

Zur Anschätzung der mechanischen Eigenschaften des Gesteinsverbandes bei Fundierungen.

Heinrich Häusler

1. EINLEITUNG

Die Aufgaben der Ingenieurgeologie erstrecken sich in räumlicher Hinsicht auf den *Reaktionsbereich*, das ist jenes Gebiet, in dem die Wechselwirkungen des Untergrundes mit den bautechnischen Projekten erfolgen werden.

In zeitlicher Hinsicht lassen sich diese Aufgaben in die aufeinanderfolgenden Phasen des *Baugeschehens* gliedern. Es folgen daraus die geologischen Aufgaben für:

1. Das Vorprojekt,
2. das Ausführungsprojekt und die Ausschreibung,
3. Baustelleneinrichtung und Bauführung,
4. Projektausführung,
5. Betriebs- bzw. Bestandeszeit,
6. Folgezeit (Funktionsende, Bestandsende).

In den nachstehenden Ausführungen soll nun ein engerer Ausschnitt des baueologischen Reaktionsbereiches, nämlich die *Aufstands- oder Sohlfläche* behandelt werden. Aus der zeitlichen Abfolge des Baugeschehens wird im wesentlichen nur auf die Bauführung und Projektausführung sowie auf die Betriebszeit Bezug genommen.

Obwohl im Zuge der geologischen Bearbeitung des Vorprojektes und des Ausführungsprojektes bzw. der Ausschreibung das bautechnische Konzept erstellt wird, muß damit gerechnet werden, daß die örtlichen geologischen Gegebenheiten erst bei der Endausformung der Aufstands- oder Einbindungsflächen völlig sicher erkannt werden, und es daher notwendig werden kann, in bautechnischer Hinsicht darauf Rücksicht zu nehmen. Die geologische Detailuntersuchung von Aufstandsflächen erfolgt somit nicht nur zur Kontrolle der baueologischen Prognosen und der baustatischen Folgerungen daraus, sowie der sorgfältigen geologischen Dokumentation für die Eventualitäten der Bestandeszeit, sondern ganz besonders auch für die Bauführung und die Projektausführung selbst.

Die Qualität solcher baueologischer Bearbeitungen konnte durch H. Häusler und F. Makovec für die Donaukraftwerke Jochenstein und Ybbs-Persenbeug soweit verbessert werden, daß an Stelle der früheren maßstabslosen Notizbuchskizzen geologischer Baugrubenaufnahmen nun grundsätzlich nach einem Auf-

nahmeraster von 2 m Maschenweite im Maßstab 1 : 100 unter Anwendung von Meßband und Winkelprisma gearbeitet wird. Im Zuge dieser geologischen Bearbeitung der Aufstandsflächen wurde die geologische, meist vorwiegend gesteinskundliche Aufnahme durch Beobachtungen der mechanischen Eigenschaften des Gesteinsverbandes ergänzt. Diese ergänzenden Beobachtungen werden in den nachstehenden Ausführungen auf die Festgesteine eingeschränkt.

Die Beschreibung der mechanischen Eigenschaften des Gesteinsverbandes mußte für die moderne baueologische Bearbeitung von Baustellen außer den bisher üblichen Feldverfahren der Kluftrichtung durch die Beachtung des Gesteinszustandes, der Reibungsbedingungen, der Vermessung von Unebenheiten und Rauigkeiten der Aufstandsflächen und Klüfte, die Untersuchung der Kluffüllungen sowie die Schätzung der relativen Verteilung der Gebirgs-E-Moduli ergänzt werden. Die geodätische Aufnahme dieser baueologischen Daten und deren Auswertung in geologischen Bauplänen und Schnitten erlaubt dann eine wesentlich sicherere Beurteilung der baueologischen Reaktionsbedingungen als dies bisher der Fall war. Nachstehend wird nun die Anschätzung der E-Moduli bzw. ihrer relativen Verteilung eingegangen und die Behandlung der übrigen Verfahren zur Beschreibung der felsmechanischen Eigenschaften an anderer Stelle erläutert.

2. DIE BAUEOLOGISCHEN GRUNDLAGEN DER UNTERSUCHUNG UND BEURTEILUNG VON AUFSTANDSFLÄCHEN

Eines der Hauptverdienste von J. Stiny für die Entwicklung der modernen Ingenieurgeologie bestand darin, daß er für die Beschreibung der räumlichen (stofflich-geometrischen-dynamischen) geologischen Bedingungen in grundlegender Weise auf die Bedeutung des Kluffüges hingewiesen hat. Daher müssen nun bei modernen bautechnischen Überlegungen die Flächenstellungen der geologischen Trennschnitte (Klüfte), die Größe der dadurch begrenzten Kluffkörper und deren Einfluß auf die Probleme der Felsstatik in die Untersuchung einbezogen werden.

R. Fill hat, auf den Bemühungen Stiny's aufbauend, bei der Hierzmannsperre bereits die ersten felsstatischen Überlegungen für Gewölbesperren in die Baupraxis eingeführt.

Im weiteren hat L. Müller von der besonderen Bedeutung der Klüfte für die Baugeologie ausgehend, den Versuch gemacht, eine Felsmechanik zu entwickeln. So verdienstvoll diese Bestrebungen auch sind, ist aber grundsätzlich zu bedenken, daß die felsmechanische Bearbeitung nur dann statthaft ist, wenn die geologischen Gegebenheiten mit ausreichender Sorgfalt und Genauigkeit erfaßt worden sind und die hierzu notwendigen Grundlagen verbessert werden. Terzaghi hat die ausreichende geologische Untersuchung als Voraussetzung jeder bodenmechanischen Bearbeitung betont, was auch für die Felsmechanik zutrifft, so daß die derzeit angewandten geologischen Untersuchungsmethoden hierfür noch ausgebaut werden müssen. Einen neuen Impuls der baugeologischen Bearbeitung von Großprojekten ist von E. Chwalla ausgegangen, der in seinem Gutachten für das wasserrechtliche Bewilligungsverfahren des Donaukraftwerkes Ybbs-Persenbeug richtungsweisende Vorschreibungen verfaßt hat. Unter anderem hat Chwalla verlangt, daß die „*zulässige Beanspruchung des Baugrundes unter Beobachtung der Aufschlußergebnisse im Einvernehmen mit dem behördlich bestimmten ingenieurgeologischen Sachverständigen festzulegen ist*“. Auf die Überbrückung von Störungstreifen und auf die Erzielung gleichmäßiger Setzungsbewegungen mußte hierbei Wert gelegt werden. An anderer Stelle stellt Chwalla fest, daß die vom „ingenieurgeologischen Sachverständigen im Einvernehmen mit der Genehmigungswerberin festgelegten zulässigen Bodenpressungen nicht überschritten werden dürfen“. Diese Ausschnitte aus den Vorschreibungen des damaligen Sachverständigen für Statik und Stahlbau für das Donaukraftwerk Ybbs-Persenbeug lassen erkennen, welche Güte der baugeologischen Aussage seitens der Statik erwartet wurde. Nach dem Stand der damaligen Ingenieurgeologie konnte dieser Forderung nur zum Teil entsprochen werden, so daß es nötig war, das baugeologische Verfahren während der Bauzeit laufend zu verbessern. Zunächst konnte nur eine Schätzung der Größenordnungen relativer Festigkeitsunterschiede der Aufstandsflächen versucht werden. An Hand der bei den Baustellenbesichtigungen beobachtbaren geologischen Bedingungen und der gegebenen baustatischen Voraussetzungen konnte dadurch versucht werden, die Prognosen über die baugeologischen Reaktionen zu erstellen. Um derartige Beurteilungen abgeben zu können, mußte die geologische Baugrundaufnahme zunächst wesentlich verbessert werden.

J. Stiny und L. Müller haben seit langem darauf aufmerksam gemacht, daß die Feststellungen des mechanischen Verhaltens der Gesteinsproben von der Größe der jeweiligen Probekörper abhängig sind und daraus keine gültigen Aussagen für den Bereich der Aufstands-

fläche abgeleitet werden dürfen. Das mechanische Verhalten des Probestückes muß von jenem des Gebirges grundsätzlich unterschieden werden, da letztgenanntes von den Eigenschaften des Klufftkörperverbandes und dessen Teilbeweglichkeiten abhängig ist. In diesem Sinne wird auch nicht der Gesteins E-Modul in die statische Bearbeitung eingeführt, sondern der Gebirgs-E-Modul. Es müßten daher die mechanischen Eigenschaften des gesamten baugeologischen bzw. baustatischen Reaktionsbereiches der geologischen Bearbeitung und den Prognosen zu Grunde gelegt werden.

Dies führte dann im Laufe der Entwicklung zur Forderung von Großversuchen an Baustellen (Stiny, Müller), die besonders von L. Müller vertreten worden sind. Solche Versuche sind aber meist nur vor Errichtung des Bauwerkes sinnvoll und während des Baues nur bei unvorhergesehenen, gefährlichen baugeologischen Situationen zu vertreten. Für die Überprüfung der baugeologischen Annahmen und deren bautechnischen Konsequenzen auf Grund jener geologischen Verhältnisse, die bei der Endausformung beobachtet werden, sind derartige Großversuche nicht geeignet. Erst nach Vollendung des Bauwerkes wird es wiederum möglich, die Verformung der Sohle unter der Einwirkung des Bauwerkes mittels spezieller Meßverfahren zu kontrollieren (A. Huggenberger, E. Tremmel), wobei die Verbundwirkung der Bauwerksteile zum „Großversuch“ herangezogen werden kann. Solche Überprüfungen der baustatischen Voraussetzungen lassen sich nur auf Grund von genauen geologischen Aufnahmen der Aufstandsfläche ausführen, da durch geologische Bedingungen sinnstörende Meßergebnisse auftreten können. Für die Praxis der baugeologischen Beurteilung von Aufstandsflächen — solche stehen im allgemeinen nur sehr kurze Zeit der Bearbeitung zu Verfügung — sind (zwischen der Reinigung der Aufstandsfläche und der ersten Betonlage) die speziellen baugeologischen Versuche meist nicht mehr möglich. Auch dieser Umstand erforderte eine wesentliche Verbesserung der üblichen geologischen Untersuchung der Aufstandsflächen.

Eine dieser Verbesserungen für Ybbs-Persenbeug bestand z. B. nicht nur darin, daß eine maßstabgerechte geologische Kartierung der Aufstandsflächen im Maßstab 1 : 100 durchgeführt wurde, sie bestand vor allem in einer Ergänzung der bisher üblichen Aufnahme von Gesteinsgrenzen und Trennflächen durch die Beobachtung und Kartierung des *Gesteinszustandes*. Der Gesteinszustand wird durch die primären Eigenschaften, durch den Verwitterungszustand des Gesteins und dessen tektonischen Beanspruchungszustand definiert. Hierzu wurde neben der üblichen geologischen Baustellenaufnahme ein zweiter Plan im gleichen Maßstab

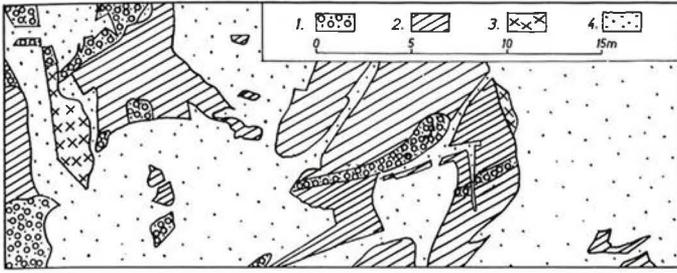
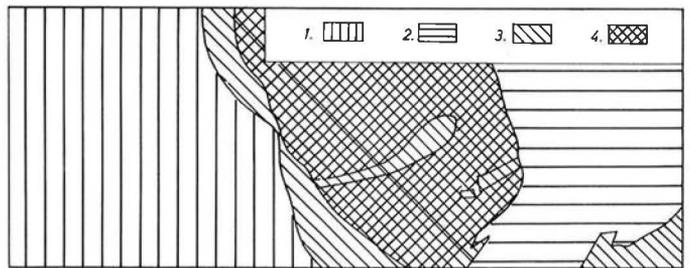
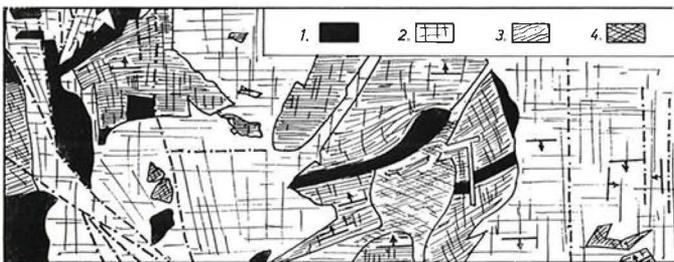


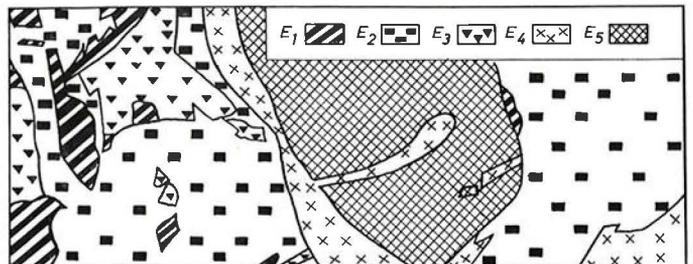
ABB. 1 Ausschnitt aus der Aufstandsfläche der Schleusen-Südmauer des Donaukraftwerkes Ybbs-Persenbeug.
a) Verteilung der Gesteinsarten: 1. Amphibolit, 2. Gneis, 3. Ganggranit, 4. Kersanit.



b) Darstellung des Verwitterungszustandes der Gesteine: 1. Klüfte nicht verwittert, Gesteine frisch; 2. Klüfte schwach angewittert, Klüftkörper frisch; 3. Klüfte stark angewittert, Klüftkörper frisch bis angewittert; 4. Klüfte stark zersetzt (zerfallende Klüftoberflächen), Klüftkörper stark angewittert bis zersetzt.



c) Darstellung des tektonischen Zustandes: 1. Gesteine nicht oder nur schwach zerklüftet; 2. Gesteine weitständig zerklüftet, große Klüftkörper; 3. Gesteine stark zerklüftet, Faltungs- bzw. Schieferungsstrukturen; 4. sehr stark zerklüftete Gesteine.



d) Verteilung der E-Moduli des Gebirges (geschätzt): E_1 ca. 100.000 kg/cm², E_2 ca. 70.000 kg/cm², E_3 ca. 30.000 kg/cm², E_4 ca. 5000 — 10.000 kg/cm², E_5 ca. 2000 kg/cm².

mit der Verteilung des Gesteinszustandes hergestellt (siehe Abb. 1 a — 1 c).

Aus einer solchen Aufnahme des Gesteinszustandes konnte die Verteilung der realitiven Festigkeitsunterschiede einer Aufstandsfläche abgeleitet werden. (Abb. 1 d).

An Hand der Kenntnisse über die relative Verteilung des Gebirgs-E-Moduls können die baustatischen Gegebenheiten an kritischen Stellen überprüft werden. Dieses Verfahren, vom Verfasser 1954 für das Donaukraftwerk Ybbs-Persenbeug eingeführt, hat infolge der subjektiven Schätzungsweise wesentliche Mängel aufzuweisen, die damals noch nicht beseitigt werden konnten. Eine Verbesserung dieses Verfahrens wurde 1960 durch Einführung von Festigkeitsprüfungen im Gelände erzielt, die auf eine ältere Anregung von F. Kahler und F. Tölke zurückgeht.

Das Verfahren besteht darin, die Rückprellhärte, welche sehr rasch und mit ausreichender Genauigkeit festgestellt werden kann, in den verschiedenen Teilen des Gebirges zu ermitteln (wobei die geologische Grundkartierung der Aufstandsfläche als wesentliche Grundlage verwendet wird). Die Verteilung der Rückprellhärten wird maßstäblich kartiert und dann ausgewertet.

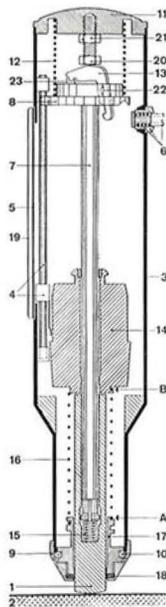


ABB. 2 Längsschnitt des Prellhammers (Betonprüfhammer Modell N), Zustand beim Schlag.

- 1 Schlagbolzen, 2 Prüffläche, 3 Gehäuse, 4 Zeiger, 5 Skala, 6 Druckknopf, 7 Laufstange, 8 Führungsscheibe, 9 Kappe, 10 Zweiteiliger Ring, 11 Deckel, 12 Druckfeder, 13 Klinke, 14 Hammer, 15 Rückstoßfeder, 16 Schlagfeder, 17 Hülse, 18 Filzring, 19 Plexiglasfenster, 20 Schraube, 21 Gegenmutter, 22 Stift, 23 Klinkenfeder.

3. DIE GEOLOGISCHE KARTIERUNG DER PRELLHÄRTE ALS GRUNDLAGE FELSMECHANISCHER BEARBEITUNG VON AUFSTANDSFLÄCHEN

Die Bestimmung der Prellhärte erfolgt mit einem Prellhammer, wobei durch Auslösung eines Schlagbolzens (definierter Schlagenergie), der auf eine sehr kleine ebene Fläche des zu untersuchenden Gesteines aufgesetzt wird, ein Rückprall entsteht. Der Rückprall

Schlierkante nach der Sprengung

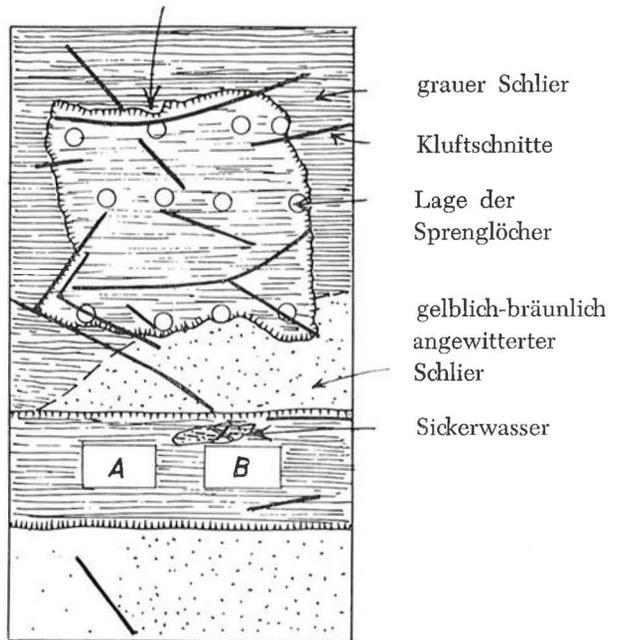


ABB. 3 a Ausschnitt der Schlieroberfläche bei Thurnsdorf, O.-Ö. nach einem Sprengversuch. A und B sind herauspräparierte Versuchsböcke. Maßstab 1 : 100

des Schlagbolzens wird gemessen. Das Rückprallmaß ist der Rückprall des Schlagbolzens in Prozent der Vorwärtsbewegung des Hammers und wird als Prellhärte (R) bezeichnet. In der Konstruktion des Prellhammers nach dem System Schmitt liegt ein brauchbares und handliches Kleingerät vor, das eine sehr schnelle Abfolge von Messungen gestattet, so daß die geologischen Bereiche mit einem dichten Beobachtungsnetz überzogen werden können (Abb. 2). Derzeit stehen verschiedene Geräte mit den Schlagenergien von 3,0, 0,225, 0,009, und 0,75 m/kg zur Verfügung.

Die ersten Versuche zur Anwendung eines Gerätes mit der Schlagenergie von 0,225 mkg erfolgte 1960 auf einer einheitlich aus festen horizontal gelagerten Schliermergeln aufgebauten Aufstandsfläche. Die Kar-

tierung der Gesteinsverhältnisse ist in Abb. 3 a u. 3 b aufgezeigt und die vergleichsweise Untersuchung mit Hilfe der Prellhärte in Abb. 3 c dargestellt worden. Je nach den baueologischen Bedingungen können die günstigsten Schlagenergien gewählt oder auch kombiniert werden. Die für den geologisch definierten und bekannten Tiefenbereich geltenden felsmechanischen Eigenschaften, die durch die Prellhärte in ihrer relativen Verteilung ermittelt werden können, werden durch die künstlich bedingten Auflockerungen wesentlich beeinflusst. Durch Anwendung verschiedener Schlagenergien lassen sich Differenzbeobachtungen anstellen, so daß außer den Werten der oberflächennahen Zone auch relativ tiefere Zonen erreicht werden

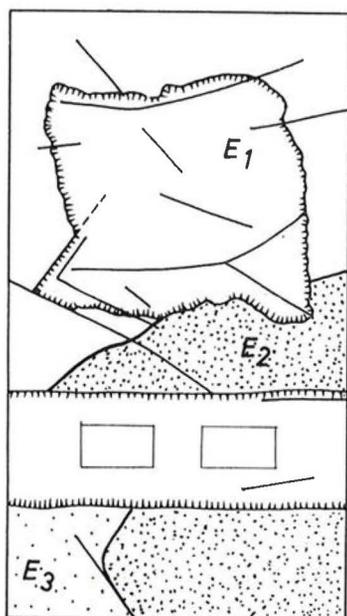


ABB. 3 b Schlierenoberfläche wie in Abb. 3 a mit der vermutlichen Abgrenzung der E-Moduli ($E_1 - E_3$) auf Grund der üblichen geologischen Beobachtungen (siehe auch Abb. 1). Ohne Flächensignatur E_1 , eng punktiert E_2 , weitständig punktiert E_3 .

können. Da jede Aufstandsfläche einer Auflockerung unterliegt, werden die relativen Festigkeitsverhältnisse denen des unaufgelockerten Zustandes nur ähnlich sein können. Durch Untersuchung der oberflächennahen Zone werden jene Werte gefunden, welche die ersten Reaktionen des Projektes erwarten lassen, falls die Auflockerungen nicht durch Injektionen konsolidiert worden sind. Die Prellwerte der oberflächennahen Zone lassen auf Grund der geologischen Aufnahme z. T. auch jene künstlichen Auflockerungen erken-

nen, die bei der baueologischen Kontrolle bzw. der amtlichen Abnahme von Aufstandsflächen ohne Kenntnisse der Prellhärte nicht erkannt werden würden, aber die Qualität der Aufstandsbedingungen herabmindern können und somit eine Nachsäuberung erfordern. So

Prellhärte:

	20—21
	21—22
	22—23
	23—24
	24—25
	25—26
	26—27
	27—28
	28—29
	29—30
	30—31
	31—32
	32—33
	33—34

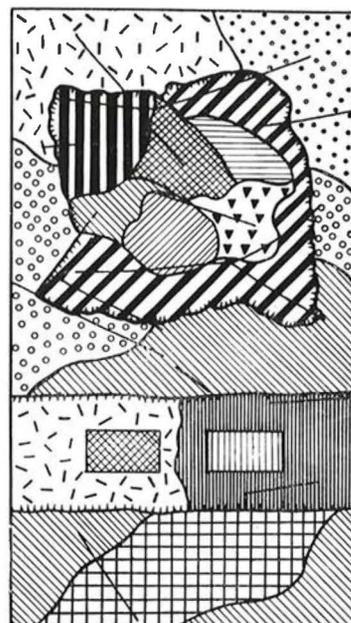


Abb. 3 c Schlierenoberfläche wie in Abb. 3 a mit Darstellung der Prellhärteverteilung als Äquivalent der zu erwartenden Verteilung der Gebirgs-E-Moduli.

zeigte z. B. die Untersuchung der Schlierflächen (Abb. 3 a und 3 c) mittels der Schlagprüfung deutliche Auflockerungen infolge der Spreng- und Bearbeitungsweise, so daß die betreffenden Felsplatten vor Aufbringung des Betons entfernt werden müssen, da sie die Haftfestigkeit in der Sohle und unmittelbar unter der Sohle herabsetzen. Mit Hilfe der an Hand geologischer Aufnahmen ermittelten Prellhärten kann die Verteilung der relativen mechanischen Felseigenschaften des Gebirges, das von einer Aufstandsfläche angeschnitten wurde, ermittelt werden und eine Kontrolle über die schädlichen Oberflächenauflockerungen erfolgen. Tiefer greifende Auflockerungen des Gebirges im Zuge der Ausführungsarbeiten werden sich durch die erwähnte Differenzmessung mit verschiedenen Schlagenergien aufspüren lassen. Auflockerungen, die mehrere Meter unter der Aufstandsfläche zu erwarten sind, können durch die Schlagprüfung der genannten Energien nicht mehr erfaßt werden. Ihre Untergrenze ist z. B. durch Injektionen nachzuweisen (F. Makovec). Da solche Auflockerungen auch für die relativen

Festigkeitsergebnisse (der mittels Prellhärte und geologischer Aufnahme erfolgten Kartierung) bestimmend sind, so können jene Bereiche der Baugruben auf Grund von Vergleichsmessungen erfaßt werden, in denen mit relativen Verformungen des Untergrundes im Zuge der Konsolidierung unter der Auflast zu rechnen ist. Die Verformbarkeit des Gebirges nach erfolgter Konsolidierung wird Prellwerte erwarten lassen, die günstiger sind als jene, die in der oberflächennahen Zone ermittelt worden sind. Durch das genannte Untersuchungsverfahren werden die für das Bauwerk maßgebenden Verformungstendenzen des Gebirges erfaßt.

4. WEITERE BEMERKUNGEN ZUR ANSCHÄTZUNG DES RELATIVEN GEBIRGS-E-MODULS

Der Gebirgs-E-Modul ist bei Bauvorhaben in zwei Komponenten zu zerlegen und zwar in eine unveränderlichen Wertes und eine von den Bauvorgängen abhängige.

Die erstgenannte Komponente ist vom Gesteinszustand abhängig und kann nur zum Teil durch arbeitstechnische Maßnahmen beeinflusst werden. Im Bereich der oberflächennahe gelegenen Zone in welcher die bautechnischen Maßnahmen eine Veränderung des Gesteinszustandes herbeiführen, wird mit zusätzlichen Veränderungen der Gebirgs-E-Moduli zu rechnen sein. Diese erfahren unter Auflast und Injektionen weitere Veränderungen, die im Sinne einer Konsolidierung zu Werten führen, die im Endzustand eine ähnliche Größe erreichen können wie die vorerst genannten mechanischen Daten außerhalb dieser engeren Einflußzone. Die Veränderungen des E-Moduls in Abhängigkeit von den Eingriffen in den Untergrund können direkt oder indirekt bedingt werden. Eine direkte Veränderung der E-Moduli des Gebirges kann z. B. durch Injektionen hervorgerufen werden. In den meisten Fällen erfolgt diese Beeinflussung in umgekehrtem Sinne durch die Auflockerung im Zuge des Massenabtrages (das ist durch Sprengung und durch Einwirkung der Baumaschinen).

Derartige Auflockerungen können nach F. Makovec sehr tief unter die Aufstandsfläche hinunter reichen.

In solchen Fällen tiefergehender Auflockerungen durch die Abbauvorgänge ist allerdings der Verdacht sehr naheliegend, daß die Gesteine eine Bereitschaft zur Auflockerung besitzen, die infolge des Massenabtrages d. h. infolge der Entlastung ausgelöst wird, so daß eine Auflockerungstendenz des Gebirges zu erwarten ist (siehe auch A. Kieslinger).

Unabhängig von diesen durch Entlastung zu erwartenden Verformungen und deren eventuellen Auslösung

durch die zusätzlichen mechanischen Beanspruchungen, vor allem durch Sprengungen, ist damit zu rechnen, daß in jedem Gebirge, welches tonige Substanzen in den Gesteinen und Klüften enthält, auch Quellungs- spannungen hinzukommen. Weitere Auflockerungen können, wie das von der Sohlhebung der Rabbode-Talsperre zum Teil zu vermuten ist, auf Entspannungsvorgänge im Gestein zurückgeführt werden.

Eine weitere Auflockerung auf Baustellen wird durch die Verwitterung erfolgen, zunächst durch Spaltenfrost und in Fällen tonhaltiger Gesteine auch durch Quellungs- vorgänge.

Die baugeologisch zu erwartenden Reaktionen bezüglich der Setzungsvorgänge werden in der genannten Auflockerungszone besonders intensiv in Erscheinung treten und zunächst die gefährlichen Verformungen erwarten lassen.

Dieser Umstand, auf den oben bereits hingewiesen wurde, läßt erkennen, daß die Beobachtung der mechanischen Eigenschaften in der oberflächennahen Zone

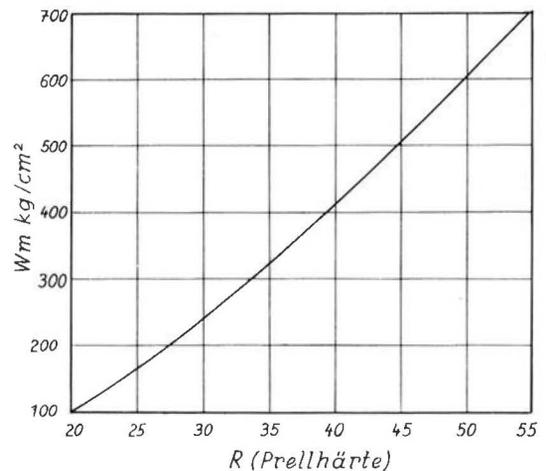


ABB. 4 Diagramm über die Beziehungen der Prellhärte (R) zur Würfeldruckfestigkeit an Betonproben (W_m in kg/cm^2).

zu den wichtigsten Feststellungen führen. Die Verformungen des unbeeinflussten Untergrundes werden sich dagegen in engeren Grenzen halten, so daß geologische Prellhärtemessungen zu einer Sicherheitsreserve der Aussage führen.

Die nach den oben genannten Verfahren der geologischen Prellhärtemessung ermittelten Unterschiede der Gesteinsfestigkeiten (Abb. 4) bzw. Gebirgsfestigkeiten müssen hierbei, in weiten Grenzen, dem E-Modul des Gebirges proportional angenommen werden. Dieses Verhältnis ist aus der Grundgleichung der Elastizitätstheorie abzuleiten. Die Beziehungen zwischen dem E-Modul verschiedener Gesteine und deren Druckfestig-

keiten (Abb. 5) läßt die lineare Abhängigkeit beider Eigenschaften der Gesteine erkennen, was zunächst auf das Gebirgsverhalten übertragen werden soll. Diese Annahmen bzw. Beobachtungen und Feststellungen müssen zunächst die Grundlage der Anschätzung bleiben, so daß aus der relativen Verteilung der durch Prellhärten festgestellten Festigkeitseigenschaften der Gesteine bzw. des Gebirges auf die äquivalenten, re-

Hinkunft nur von einem Gebirgs-E-Modul zu sprechen ist (J. Stiny, L. Müller). Aus diesem Umstand und den oben genannten Veränderungsmöglichkeiten des Gesteinszustandes im Zuge der Bauausführung ist die *Veränderung des Gebirgs-E-Moduls* in die Überlegungen einzubeziehen.

Der oben genannte Einfluß der Klüftung auf den Gebirgs-E-Modul ergibt sich unter anderem auch aus

Beziehung zwischen E-Modul und Druckfestigkeit nach Angaben von Obersti (nach Prüfungen von Probestücken im Labor)

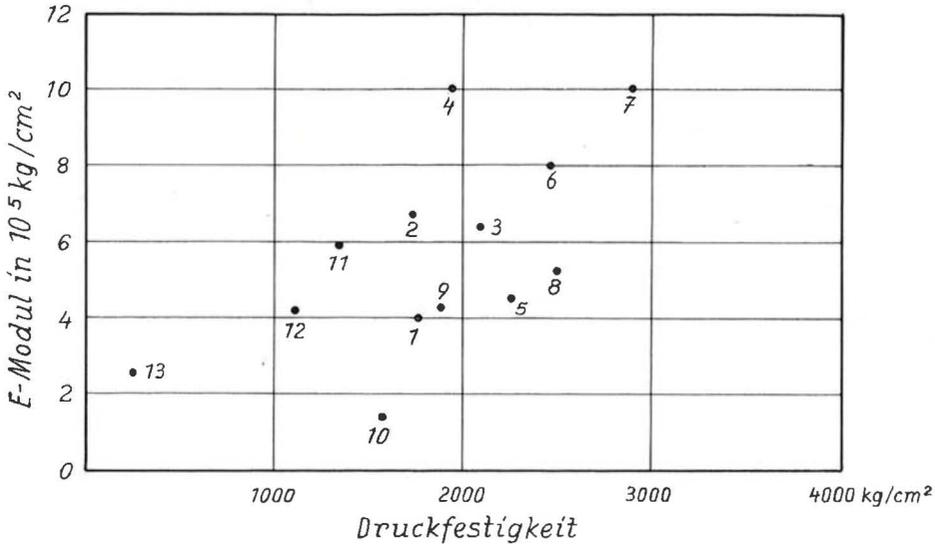


ABB. 5 Das Diagramm zeigt die Lagen von Schwerpunkten der im Laboratorium ermittelten Wertestreuungen für E-Modul und Druckfestigkeit verschiedener Gesteinsproben.

1 Granit, 2 Syenit, 3 Diorit, 4 Gabbro, 5 Porphyry, 6 Diabas, 7 Basalt, 8 Melaphyr, 9 Gneis, 10 Sandstein, 11 Kalk, 12 Dolomit, 13 Tonschiefer.

lativen Unterschiede der E-Moduli geschlossen werden darf. Damit ist aber bereits eine wesentliche Verbesserung erreicht, da es im Bauwesen vor allem auf die relativen Unterschiede der Gebirgs-E-Moduli ankommt und die Absolutwerte bis zu einem gewissen Grad an bekannte Feldversuche angeschlossen werden müssen, soweit nicht besondere, neue Versuche zur Bestimmung des Gebirgs-E-Moduls angezeigt sind. Daß der E-Modul des Gebirges sich von dem des Probekörpers wesentlich unterscheiden muß, ist verständlich und kann durch die Prellhärtemessungen an verschieden dicken Gesteinsplatten gezeigt werden. In beiliegendem Diagramm (Abb. 6) ist die Abhängigkeit der Prellhärte von verschiedenen Dicken des Probekörpers bzw. des Klüftkörpers dargestellt. Aus dieser Darstellung ist der große Einfluß des Zerklüftungsgrades bzw. der Intensität tektonischer Beanspruchung des Gesteins zu erkennen, so daß bei Bauvorhaben in

der Untersuchung über die Festigkeitseigenschaften von Lockergesteinen. Dieser Vergleich darf insofern gemacht werden, als infolge der tektonischen Beanspruchung und Zerklüftung des Gebirges zwischen einem homogenen oder anisotropen unzerklüfteten Gebirge (was allerdings nur theoretisch möglich ist) und der Zerteilung infolge der Zerklüftung bis zum feinsten Lockergestein herab alle Übergänge möglich sind. Auf diese Weise müssen sich die Veränderungen des E-Moduls vom unzerklüfteten Festgestein bis zum feinstkörnigen Lockergestein verfolgen lassen. Die vergleichende Zusammenstellung bekannter Festigkeitsdaten bzw. E-Moduli verschiedener Fest- und Lockergesteine ist nachstehendem Diagramm zu entnehmen (Abb. 7). Auf Grund dieser Tabelle und den Beobachtungen über den Gesteinszustand kann versucht werden, die Abminderung des E-Moduls infolge tektonischer Beanspruchungen anzuschätzen. Die Gesteinszustände

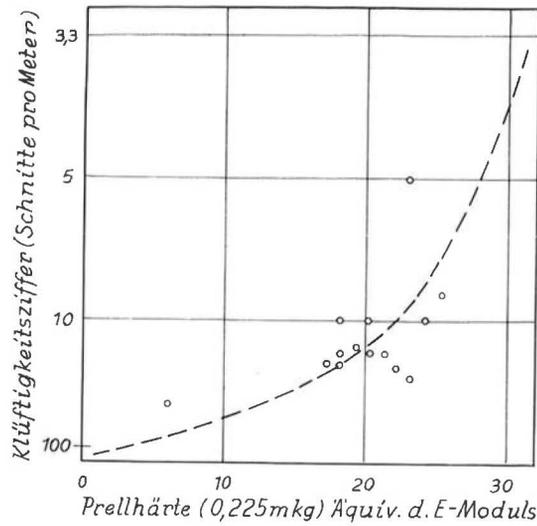


ABB. 6 Diagramm über die Beziehungen der Prellhärte zur Klüftigkeit eines Gesteins (Schliermergel).

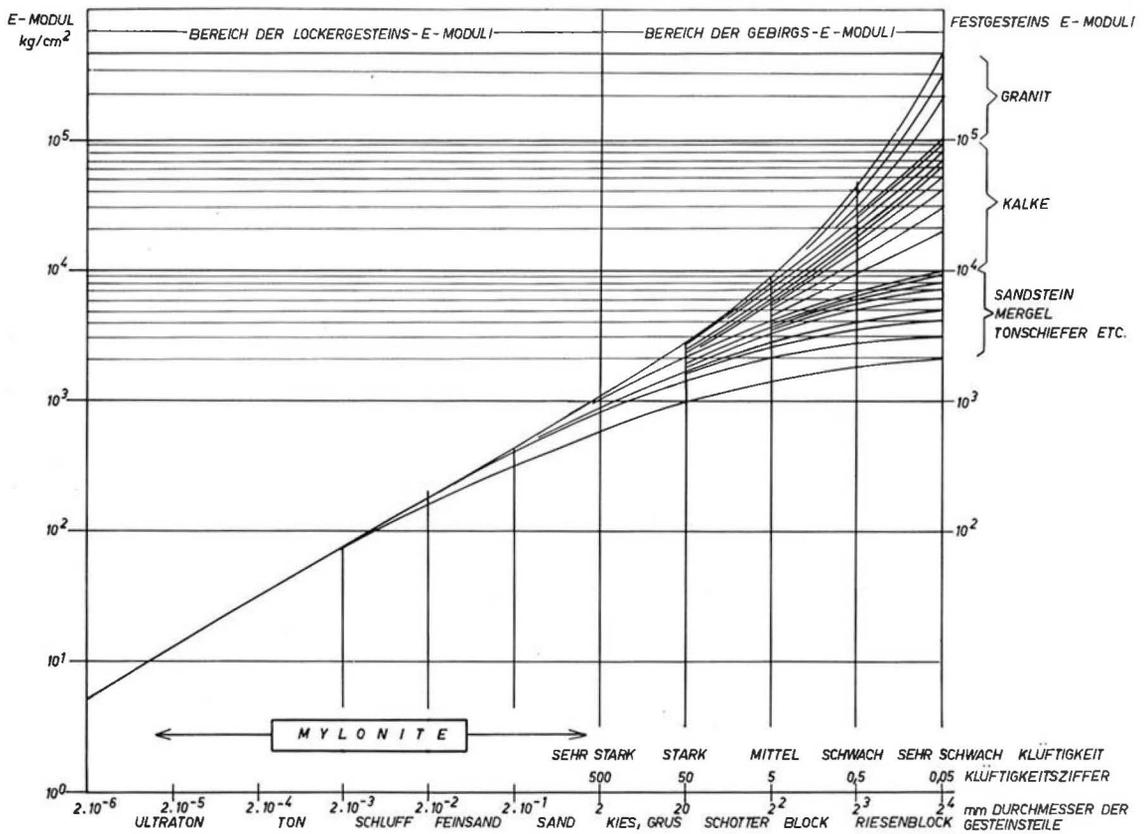


ABB. 7 Schematisches Diagramm der Beziehungen zwischen dem E-Modul und dem Zerteilungsgrad des Gebirges (dargestellt durch die Korngrößen der Gesteinsteile bzw. Klüftigkeit des Gebirges mittels der Klüftigkeitsziffer nach Stiny).

Die Unterscheidung in Lockergestein-, Gebirgs- und Festgesteins-E-Moduli ermöglicht erst die hinreichende Beschreibung dieser mechanischen Gebirgseigenschaften. Von Erfahrungswerten ausgehend, wurde die Kurvenschar des Diagrammes interpoliert um die Anschließung der E-Moduli im Gelände zu erleichtern.

können mit den relativen Unterschieden der Gebirgs-E-Moduli in Beziehung gebracht werden. Durch Einführung der geologischen Prellhärtemessung lassen sich die subjektiven Anschätzungen zahlenmäßig unterbauen, wobei den Meßwerten wohl keine absoluten Beziehungen zum E-Modul zu entnehmen sind, wohl aber die Anschätzung der relativen Festigkeitseigenschaften des Gesteinsverbandes dadurch wesentlich verbessert werden kann.

1962 wurde der oben beschriebene Prellhammer erstmals von O. Haase für Gebirgsmessungen im Bergbau eingeführt und das Verfahren von B. Pilz weiter entwickelt.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die hier genannten Verfahren zur Feststellung der felsmechanischen Eigenschaften von Aufstandsflächen bedürfen selbstverständlich weiterer Bemühungen, um die Qualität der baugelogeischen Aussage zu verbessern. Dies ist besonders für die Beurteilung von Aufstandsflächen notwendig, die aus den oben genannten Gründen nur einer sehr kurzfristigen geologischen Beobachtung zugänglich sind, wodurch jeder größere Versuch im Sinne von L. Müller und J. Stiny ausgeschlossen wird. Andererseits sind die Beobachtungen der Endausformung von Sohlflächen wesentliche Teile der baugelogeischen Überwachung, da erst in diesem Zustand des Bauverfahrens eine Überprüfung der baustatischen Annahmen möglich ist und nur in diesem Zustande noch eine bautechnische Rücksichtnahme erfolgen kann.

Weiterhin sind diese Beobachtungen maßgebende baugelogeische Grundlagen für den Betriebszustand bzw. den in dieser Zeit nötig werdenden Reparaturfall, auf die zu jeder Zeit zurückgegriffen werden kann. Es wurden bei solchen Beobachtungen, insbesondere bei Prellhärtemessungen überraschende Unterschiede im Festigkeitsverhalten der Aufstandsflächen nachgewiesen, die bei der üblichen geologischen Aufnahme nicht erkannt worden sind. Mit solch einfach und rasch ausführbaren Ergänzungsmessungen mit Hilfe des Prellhammers lassen sich wesentliche Verbesserungen der geologischen Aufnahmen des Gesteinszustandes erzielen, was für die Beurteilung von Aufstandsflächen von Bedeutung ist. Bei der praktischen Ausführung muß die geologische Abhängigkeit der Prellhärte untersucht werden, um vergleichbare Werte zu ergeben, wobei selbstverständlich eine gleichbleibende Meßweise auf Grund einer Verfahrensvorschrift zu gewährleisten ist. Die Prellhärte ist von der Gesteinsart und vom Gesteinszustand (d. h. von seinem verwitterungs- und tektonischen Zustand) abhängig. Sie ist somit einerseits von der Gesteinsfestigkeit und der Verbandfestigkeit bzw. von der Zerklüftung und den Kluftrichtungen abhängig, andererseits von der technischen Vorbehandlung des Gebirges (Injektionen, Arten des Abbauverfahrens und der dadurch bedingten künstlichen Auflockerungen, die geologischen Reaktionen auf den Massenabtrag, welche ebenfalls zur Auflockerung des Felsverbandes führen können, Spaltenfrost, Quellungsdruck).

LITERATUR

- Anonym, Betonprüfhammer Modell N. Basel u. Zürich 1960
- Bendel L., Ingenieurgeologie II. Wien 1948
- Chwalla E., Stellungnahme des Sachverständigen für Statik und Stahlbau. Donaukraftwerk Ybbs-Persenbeug, Verhandlungsschrift betreffend das Ansuchen um die wasserrechtliche Bewilligung. Dritte mündliche Teilverhandlung. Wien 1954
- Fill R., Kluftmessung und Talsperrenlage. Geologie und Bauwesen 17, Wien 1949
- Haase O., Ein einfaches Verfahren zum Bestimmen der Festigkeit des Nebengesteins und der Kohle. Glückauf 98, 1962
- Häusler H., Baugelogeische Aufnahmen der Sohlflächen des Donaukraftwerkes Ybbs-Persenbeug. Manuskript 1955
- Häusler H., Geologische Voruntersuchung für das Wehr Thurnsdorf des KW-Projektes St. Pantaleon. Manuskript 1961
- Huggenberger A. U., Talsperren-Meßtechnik. Berlin 1951
- Keil F. G., Geotechnik. Halle/Saale 1959
- Kieslinger A., Kugeldruckprobe an Gesteinen. Geologie und Bauwesen 7, Wien 1935
- Kieslinger A., Restspannung und Entspannung im Gestein. Geologie und Bauwesen 24, Wien 1958

- Kieslinger A., Gesteinsspannungen und ihre technischen Auswirkungen, Zschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 112, Hannover 1960
- Kögler F. u. Scheidig A., Baugrund und Bauwerk. Berlin 1939
- Makovec F., Das Ausmaß der Felsauflockerung bei Sprengarbeiten. Geologie und Bauwesen 28, Wien 1962
- Müller L., Grundsätzliches über gebirgstehnologische Großversuche. Geologie und Bauwesen 27, Wien 1961
- Oberti G., Experimentelle Untersuchungen über die Verformbarkeit der Felsen. Geologie und Bauwesen 25, Wien 1960
- Petzny H., Die Talsperren am Kamp. Österr. Wasserwirtschaft 9, Wien 1957
- Pilz B., Möglichkeiten zur Automatisierung von Vortriebs- und Gewinnungsmaschinen im Bergbau mit Hilfe eines Ultraschall-Meßverfahrens. Bergbauwissenschaften 10, Goslar 1963
- Reuter F., Entspannungserscheinungen in der Baugrube der Rappodetalsperre/Harz. Geologie und Bauwesen 27, Wien 1962
- Schleicher F., Taschenbuch für Bauingenieure I/II. Berlin-Göttingen-Heidelberg 1955
- Schröder H., Grundbau-Taschenbuch. Berlin 1958
- Stiny J., Behelfsmäßige Untersuchungen der Gebirgsfestigkeit. Geologie und Bauwesen 20, 34—36, Wien 1953
- Stiny J., Statik und Talsperrenbau. Geologie und Bauwesen 20, Wien 1953
- Terzaghi K., Theoretische Bodenmechanik. Berlin 1954
- Tölke F., Talsperren. Berlin 1953
- Tremmel E., Limbergsperre. Statische Auswertung der Pendelmessungen. Wien 1958