sich der Gebirgsdruck in Form von Bergschlägen. „Pseudofestes“ Gestein neigt *„zur mehr oder minder bruchlosen Umformung ... und zwar um so mehr, je weicher die Gesteine sind... Die Kräfte, die bei der elastisch - plastischen Ausdehnung auftreten, sind als Molekularkräfte so gewaltig, daß ihnen auch stärkste Einbauten nicht widerstehen können. Die nicht genügend rasche Schutzhüllenbildung bzw. die zu rasch eingezogene Mauerung ist daher die häufigste Ursache der Zerstörung von Tunnelstrecken.“*

Weiters bemerkt er in diesem Zusammenhang: *„Auch beim vorläufigen Ausbau ist es zwecklos, den Versuch zu machen, dem Gebirgsdruck durch steife, schwere Konstruktionen zu begegnen, da diese unweigerlich zerdrückt werden würden. Die Kräfte sind so groß, daß sie nur durch gleichartige Mittel bekämpft werden können. Derartige Mittel besitzen wir aber nicht, daher müssen wir es der Natur überlassen, uns zu helfen, was sie glücklicherweise durch die Bildung der Schutzzone tut. Hierzu ist Raum und Zeit nötig.“*

Resümee und Blick in die Zukunft

Sein Resümee über die bis zu dieser Zeit unbefriedigenden Bauweisen zieht er wie folgt:

„ ... es ist wohl an der Zeit, die bisherigen, höchst unwissenschaftlichen Methoden durch bessere, zielbewußtere zu ersetzen und durch systematische Beobachtungen und Messungen bei sämtlichen in Zukunft auszuführenden Bauten Erkenntnisse zu erringen, die als Grundlage eines Fortschrittes unumgänglich notwendig sind.“

Mit dem Satz: *„Haben wir einmal einige tausend Meßergebnisse, wird auch die Brücke zur rechnerischen Lösung gefunden“* gibt er sich zuversichtlich, daß dem Mangel der damals angewandten Berechnungsmethoden in kurzer Zeit abgeholfen werden kann.

Für die systematische Messung stellt er konsequenter Weise schon damals ein Beobachtungsgespärre vor, welches im Richtstollen in Abständen von etwa 20 m einzubauen wäre und absolute Verformungsmessungen erlaube.

Bild 2: Beobachtungsgespärre im Richtstollen mit Meßvorrichtung aus [8]

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen entwickelt L.v. RABCEWICZ wenig später ein Verfahren, welches er 1948 patentieren läßt [9].

In der Patentschrift wird erläutert, daß die Wandungen des Hohlraumes zunächst durch einen dem Gebirgsdruck nachgebenden Ausbau abgestützt werden und erst nach Abflauen desselben der endgültige Ausbau des Hohlraumes erfolgt. Er geht dabei von der Feststellung aus, daß der Gebirgsdruck nach einer bestimmten Zeit, welche je nach Randbedingungen und Material des Gebirges verschieden ist, abflaut und zu einem Gleichgewichtszustand gelangt.

4. Die Entwicklung der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode

Ab etwa 1947 finden vermehrt Ankerungen in Form von „Roof bolting“ im Bergbau, später auch im Tunnelbau Anwendung. Die Entwicklung beginnt zunächst in den USA und Schweden, später wird die Ankerung auch in Mitteleuropa eingesetzt.

Annähernd parallel dazu gelangt zunehmend auch Spritzbeton zum Einsatz, welcher sich aus dem „Gunit“, einem Spritzmörtel für Sanierungen, entwickelt hat. Ein besonderes Verdienst um die praxisgerechte Anwendung dieses für den gesamten Tunnelbau revolutionierenden Sicherungsmittels kommt dabei zweifelsohne dem österreichischen Tunnelbauingenieur Anton BRUNNER zu.

L.v. RABCEWICZ erkennt sehr rasch die herausragende Bedeutung des Spritzbetons für den modernen Tunnelbau, beschäftigt sich in den fünfziger Jahren aber auch sehr intensiv mit der Wirkung von Ankerungen. Laborversuche im kohäsionslosen Material bestätigen die Wirksamkeit einer systematischen Ankerung sogar im Lockergestein [10,11,12 und13].

Bild 3 Schematische Darstellung der Ankerungswirkung; aus [11]

Während sich in Österreich der sogenannte „Salzburger Kreis“ um STINI, CLAR, MÜLLER, PACHER, LAUFFER, u.a. formiert, welcher sich intensiv mit dem neuen Fachgebiet Felsmechanik auseinandersetzt und den geomechanischen Unterbau für den modernen Tunnelbau liefert, wagt L.v. RABCEWICZ 1956-1958 erstmals den Einsatz von Systemankerung und Spritzbeton als alleinige Stützmittel bei Autobahn- und Eisenbahntunnels in Venezuela. Schritt für Schritt entwickeln sich nun die einzelnen Elemente einer in ihrer Gesamtheit völlig neuen Tunnelbaumethode.

Innovativ tätig sind in dieser Zeit vor allem auch die Kraftwerksgesellschaften, insbesondere die Tiroler Wasserkraftwerke AG. Mit den neuen Sicherungsmethoden sammeln sie im Stollenbau überaus wertvolle Erfahrungen. Parallel dazu entwickelt sich nun auch die Meßtechnik, um welche sich vor allem L. MÜLLER und F. PACHER verdient machen.

Als sich immer deutlicher abzuzeichnen begann, daß die klassischen Tunnelbauweisen durch die neueren Entwicklungen endgültig abgelöst werden, prägte L.v. RABCEWICZ schließlich den Begriff der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise. In [2] tat er dies mit den Worten:

"Die geschilderte Spritzbeton-Ankerungs-Bauweise, welche in Österreich entwickelt und erprobt wurde, bildet als "Neue Österreichische Tunnelbauweise" den derzeitigen Schlußpunkt in der Entwicklung der Tunnelbaumethoden"

Zurückblickend war diese Bezeichnung vielleicht nicht allzu glücklich, denn die NÖT war auch von L.v. RABCEWICZ niemals als Bauweise im traditionellen Sinne, also als Vorgangsweise im Querschnitt bzw. als reine Sicherungsmethode gedacht. Die historische Entwicklung belegt allerdings eindeutig, daß es schon damals um ein Konzept ging, nach welchem Tunnelbauwerke richtigerweise herzustellen seien. In der englischen Kurzfassung dieses Artikels ist die neue Methode daher richtigerweise auch als "New Austrian Tunneling Method" (NATM) bezeichnet.

5. Der Siegeszug der NATM rund um die Welt

Der Durchbruch der Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode in Europa gelingt 1963, als nach einem Verbruch beim Massenbergtunnel L.v. RABCEWICZ als Berater beigezogen wird [14]. Er ändert die Vorgangsweise vollkommen, verwendet Spritzbeton, Perfo-Ankerung und einen relativ raschen Ringschluß (Bild 4).

Bild 4 Regelquerschnitt Massenbergtunnel, links ursprünglicher Entwurf, rechts ausgeführter Querschnitt nach den Grundsätzen der neuen Bauweise; aus [14]

Der Stabilisierungsprozeß wurde durch systematische Messung beobachtet, wobei sich die Wirkung des Sohlschlusses deutlich zeigte. Der Bau konnte schließlich ohne Probleme zu Ende geführt werden.

L.v. RABCEWICZ, L. MÜLLER und F. PACHER bekamen in der Folge den Auftrag zur Planung und Bauberatung des Tunnels Schwaikheim (BRD), wo eine ähnliche Vorgangsweise wie am Massenbergtunnel gewählt wurde. Auch hier war dem Team großer Erfolg beschieden.

Einen entscheidenden Meilenstein in der Entwicklung der neuen Methode stellte in weiterer Folge der Bau des Tauerntunnels dar [15]. Dieser Tunnel ist Teil der ersten Ostalpen-Querung im Zeitalter des modernen Verkehrstunnelbaus und stellte im stark tektonisch beanspruchten Gebirge mit hoher Überlagerung eine enorme Herausforderung dar.

Im Zuge der Vortriebsarbeiten wurde daher ein umfangreiches Meßprogramm zur Erfassung des Gebirgsverhaltens installiert (*Bild 5*).

Bild 5 Hauptmeßquerschnitt Regelanordnung der Messungen: aus [16]

Beim Vortrieb in den Phyllitstrecken unter größerer Überlagerung erwies sich das Gebirge als wesentlich verformungsfreudiger als ursprünglich angenommen. Der vorgesehene Vollausbuch konnte daher nicht bewerkstelligt werden, weshalb der Ausbruch in Kalotte und zwei Strossen unterteilt wurde. Es zeigte sich sehr bald, daß die großen Gebirgsdeformationen die Verformungsfähigkeit der Spritzbeton- auskleidung überstiegen. An Stelle der damals international üblichen Verwendung schwersten Ausbaues ging man nun konsequent den von L.v. RABCEWICZ bereits früher vorgezeichneten Weg:

- die Spritzbetonstärke wurde reduziert und die Auskleidung durch Deformationsschlitze unterbrochen, um die notwendige Verformbarkeit zu gewährleisten.
- die Ankerung wurde wesentlich verstärkt und rund um den Querschnitt angeordnet.

Der Bau des Tauerntunnels erregte international großes Aufsehen, weil die NATM hier sowohl in einer Hangschuttstrecke, als auch bei unterschiedlichsten Gebirgsverhältnissen bis hin zu „stark druckhaftem“ Gebirge erfolgreich und wirtschaftlich eingesetzt wurde. Die große Flexibilität und Wirtschaftlichkeit der Methode war damit eindrucksvoll bewiesen.

Bild 6 Tunnelbau in schwer druckhaftem Gebirge, Inntaltunnel, Eisenbahn-
umfahrung Innsbruck, 1992

Das nunmehr einsetzende große internationale Interesse an der NATM ist im wesentlichen auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- durch die meist verwendeten Sicherungsmittel Spritzbeton und Anker verliert der früher so gefürchtete Auflockerungsdruck seinen Schrecken, da er erst gar nicht entsteht
- schwierige Gebirgsverhältnisse werden mit relativ einfachen Mitteln beherrscht
- auch rasch wechselnde Gebirgsverhältnisse sind ohne wesentliche Umstellungen im Bauablauf unter Verwendung der gleichen Stützmittel in unterschiedlicher Menge und unterschiedlicher Zusammensetzung beherrschbar
- variierende Querschnitte sind leicht auszuführen
- die durchschnittlichen Tunnelbaukosten sind wesentlich niedriger als bei herkömmlichen Methoden

Viele Projekte wurden in der Folge unter Anwendung dieses Tunnelbaukonzeptes erfolgreich abgewickelt:

So wurden in Österreich ab etwa 1965 praktisch alle Verkehrstunnel nach der NATM ausgeführt. Auf den Tauerntunnel und Katschbergtunnel folgte nahtlos der Bau des Arlbergtunnels und vieler weiterer Straßentunnel. Ab 1990 gesellten sich zunehmend auch die Eisenbahntunnel der Hochleistungsstrecken hinzu. Insgesamt wurden bis 1995 allein in Österreich ca. 227 km Straßentunnel und etwa 35 km Eisenbahntunnel nach der NATM gebaut.

Auch in der Bundesrepublik Deutschland wurden im Zuge des Baues der Neubau-
strecken der DB ab 1982 mehr als 150 km Eisenbahntunnel in zum Teil schwierigsten geologischen Verhältnissen unter Anwendung der NATM errichtet.

Die weltweite Verbreitung der Methode setzte in den späten siebziger Jahren ein. Unterstützt von österreichischen Beratern wurden zunächst in Japan, später in Korea, Taiwan und vielen anderen Ländern der Erde zahlreiche Eisenbahn-, Straßen- und Wassertunnel nach der NATM gebaut. Zu einem wahren NATM-Boom kam es in Japan, wo allein in den Jahren 1979 bis 1988 insgesamt 413 km Tunnel nach der NATM aufgeföhren wurden.

Zwischenzeitlich wurde die NATM auch immer häufiger im U - Bahnbau angewandt, zuerst in Frankfurt und Bochum, später in München, Wien und zahlreichen anderen Städten. Hierbei bewährte sich die, auf die jeweiligen Randbedingungen zugeschnittene Vorgangsweise so hervorragend, daß diese Methode, wenn auch manchmal unter anderem Namen, längst zu einer Standardmethode für sicheres und wirtschaftliches Bauen im innerstädtischen Bereich geworden ist.

Bild 7 Anwendung der Österreichischen Tunnelbaumethode, Arbeitsphasen bei der Unterföhren des Wiener Westbahnhofes, 1989

Wohl eines der eindrucksvollsten Bauwerke, welches bisher nach den Grundsätzen der NATM errichtet wurde, ist die ca. 21 m breite, 15 m hohe und 164 m lange Überleitstelle im englischen Teil des Kanaltunnels, welche nur 36 m unter dem Meeresgrund liegt [17].

6. Die internationale Umsetzung der NATM

Ein großer Nachteil der Methode besteht aber zweifelsohne darin, daß für deren erfolgreiche Umsetzung hochqualifiziertes und erfahrenes Personal sowie eine, auf die Erfordernisse der NATM entsprechend abgestimmte Organisation, Entscheidungsstruktur und Verantwortungsteilung erforderlich ist.

Der Erfolg der Methode beruht nämlich zu einem großen Teil auf den handwerklichen Fähigkeiten der Ausführenden sowie auf der Erfahrung der Tunnelbauingenieure vor Ort und deren Bereitschaft, hohe technische und wirtschaftliche Verantwortung zu übernehmen. Er beruht aber auch auf der Einsicht, daß eine wirtschaftliche Optimierung nur möglich ist, wenn eine entsprechende Risikoteilung vertraglich vereinbart wird und die für rasche Entscheidungen erforderlichen Kompetenzen an die vor Ort tätigen Ingenieure übertragen werden. Allzu häufig wer-

den aber Vorgangsweisen, die mit trainierten Ingenieuren und Mineuren bei entsprechenden Randbedingungen zu einem großen Erfolg geführt haben, einfach kopiert und unter anderen geologischen Verhältnissen, sowie in anderen Kulturen und Managementstrukturen angewandt. Dort aber sind die Voraussetzungen und Randbedingungen oft gänzlich anders als in Österreich und stehen in Wahrheit einem erfolgreichen Einsatz der NATM im Wege. Der in vielen Ländern herrschende Zwang zur verbindlichen Dimensionierung vor Baubeginn verringert zudem die Wirtschaftlichkeit und die Flexibilität bei der Anpassung an die tatsächlichen Gebirgsverhältnisse.

Häufig werden daher lediglich einzelne Elemente (vor allem Stützmittel) übernommen, welche ohne viel Rücksicht auf die tatsächlichen gebirgsmechanischen Verhältnisse oft nur aufgrund quantitativer Gebirgsklassifikationssysteme eingesetzt werden. Auf eine Einbeziehung der Meßergebnisse in den täglichen Entscheidungsablauf und die Schaffung entsprechender Entscheidungsstrukturen und geeigneter Regelungen im Bauvertrag wird jedoch häufig verzichtet.

Von der NATM bleibt dann bei vielen Projekten nur eine mehr oder weniger fachmännisch aufgebrauchte Spritzbetonschale und ein Hinweis auf der Baustellentafel: „Construction Method: NATM“

7. Was ist nun der Kern der NATM ?

L.v. RABCEWICZ hatte stets berechtigte Hemmungen, eine Definition der Methode festzuschreiben. Er war der Meinung, daß sich der Tunnelbau und insbesondere die Technologie derart schnell entwickelte, daß das Festschreiben von Prinzipien nur hinderlich sein könne. Das Grundsätzliche der Methode war von ihm aber bereits in der Patentschrift 1948 [9] sowie in seiner Dissertation mit dem Titel „Die Hilfgewölbbebauweise“ [18] und in zahlreichen folgenden Publikationen dargelegt worden.

L.v. RABCEWICZ und F. PACHER unternahmen 1975 zwar einen Versuch, das Wesentliche der Methode herauszuarbeiten, indem sie die Elemente der NATM und ihre geschichtliche Entwicklung beschrieben [19]. Die dort wiedergegebene Darstellung ist aber doch deutlich geprägt durch die Aufgaben, die der alpine Tunnelbau im vorangegangenen Jahrzehnt stellte und ist aus heutiger Sicht vielleicht zu wenig auf die Verhältnisse und Randbedingungen im oberflächennahen Tunnelbau ausgerichtet.

Einige Jahre nach dem Tod von L.v. RABCEWICZ glauben L. MÜLLER und FECKER [20], die NATM durch Aufstellen von 22 Grundsätzen zutreffender beschreiben zu können. Viele der dort aufgezählten Grundsätze stellen allerdings wieder eine mehr oder minder starke Einschränkung des gesamten Gedankengebäudes dar.

Mit der internationalen Verbreitung der NATM wächst aber auch das Bedürfnis nach einer offiziellen und verbindlichen Definition dieser immer umfassender angewandten Methode. So entschließt sich die Arbeitsgruppe Tunnelbau der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen im Österreichischen Ingenieur- und Architektenverein 1980 zur Veröffentlichung einer Definition der Neuen Österreichi-

schen Tunnelbaumethode [21]. Im wesentlichen werden die 22 Grundsätze aus [20] übernommen, weshalb auch dieses Dokument letztlich die dort vorhandenen Schwächen aufweist.

Unabhängig davon, unter welchen geologischen, geotechnischen oder topografischen Randbedingungen die NATM auch immer zum Einsatz gelangt, folgende Merkmale können jedenfalls immer als charakteristisch für die NATM angesehen werden:

- Das den Hohlraum umgebende Gebirge wird möglichst optimal zur Aufnahme der durch den Ausbruch verursachten Spannungsumlagerung herangezogen oder entsprechend dazu ertüchtigt (Duddeck in [22]).

Daraus ergibt sich:

Ziel der Bemühungen ist eine weitgehende Erhaltung oder gar Verstärkung der Tragfähigkeit des Gebirges, eine günstige Beeinflussung des Beanspruchungszustandes durch geeignete Mittel der Gebirgssicherung und Anpassung des Bauablaufes, sowie die Nutzung der Beanspruchbarkeit des Gebirges durch gezielte Steuerung der Deformationen.

- Beobachtung des Spannungsumlagerungsvorganges durch Messungen (Deformation und Beanspruchung) zur Kontrolle des Stabilisierungsprozesses und zur technischen und wirtschaftlichen Optimierung der Bau- und Betriebsweise sowie des Ausbaues nach Art, Menge und Zeitpunkt des Einbaues.

Vielleicht könnte man in diesem Sinne auch die aus [23] entnommene Beschreibung als Versuch einer Kurzdefinition werten:

"Die Neue Österreichische Tunnelbaumethode besteht darin, den Hohlraumrand unter weitgehender Nutzung der Tragfähigkeit des Gebirges mit Hilfe von Spritzbeton und sonstigen Ausbauelementen sowie unter Einsatz meßtechnischer Beobachtung auf möglichst wirtschaftliche und sichere Art zu stabilisieren."

8. Schlußbemerkung

Es ist unbestreitbar, daß die NATM heute zu einem Inbegriff des modernen Tunnelbaues geworden ist. Die ihr zugrundeliegenden Erkenntnisse und die daraus abgeleiteten Grundsätze sind bis dato gültig und kaum widerlegbar. Es ist auch ein historisches Faktum, daß es österreichische Ingenieure waren, welche die zum Teil vorhandenen Einzelteile zu einem Gesamtbild zusammengefügt und den Mut bewiesen haben, diese Erkenntnisse konsequent in die Praxis umzusetzen. Wir haben aber auch anzuerkennen, daß die Entwicklung der Methode auf den Erkenntnissen und Beobachtungen zahlreicher Tunnelbauingenieure aus aller Welt aufbaut und ohne deren Mitwirkung nicht möglich gewesen wäre.

Die bei Einführung des Namens NATM vielfach noch auf empirischer Basis beruhenden Erkenntnisse wurden inzwischen vielfach theoretisch untermauert, wes-

halb wesentliche Neuerungen nicht mehr zu erwarten sind. An vielen Orten besteht daher nicht ganz zu Unrecht die Befürchtung, daß jegliche Weiterentwicklung im Tunnelbau, ja sogar der moderne Tunnelbau als Ganzes, unter dem Begriff NATM subsummiert wird.

Duddeck bringt dies 1979 in [22] auf den Punkt wenn er sagt:

„Wenn NÖT die Anwendung neuerer Erkenntnisse der Felsmechanik und neuerer Erfahrungen des Tunnelbaus selbst ist, ist eigentlich auch jede weitere Entwicklung im Tunnelbau unter NÖT subsumierbar. Ist dies wirklich so gemeint? Vielleicht sollte daher auch gelegentlich gesagt werden, was nicht NÖT ist. Wenn nun jedoch alles auf die NÖT zielt, ist dies zugleich ein großes Kompliment an die österreichischen Kollegen, denn sie haben das Bauen von Tunneln einen großen Schritt weitergebracht.“

Laßt uns diesen Schritt daher als gemeinsamen Schritt der internationalen Tunnelbau-Fachwelt betrachten, laßt uns aber die Augen hinkünftig auch offen halten für die Entwicklungen der Zukunft.

Literaturnachweis

- [1] Rabcewicz, L.: Aus der Praxis des Tunnelbaus, Vortragsmanuskript, XIII Geomechanik Kolloquium Salzburg, 1962 (unveröffentlicht)
- [2] Rabcewicz, L.: Bemessung von Hohlräumbauten, die "Neue Österreichische Bauweise" und ihr Einfluß auf Gerigsdruckwirkungen und Dimensionierung. Felsmechanik und Ingenieurgeologie, Vol. I/3-4, 1963
- [3] Rabcewicz, L.: The Austrian Tunnelling Method, Water Power, 64/65
- [4] Rziha, F.; „Tunnelbaukunst“, Bd. II, Verlag von Ernst & Korn (1874)
- [5] Wiesmann, E.; „Ein Beitrag zur Frage der Gebirgs- und Gesteinsfestigkeit“, In: Schweizerische Bauzeitung, Bd. LIII, Nr. 13 (1909)
- [6] Wiesmann, E.; „Über Gebirgsdruck“, In: Schweizerische Bauzeitung, Bd. LX, Nr. 7, Nr. 8 (1912)
- [7] Leon, A., Wilhelm, F.; „Über die Zerstörung in tunnelartig gelochten Gesteinen“, In: Österreichische Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst, Amtliches Fachblatt, herausgegeben von k.k. Ministerium der öffentlichen Arbeiten, XVI. Jahrgang, Heft 44. (1910) und Heft 16. (1912)
- [8] Rabcewicz, L. v.; „Gebirgsdruck und Tunnelbau“, Springer - Verlag Wien (1944)
- [9] Rabcewicz, L. v.; „Verfahren zum Ausbau von unterirdischen Hohlräumen, insbesondere von Tunneln“, Patentschrift Nr. 165573, (1948)
- [10] Rabcewicz, L. v.; „Bolted Support for Tunnels“, In: Mine & Quarry Engineering (1955)
- [11] Rabcewicz, L. v.; „Die Ankerung im Tunnelbau ersetzt bisher gebräuchliche Einbaumethoden“ In: Schweizerische Bauzeitung, 75. Jahrgang, Nr. 9 (1957)
- [12] Rabcewicz, L. v.; „Modellversuche mit Ankerung in kohäsionslosem Material“, In: Die Bautechnik, 34. Jahrg, Heft 5 (1957)
- [13] Rabcewicz, L. v.; „Spritzbeton und Ankerung als Hilfsmittel zum Vortrieb und als endgültiger Tunnelausbau“ In: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 106. Jahrg., Heft 5/6 (1961)

-
- [14] Rabcewicz, L. v.; „Österreichische Tunnelbauweise - Entstehung, Ausführungen u. Erfahrungen“, In: Der Bauingenieur 40, Heft 8 (1965)
- [15] Herbeck, J.; „Die Tauern - Scheiteltunnel - Vortriebsarbeiten“, In: Porr - Nachrichten, Heft 50/51 (1972)
- [16] Rabcewicz, L. v.; Golser, J.; Hackl, E.; „Die Bedeutung der Messung im Hohlraumbau, Teil I“, In: Der Bauingenieur, 47. Jahrg., Heft 7 (1972)
- [17] Myers, A.; John, M.; Fugeman, D.; Lafford, M. und Purrer, W.; Planung und Ausführung der britischen Überleitstelle im Kanaltunnel, Felsbau 9, 1991, Nr. 1
- [18] Rabcewicz, L. v.; „Die Hilfgewölbebauweise“, Dissertation (1950)
- [19] Rabcewicz, L.v. und Pacher, F; "Die Elemente der "Neuen Österreichischen Tunnelbauweise" und ihre geschichtliche Entwicklung. Österr. Ingenieur Zeitschrift, 18. Jg. S. 315, 1975
- [20] Müller, L.; Fecker, E.; „Grundgedanken und Grundsätze der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise“, In: Trans Tech Publications, Seite 247 - 262 (1978)
- [21] ÖIAV, „Neue Österreichische Tunnelbaumethode, Definition und Grundsätze“, In: Schriftenreihe der Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen im Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein (ÖIAV), Heft 74 (1980)
- [22] Duddeck, H.; „Zu den Berechnungsmodellen für die Neue Österreichische Tunnelbauweise (NÖT)“, In: Rock Mechanics, Suppl. 8 (1979)
- [23] Vavrovsky, G.-M.; Die Neue Österreichische Tunnelbaumethode (NÖT) im Spannungsfeld zwischen Sicherheit und Wirtschaftlichkeit, Dezember 1995, unveröffentlicht