Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 81 (1963)
Heft: 24

Artikel: Die Robbins-Maschine für sprengungsfreien Stollen- und Tunnelvortrieb
Autor: Rutschmann, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-66817

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: 27.12.2025

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

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Die Robbins-Maschine für sprengungsfreien Stollen- und Tunnelvortrieb

Von **W. Rutschmann,** dipl. Ing., Zürich

DK 624.19.002.5

1. Die wichtigsten Entwicklungsstufen des konventionellen Stollen- und Tunnelausbruches

Der konventionelle Stollen- und Tunnelbau im mittelharten und harten Gestein gliedert sich in die drei Arbeitsgattungen: Bohren, Sprengen und Räumen.

1.1 Bohren

Bis zum Jahre 1861, dem vierten Baujahre des Mont Cenis-Tunnels, wurden die zur Aufnahme des Sprengstoffes erforderlichen Löcher in mühseliger Handarbeit unter Verwendung von Schlägel und Meissel hergestellt. Der Zwang der Umstände, dass der Ausbruch des 12,2 km langen Alpen-Tunnels nur von den beiden Portalen und nicht auch vom Fusse von Zwischenangriffs-Schächten aus erfolgen konnte — weil ihre Länge die damals schachtbare Teufe stark überstieg — beschleunigte zweifellos die Einführung der Bohrmaschinen. Zuerst in Bardonecchia und zwei Jahre später in Modane wurden beim Richtstollenvortrieb die ersten druckluftgetriebenen Stoss-Bohrmaschinen von Sommeiller eingesetzt.

Während des Ausbruches des Gotthard-Tunnels kamen zu Beginn des Jahres 1873 in Göschenen und Airolo im Richtstollen und zeitweise auch in den Ausweitungsstrecken verbesserte Stoss-Bohrmaschinen zur Anwendung. Der Richtstollen des Simplontunnels und der zugehörige Parallelstollen wurden mit druckwassergespiesenen Dreh-Bohrmaschinen vorgetrieben. Beim Richtstollen-Vortrieb des Lötschbergtunnels kamen wieder schwere Druckluftbohrmaschinen zum Einsatz, und beim nachfolgenden Vollausbruch erstmals in der Schweiz anstelle der schweren, nur auf Lafetten einzusetzenden Bohrmaschinen leichte, schlagende Bohrhämmer, geführt und angepresst durch die Kraft der Mineure.

Während des Ausbruches des Mont Blanc-Tunnels 1958 bis 1962 bot sich die treffliche Gelegenheit, die modernsten Druckluft-Bohrgeräte, wenn auch unter verschiedenen Bedingungen, im Einsatz zu sehen. Auf der französischen Baustelle waren schwere, relativ langsam schlagende Bohrmaschinen auf schweren Lafetten mit Kettenvorschub und schwenk-, kipp- und ausziehbaren Lafettenträgern eingesetzt. Leichte, schnellschlagende Hämmer mit pneumatischen Vorschubstützen standen auf der italienischen Baustelle in Gebrauch.

Die Bohrstangen mit geschmiedeten Schneiden sind längst ersetzt durch Bohrstangen mit aufschraubbaren Kronen mit schleifbaren Spezialstahleinlagen oder durch Stangen mit Hartmetallschneiden.

1.2 Sprengen

Beim Ausbruch des Mont Cenis-Tunnels fand nur Schwarzpulver und beim Gotthardtunnel überwiegend der viel wirkungsvollere, 1867 erfundene Dynamit als Sprengmittel Verwendung. Seit 1886 werden neben dem Dynamit die im Gebrauch weniger gefährlichen, allerdings einen geringeren Nitroglyzeringehalt aufweisenden Sicherheitssprengstoffe zur Anwendung gebracht.

Die Vortriebssprengung im Gotthardtunnel erfolgte noch durch das getrennte Laden und Zünden der Herz- und Ausweitungsschüsse. Erst beim Vortrieb des Simplontunnels 1 wurden alle Bohrlöcher gleichzeitig geladen und dann unmittelbar aufeinanderfolgend gezündet. Heute werden anstelle der Sicherheitszündschnüre mit pyrotechnischen Sprengkapseln zunehmend elektrische Sicherheits-Zeitstufenzünder gebraucht.

1.3 Räumen

Das Wegräumen der Gesteinstrümmer nach vollzogener Sprengung erfolgte noch mehr als ein halbes Jahrhundert nach dem Bau der ersten Alpentunnel in anstrengender Handarbeit mit der Schaufel. Die Verfügbarkeit betriebssicherer elektrischer oder druckluftbetriebener Stollenlademaschinen brachte dann aber nicht nur eine Beschleunigung und Verbilligung dieser Grund-Arbeitsgattungen des konventionellen Stollenbaues, sondern darüber hinaus die Einführung des Vollvortriebes auch der grossen Tunnelprofile, soweit die geologischen Verhältnisse dies ermöglichten. Die rasch ablaufende mechanische Schutterung förderte auch die Entwicklung der Transportfahrzeuge für das Schuttergut sowie das Beladeverfahren. Um das Auswechseln beladener Schienenfahrzeuge durch unbeladene während des Schuttervorganges zu beschleunigen, wurden Schiebebühnen, Spezialweichen sowie Wagenhubanlagen verwendet. Durch den Einsatz eines Schrapper- oder Bunkerzuges sowie durch Dixonconveyer lässt sich ein Wagenwechsel überhaupt vermeiden; dem gleichen Ziele können unter besondern Umständen auch Bandförderanlagen dienen.

Die Anwendung von Dieselmotorfahrzeugen als Lade- oder Transportmaschinen ist möglich bei entsprechend dimensionierter Lüftungsanlage.

1.4 Leistungsvergleich

Nachfolgend werden die maximalen beim Bau von zwei schweizerischen Alpentunneln erreichten Vortriebs- bzw. Ausbruch-Leistungen einander gegenübergestellt, nämlich diejenigen des bestehenden Gotthardtunnels (Bauzeit 1872 bis 1882) und des im Bau begriffenen Bernhardintunnels (Baubeginn Sommer 1961). Der Vergleich der Maximalleistungen ist dadurch begründet, dass solche nur bei guten Felsverhältnissen und mit einer optimalen Belegschaft erreicht werden können und deshalb die Leistungsfähigkeit der Baumethoden und der technischen Mittel am besten wiedergeben.

Der *Gotthardtunnel* wurde mit einem Firststollen vorgetrieben. Der Ausbruch des vollen Profils von rd. 50 m² erfolgte auf vier hintereinanderliegenden Arbeitsplätzen: im Richtstollen, in der Kalottenausweitung, in einem Sohlenschlitz und an den Abbaustellen der Paramente. Die Leistungen der vier Teilausbruch-Posten waren gleichzeitig nie gleich gross. Im August 1878 wurde auf der Baustelle Airolo mit 171,7 m der grösste monatliche Richtstollenvortrieb beim Bau des ganzen Tunnels erreicht. Im gleichen Monat betrug der aus Teilleistungen berechnete Vollausbruch 110 bis 115 m. Der grösste Monats-Fortschritt beim Ausbruch des vollen Profils wurde auf der Baustelle Göschenen, ebenfalls im August 1878, erreicht, und betrug rd. 145 m; der Richtstollen wurde gleichzeitig nur um 107,0 m verlängert.

Der *Bernhardintunnel* ist bisher ausschliesslich mit dem vollen Profil von rd. 85 m² vorgetrieben worden. Die innerhalb der Erhebungsperiode vom Baubeginn bis Ende April 1963 erreichte maximale Leistung des monatlichen Vortriebes betrug 155,7 m und wurde im Oktober 1962 auf der Baustelle San Bernardino ausgeführt. Diese Leistung wurde allerdings erreicht mit einem Bruchteil der Arbeiterschichten, welche 84 Jahre früher monatlich für den Ausbruch in Göschenen oder Airolo geleistet wurden.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass im Jahre 1962 auf einer italienischen und einer norwegischen Baustelle mit konventionellen Mitteln monatliche Leistungen in der Grössenordnung von 400 m beim Vortrieb der vollen Profile von 52 bzw. 70 m² erreicht worden sind.

1.5 Zusammenfassung

Der konventionelle Stollen- und Tunnelausbruch im mittelharten und harten Gestein, d. h. die Arbeitsgattungen Boh-

ren, Sprengen und Räumen der heutigen Zeit unterscheidet sich gegenüber früher durch einen bedeutend grösseren Einsatz von Maschinen und einen viel geringeren Bedarf an menschlicher Arbeitskraft. Sind die Unterschiede im Personal- und Geräteeinsatz tatsächlich enorm und verblüffend, so stehen ihnen aber Steigerungen der Vortriebsleistung gegenüber, welche weniger augenfällig sind. Diese letzte Feststellung rechtfertigt die Frage, welche technischen Mittel und welche Baumethoden in absehbarer Zukunft in der Lage wären, die Vortriebsleistungen zu erhöhen.

2. Gegenwärtige Tendenz der Entwicklung neuer technischer Mittel für den Stollen- und Tunnelausbruch

Die Entwicklung der technischen Mittel für den Stollen- und Tunnelausbruch im mittelharten und harten Gestein folgt gegenwärtig zwei verschiedenen Richtungen entsprechend den beiden Vortriebs- und Ausbruchverfahren, dem konventionellen und dem sprengungsfreien.

2.1 Neue technische Mittel des konventionellen Ausbruches

Die laufenden Studien und Versuche umfassen die Vervollkommnung der bisher eingesetzten Maschinen mit dem Ziele, grössere Arbeitsleistungen bei noch kleinerem Bedarf an Arbeitskräften zu erreichen. In dieser Richtung zielt die Konstruktion von sogenannten Hammer-Bohrmaschinen für die Herstellung von Bohrlöchern grosser Kaliber, welche pneumatisch geladen werden können. Auf relativ leichten Bohrwagen montiert, können mit vier lafettierten Hammermaschinen von nur vier Mineuren die Bohrlöcher selbst grosser Tunnel-Profile in nur rd. zwei Stunden gebohrt werden. Ebenso soll die Bohrzeit verkürzt und der Energiebedarf der Bohroperation vermindert werden durch neue Verfahren der Gesteinzertrümmerung in einem zylindrischen, langen Hohlraum zur Aufnahme von Spengstoff, z. B. durch die Anwendung von Ultraschall, oder den Ersatz der Druckluft und der Druckluftbohrgeräte durch ölhydraulische Kraftübertragung und ölhydraulische Bohrmaschinen.

2.2 Sprengungsloser Ausbruch und einige seiner Mittel

Während das maschinelle Bohren für den Vortrieb des schachtlosen ersten Alpentunnels entwickelt wurde, haben die mechanischen Ladegeräte ihren Ursprung im Bergbau. Lange vor dem Einsatz der ersten Lademaschine war aber eine Kombinationsmaschine für den Streckenvortrieb im weichen Gestein und für das Aufladen des abgebauten Materials auf Wagen entwickelt und in Betrieb genommen worden: Der englische Genie-Oberst Beaumont hatte diese Vortriebsmaschine für den Ausbruch eines kreisförmigen Profils von 2,14 m Durchmesser konstruiert. Mit diesem Gerät wurde in den Jahren 1881 bis 1883 auf der französischen Seite der Strasse von Dover 1700 m und von England aus 807 m eines Sondierstollens für den projektierten Kanaltunnel ausgebrochen. Die Konstruktion von Maschinen für den sprengungsfreien Gesteins-Abbau und Ausbruch wurde erst in späteren Jahren wieder gefördert, und zwar durch die Mechanisierung im Bergbau. So wurden u. a. entwickelt:

- Wasserkanonen für das hydromechanische Lösen der Kohle;
- Abbaumaschinen, welche nach zahlreichen Methoden der mechanischen Gesteinszertrümmerung arbeiten, wie Bohren, Schrämen, Fräsen, Zerspanen und Spalten;
- Kombinationsmaschinen für den Abbau, das Beladen und evtl. auch das Fördern;
- Rollenbohrwerkzeuge für den Schacht- und Streckenausbruch;
- Streckenvortriebsmaschinen.

Gegenüber den zahlreichen Modellen von Abbau- und Kombinationsmaschinen, welche in den USA, in West-Deutschland und in östlichen Ländern gebaut wurden und industriell eingesetzt sind, haben nur wenige Konstruktionen eigentlicher Strecken- oder Stollen-Vortriebsmaschinen Anwendung im kommerziellen Baubetrieb gefunden. Es sind zwar einige Entwicklungen von Maschinen für den sprengungsfreien und kontinuierlichen Ausbruch in Nebengesteinen der Kohle bekannt, die meisten dieser Prototypen fanden aber schliesslich Anwendung bei der Gewinnung von Kohle, Pyrit, Kali und andern relativ weichen Nutzgesteinen. Eine von Anfang an als Tunnel-Vortriebsmaschine konzipierte Konstruktion hat indessen grosse Beachtung gefunden, weil sie auf zahlreichen Baustellen von bedeutenden Unternehmungen eingesetzt worden ist und sich in den meisten Einsätzen technisch und wirtschaftlich bewährt hat. Die den auszuführenden Bauobjekten angepassten Modelle dieser Stollen- und Tunnel-Vortriebsmaschine wurden von der amerikanischen Firma *James S. Robbins & Associates,* Inc., Seattle, entwickelt.

3. Robbins Stollen- und Tunnel-Vortriebsmaschine für weiches und mittelhartes Gestein

3.1 Grundkonstruktion der Vortriebsmaschine

Die Maschine für den sprengungslosen, halbkontinuierlichen Vollvortrieb eines kreisförmigen Stollen- oder Tunnel-

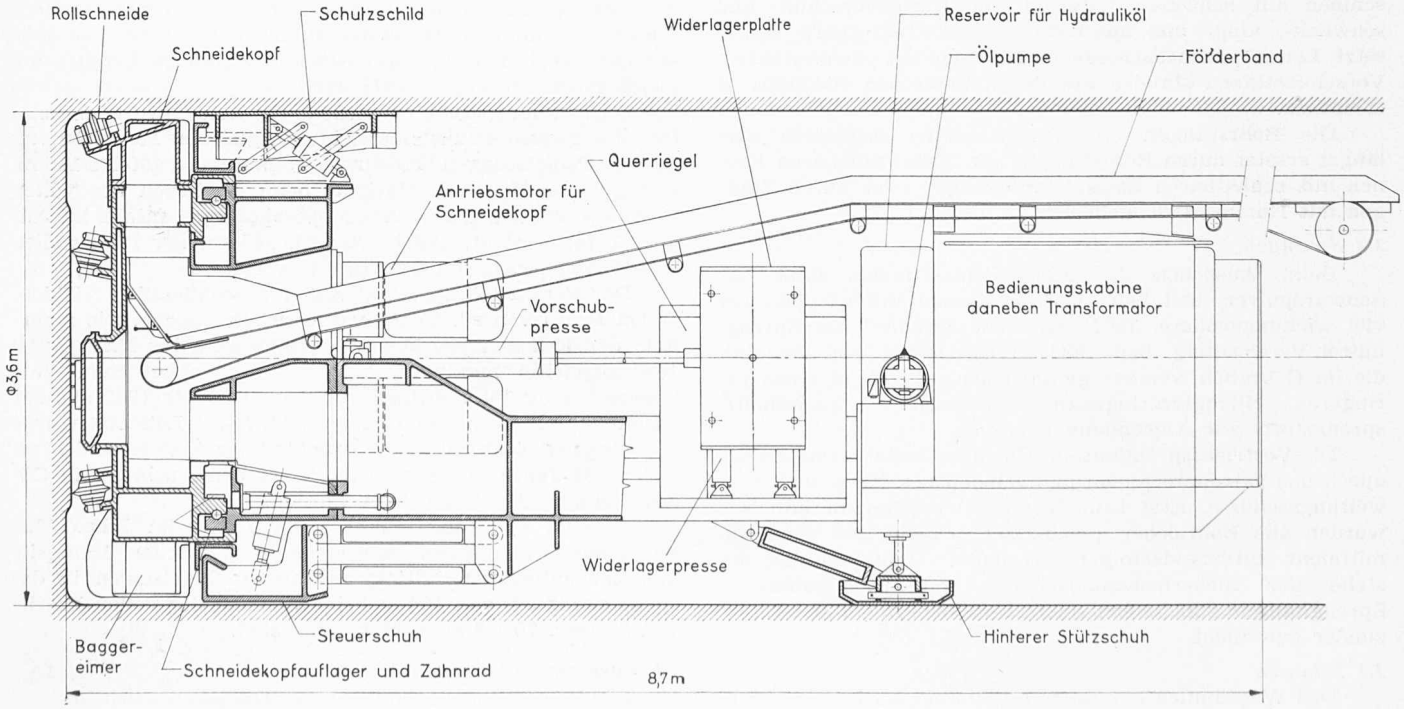

Bild 1. Robbins-Stollenvortriebmaschine für einen Ausbruchdurchmesser von 3,6 m, Längsschnitt 1:55

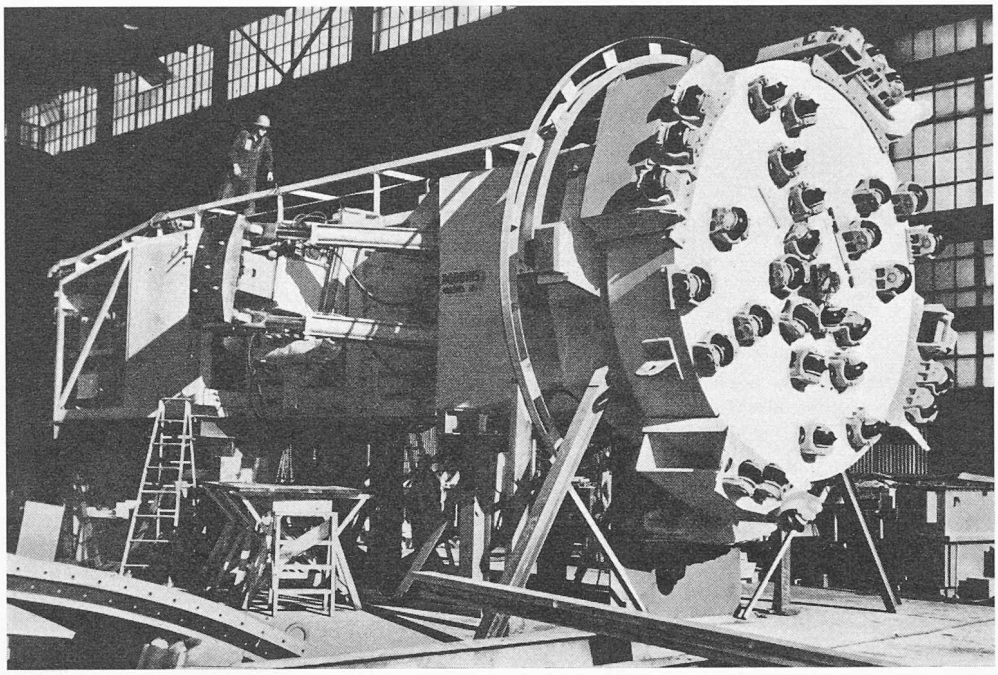

Bild 2. Robbins-Maschine, Modell 161 für einen Ausbruchdurchmesser von 4,8 m

profils besteht aus den folgenden Elementen (Bilder 1 bis 3):

Der *Schneidekopf* in der Form einer dicken, kreisförmigen Scheibe mit einigen an ihrem Umfang strahlenförmig angebrachten Hohlkästen, den Baggereimern, trägt die *Werkzeuge* zur Bearbeitung und zum Lösen des Gesteins. Dieser Kopf rotiert um die Axe der Maschine, welche mit der Tunnelaxe zusammenfällt. Er stützt sich auf einen *Auflagerkasten* ab, innerhalb welchem sich mehrere *elektrische Antriebsmotoren* befinden, deren Ritzel direkt in ein grosses, auf der Rückseite des Schneidekopfes und mit diesem verbundenes Zahnrad eingreifen. Am Auflagerkasten sind hydraulische *Vorschubpressen* abgestützt, deren hintere Enden auf einem horizontalen, quer zur Maschinenaxe verlaufenden *Riegel* lagern. Mit diesen Pressen wird der zur Felsbearbeitung erforderliche Anpressdruck erzeugt. Seine Reaktion sowie auch die Reaktion des vom Schneidekopf auf die Tunnelbrust übertragenen Drehmomentes werden vom Querriegel übernommen und von diesem über zwei hydraulisch an das Tunnelparament gepresste *Widerlagerplatten* auf den Fels übertragen. Dieser Querriegel lagert gelenkig im *Rahmen* der Maschine, wo sich die *Bedienungskabine* sowie zahlreiche *Hilfseinrichtungen* wie die Hydraulikpumpen und der Drucköl-Behälter befinden, erforderlichenfalls auch eine Hub- und Montageinstallation für Einbauringe. Das von den Schneiden gelöste splittrige Ausbruchmaterial fällt auf die Tunnelsohle, wird von den Baggereimern aufgnommen, zum Tunnelscheitel gefördert und fällt dann auf ein durch die Maschine führendes, elektrisch angetriebenes *Förderband*. Während des geradlinigen Vortriebes, in horizontalen und vertikalen Krümmungen, in Steigungen und im Gefälle wird die kurvengängige Maschine mittels hydraulisch betätigten, seitlich des Auflagerkastens sowie unter dem Rahmen angebrachten *Schuhen* gesteuert.

3.2 Prinzip der Bearbeitung und des Lösens des Gesteines

Die ersten Maschinenmodelle wurden konstruiert für den Vortrieb in relativ weichem Gestein. Die Bearbeitung des Gesteins erfolgte durch auf dem Schneidekopf montierte Zähne und diskusförmige Rollen (Bild 4a), beide aus Stahl und mit Hartmetall-Einlagen oder Auftragungen an den mit dem Gestein in Berührung kommenden Stellen in der Weise, dass durch die an den Fels gepressten zahnartigen Schneiden konzentrische Ringe mit Zwischenräumen von mehreren cm in die Brust eingekerbt wurden und dass auf dem zwischen den Kerben verbliebenem Gestein die diskusartigen Schneiden ebenfalls unter Druck abrollten. Dadurch wurden die Gesteinskerne zwischen den Kerben zerbrochen und abgebaut.

Bei den später in mittelhartem Gestein eingesetzten Maschinen - Modellen stellten sich Schwierigkeiten ein im Verbund der Stahlzähne und ihrer Hartmetalleinlagen. Die Zahl der Zahnschneiden wurde vermindert und diejenige der Rollschneiden erhöht. Die neuesten für den Tunnelausbruch in mittelhartem Gestein konstruierten Maschinen-Modelle sind mit Rollschneiden ausgerüstet, mit Ausnahme einiger weniger Zahnschneiden im Zentrum des Schneidekopfes. Der Ersatz dieser restlichen Zahnschneiden durch Rollschneiden von kleinem Durchmesser ist vorgesehen, da die Erfahrung lehrte, dass die früher den Zahnschneiden zugeordnete Funktion des Ritzens oder sogar Kerbens des Gesteins ebensogut von den praktisch reibungsfrei gelagerten Rollschneiden erfüllt wird. Der gesamte sehr grosse Anpressdruck wird dann nur noch über die Rollschneiden auf das Gestein übertragen (Bild 4b). Diese vermögen einerseits die unmittelbar im Bereiche ihrer Bahn liegenden Gesteinskörner zu pulverisieren sowie das Gefüge des mittelbar angrenzenden Gesteins zu zerbrechen und anderseits im Ablaufe des endlosen Vorganges das innerlich zerbrochene Gestein abzusplittern. Schätzungsweise werden 10 % des Gesteins von den Rollschneiden direkt pulverisiert, 80 % abgesplittert und 10 % im Bereiche der Scherflächen pulverisiert.

3.3 Ablauf des Vortriebes bei Verwendung einer Vortriebsmaschine

Der Bohrkopf der Maschine mit den stirnseitig angebrachten Schneiden (Bild 5) rotiert mit einer Drehzahl von 5 bis 10 Umdrehungen pro Minute und bewegt sich zusammen mit dem Auflagerkasten mittels den Vorschubpressen so lange kontinuierlich bohrend vorwärts, bis die Pressenkolben die vordere Endlage erreicht haben. Dann werden die seitlichen Pressen der Widerlagerplatten entlastet und

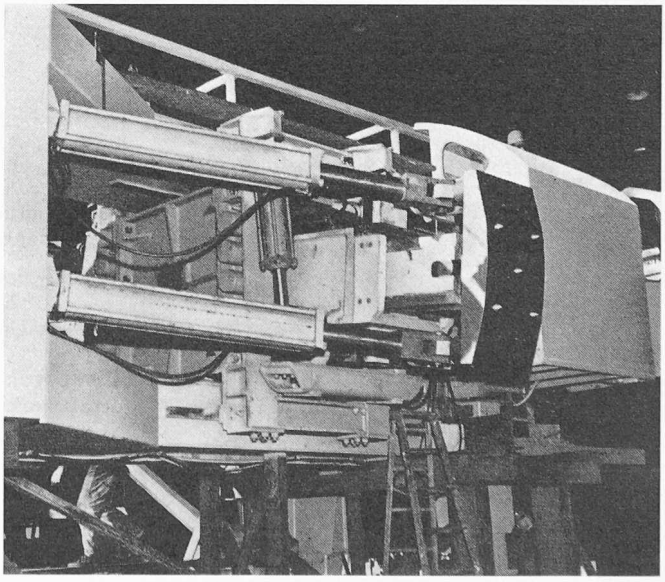

Bild 3. Robbins-Maschine Modell 161, Detailansicht der Vorschubpressen und des Querriegels mit den Widerlagerplatten

der Hinterteil der Maschine (Querbalken mit Seitenpressen und Widerlagerplatten, Maschinerahmen) von den Vorschubpressen nachgezogen. Nach dem Wiederanpressen der Widerlagerplatten gegen den Fels oder auf den längsversteiften Stahleinbau wird der kontinuierliche Vortrieb wieder aufgenommen.

Das von den Baggereimern am Schneidekopf dem Maschinen-Transportband übergebene Ausbruchmaterial wird hinter der Maschine auf ein nachziehbares weiteres Förderband umgeladen und bei längeren Vortriebsstrecken in einen ebenfalls der Maschine folgenden Silo oder direkt auf Transportfahrzeuge abgefüllt. Bei den bisher ausgeführten Stollen- und Tunnelbauten sind ausschliesslich gleisgebundene Transportmittel eingesetzt worden.

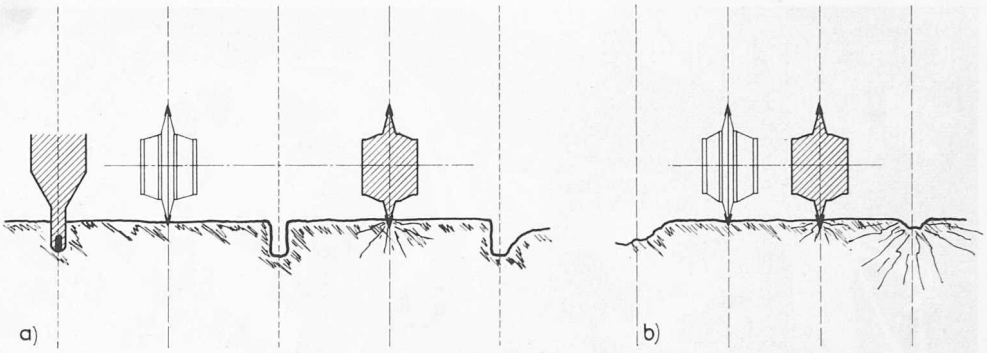

Bild 4. a) Prinzip der Bearbeitung des Gesteins mit Zahnschneiden und Rollschneiden; b) Prinzip der Bearbeitung des Gesteins mit Rollschneiden

Der beim Brechen des Gesteins entstehende Staub wird durch eine Ventilationsleitung mit Sauggebläsen aus der Arbeitsstrecke entfernt. Der einzige auf der Maschine arbeitende Mann, der Maschinenführer, ist in der geschlossenen Steuerkabine den Auswirkungen der starken Stauberzeugung entzogen.

Bei nicht durchgehenden Stollen oder Tunneln lässt sich die zusätzlich mit Fahrrollen auszurüstende Maschine nach der Demontage der peripheren Teile des Schneidekopfes auch durch einen von Stahleinbauten eingeengten Ausbruchquerschnitt auf einem Gleis zurückziehen.

3.4 Bisher eingesetzte oder vor dem Einsatz stehende Maschinen-Modelle

Die auf Tabelle 1 aufgeführten Vortriebsmaschinen wurden bisher für grosse Tunnel- und Stollenbauten eingesetzt oder stehen im Begriffe, eingesetzt zu werden.

Die Daten einer kürzlich für den Ausbruch eines Richtstollens von 3,6 m Durchmesser in Gestein mit einer Zylinder-Druckfestigkeit von 1000 bis 1200 kg/cm² entworfenen Vortriebsmaschine gemäss Bild 1 sind in Tabelle 2 enthalten.

3.5 Vorteile der Anwendung der Vortriebsmaschine

Vortriebsgeschwindigkeit. Die Nettobohrgeschwindigkeit der Maschine ist ausserordentlich hoch. Die Maschine ist aber nur ungefähr während der halben bis zwei Drittel der Arbeitszeit einer Schicht bohrend eingesetzt. Die restliche Zeit wird benötigt für das Nachziehen des Querbalkens mit den Widerlager-Pressen und Platten, das Auswechseln von Schneiden, für Unterhalts- und Reparaturarbeiten sowie für das Nachziehen der Kabel, der Förderbänder, des Silos, der Ventilationsrohre und der Gleise. Trotzdem wurden in den grossen Profilen der Oahe-Tunnel und in den etwas kleineren Querschnitten in Saskatchawan in relativ weichem Gestein mittlere tägliche Vortriebsleistungen von 25 bis 30 m erreicht. Gleich grosse mittlere Vortriebsgeschwindigkeiten konnten auch in den bedeutend härteren Gesteinen von Tasmanien gemessen werden. Besondere Erwähnung verdient die im April 1963 auf dieser Baustelle erreichte Leistung von 229 m innerhalb 18 zusammenhängender achtstündiger Schichten.

Standsicherheit des Ausbruchprofils (Bilder 6 und 7). Der Umfang des Ausbruchprofils wird während des Vortriebes nicht aufgelockert und ist im homogenen oder nur schwach klüftigen Gestein glatt. Das Ausmass geologisch bedingter Niederbrüche wird kleiner, weil die Auflockerung von ursprünglich geklüftetem und nur lose zusammenhängendem Gestein durch keine Sprengwirkung vergrössert wird. In ursprünglich stärker klüftigem gebohrtem Gebirge kann auf besondere Massnahmen der Felssicherung weitergehend verzichtet werden als in gesprengtem.

Erschütterungs- und lärmfreier Vortrieb. Das Ausbleiben von Explosions-Erschütterungen und von Lärm ermöglicht den Einsatz der Maschine unter stark überbauten Gebieten und bei geringer Felsüberlagerung eines Tunnels.

Wegfall des Ueberprofils. Das bei Sprengarbeiten in

Tabelle 1. Bisher eingesetzte oder vor dem Einsatz stehende Maschinen-Modelle

Modell	Ausbruchdurchmesser (m)	Einsatzort	Objekt	Gesteinsart	Max. Zylinderdruckfestigkeit (kg/cm²)
910	7,85	Oahe-Damm, USA	Kraftwerk-Tunnel	Schiefer	bis 80
930	7,85	Oahe-Damm, USA	Kraftwerk-Tunnel	Schiefer	
101	2,45	Pittsburgh	Kanalisationsstollen	Schiefer	bis 950
102	2,60	Pittsburgh	Kanalisationsstollen	Ton- und Kalkschiefer, Sandstein	
103	2,75	USA und Kanada	Verschiedene Objekte	Kalkstein, Serpentine etc.	bis 700
131	3,30	Toronto, Kanada	Kanalisationsstollen	Harte Schiefer	bis gegen 2000 (lokal)
				Kalkstein	bis 1200
				Sandstein	bis 1250
351a	9,00	Oahe-Damm, USA	Kraftwerk-Tunnel	Schiefer	bis 80
351b	9,00	Oahe-Damm, USA	Kraftwerk-Tunnel	Schiefer	bis 80
261	7,80	Saskatchawan-Damm	Kraftwerk-Tunnel	Weiche Schiefer	
161	4,80	Tasmanien, Australien	Kraftwerk-Stollen	Sandstein	bis 450
				Feinkörn. Sandstein	bis 1250
71	2,1 bis 2,3	Versuchsmaschine der Firma James S. Robbins & Associates Inc., Seattle, USA*)			
371	11,2	Mangla-Damm, Pakistan	Kraftwerk-Tunnel	Einsatz im Sommer 1963	

* Das Modell 71 wird im Verlaufe des Sommers 1963 in den USA beim Ausbruch zahlreicher kurzer Versuchsstollen in Gesteinen verschiedener, aber jedenfalls mittlerer bis grosser Druckfestigkeiten und Härte eingesetzt werden.

17.6.64

einem bestimmten Masse unvermeidliche Ueberprofil, beispielsweise bedingt durch Ungenauigkeit der Profilanzeichnung, des Bohrens und des Ueberdimensionierens von Ladungen fällt praktisch dahin. Eine über das theoretische Ausbruchmass hinausgehende Profilvergrösserung von 2 bis 5 cm ist dadurch bedingt, dass die Steuergenauigkeit der Vortriebsmaschine nicht so gross ist, wie die im allgemeinen geforderte Genauigkeit der Betonauskleidung des Tunnels.

Rascher Stahleinbau. Falls die Sicherung des ursprünglich gelockerten Gebirges trotz dem Wegfall der Sprengungsauflockerung den Einbau von Stahlringen erfordert, lassen sich diese unmittelbar hinter einem über dem Schneidekopf hydraulisch an die Kalotte gepressten Schild mit Hilfe besonderer Versetzeinrichtungen rasch und sicher montieren. In Saskatchawan wurde die Erfahrung gewonnen, dass das Versetzen von Einbauringen nur dann zu einer Verlangsamung des Vortriebes führte, wenn der Nachschub von Ringelementen vom Portal zur Brust ins Stocken geriet.

Wirtschaftlichkeit der Anwendung. Die Durchführung der Vortriebsarbeiten unter Verwendung einer Maschine erfordert eine kleinere Belegschaft, welche ausserdem wegen der grossen Vortriebsgeschwindigkeit weniger lang eingesetzt werden muss als beim Stollen- oder Tunnelausbruch nach dem konventionellen Verfahren. Zwei aufwendige, bisher unvermeidliche Arbeitsgattungen fallen weg: das Nachprofilieren und später das Liefern und Einbringen von Ueberprofilbeton.

Diesen grossen Verminderungen von Personal- und Materialkosten stehen nicht unbedeutende Aufwendungen für die Vortriebsmaschine gegenüber, betragen doch die Anschaffungs- und Transportkosten einer Maschine für einen Ausbruchdurchmesser von 3,5 bis 5 m ungefähr 1,5 bis 2 Mio Fr. Die Möglichkeit, den Bohrdurchmesser einer Maschine in engen Grenzen verändern zu können, zum Beispiel zwischen 3,5 und 4,0 m, bietet dem Gerät eine ausgedehntere Möglichkeit der Anwendung und zwingt nicht dazu, die Geräteamortisation einem einzigen Objekt zu belasten. Es können deshalb mindestens ähnliche Amortisationsansätze zur Anwendung gelangen, wie bei anderen grossen Maschinen des Stollenbaues.

Tabelle 2. Vortriebsmaschine Modell 161, technische Daten

Mittlere Netto-Bohrgeschwindigkeit:	3 m/h
Mittlere Vortriebsgeschwindigkeit einschl. betrieblich erforderliche Stillstandszeiten	2 m/h
Installierte Leistung der Elektromotoren	
für den Antrieb des Schneidekopfes	300 kW
für den Antrieb der Hydraulikpumpen	11 kW
für den Antrieb des Maschinenförderbandes	4 kW
Maximales Drehmoment am Schneidekopf	72 000 mkg
Maximale Anpresskraft des Schneidekopfes	160 t
Maximale Anpresskraft der Widerlagerplatten	450 t
Gewicht der Maschine	70 t

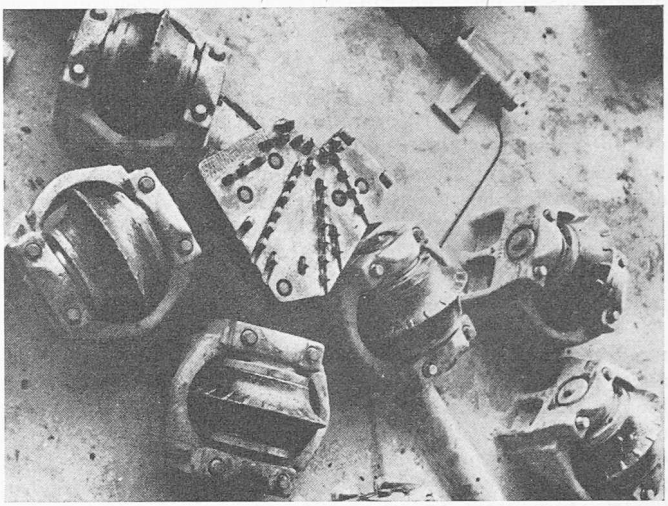

Bild 5. Detail des Schneidekopfes des Maschinen-Modells 161

Von grosser Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes der Maschine ist der Verbrauch von Schneiden. Er hängt beinahe ausschliesslich ab von der Härte und Druckfestigkeit des Gesteines. Die Lieferung von Ersatz-Rollschneiden und Lagern und von Ersatzteilen für die mechanischen und hydraulischen Systeme dürften erfahrungsgemäss den Ausbruchpreis eines Kubikmeters Gestein von rund 1000 kg/cm² Druckfestigkeit mit ungefähr 4 Fr. belasten.

Aus einer detaillierten Vergleichskalkulation für drei Stollenvarianten von 2000, 3000 und 4000 m Länge, mit einem Ausbruchdurchmesser von 4,5 m, durch standfeste Molasseformationen mit einer maximalen Zylinder-Druckfestigkeit bis 1000 kg/cm², ergab sich: Die Einheitspreise des Stollenausbruches einschl. Betrieb, aber ohne Miete und Revision der Ausbruchsinstallationen, sind bei Verwendung der Vortriebsmaschine halb so gross wie beim Einsatz konventioneller Mittel. Nach dem Vortrieb sind keine Profilregulierungsarbeiten durchzuführen und die Kosten für die Ausbetonierung des Ueberprofils erreichen nur den dritten Teil, dagegen sind die Kosten für die Miete und die Revision der Ausbruchinstallationen 10 bis 20 % grösser als beim konventionellen Verfahren. Die zusammengefassten Kosten des Stollenausbruches, d. h. des Vollvortriebes, der Betonfüllung des Ueberprofiles sowie der Miete und Revision der Ausbruch-

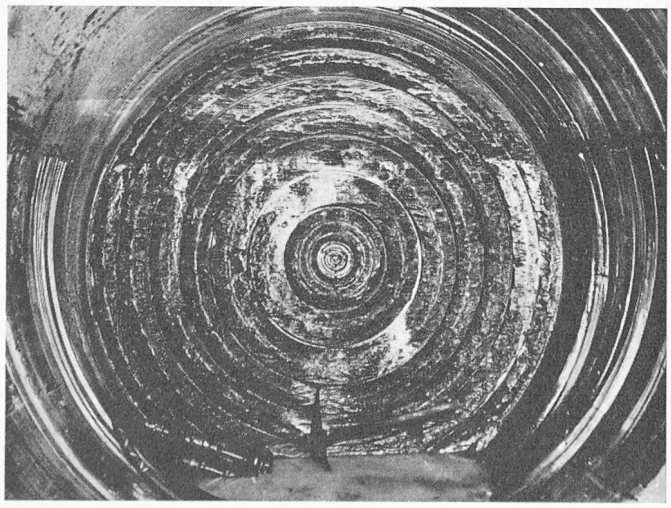

Bild 6. Brust und Parament eines mit dem Maschinen-Modell 101 — ausgerüstet mit Zahn- und Rollschneiden — vorgetriebenen Stollens

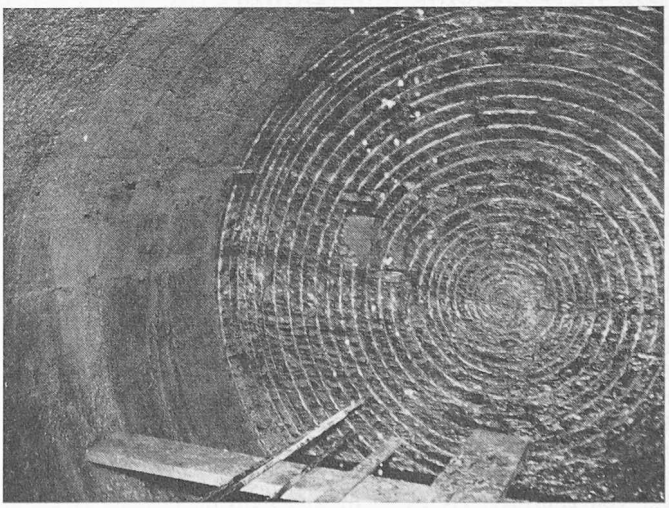

Bild 7. Brust und Parament eines mit dem Maschinen-Modell 131 — ausgerüstet mit Rollschneiden — vorgetriebenen Stollens

installationen, betragen rund 60 % und der sprengungsfreie Vollvortrieb des ganzen Stollens erfordert nur 45 % des Zeitaufwandes der konventionellen Vortriebsmethode.

3.6 Technische Grenzen der Anwendbarkeit

Die Maschine wurde vorläufig nur in Sedimenten und in metamorphen Gesteinen eingesetzt, nicht aber in Kristallin. Die Anwendbarkeit beschränkte sich bisher auf weiche aber nicht ursprünglich plastische und auf mittelharte Gesteine. Die technische Grenze der Einsätze ist gegeben durch die Wechselwirkung von Druckfestigkeit und Härte des Gesteines, die Grösse des Ausbruchdurchmessers des Tunnelprofils und die offene Klüftigkeit des Gebirges.

Die neuesten Rollschneiden in zweckmässiger Anordnung auf dem Schneidekopf ermöglichen das Lösen von Gestein mit einer Druckfestigkeit bis etwa 1800 kg/cm² in kleinen bis mittelgrossen Profilen von 6 bis 7 m Ausbruchdurchmesser. Es darf nicht ausser acht gelassen werden, dass mit zunehmender Gesteinshärte der Verschleiss an Schneiden zunimmt und die wirtschaftliche Grenze der Anwendbarkeit unter Umständen bereits vor der technischen erreicht werden kann.

Technische Grenzen sind dem Einsatz zudem gesteckt durch grosse Ausbruchdurchmesser und offene Klüfte. Das Vortreiben eines grossen Profils im mittelharten und harten Gestein erfordert sehr grosse Anpresskräfte und Drehmomente und dementsprechend sehr starke und sperrige Motoren, deren Unterbringung bei dem engen Raum auf der Maschine nicht leicht ist. Beim Durchörtern eines kompakten Gesteinsverbandes mit sich gegenseitig überschneidenden Schicht- oder Schieferungsflächen, Rissen, Klüften und Verwerfungsspalten kann eine geringe Störung im Klüftkörper zu Niederbrüchen führen. Dabei können ausgebrochene Steine und Blöcke neben den Rollschneiden zwischen der Brust und dem Schneidekopf eingeklemmt werden. Um Beschädigungen an der Maschine zu vermeiden, ist diese dann lokal zurückzuziehen, was technisch durchaus möglich, nicht aber wirtschaftlich ist. Durch das Auftreten mehr oder weniger kompakter aber verschieden harter Gesteine im gleichen Profil — etwa bei Molasseformationen, bestehend aus Sandstein mit Knauern und Mergel — wird der Vortrieb nicht beeinträchtigt.

Auf Grund der bisher in den Einsätzen der Maschine gewonnenen Erfahrungen lässt sich vorläufig noch keine einfache quantitative Regel aufstellen, welche dem projektierenden Ingenieur oder dem Unternehmer erlauben würde, die Grenze der Anwendbarkeit mit Sicherheit zu erkennen. Die Konstrukteure der Maschine entscheiden darüber von Fall zu Fall nach eingehender Prüfung des zu durchfahrenden Gesteins und der örtlichen Verhältnisse.

3.7 Anwendungsmöglichkeiten in der Schweiz

Davon ausgehend, dass bisher mit technischem und wirtschaftlichen Erfolg Gesteine mit einer Druckfestigkeit bis 1200 kg/cm² und der Mohsschen Härte von 3,5 (Calcit bis Flusspat) mit einem Stollen von gegen 5 m Ausbruchdurchmesser durchörtert wurden, kann angenommen werden, dass sich weite Gebiete der Molasse des Mittellandes für den Einsatz der Vortriebsmaschine eignen. Aber auch in einigen Gebieten der Alpen, z. B. in Zonen der Helvetischen Schichtreihe sowie des Juras dürfte die Anwendung der Vortriebsmaschine möglich sein.

Die Maschine kann verwendet werden für den Vortrieb von Stollen und von Tunneln mit mittlerem Durchmesser als selbständige Objekte, aber auch für Hilfsobjekte wie Sondier- oder Vortriebsstollen für Strassen- und Bahntunnel, besonders bei geringer Ueberlagerung unter Baugebieten. Beim Ausbruch von unterirdischen Grossgaragen, Zivilschutzbauten und militärischen Anlagen können die Zugangsstollen in einem Arbeitsgang vorgetrieben werden, während die Kavernen mit der Vortriebsmaschine z. B. entlang der Paramente ausgebrochen und anschliessend auf konventionelle Art ausgeweitet werden können. Besonders dem Bau von grossen Zivilschutzobjekten in der Molasse des Mittellandes, welche bei zahlreichen Städten zwischen dem Bodensee und dem Genfersee ansteht, vermag die Vortriebsmaschine einen starken Impuls zu erteilen.

4. Zusammenfassung

Die bisher gebauten Stollen- und Tunnel-Vortriebsmaschinen der Bauart *Robbins* sind ausschliesslich in weichem und mittelhartem Gestein eingesetzt worden. Allen in weichem Gestein und den mit Rollschneiden und nur im Zentrum des Schneidekopfes mit Schneidezähnen ausgerüsteten, im mittelharten Gestein arbeitenden Maschinen-Modellen ist ein technischer und wirtschaftlicher Erfolg beschieden gewesen. Es ist gerechtfertigt, den Einsatz der Maschine für den Bau bestimmter Objekte und unter den vorstehend beschriebenen geotechnischen Verhältnissen vorzusehen, weil diese Methode des sprengungsfreien Tunnel- und Stollenvortriebes grössere Vortriebsgeschwindigkeiten und eine höhere Wirtschaftlichkeit erreichen lässt, als das konventionelle Verfahren. Die laufende technische Weiterentwicklung der Maschine — besonders im Hinblick auf neue Bohrverfahren und Bohrwerkzeuge — lässt ihren Einsatz zukünftig auch in hartem Gestein erwarten.

Adresse des Verfassers: *Werner Rutschmann,* dipl. Ing., Elektro-Watt, Claridenstr. 22, Zürich.

Die wärmetechnische Bewertung von Fussböden mit Hilfe der Wärmeeindringzahl

Von **A. P. Weber,** berat. Ing. S. I. A., Zürich

DK 662.998.1

Wärmetechnisch ungenügende Bodenkonstruktionen sind im Hochbau oft anzutreffen, besonders in Keller- und Erdgeschoss-Räumen, weiter bei auskragenden Konstruktionen, bei Räumen über offenen Durchgängen usw. Erfahrungsgemäss darf man dem menschlichen Fuss nicht zu viel Wärme zuführen; umgekehrt soll aber auch die Wärmeabfuhr am Fuss nicht zu gross sein. Die Temperatur eines Fussbodens darf somit bestimmte Werte weder über- noch unterschreiten. Nun bildet aber die Bodentemperatur allein noch kein ausreichendes Kriterium; vielmehr sind auch die wärmetechnischen Eigenschaften der Bodenbeläge zu berücksichtigen. So wurde in Deutschland versucht, mit vorgeschriebenen maximalen Wärmedurchgangszahlen der Böden ungünstige Bodentemperaturen zu vermeiden (DIN 4108). Das kann aber zu nicht restlos befriedigenden Konstruktionen führen. Im weitern ist die Art des Heizbetriebes auf die Bodentemperatur von Einfluss: Es ist nicht gleichgültig, ob eine Heizung stationär oder intermittierend betrieben wird. Und schliesslich ist der Charakter des Raumes von Bedeutung: es ist zu unterscheiden zwischen Räumen, in denen sich Menschen während längerer Zeit aufhalten, und solchen, die nur kurzzeitig benützt werden.

Die nachstehenden Betrachtungen haben nicht nur für die menschlichen Behausungen Gültigkeit, sondern können auch auf Tierställe übertragen werden, wobei besonders zu berücksichtigen ist, dass die Tiere nicht nur mit den Hufen, sondern, wenn sie liegen, mit dem Körper den Boden berühren.

Mit dem Problem der Wärmeableitung von Fussböden hat sich wohl erstmals *Hilde Mollier,* die Tochter des bekannten Professors Dr. *Richard Mollier,* Dresden, befasst [1]). Ihre grundlegenden Versuche wurden in der Folge von verschiedenen Forschern fortgesetzt. Alle diese Arbeiten bezogen sich nicht auf die Ermittlung der Wärmeverluste zur Bemessung der Heizung, sondern auf die Bestimmung der Wärmeableitung, die ein menschlicher oder tierischer Körper durch seine Berührung mit dem Fussboden erfährt. In den

1) «Ges.-Ing.» Bd. 33, 1910, Nr. 5, Mitteilung aus dem Laboratorium für technische Physik der T. H. München.