

# DIE BAUTECHNIK

16. Jahrgang

BERLIN, 25. März 1938

Heft 13

Alle Rechte vorbehalten.

## Steinmauerwerk bei Brückenbauten.

Von G. Schaper.

Man kann wohl sagen, daß im Brückenbau unter dem Einfluß des Beton- und Eisenbetonbaues in den letzten Jahrzehnten der Steinbau vielfach in den Hintergrund getreten ist. Es ist dies verständlich, wenn man bedenkt, daß der Betonbau und der Eisenbetonbau sehr wirtschaftlich sind, daß beide Bauarten durch eine großzügige Versuchsforschung außerordentlich gefördert sind, und daß viel getan ist, um das gute Aussehen der Beton- und Eisenbetonbauten durch einwandfreie Behandlung der Sichtflächen zu heben. Es ist weiter deshalb verständlich, weil der Eisenbetonbau dem Steinbau dadurch erheblich überlegen ist, daß der Eisenbeton wie der Stahl in der Lage ist, große Zugspannungen aufzunehmen, während dem Steinbau nur ganz geringe Zugbeanspruchungen zugemutet werden können. Der Steinbau scheidet also bei allen balkenträgerartigen Gebilden, bei Rahmenträgern und bei Bogen größerer Stützweite mit Verkehrslasten, die im Verhältnis zur ständigen Last sehr groß sind, aus.

In der Eisenbetonbauweise sind auch in den letzten Jahren außerordentlich schöne und in einzelnen Fällen, wo große Stützweiten überwunden werden mußten, auch monumentale Brücken gebaut worden.

Hierhin gehört unter anderen die Reichsautobahnbrücke über das Teufelstal (OBR Halle) (Abb. 1), das mit zwei nebeneinanderliegenden Eisenbetonbogen von 138 m Spannweite überbrückt wird. Die aus Eisenbeton bestehende Fahrbahn wird von Eisenbetonwänden getragen, die sich auf die Bogen stützen. Von gleichen und im gleichen Abstände stehenden Betonwänden wird auch die Fahrbahn über den Talhängen getragen. Das Bauwerk macht einen kühnen, einheitlichen und monumentalen Eindruck. Es ist außerdem sehr wirtschaftlich.

Ein schönes, zweckmäßiges und wirtschaftliches Bauwerk in Eisenbeton ist auch die Reichsautobahnbrücke bei Frankenhausen in Sachsen<sup>1)</sup> (OBR Dresden) (Abb. 2). Jede der beiden Fahrbahnen wird auf einem besonderen 491 m langen Viadukt über das Tal geführt, der aus je drei Balkenträgern und aus je 17 rahmenartigen Stützen besteht. Die Viadukte liegen teilweise in der Krümmung (Abb. 3). Die Sichtflächen der Eisenbetontragteile sind durch Spitzen sehr gut bearbeitet, wie die Betrachtung der Abb. 2 u. 3 zeigt. Das Bauwerk macht einen sehr ansprechenden Eindruck.

So gut auch sachgemäß durch Spitzen od. dgl. bearbeitete Betonflächen bei richtiger Wahl der Körnung der Zuschlagstoffe aussehen, sie erreichen doch nicht die Schönheit von Flächen aus edlen, wetterbeständigen Natursteinen.

Es ist deshalb lebhaft zu begrüßen, daß neuerdings beim Brückenbau dem Steinbau wieder die ihm gebührende Beachtung geschenkt wird, und daß namentlich beim Bau der Reichsautobahnbrücken auf Anregung des Herrn Generalinspektors für das deutsche Straßenwesen viele Pfeiler von Stahl- und Eisenbetonbalkenbrücken und viele gewölbte Viadukte in schönen Natursteinen gebaut werden. Auch vom kulturellen und volkswirtschaftlichen Standpunkte ist es hoch anzuschlagen, daß ein so schönes und bedeutendes Handwerk wie das Steinmetzhandwerk wieder ins Leben gerufen ist.

Das Mauerwerk für die Zwecke des Brückenbaues kann man einteilen in:

1. Findlingsmauerwerk, bei dem Findlinge mit ganz unregelmäßigen Fugen zusammengefügt werden (s. Abb. 4 u. 5).

<sup>1)</sup> Ausführliche Abhandlung erscheint demnächst in der Bautechnik.



Abb. 1. Brücke über das Teufelstal.

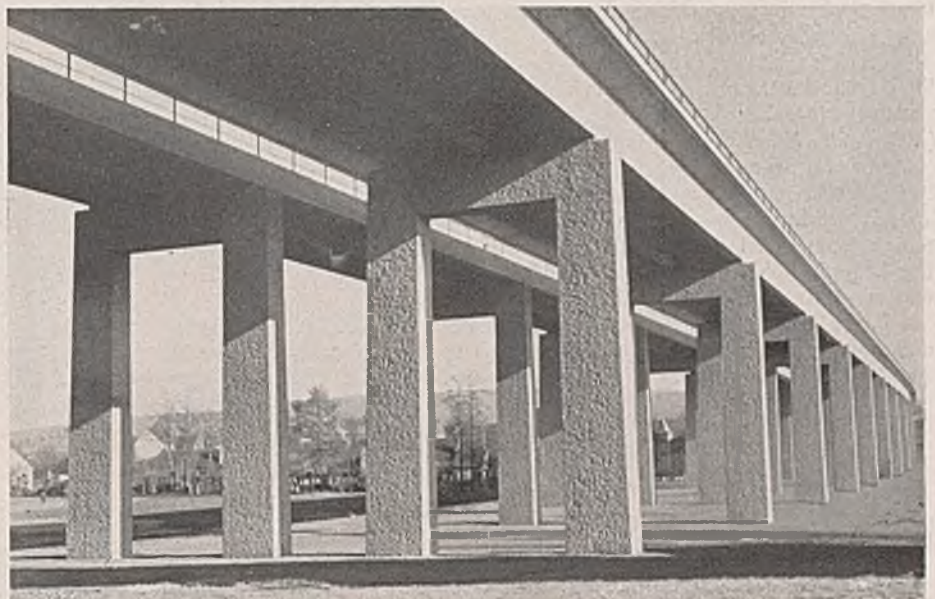


Abb. 2. Brücke bei Frankenhausen.



Abb. 3. Brücke bei Frankenhausen.



Abb. 4. Eisenbahnbrücke über die Steinau bei Büchen. Findlingsmauerwerk.

2. Gewöhnliches Bruchsteinmauerwerk, bei dem kleinere und größere Bruchsteine ohne weitere Bearbeitung und ohne regelmäßige Fugen vermauert werden.

3. Hammerrechtes Bruchsteinmauerwerk, d. i. Mauerwerk aus kleineren und größeren Bruchsteinen mit mehr oder weniger bearbeiteten Lagerflächen. Die Höhe der Steine ist ganz unregelmäßig. Nur einzelne Lagerfugen sollen waagrecht sein und durchlaufen. Die anderen Lagerfugen laufen nicht durch, sie können auch von der Waagerechten etwas abweichen (s. Abb. 6 u. 7).

4. Unregelmäßiges Schichtenmauerwerk. Die Lager- und Stoßfugen werden genau bearbeitet. Die Lagerfugen sollen waagrecht verlaufen, die Stoßfugen sollen rechtwinklig zu den Lagerfugen sein (s. Abb. 9). Manchmal werden die Stoßfugen auch unter einem von 90° etwas abweichenden Winkel gegen die Lagerfugen angeordnet (s. Abb. 17). Die Lagerfugen sollen möglichst alle 2 m ganz durchlaufen. Dazwischen können die Lagerfugen beliebig gegen Stoßfugen laufen. Die Höhe der Steine kann recht verschieden sein. Die Fugen sind 2 bis 3 cm dick. Die Lagerflächen und die Flächen der Stoßfugen sollen auf eine Tiefe von mindestens 15 cm bearbeitet sein.

5. Regelmäßiges Schichtenmauerwerk (s. Abb. 22). Die Lager- und Stoßfugen werden genau bearbeitet. Die Lagerfugen müssen waagrecht und die Stoßfugen unbedingt rechtwinklig zu diesen sein. Die Lagerfugen müssen waagrecht durchlaufen, sie dürfen nur an den Ecken gegen größere

Steine laufen, die die Höhe von zwei Schichten haben. Die Lagerflächen und die Flächen der Stoßfugen sollen auf eine Tiefe von mindestens 15 cm bearbeitet sein. Die Höhe der Schichten kann verschieden sein. Das ist sogar oft erwünscht, um die Flächen zu beleben.

6. Quadermauerwerk. Alle Steine müssen genau nach Zeichnung in allen Flächen ganz bearbeitet werden. Die Stoßfugen müssen genau rechtwinklig zu den Lagerfugen verlaufen. Alle Lagerfugen müssen waagrecht sein und ganz durchlaufen; sie können höchstens an den Ecken gegen größere Steine laufen, die die Höhe von zwei Schichten haben. Die Höhe der Schichten kann verschieden sein.

Ganz allgemeine Regeln für die Ausführung von Mauerwerk sind folgende:

1. Lagerhafte Steine sind im Bauwerk so zu verwenden, wie es ihrer natürlichen Schichtung entspricht. Auf den Kopf gestellte Steine sind zu vermeiden.

2. Mehr als drei Fugen dürfen nirgends zusammenstoßen.

3. Entweder sollen ganze Läufer- und Binder-schichten miteinander abwechseln, oder es sollen in jeder Schicht Läufer und Binder angeordnet werden; dabei soll auf zwei Läufer mindestens ein Binder kommen.

4. Die Tiefe des Läufers soll mindestens gleich der Schichthöhe sein, und jeder Binder soll um die Steinhöhe tiefer eingreifen als der benachbarte Läufer.

Bei Pfeilern und Widerlagern von Brücken wird das Natursteinmauerwerk der Ansichtflächen in der Regel nur als Vormauerung (Verkleidung) vor Beton oder gewöhnlichem Bruchsteinmauerwerk ausgeführt. Gewölbe werden in der Regel in ganzer Dicke aus Natursteinen gebildet.



Abb. 6. Wirtschaftswegeunterführung bei Plauen. Hammerrechtes Bruchsteinmauerwerk.



Abb. 5. Eisenbahnbrücke über die Steinau. Einzelheiten des Widerlagers. Findlingsmauerwerk.

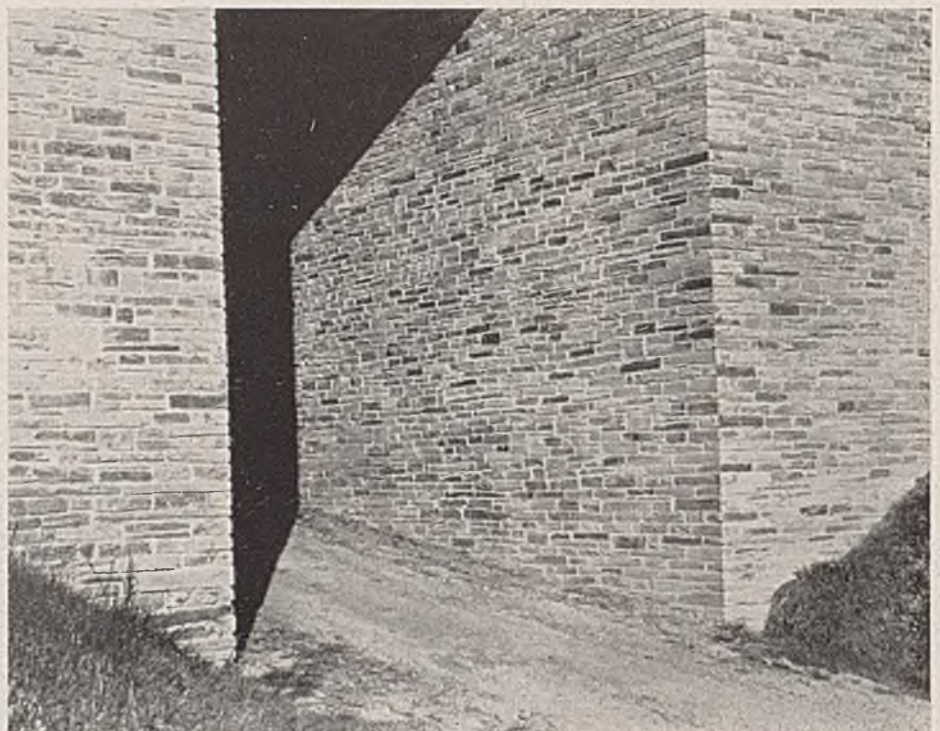


Abb. 7. Wirtschaftswegeunterführung bei Plauen. Einzelheiten des hammerrechten Bruchsteinmauerwerks.

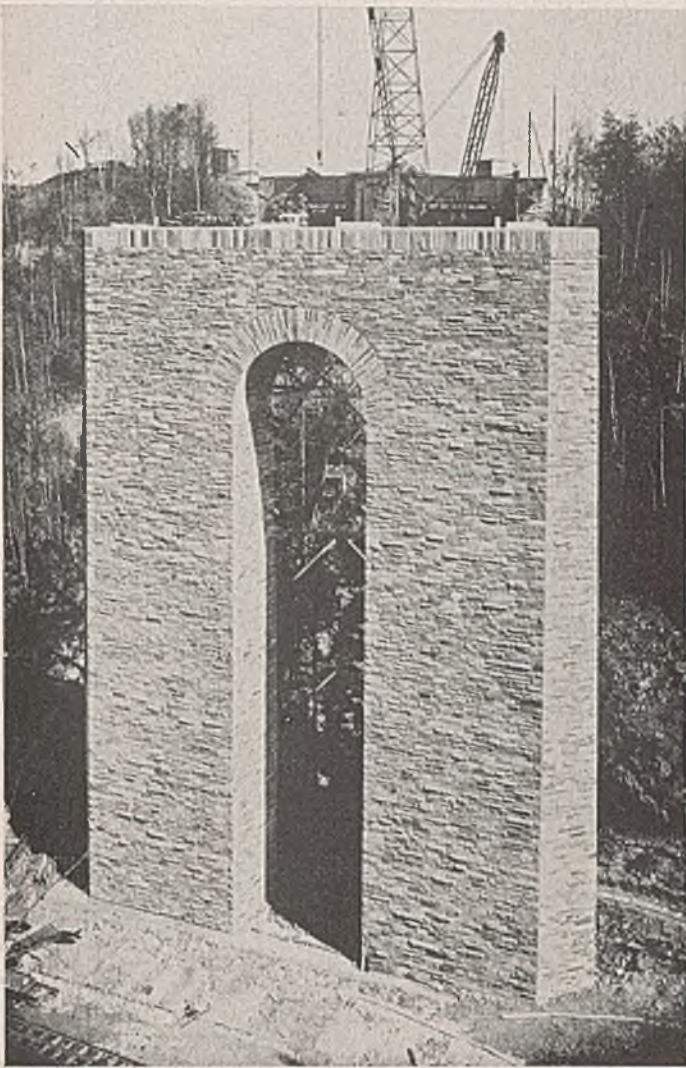


Abb. 8. Mittelpfeiler der Brücke über die Große Striegis.  
Unregelmäßiges Schichtenmauerwerk.



Abb. 10.  
Mittelpfeiler der Brücke über die Große Striegis.

Häßliche Kalkausblühungen in den Ansichtflächen sind durch geeignete Zuschläge zum Beton und Mörtel und dadurch zu verhindern, daß dem Eindringen von Wasser in das Innere des Mauerwerks durch Abdichten der Rückenflächen und durch gute Abwässerung der Oberflächen entgegengetreten wird.

Im folgenden sollen einige charakteristische Widerlager-, Pfeiler- und Viaduktbauten in Natursteinen betrachtet werden.

Bei Bauten in ländlicher Gegend kann Mauerwerk in gespaltene Granitfindlingen sehr gut wirken (Abb. 4). Die Fugen verlaufen der Form der Findlinge entsprechend ganz unregelmäßig. An den Ecken sind die Widerlager mit bearbeiteten Quadern gesäumt (Abb. 5).

In ländlicher Gegend ist auch hammerrechtes Bruchsteinmauerwerk am Platze. In Abb. 6 u. 7 ist eine Wirtschaftswegunterführung bei Plauen (OBR Dresden) dargestellt, deren Widerlager ein hammerrechtes Bruchsteinmauerwerk aus Theumaer und Pillmannsgrüner plattigen Schiefersteinen aufweisen. Die Steine haben gute Ansichtflächen. Das Mauerwerk zeigt zwar im großen und ganzen den Charakter von Mauerwerk



Abb. 9. Einzelheiten des unregelmäßigen Schichtenmauerwerks  
des Pfeilers nach Abb. 8.

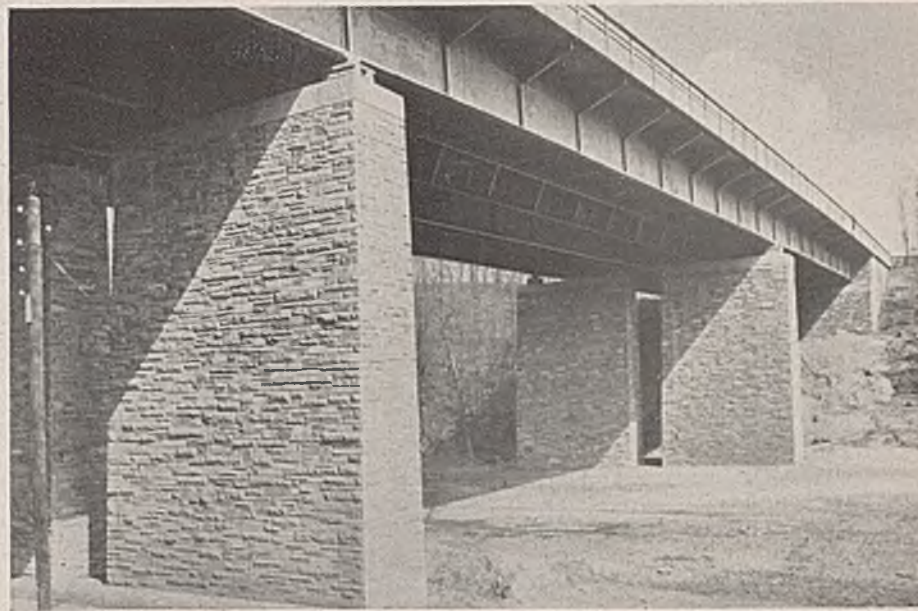


Abb. 11.  
Lützelbachtalbrücke in Sachsen. Unregelmäßiges Schichtenmauerwerk.



Abb. 12. Widerlagerflügel der Lützelbachtalbrücke.  
Unregelmäßiges Schichtenmauerwerk.

mit waagerechten durchgehenden Lagerfugen; die Lagerfugen laufen aber vielfach nicht durch und sind auch vielfach nicht ganz waagrecht, und die Stoßfugen sind nicht immer senkrecht.

Aus denselben Steinbrüchen stammen die Steine für den Mittelpfeiler der Brücke über die Große Striegis in Sachsen (OBR Dresden) (Abb. 8)<sup>2)</sup>. Das Mauerwerk ist aber hier ein unregelmäßiges Schichtenmauerwerk (Abb. 9). Alle Lagerfugen sind waagrecht, alle Stoßfugen sind senkrecht. Die Lagerfugen laufen aber nicht durch, sie stoßen oft auf die senkrechten Fugen. Die glatten Steine sind meist Theumaer Schiefer (60%) und die Bossensteine in der Regel Pillmannsgrüner Schiefer (40%). Das Gewölbe über der Aussparungsöffnung besteht ebenso wie die Rollschicht der Auflagerbank nur aus Theumaer Schiefer. In das Tal der Großen Striegis, dessen Hänge aus schiefrigem Fels bestehen, hätte ein anderes Mauerwerk, etwa regelmäßiges Schichtenmauerwerk aus Granit, nicht hineingepaßt (Abb. 10).

Aus denselben Steinen und in der gleichen Mauerwerksart sind Pfeiler und Widerlager der Lützelbachtalbrücke in Sachsen<sup>3)</sup> (OBR Dresden) hergestellt. Abb. 11 zeigt einen Überblick der Brücke. Die Pfeiler, die aus zwei Teilen bestehen, haben ganz schlichte, einfache Formen. Abb. 12 veranschaulicht das Mauerwerk eines

<sup>2)</sup> Ztrbl. d. Bauv. 1936, Heft 40.

<sup>3)</sup> Bautechn. 1937, Heft 49.



Abb. 13. Lützelbachtalbrücke. Auflagerpunkt.  
Unregelmäßiges Schichtenmauerwerk.

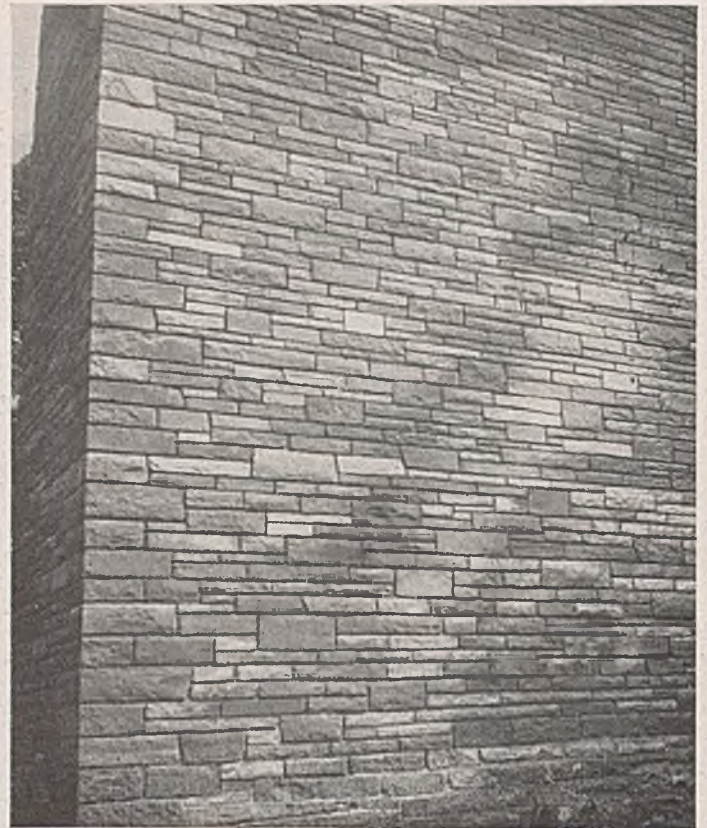


Abb. 17. Unregelmäßiges Schichtenmauerwerk des Viaduktes bei Arensburg.



Abb. 15. Reichsautobahnbrücke über das Hirschfeldtal.

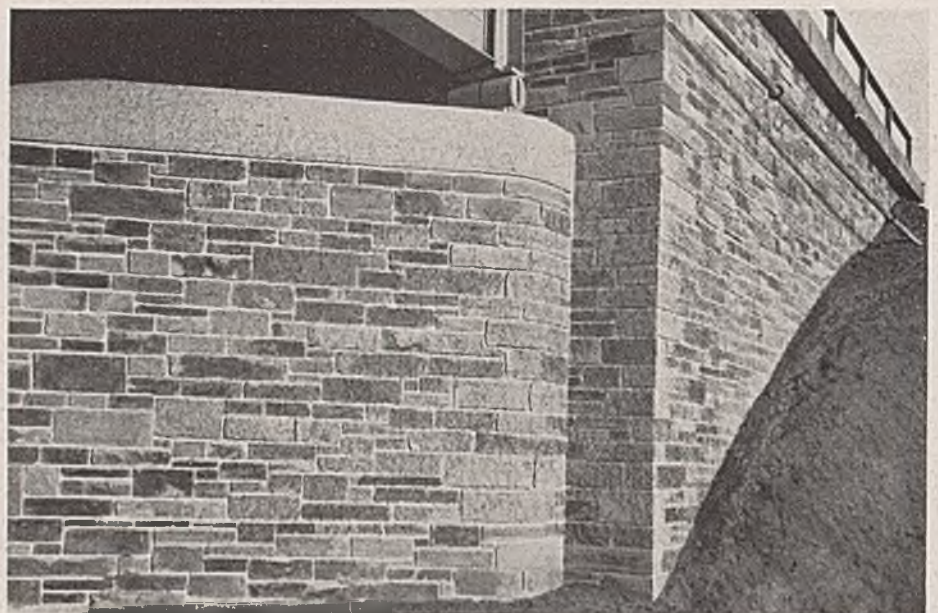


Abb. 14. Widerlager der Unterführung einer Staatsstraße bei Deutschenbora,  
Unregelmäßiges Schichtenmauerwerk.

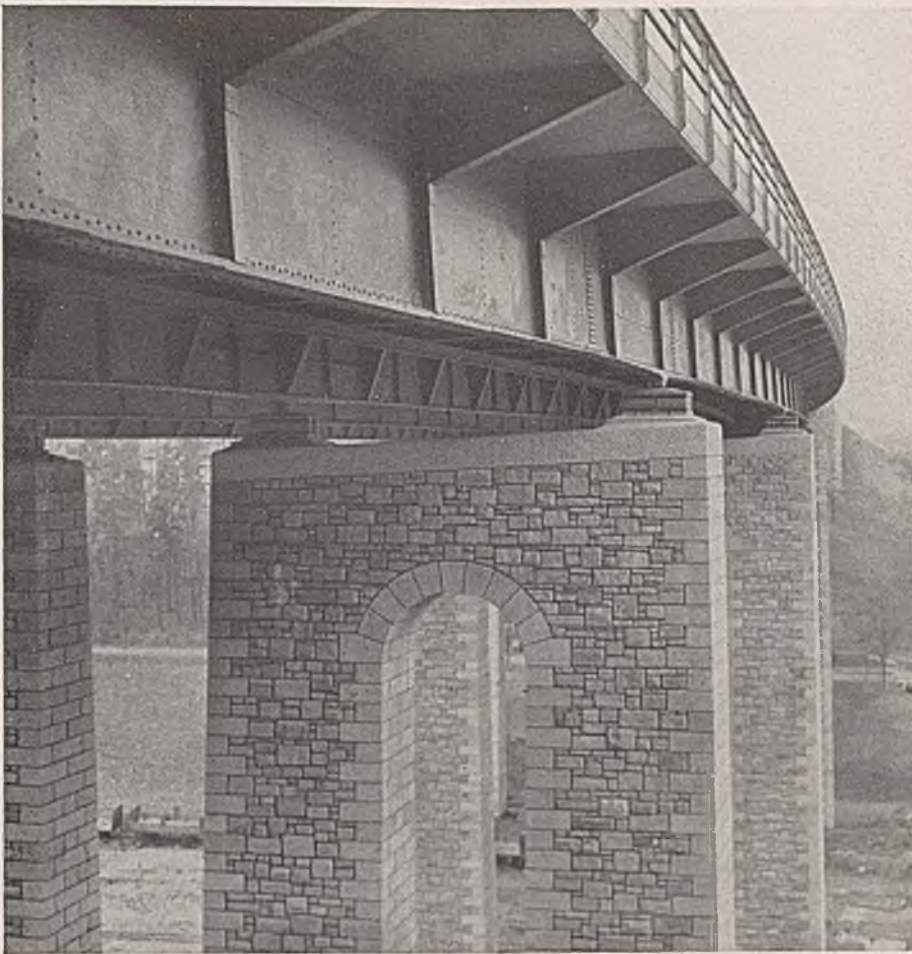


Abb. 16. Pfeiler der Brücke über das Hirschfeldtal.

Widerlagerflügels und Abb. 13 das Mauerwerk am Auflager des stählernen Überbaues in größerem Maßstabe. Die Mauerwerksflächen sehen trotz der kleinen Steine einheitlich aus und machen wegen der Verschiedenheit der Farben und Größen der Steine einen sehr lebhaften Eindruck.

Eine ähnliche Mauerwerksart (unregelmäßiges Schichtenmauerwerk) wie bei den beiden zuletzt beschriebenen Bauwerken zeigt auch das Widerlager der Unterführung einer Staatsstraße bei Deutschenbora in Sachsen (OBR Dresden) (Abb. 14). Die Steine, die in der Rundung und an den Ecken aus Bautzener Granit, im übrigen aus Gneisplatten aus dem Bruche Löbnitz bei Freiberg bestehen, sind aber größer gehalten. Außerdem laufen in Abständen von etwa 1,2 m die Lagerfugen ganz durch.

Bei der Reichsautobahnbrücke über das Hirschfeldtal in Sachsen<sup>4)</sup> (OBR Dresden) (Abb. 15) sind die Zwischenstützen des stählernen Überbaues als geteilte Steinpfeiler ausgebildet, von denen jeder Teil noch eine Aussparungsöffnung erhalten hat. Die durch diese weitgehende Aufteilung entstehenden kleinen Flächen glaubte man am besten und

<sup>4)</sup> Bautechn. 1937, Heft 49.

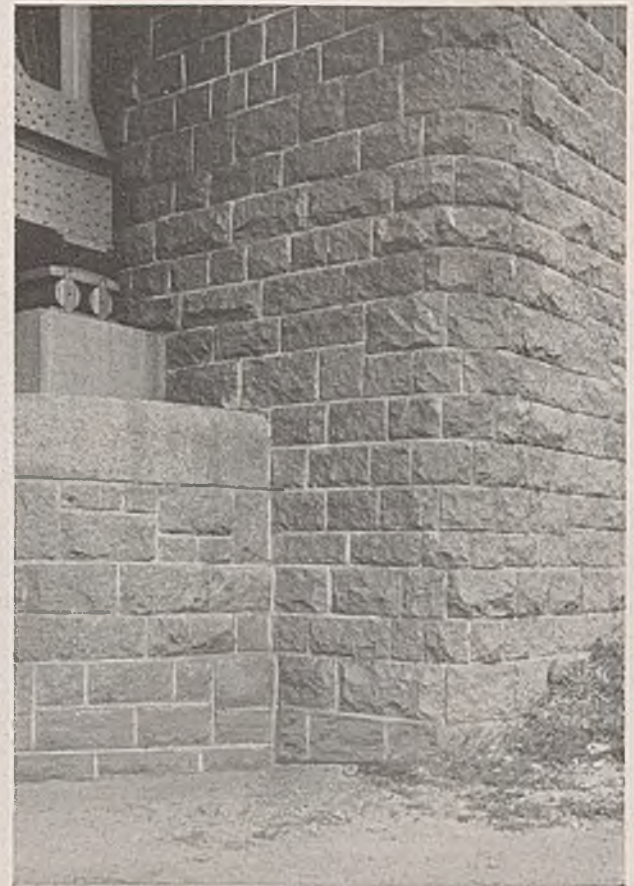


Abb. 19. Einzelheiten des unregelmäßigen Schichtenmauerwerks des Widerlagers der Elbebrücke bei Dresden.

billigsten mit kleinen Steinen verkleiden zu sollen (Abb. 16). Man nahm dazu kleine hammerrecht bearbeitete blaugraue Granitsteine aus einem Lausitzer Bruch und faßte diese mosaikartig verkleideten Flächen seitlich mit gespitzten Granitquadern aus demselben Bruch ein. Die kleinen Steine, die waagerechte und senkrechte Fugen aufweisen, haben in Höhe jedes zweiten Granitquaders durchlaufende waagerechte Fugen, dazwischen sind sie bunt durcheinander gewürfelt. Die Auflagerbänke sind aus Eisenbeton mit Zuschlägen aus Granitsplitt von dem Bruche, aus dem die Steine stammen, hergestellt und gespitzt. Die Auflagerbänke haben daher Farbe und Charakter der Granitquader.

Abb. 17 zeigt das Mauerwerk des Reichsautobahnviaduktes bei der Arensburg (OBR Hannover). Es ist ein unregelmäßiges Schichtenmauerwerk aus plattigen Sandsteinen vom Solling. Einzelne Stoßfugen sind nicht senkrecht.

Die Pfeiler und Widerlager der Reichsautobahnbrücke über die Elbe bei Dresden<sup>5)</sup> (OBR Dresden) (Abb. 18) sind mit schönem, rotem Meißener

<sup>5)</sup> Bautechn. 1935, Heft 35; desgl. 1936, Heft 6.



Abb. 18. Widerlager der Elbebrücke bei Dresden.



Abb. 20. Flügelmauer eines Widerlagers einer Überführung bei Plauen.

Granit verkleidet. Das Mauerwerk ist ein unregelmäßiges Schichtenmauerwerk. Abb. 19 veranschaulicht Einzelheiten des Mauerwerks eines Widerlagers. Alle Meter laufen die waagerechten Fugen durch; dazwischen sind die Fugen unregelmäßig.

Ein unregelmäßiges Schichtenmauerwerk aus Grünstein eines Widerlagers einer Überführung bei Plauen (OBR Dresden) ist in Abb. 20 veranschaulicht. Auch hier laufen einzelne Lagerfugen in größeren Abständen voneinander durch.



Abb. 22. Regelmäßiges Schichtenmauerwerk eines Pfeilers der Reichsautobahnbrücke über das Muldetal bei Siebenlehn.

Die hohen, schlanken Pfeiler der Reichsautobahnbrücke über das Muldetal bei Siebenlehn (OBR Dresden) (Abb. 21) haben eine Vormauerung aus regelmäßigem Schichtenmauerwerk. Aus Abb. 22 sind die Einzelheiten des Mauerwerks zu erschen, das aus rotem Meißener Granit besteht. Auch die Ecksteine haben die gleiche Schichthöhe wie die übrigen Steine. Die Oberflächen der Steine sind teils geboßt, teils fast glatt. Dadurch entsteht eine sehr lebhaftige Flächenwirkung.



Abb. 21. Reichsautobahnbrücke über das Muldetal bei Siebenlehn.

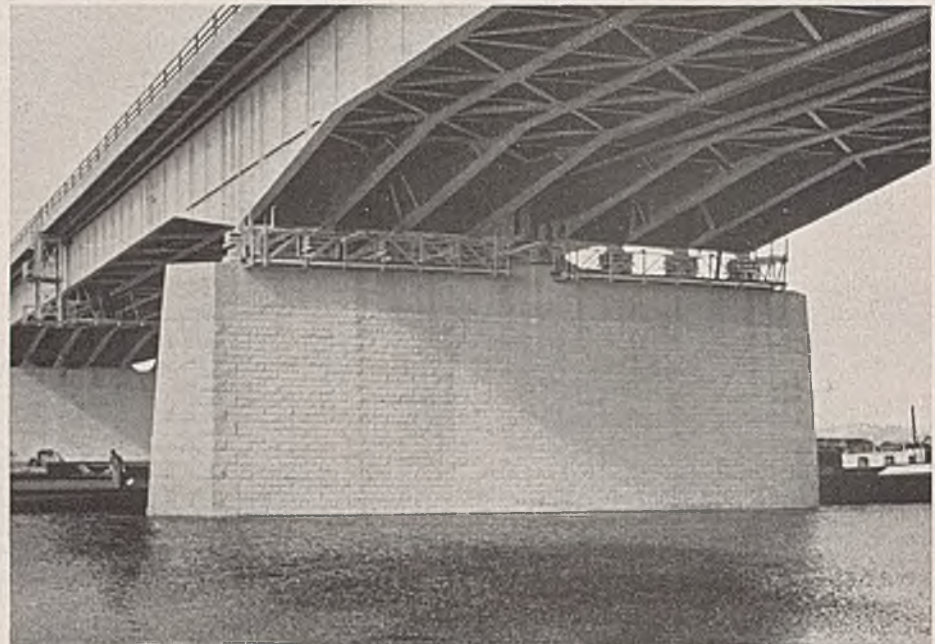


Abb. 23. Reichsautobahnbrücke über die Oder bei Stettin. Regelmäßiges Schichtenmauerwerk.

Die Pfeiler der Reichsautobahnbrücke über die Oder bei Stettin (OBR Stettin) (Abb. 23) sind mit schönem schlesischen Granit verkleidet. Das Mauerwerk ist ein regelmäßiges Schichtenmauerwerk in den Seitenflächen und ein Quadermauerwerk in den zugespitzten Vorköpfen. Die Schichthöhe der Quader ist doppelt so groß wie die Schichthöhe der Steine der Seitenflächen. Alle Steine sind schwach geboßt.

(Schluß folgt.)

Alle Rechte vorbehalten.

## Weiteres zur Frage der Ingenieurausbildung.

Von Min.-Rat a. D. Prof. Dr.-Ing. Reingruber, Dresden.

In einem gleichnamigen Aufsätze<sup>1)</sup> macht Min.-Rat Dr.-Ing. Speck, Dresden, beachtliche Ausführungen über die Ausbildung zum technischen Beruf. Seine Vorschläge zielen darauf ab, das Hochschulstudium im ganzen auf etwa  $3\frac{1}{2}$  Jahre zu kürzen. Mit den folgenden Zeilen soll ein Beitrag aus der Praxis des Hochschullehrers zu diesem bedeuenden und nicht ernst genug zu nehmenden Problem gebracht werden.

Zu dem Vorschlage von Dr. Speck der „Umkehrung der Ingenieurausbildung“ möchte ich sagen, daß eine solche Regelung, falls sie den gleichen Erfolg haben soll wie die bestehende, das Studium nicht verkürzen kann, sondern im Gegenteil sich in einer Verlängerung auswirken muß, denn es erscheint zweifelhaft, ob bei dem angespannten Lehrbetrieb an anderen Stellen des Unterrichts Einsparungen vertretbar wären. Es ist Dr. Speck unbedingt darin beizupflichten, daß im Hinblick

auf den überwiegenden theoretischen technischen Unterricht ganz besonderer Wert auf die praktischen Belange des Ingenieurs, also auf einen praktischen Anschauungsunterricht, gelegt werden muß. Dieser Forderung wird m. E. heute im allgemeinen hinreichend und jedenfalls in weit größerem Umfange als in früheren Zeiten durch Anschauungsunterricht an Originalmodellen, durch Betätigung der Studierenden im Praktikum und Seminar und durch laufende Besichtigungsreisen in die Praxis Rechnung getragen. Auch werden die Übungsaufgaben in den meisten Lehrgebieten nach Möglichkeit auf der Grundlage von Wirklichkeitsverhältnissen gestellt und bearbeitet.

Zu der Anregung der Darstellung der Bauwerke usw. in Modellen statt mit Hilfe der darstellenden Geometrie auf der Zeichenebene möchte ich annehmen, daß die erstere Methode, abgesehen von ihrer größeren zeitlichen Inanspruchnahme, für die Ausbildung des räumlichen Denkens primitiver sein dürfte als das Ablesen des Räumlichen aus der Ebene

<sup>1)</sup> Bautechn. 1937, Heft 51, S. 657.

des nun leider einmal nicht zu entbehrenden Zeichenbrettes. Es dürfte nicht zu bestreiten sein, daß die Disziplin der darstellenden Geometrie eine starke erzieherische Wirkung hinsichtlich des exakten dreidimensionalen Sehens und Denkens ausübt. Sie löst gewissermaßen erst das schärfere und kritische räumliche Betrachten der Dinge aus. Demgegenüber ist das jedem von uns von Kindheit an geläufige dreidimensionale Beobachten als mehr oder weniger oberflächlich anzusprechen, mehr oder weniger oberflächlich, je nach der Veranlagung des einzelnen.

Wenn Dr. Speck aus der Erfahrung der Praxis heraus heute feststellt, daß das räumliche Denken des akademisch-technischen Nachwuchses nicht vollauf befriedigt, so liegen m. E. hierfür zwei Hauptgründe vor:

1. die Veranlagung des Studierenden für das technische Studium,
2. die Methode des heutigen Hochschulunterrichts in sich.

Zu 1: Mit Recht weist Dr. Speck darauf hin, daß im Kinde des 20. Jahrhunderts ein Ahnen, ja ein gewisses Verständnis für technische Dinge steckt, das den Schülern der höheren Schulen des vorigen Jahrhunderts fehlte. Damit ist also der heutige Studierende gegenüber dem früheren von Haus aus im Vorteil; er ist zweifellos mehr als die ältere Generation auf technisches Empfinden und Denken eingestellt. Wenn trotzdem in unserer Zeit ein Mangel an Gestaltungswillen und Gestaltungsfähigkeit festzustellen ist, so möchte ich den Hauptgrund darin sehen, daß sich heute unter unseren Studierenden eine größere Zahl als in früheren Zeiten findet, die nicht unbedingt zum technischen Studium berufen ist; mit anderen Worten: Vielleicht ist heute die natürliche Berufsauslese, die wohl in keinem Fach von so ausschlaggebender Bedeutung ist wie gerade in der Technik, eine weniger scharfe und weniger glückliche. Der angehende Ingenieur muß das Zeug dazu in sich haben, er muß die Veranlagung zum räumlichen Denken und den Willen zum Gestalten und Formen von Haus aus mitbringen.

Die Erfahrung im Übungsraum, im Praktikum und Seminar der T. H., wo der Hochschullehrer engste, persönliche Fühlung mit seinen Kandidaten bekommt, zeigen dem kritischen Beobachter immer wieder augenfällig, wie unterschiedlich die technische Veranlagung des einzelnen ist; ganz besonders hinsichtlich der Fähigkeit des räumlichen Denkens und der daraus entspringenden Fähigkeit des räumlichen Gestaltens, also der Eigenschaften, die Dr. Speck in seinem Aufsatz mit Recht verbessern und verstärken möchte, sind krasse Unterschiede zu beobachten. Wenn ich aus meinem Lehrgebiet auf ein Einzelgebiet hinweisen darf, das ganz besonders ausgesprochen räumliches Vorstellungsvermögen erfordert, nämlich das Kapitel der „Linienführung der Verkehrswege“, so möchte ich behaupten, daß es bezüglich der mehr oder weniger erfolgreichen Behandlung einer derartigen Aufgabe im Grunde nur zwei Gruppen von Studierenden gibt: Die einen beherrschen meist die Aufgabe von vornherein, sie schütteln die Lösung sozusagen aus dem Ärmel; die anderen (und das sind m. E. die technisch nicht Veranlagten) doktern unverhältnismäßig lange an ihrem Entwurf herum, ohne je zu einer eleganten, einen gewissen Gestaltungswillen bekundenden Lösung zu kommen, aber auch ohne einen inneren Kontakt mit der Aufgabe und ohne die ebenfalls erforderliche Arbeitsbefriedigung und Arbeitsfreude zu erlangen. Erfreulicherweise sind die letzteren erheblich in der Minderzahl. Es wäre übertrieben, zu behaupten, die Vertreter dieser Gruppe würden ihren Beruf verfehlen, aber es ist sicherlich nicht falsch, ihnen für ihren Berufsweg die Prognose zu stellen, daß ihnen das Zeug zum raumgestaltenden, praktisch-produktiven Ingenieur fehlen wird. Dieser Gruppe durch ein Vorpraktikum nach dem Vorschlag von Dr. Speck das technisch-räumliche Sehen und Erfassen beizubringen oder auch nur den Versuch zu machen, es zu heben, erscheint mir kaum Aussicht auf Erfolg zu haben. Wer in der heutigen Welt der Technik aufgewachsen ist und trotzdem nicht eine gewisse Veranlagung und Fähigkeit des räumlich-dynamischen Denkens als Rüstzeug mitbringt, der wird auch durch einen noch so gut ausgestalteten Vorkursus nichts gewinnen. Raumgefühl läßt sich m. E. nicht anerkennen. Für die übrigen Studierenden, d. h. für alle auch nur durchschnittlich Veranlagten, dürfte sich aber eine solche Maßnahme erübrigen, sie würde sich, wie schon gesagt, lediglich als zusätzlicher Zeitaufwand auswirken.

Volkswirtschaftlich gesehen ist es natürlich ein unbedingtes und ernstes Erfordernis, daß in der immer schwieriger und verwickelter sich gestaltenden, immer höhere Anforderungen stellenden Technik nur der richtige Mann am richtigen Platze stehen darf. Mit Nieten muß man aber immer und überall rechnen, nur darf ihre Zahl nicht zu groß werden. Mit der zunehmenden Durchsetzung unseres ganzen Lebens mit Technischem werden sich zweifellos, rein atavistisch gesehen, die Vorbedingungen für die Eignung zum Ingenieurberuf immer günstiger gestalten. Auch ist hiernach zu hoffen, daß in Zukunft gerade bei der Wahl des technischen Berufs die „natürliche“ Auslese, d. h. die Selbstauslese, bessere Ergebnisse zeitigen wird. Eine „künstliche“ Auslese über den Weg der sogenannten Eignungsprüfung, die man in diesem Zusammenhang mit in den Kreis der Betrachtung ziehen konnte, möchte ich grundsätzlich ablehnen. Anderserseits dürfte eine vertiefte Berufsberatung, wenn sie den vorstehend geäußerten Gedanken Rechnung trägt, sich hier segensreich auswirken.

Zu 2. Zwei Dinge haben das Bild der Vorlesungen an der Technischen Hochschule gegenüber früheren Zeiten in vielen Lehrfächern stark verändert: Der sogenannte Umdruck und das Lichtbild. Ich möchte behaupten, daß eine zu weitgehende Verwendung von Umdruck und Lichtbild zu einer Verflachung des technischen Unterrichts führen muß. Es ist eine alte Erfahrung, und es ist schließlich das Geheimnis des Erfolges der deutschen Hochschulmethode, daß nur der persönliche Vortrag, nur das gesprochene, lebendige Wort, in technischen Fächern unterstützt durch die an der Wandtafel von Anfang an entwickelte und zu Ende geführte Skizze oder Berechnung, die erstrebte Wirkung haben, sich dem Gedächtnis des jungen Studierenden fest einzuprägen, so fest, daß das eigentliche Studieren nur noch ein nochmaliges ruhiges Durchdenken des aufdringlich und plastisch nahegebrachten Stoffes ist. Umdruck und Lichtbild nun, beides technische Kinder der neueren Zeit, deren Zweckmäßigkeit und Wert als Ergänzung eines bereits bis ins einzelne vorgetragenen Stoffes durchaus nicht verkannt werden soll, und deren vermehrte Anwendung in neuerer Zeit zweifellos im Bestreben, das Verarbeiten des Lehrstoffes zu beschleunigen, seinen innersten Grund findet, tragen leider aber auch den Stempel der Bequemlichkeit, sowohl für den Dozenten als auch für den Studierenden, und erfreuen sich daher bei beiden steigender Beliebtheit. Ein Umdruck wird an sich für den Studierenden immer ein unpersönliches, ja lebloses Ding sein, das er — stets und immer wieder danach lechzend — gern und getrost nach Hause trägt, wo es zumeist zunächst nur „zu den Akten genommen“ wird. Erst kurz vor der mündlichen Prüfung taucht der Umdruck wieder auf; er wird dann unter dem Druck der Zeit „gepaukt“, ohne daß der Kandidat die erforderliche innere Verbundenheit mit dem Stoff hat, so wie er sie durch den gesprochenen Vortrag und durch die mitgezeichnete Skizze erhält. Wir Prüfenden finden dann leider ab und zu in der Prüfung bei näherem Hinsehen ein unverkennbar surrogat- oder firmisartiges Wissen, das zwar den Prüfungsbestimmungen formell genügt, für die Praxis aber sicherlich nicht den akademischen Ingenieur liefert, wie ihn sich Behörden und Industrien vorstellen. Sollte nicht ein Zuviel an Umdrucken mit ein Grund für die ungenügende Entfaltung des erforderlichen frisch-fröhlichen Gestaltungswillens des angehenden Ingenieurs sein?

Die Auswirkung einer zu weitgehenden Anwendung von Lichtbildern — wozu auch der Film gehört — dürfte etwa die gleiche sein. Um nicht mißverstanden zu werden: Selbstverständlich steht der hohe Wert wissenschaftlicher Filme, vor allem die Ausnutzung von Zeitlupe und Zeitraffer und die Anwendung des Tricks, außerhalb dieser Erörterung, nur sollte man den Wert des Lichtbildes für Unterrichtszwecke nicht überschätzen und seine Anwendung nicht übertreiben. In einem Schauspiel unserer Tage werden dem Sinne nach die Worte gesprochen: „Das Kino beraubt den Menschen seiner Phantasie“. Liegt hierin nicht auch ein Körnchen Wahrheit hinsichtlich der Verwendung von Lichtbild und Film im technischen Unterricht? —

Dr. Speck meint, es müsse möglich sein, die Vorlesungen und Übungen des bautechnischen Studiums im ganzen in etwa 3½ Jahren zu bewältigen. Hierzu sei zum Schluß folgendes ausgeführt:

Seit Jahrzehnten hat sich für das akademisch-technische Studium die Zeit von acht Semestern als gerade ausreichend erwiesen. Nun ist trotz der „rasenden Weiterentwicklung der Technik“, auf die Dr. Speck durchaus richtig hinweist, und trotz des damit verbundenen Anwachsens des technischen Lehrstoffes das Studium bis heute nicht verlängert worden. Das ist zweifellos ein positiver Erfolg unseres Hochschulunterrichtsbetriebes, und diese Tatsache soll deshalb hier besonders unterstrichen werden, weil sie zu wenig beachtet und gewürdigt wird. Immer wieder steht der Dozent heute vor der Zwangslage, den wachsenden Lehrstoff an die zur Verfügung stehende Zeit anzupassen. Erfreulicherweise ist das aber nicht immer ein Nachteil, sondern in mancher Beziehung sogar ein Vorteil für die Ausbildung des angehenden Ingenieurs. Durch den Zwang, den Stoff auf das wesentliche und wichtigste zu beschränken, wird der Studierende mehr als die ältere Generation auf technisches Denken im größeren Format und im größeren Gesichtsfeld erzogen, was zweifellos für seine Eignung in der Praxis, vor allem auf dem Gebiete des produktiven Schaffens und Organisierens, von nicht geringem Werte ist. Die technische „universitas“, an der wir bei unserer akademisch-technischen Ausbildung unter allen Umständen festhalten wollen und müssen, wird sich hiernach in immer stärkerem Maße als wertvollstes Ergebnis des technischen Studiums für die Praxis erweisen.

Eine Kürzung der Studienzeit unter die als nützlich erkannte Zeit von rd. 4 Jahren erscheint mir bedenklich, einmal wegen der Schwierigkeit der zeitlichen Unterbringung und Verarbeitung des Lehrstoffes (sie würde wohl nur durch eine noch stärkere Verwendung von Umdruck und Lichtbild zu beseitigen sein), dann aber vor allem aus Gründen, die im Lernvorgang an sich liegen. Den physiologischen Vorgang des „Studierens“, d. h. das Aufnehmen, kritische Betrachten und produktive Verarbeiten von Kenntnissen und Erkenntnissen im Gehirn, möchte ich vergleichen mit dem sedimentären Vorgang, wie wir ihn in der Geologie beispielsweise bei der Entstehung des Sandsteins sehen. Bei beiden Vorgängen erfordert die Natur unerbittlich ihre Zeit, soll das Erzeugnis ein brauchbares werden. Eine Erhöhung der „Lerngeschwindigkeit“, auf die doch

schließlich das ganze Kürzungsproblem hinausläuft, wird wohl oder übel ein mehr oberflächliches, nicht so in die Tiefe dringendes Wissen zur Folge haben, ein Wissen, das sich vielleicht aufnehmend auswirken kann, niemals aber schöpferisch produktiv. Und gerade das letzte brauchen wir in der ganzen technischen Wirtschaft und müssen es voraussetzen bei unseren akademischen Ingenieuren.

Wenn ich hiernach eine Kürzung des Studiums ablehnen möchte, so besteht doch die Möglichkeit einer Kürzung der Ausbildung. Ich denke an die sogenannte sechsmonatige Vorpraxis, die nach den bestehenden Bestimmungen vor Beginn des Studiums abgeschlossen sein muß. Diese Ausbildungszeit dürfte man m. E. unbedenklich in die großen akademischen Ferien verlegen, womit sie ohne Schwierigkeiten

bis zur Vorprüfung erledigt sein könnte. Diese Regelung möchte ich sogar als vorteilhafter als die jetzige bezeichnen, da eine zweimalige Unterbrechung der rein theoretischen Studien der ersten vier Semester durch eine je dreimonatige Betätigung in der Praxis dem Studierenden, rein psychologisch gesehen, besonders nützlich sein dürfte. — Rechnet man, daß der junge Diplomingenieur, der nach eben bestandener Hauptprüfung zwar über „Wissen“, aber noch nicht über „Können“ verfügt, dann noch ein Jahr in der Praxis in Ausbildung tätig ist, so würde er doch für gewöhnlich nach  $5\frac{1}{2}$  Jahren Gesamtbildung (4 Jahre Studium +  $\frac{1}{2}$  Jahr Hauptprüfungszeit + 1 Jahr Praxis) „produktiv“ in die Volkswirtschaft eingespant. Vergleicht man diese Ausbildungszeit mit anderen akademischen Berufen, so schneidet das technische Studium hierbei nicht ungünstig ab.

## Zur Theorie des Erddruckes unter besonderer Berücksichtigung der Erddruckverteilung.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Ingenieur Joh. Ohde, Neuenhagen bei Berlin.

(Mittlung der Erdbaubteilung der Preußischen Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin.)

(Fortsetzung aus Heft 10/11.)

### III. Abhängigkeit der Gleitflächenform und der Druckverteilung von der Art der Wandbewegung.

Bevor auf das schon in der Überschrift angedeutete Hauptthema dieses Aufsatzes näher eingegangen wird, sei nochmals kurz auf die unter I. aufgezählten Voraussetzungen hingewiesen. Man muß sich diese Annahmen, auf die die Theorie der Grenzzustände des Gleichgewichts aufbaut, immer wieder vor Augen führen, um die theoretisch gefundenen Formeln oder Ergebnisse richtig anzuwenden und nicht einer allzu schematischen Erledigung erdstatischer Aufgaben zu verfallen. Die Auswirkung der einen oder anderen Annahme wird vielleicht noch eingehender untersucht werden müssen, als es hier geschehen ist.

Besonders erinnert sei noch an die Voraussetzung 1, daß die Wandbewegungen groß genug sind, um Gleitungen des Bodens eintreten zu lassen, und an die Annahme 4, daß durch diese Gleitungen keine Änderungen des Rauminhalts des gleitenden Bodens eintreten. Man kann die Formänderungen des Bodens einteilen in solche, die nicht von Reibungsgleitungen<sup>28)</sup> herrühren und meistens mit einer Raumänderung der Elemente verbunden sind, und in solche, die eine Folge der Aufteilung des Bodens in einzelne „gleitende“ Elemente sind und ohne Änderung des Boderraumes vor sich gehen. Wenn im folgenden von „Wandbewegungen“ die Rede ist, so ist damit ausschließlich die letztere Art der Formänderungen gemeint. Die dem Eintreten des Gleitzustandes vorangehenden Formänderungen der ersteren Art sind dabei immer noch hinzuzudenken.

Zur Vereinfachung der Darlegungen beschränken wir uns bei den folgenden grundsätzlichen Ausführungen zunächst auf Boden ohne Gleitfestigkeit („Reibungsboden“) und auf den unteren Grenzzustand des Erddruckes; auch behandeln wir zunächst nur den Fall der ebenen Wand mit ebenem Gelände. Die Erweiterung auf die noch ausgelassenen Fälle ist nicht weiter schwierig, wenn die grundlegenden Zusammenhänge erst einmal bekannt sind.

Gewöhnlich trifft man bei der Verfolgung des einschlägigen Schrifttums sehr bald auf den Gegensatz: Coulomb—Rankine, der bei der Annahme des Neigungswinkels des Erddruckes auf die Wand offenbar wird und in Winkler und Müller-Breslau auf der einen Seite und Rankine und Mohr auf der anderen Seite die ersten und bekanntesten Vertreter fand. Die Vertreter der einen Richtung fordern — und m. E. in den meisten Fällen mit Recht —, daß der (aktive) Erddruck unter dem Reibungswinkel  $\rho'$  zur Wandnormalen anzunehmen sei (wenn unter  $\rho'$  der Reibungswinkel zwischen Boden und Wand verstanden wird), während die Vertreter der anderen Richtung auf die sich aus diesen Annahmen im Verein mit der Annahme ebener Gleitflächen ergebenden „Widersprüche“ hinweisen und die Richtung des Erddruckes gleichlaufend zur Oberfläche des Bodens annehmen (Rankine). Ich will hier nicht weiter auf die verschiedenen Äußerungen zu dieser Frage eingehen<sup>29)</sup>, sondern nur versuchen, den Beweis, daß man für gewöhnlich mit der Wandreibung rechnen kann, noch einwandfreier herauszustellen.

In einem Punkte sind sich alle einig (auch Mohr gibt das zu): Falls eine Mauer unter der Wirkung des Erddruckes der Hinterfüllung so weit nachgibt, daß ein Herabgleiten des Erdkeils stattfindet, kann mit der vollen Reibung zwischen Boden und Wand gerechnet werden. Wir brauchen deshalb nur zu zeigen, daß unter normalen Umständen (z. B. bei gleichartigem Boden) die Mauer viel stärker nachgibt, als zum Eintritt der Gleitung erforderlich ist.

<sup>28)</sup> Nicht zu verwechseln mit den elastischen Gleitungen bei der Formänderungstheorie der festen Körper.

<sup>29)</sup> Wer nicht unterrichtet ist, lese u. a. folgende Arbeiten: E. Winkler, Neue Theorie des Erddruckes, S. 31 bis 38, Wien 1872. — Mohr, Beitrag zur Theorie des Erddruckes. Zeitschr. f. Arch.-u. Ing.-Wesen, Hannover 1871, S. 361 bis 365. — Müller-Breslau, Bemerkungen über die Berechnung des Erddruckes auf Stützmauern. Zeitschr. f. Arch.-u. Ing.-Wesen, Hannover 1908, S. 43.

In Abb. 24a sind für einen normalen Fall die wirkenden Kräfte angedeutet. Die voll ausgezogene Sohlendruck-Verteilungslinie gibt den ungefähren Bodendruck in der Gründungssohle der noch nicht hinterfüllten Mauer an, während die strichpunktiierte Verteilungslinie für den fertigen Zustand (nach der Hinterfüllung) gilt<sup>30)</sup>. Die gestrichelte Linie gibt die Verteilung des Sohlendruckes für den Fall an, daß man die lotrechte Teilkraft des Erddruckes mit dem Eigengewicht der Mauer zusammensetzt. Nach der Hinterfüllung wirkt in der Gründungssohle eine Schubkraft  $R$ , die ebenso groß ist wie die waagerechte Teilkraft  $E_{aw}$  des Erddruckes, wenn man von dem geringen vorderen Gegendruck des Bodens absieht (den man übrigens auch von  $E_{aw}$  abziehen könnte). Die

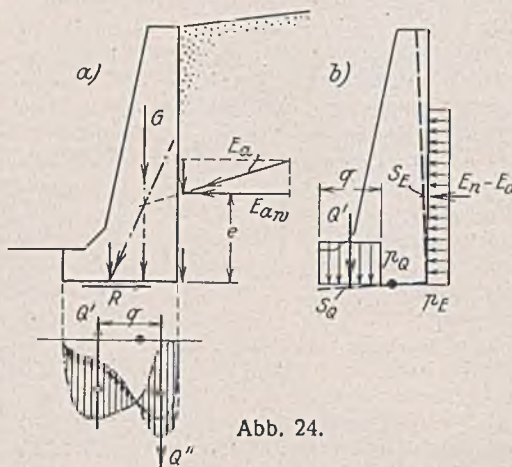


Abb. 24.

zwischen der gestrichelten und der strichpunktiierten Sohlendruck-Verteilungslinie befindlichen, durch Schraffur besonders gekennzeichneten Flächen ergeben die Mittelkräfte  $Q'$  und  $Q''$ , die der Größe nach einander gleich, aber entgegengesetzt gerichtet sind. Sie liefern das

Moment  $Q' \cdot q$  und sind eine Gegenwirkung des Moments  $E_{aw} \cdot e$ . Für Stützmauern gewöhnlicher Ausmaße wird  $q$  meist noch etwas kleiner als  $e$  sein; wir rechnen also ungünstig, wenn wir  $q \approx e$  und damit  $Q' \approx E_{aw}$  annehmen. Unter dem vorderen Teil der Gründungssohle wird sich nun der Boden durch die Belastung  $Q'$  etwas zusammendrücken, unter dem hinteren Teil dagegen infolge der entlastenden Wirkung von  $Q''$  ein wenig ausdehnen, so daß die Sohle eine Drehbewegung ausführt. Die Entfernung des Drehpunktes von der Kraft  $Q'$  schätzen wir zu rd.  $\frac{2}{3} \cdot q$ . Bezeichnet  $S_Q$  die mittlere Setzung unter der Last  $Q'$ , so hat man als mittleren Drehwinkel:

$$\varphi_Q \approx \frac{S_Q}{\frac{2}{3} \cdot q} = \frac{3}{2} \cdot \frac{S_Q}{q}$$

Für die Berechnung der Setzung  $S_Q$  kann man die Last  $Q'$  genügend genau durch eine auf der Breite  $q$  gleichmäßig verteilte Belastung ersetzen (Abb. 24b). Bis zum Eintreten der ersten Gleitung muß der Seitendruck der Hinterfüllung etwa vom natürlichen Erddruck  $E_n$  bis auf den aktiven Erddruck  $E_a$  abfallen. Dieser Entlastung des Bodens entspreche die mittlere Ausdehnung  $S_E$ , die sich ebenfalls hinreichend genau aus dem gedachten Ansatz von Zugspannungen überschlagen läßt, die etwa auf der Strecke  $2e$  gleichmäßig verteilt wirken (Abb. 24b). Den für beginnende Gleitung erforderlichen Drehwinkel der Mauer findet man damit zu

$$\varphi_E \approx \frac{S_E}{e}$$

Der Unterschied  $E_n - E_a$  ist meistens kleiner als  $E_{aw}$  selber, so daß wir ungünstig genug rechnen, wenn wir ihn gleich  $E_{aw}$  annehmen. Mit  $q \approx e$

ist dann:  $\varphi_E \approx \frac{p_Q}{2}$ . Wären nun die Formänderungszahlen des Bodens

<sup>30)</sup> Bei der Einzeichnung der Form der Druckverteilungslinien bin ich von neueren Erkenntnissen über Sohlendruckverteilung ausgegangen.



für Zug und Druck einander gleich, so würden wir nach Schleicher<sup>31)</sup> etwa schätzen können:

$$S_Q \approx \sqrt{2} S_E \approx 1,4 S_E.$$

Daraus findet man für die Drehwinkel:

$$\varphi_Q \approx \frac{3}{2} \cdot \frac{S_Q}{e} \approx \frac{3}{2} \cdot \frac{1,4 S_E}{e} \approx \frac{3}{2} \cdot 1,4 \varphi_E \approx 2 \varphi_E.$$

In Wirklichkeit sind aber die Zusammendrückungszahlen der Böden — wie unter I. (S. 150) schon bemerkt wurde — etwa 3- bis 10mal so groß als die Ausdehnungszahlen, allerdings mit der Einschränkung, daß es sich um gleiche mittlere Belastungen handelt, weil die Formänderungszahlen mit dem Bodendruck veränderlich sind. Diese Voraussetzung ist in unserem Falle nicht ganz erfüllt; auch wird der Hinterfüllungsboden andere Eigenschaften haben als der gewachsene Boden, auf dem die Mauer steht. Wir setzen deshalb vorsichtigerweise das Verhältnis von Zusammendrückungs- und Ausdehnungszahl zu 1,5 bis 5,0 an. Damit erhält man dann:

$$\varphi_Q \approx (3 \text{ bis } 10) \varphi_E,$$

d. h. die Drehung der Mauer ist etwa 3- bis 10mal so groß, wie es zur Herbeiführung des Gleitzustandes der Hinterfüllungserde notwendig wäre. Dieser rohe Überschlag scheint einigermaßen zutreffen, denn die durch Messungen festgestellten waagerechten Bauwerksbewegungen betragen durchweg mehrere Zentimeter (auch Spundwände biegen sich meist um einige Zentimeter durch), während die unter I. erwähnten Erddruckversuche vermuten lassen, daß die Ausdehnung des Hinterlagerungsbodens bis zum Eintritt des unteren Grenzzustandes (bei entsprechenden Bodenarten) nur einige Millimeter beträgt.

Ich halte den Ansatz von  $\varphi'$  aber auch noch für den Fall berechtigt, wo der Untergrund bedeutend fester ist als der Hinterboden der Mauer und die Mauerdrehung aus diesem Grunde zum Auslösen der Gleitbewegung nicht ganz ausreichend ist — ein Fall, den Mohr vorzugsweise behandelt. Denn wenn kurz vor der Gleitung in der späteren Gleitfläche schon nahezu der Reibungswinkel  $\varphi$  erreicht sein soll — was die Vertreter der Rankineschen Richtung doch auch annehmen — warum sollte das nicht auch für die Reibung zwischen Wand und Boden gelten? Die sich bei der Gleitung zeigende Bewegungstendenz des Bodens wird sicher schon vor dem Erreichen des Gleitzustandes (wenn auch in entsprechend verringertem Maße) vorhanden sein. — Wenn man für waagerechtes Gelände z. B.  $\varphi' = 0$  annimmt, dann muß man eigentlich folgerichtig auch  $\varphi = 0$  annehmen.

Natürlich gibt es auch Ausnahmen, bei denen der Neigungswinkel des Erddruckes Null oder sogar negativ werden kann. So erwähnt Krey den Fall einer Stützmauer, die auf sehr nachgiebigem Baugrunde steht und deshalb stärker einsinkt als der abrutschende Erdkeil. Auch bei stark geneigten Wänden können andere Fälle eintreten, worauf ich noch zurückkomme.

Aus unseren Ableitungen unter II. folgt, daß bei angenommenem Reibungswinkel  $\varphi'$  zwischen Erde und Wand auch der Wandwinkel der Gleitfläche schon festliegt (Gl. 27). In der Nähe der Oberfläche liegt die Richtung der Gleitfläche ebenfalls fest, weil hier (wenn auch nicht in allen, so doch in vielen Fällen) mit dem Rankineschen Spannungszustande gerechnet werden kann. Diese beiden Gleitflächenrichtungen werden aber im allgemeinen nicht miteinander übereinstimmen, so daß die Gleitflächen meistens keine Ebenen sind, sondern kurvenförmig verlaufen (vgl. auch Winkler, Müller-Breslau und Krey). Stimmen sie zufällig überein, so liegt der Rankinesche Erddruckfall vor; die Gleitflächen sind dann Ebenen.

Die alte, klassische Annahme der Erddruckverteilung ist bekanntlich die dreieckförmige Verteilung mit dem größten Druck im untersten Erdpunkte der Wand. Man sagte sich, daß der Erddruck der Tiefe unter Gelände verhältnismäßig sein müsse, wenn der Gesamterddruck mit dem Quadrat der Wandhöhe wachsen sollte, wie es bekanntlich jede Theorie ergibt. Heute wissen wir nun zwar, daß diese Annahme nicht immer erfüllt ist. Zur Entlastung unserer alten Klassiker muß aber bemerkt werden, daß es sich in der früheren Zeit lediglich darum handelte, für die standsichere Durchbildung von Stützmauern Anhaltspunkte zu gewinnen. Dafür reicht aber die Annahme dreieckförmiger Erddruckverteilung im allgemeinen aus, sie entspricht sogar — wie aus den weiteren Ausführungen noch hervorgehen wird — meistens den tatsächlichen Verhältnissen.

Wenn später unter dem Zwange der Ausweitung der konstruktiven Möglichkeiten die Annahme dreieckförmiger Erddruckverteilung auch für die Berechnung anderer Bauelemente, z. B. für verankerte Spundwände, übernommen wurde, so liegt der Grund dafür auf der Hand: Man konnte nichts Besseres oder Einwandfreies an die Stelle dieser Annahme setzen<sup>32)</sup>.

<sup>31)</sup> Schleicher, Zur Theorie des Baugrundes. Bauing. 1926, S. 931 u. 949.

<sup>32)</sup> So bemerkt z. B. A. Hofmann in der Zeitschr. f. Arch.- u. Ing.-Wesen, Hannover 1911, S. 459: „Die Annahme dreieckförmiger Druckverteilung wird allgemein gemacht, obwohl hierfür kein Zwang vorliegt. Man käme aber ins Uferlose, wenn man irgendeine andere Annahme machen wollte, für die ebensowenig ein Zwang und nicht einmal die gleiche Wahrscheinlichkeit vorläge; denn unter sonst gleichen Verhältnissen ist bei Naturvorgängen das Einfachste immer das Wahrscheinlichste“.

Immerhin sind erfahrene Ingenieure mit dieser Annahme wie überhaupt mit der üblichen Erddruckberechnung nicht immer einverstanden gewesen. Es sei hier z. B. erinnert an die Auffassungen von M. Möller über die Berechnung von Spundwänden hinter Bohlwerken und die Ausführungen von Ehlers zu dieser Betrachtungsweise<sup>33)</sup>. Möller vertritt den Standpunkt, daß sich bei der Durchbiegung der Wand zwei Gleitflächen bilden (Abb. 25), so daß sich der abrutschende Boden zwischen diesen beiden Gleitflächen gewölbartig verspannt und dadurch die Spundwand bedeutend geringer beansprucht wird als nach der üblichen Berechnung. — Auch Versuche von Leygue mögen in diesem Zusammenhang genannt werden. Darüber bemerkt Donath<sup>34)</sup> folgendes: „Leygue will durch seine . . . Versuche gefunden haben, daß der Angriffspunkt des Erddruckes nicht auf ein Drittel der Wandhöhe, sondern im allgemeinen höher (in manchen Fällen bis zur Mitte der

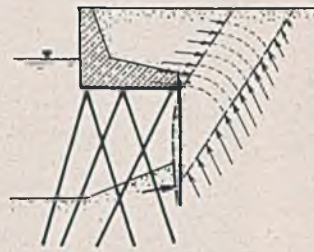


Abb. 25. Gewölbartige Abstützung der Hinterlagerungserde bei einer Bewegung der Spundwand nach M. Möller.

gedrückten Fläche steigend) liege; indessen dürfte dieses, allen bisherigen Theorien widersprechende Ergebnis wohl lediglich eine Folge der Fehler sein, mit welchen seine mit sehr unvollkommenen Vorrichtungen gemachten Beobachtungen behaftet waren, die so lange kein Vertrauen verdienen, als nicht andere, mit vollkommeneren Vorrichtungen angestellte Untersuchungen ein ähnliches Ergebnis liefern.“

Im Jahre 1924 hat Petersen darauf hingewiesen<sup>35)</sup>, daß der Erddruck auf Wände nicht unbedingt dreieckförmig verteilt sein muß, da auch jede andere Verteilung dem Gesetz  $E = \text{Konstante} \cdot h^2$  genügt. Diese Feststellung mag wertvoll sein; es ist aber zunächst damit noch nichts gewonnen, da die Anhaltspunkte fehlen, nach denen die Wanddruckverteilung ermittelt werden könnte. Außerdem sei zu den Darlegungen von Petersen noch folgendes bemerkt: Schon Winkler hat nachgewiesen<sup>36)</sup>, daß, streng

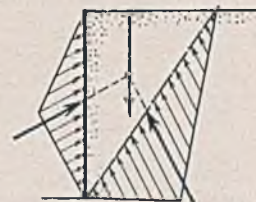


Abb. 26. Mögliche Erddruckverteilung nach Petersen.

genommen, zu ebenen Gleitflächen eine geradlinige Spannungsverteilung in der Gleitfläche gehört. Nun betrachtet man allerdings die ebenen Gleitflächen von vornherein als Näherung für die kurvenförmigen, genaueren Gleitflächen. Man wird jedoch von einer guten Näherung verlangen, daß die genaue Gleitflächenform nicht allzusehr von einer Ebene abweicht, damit die Gesetze des Gleichgewichts kleiner Bodenelemente (s. unter II.) nur in geringem Maße verletzt werden. Aus denselben Gründen

darf m. E. aber auch die Druckverteilung in einer ebenen Gleitfläche nur in geringem Maße von der geradlinigen Verteilung abweichen. Ich kann mich daher der Meinung von Petersen, die Druckverteilung nach Abb. 26 „als einen Grenzfall der möglichen und wahrscheinlichen Gleichgewichtszustände anzusehen“, nicht anschließen, soweit es sich um ebene Gleitflächen handelt.

Neuerdings hat Terzaghi auf den Zusammenhang zwischen Wandbewegung und Druckverteilung hingewiesen<sup>37)</sup>. Er rechnet näherungsweise mit ebenen Gleitflächen (auch mit Reibung zwischen Wand und Boden) und läßt die dreieckförmige Druckverteilung nur für den Fall gelten, bei dem sich die Wand um ihren untersten Erdpunkt dreht. Bei einer gleichmäßigen Vorwärtsbewegung der Wand oder auch bei stärkerer

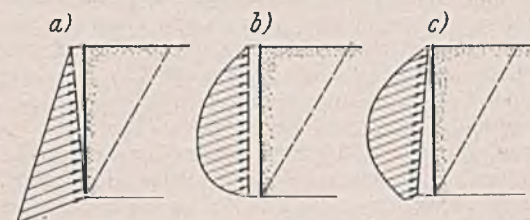


Abb. 27. Wandbewegung und Erddruckverteilung nach Terzaghi.

Bewegung des unteren Teiles der Wand soll nach Terzaghi eine Druckverteilung nach Abbild. 27b oder c<sup>38)</sup> vorhanden sein. Für die Druckverteilung nach Abb. 27c<sup>39)</sup> gibt Terzaghi ungefähr folgende Ableitung:

<sup>33)</sup> H. Ehlers, Beitrag zur statischen Berechnung von Spundwänden unter Berücksichtigung besonderer örtlicher Verhältnisse. Zeitschr. f. Arch.- u. Ing.-Wesen, Hannover 1910, S. 1.

<sup>34)</sup> Z. f. Bauwesen 1891, S. 497.

<sup>35)</sup> R. Petersen, Erddruck auf Stützmauern. Berlin 1924.

<sup>36)</sup> s. z. B. Müller-Breslau, Erddruck auf Stützmauern, S. 22 bis 24.

<sup>37)</sup> K. v. Terzaghi, Wien, Distribution of the lateral pressure of sand on the timbering of cuts. Proceedings of the International Conference on soil mechanics and foundation engineering, Vol. I, S. 211.

<sup>38)</sup> Abb. 27b nach Mitteilung von A. Casagrande in Schriftenreihe 3 der „Straße“, Berlin 1936, S. 96; Abb. 27c nach<sup>37)</sup>.

<sup>39)</sup> Die Ableitung der Verteilung nach Abb. 27b ist mir bisher noch nicht bekanntgeworden.

Im oberen Teile der Wand muß der Erddruck größer sein als der untere Grenzwert, weil sich hier der Boden hinter der Wand nicht durch Gleitungen verformt. Bezeichnet  $K$  das veränderliche Verhältnis zwischen waagrechttem und lotrechttem Druck in der Nähe der Wand, so ist anzuschreiben:

$$dE = Kq dz.$$

Im untersten Wandpunkte herrscht der Gleitzustand, folglich muß hier  $K$  mit der Verhältniszahl  $K_c$  des aktiven Erddruckes (von uns unter II. 1 genannt) übereinstimmen; weiter oben muß  $K > K_c$  sein. Terzaghi setzt deshalb näherungsweise:

$$K = K_c \left( 1 + c_i \cdot \frac{z}{h} \right),$$

so daß also für den obersten Erdpunkt  $K = K_c (1 + c_i)$  gilt (wenn  $c_i$  eine Konstante bedeutet). Aus dem lotrechten Gleichgewicht des in Abb. 28 näher bezeichneten Bodenelements kann man ansetzen (vgl. das Kräfteck):

$$dg + b dq + q db = dE (\operatorname{tg} \delta + \operatorname{ctg} \epsilon_1).$$

Berücksichtigt man nun noch, daß

$$b = z \cdot \operatorname{tg} \epsilon \quad \text{und} \quad \frac{\operatorname{tg} \delta + \operatorname{ctg} \epsilon_1}{\operatorname{tg} \epsilon} = K_c$$

gesetzt werden kann, so gelangt man zu der Differentialgleichung:

$$z (\gamma dz + dq) + q dz = q \left( 1 + c_i \cdot \frac{z}{h} \right) dz,$$

deren Integral Terzaghi unter Beachtung der Bedingung  $q = 0$  für  $z = h$  angibt zu

$$(41a) \quad q = \gamma \cdot \frac{h}{c_i} \left( 1 - e^{-c_i \cdot \frac{h-z}{h}} \right).$$

Hieraus ergibt sich dann die waagerechte Teilspannung  $\nu$  des Erddruckes zu:

$$(41b) \quad \nu = Kq = \gamma \cdot \frac{h}{c_i} \left( 1 - e^{-c_i \cdot \frac{h-z}{h}} \right) \left( \frac{1 + c_i}{c_i} - \frac{h-z}{h} \right).$$

Nach dieser Gleichung erhält man Erddruckverteilungen nach Art der Abb. 27c. Für  $c_i = 0$  ergibt sich die dreieckförmige Verteilung.

Bei der Ableitung dieser Terzaghischen Lösung ist stillschweigend vorausgesetzt, daß in den durch  $q$  beanspruchten waagerechten Flächen keine Schubspannungen wirken. Diese Annahme dürfte zulässig sein, da der hierdurch verursachte Fehler nicht sehr ins Gewicht fallen wird. Als ein größerer Nachteil ist m. E. anzusehen, daß die Gleichung für den Wanddruck unbestimmt bleibt, da die Konstante  $c_i$  theoretisch nicht ermittelt werden kann<sup>40)</sup>; Terzaghi will  $c_i$  von Fall zu Fall nach Versuchsmessungen ermittelt wissen. — Die Ausführungen und Ableitungen von Terzaghi sind ein wertvoller Versuch zur Beantwortung der Frage nach der Wanddruckverteilung — wertvoll nicht zuletzt auch durch den Hinweis auf den viel zu lange unbeachtet gebliebenen Zusammenhang zwischen Wandbewegung und Druckverteilung —, als eine befriedigende Lösung der Aufgabe können sie jedoch noch nicht betrachtet werden. Von einer solchen muß man verlangen, daß sich für die Verteilung des Erddruckes nicht mehrere Möglichkeiten ergeben.

Bereits im Jahre 1888 hat Kötter darauf hingewiesen<sup>41)</sup>, daß die Verteilung des Erddruckes eine Funktion der Wandbewegung ist und dementsprechend auch ein Zusammenhang besteht zwischen der Form der Gleitflächen und der Erddruckverteilung. Diese Köttersche Arbeit hat leider nicht die nötige Beachtung gefunden; genauere Lösungen von Grenzwertaufgaben werden jedoch von der Kötterschen Auffassung ausgehen müssen, worauf auch Reißner hinweist<sup>42)</sup>.

Die genaue Verfolgung der von Kötter aufgedeckten Zusammenhänge scheint nun allerdings großen mathematischen Schwierigkeiten zu begegnen. Man wird deshalb versuchen, näherungsweise zum Ziel zu kommen, indem man den Zusammenhang zwischen Wandbewegung und Gleitflächenform in grober Weise zu beachten sucht. Das heißt zunächst, daß man die Annahme ebener Gleitflächen fallen lassen muß, da es — wie auch die obigen Darlegungen zeigen — mit Hilfe ebener Gleitflächen nicht gelingt, die Druckverteilung eindeutig zu berechnen. Hingegen wird es meist genügen, die genaue Form der Gleitflächen durch eine geeignete Kurve näherungsweise zu ersetzen. Hierbei wird man vorteilhaft von dem Kötterschen Gesetz der Druckverteilung längs der Gleitfläche Gebrauch machen, auf das ich noch zurückkomme.

<sup>40)</sup> Vgl. außerdem die vorstehenden Ausführungen zur Arbeit von Petersen.

<sup>41)</sup> F. Kötter, Die Entwicklung der Lehre vom Erddruck. Jahresber. d. deutsch. Math. Ver. 1891 bis 1892, S. 128.

<sup>42)</sup> H. Reißner, Theorie des Erddruckes. Enzykl. d. math. Wissenschaften, IV 2, II., S. 387.

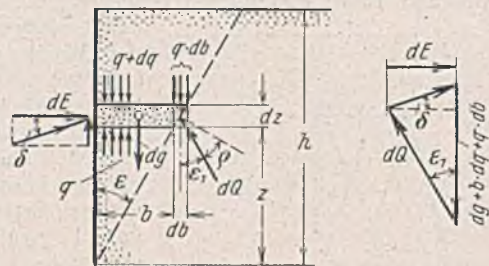


Abb. 28. (Nach Terzaghi.)

In den nachstehenden Ausführungen seien vor allem folgende drei Fälle der Wandbewegung untersucht:

- A. Drehung einer starren Wand um ihren untersten Erdpunkt,
- B. Drehung einer starren Wand um ihren obersten Erdpunkt und
- C. Durchbiegung einer oben und unten fest, aber drehbar gelagerten Wand.

Der einfacheren Darlegung halber habe ich die Ergebnisse für diese drei Fälle in Abb. 29 a, b, c vorweggenommen. Die Gleitflächenausbildung und die Druckverteilung längs der Wand und der Gleitfläche sind schematisch aufgezeichnet. Es läßt sich zeigen, daß (unter den vorläufig gemachten Einschränkungen  $k=0$  und ebene Wand- und Geländelinie) die gezeichnete Druckverteilung nicht nur eintreten kann — das ist durch die Ausführungen von Terzaghi und durch Messungen von Spilker<sup>43)</sup> schon bekannt —, sondern auch in jedem Falle eintreten muß.

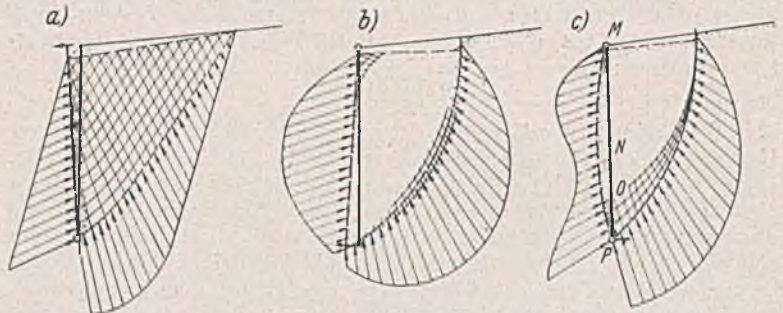


Abb. 29. Schematische Ergebnisse für drei verschiedene Wandbewegungen.

Betrachten wir zunächst einmal den „Rankineschen Sonderfall“ (Krey) für die Wandbewegung A. Dieser Erddruckzustand tritt ein, wenn der Reibungswinkel zwischen Wand und Boden gerade dem Neigungswinkel  $\beta$  des Geländes gleichkommt. Dreht sich nun die Wand um ihren untersten Erdpunkt, so muß der abgleitende Erdkörper der Wandbewegung folgen. Seine einzelnen Teile verschieben sich dabei gleichlaufend zur untersten Gleitfläche (Abb. 30). Da wir voraussetzen, daß in der untersten Gleitfläche der Reibungswinkel  $\rho$  auftritt, so folgt aus der Gleichheit der Gleitungswinkel für alle Schichten, daß in der nachrutschenden Erde überall der Grenzzustand erreicht ist. Für diese Bedingung haben wir aber gerade die Formeln für den Rankineschen Zustand abgeleitet (s. unter II.), die eine dreieckförmige Druckverteilung liefern. Man kann daraus folgern, daß der Rankinesche Erddruck-Sonderfall nur bei einer Drehung der Wand um den unteren Punkt möglich ist.

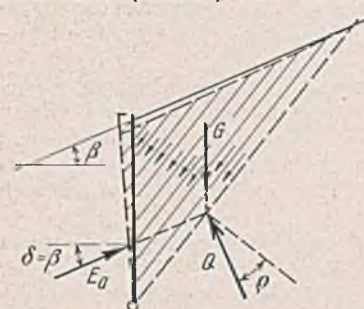


Abb. 30.

Dieser Zusammenhang läßt sich auch auf den allgemeinen Fall mit beliebigem Wandreibungswinkel  $\rho'$  (Abb. 29a) erweitern. Denn auch in diesem Falle ist überall im Rutschkörper der Grenzzustand des Gleichgewichts erreicht, wie man leicht erkennt. Wäre z. B. im oberen Teil des Bodens kein Grenzzustand vorhanden, so müßte sich hier der Boden lotrecht halten, und es müßte ein Spalt zwischen Erde und Wand vorhanden sein, was nur bei Boden mit Gleitfestigkeit möglich ist, den wir aber zunächst noch nicht voraussetzen. Für einen von einer beliebigen Gleitfläche begrenzten Teil des gleitenden Bodens wird deshalb das Kräftebild dem des ganzen Gleitkörpers ähnlich sein, solange längs der Wand ein unveränderliches  $\rho'$  vorhanden ist (was vorausgesetzt sei), weil nur eine (genaue) Lösung der Aufgabe vorhanden sein kann und die „Randbedingungen“, nämlich Wandwinkel  $\omega$  und Oberflächenwinkel  $\vartheta$ , für alle Gleitflächen dieselben sind. Die Druckverteilung auf die Wand ist daher auch in diesem Falle dreieckförmig. Es sei hier erwähnt, daß W. Ritter schon im Jahre 1910 darauf hinwies, daß das Kräftebild höchstwahrscheinlich für alle Gleitflächen einander ähnlich sei, wenn er es auch nicht zu behaupten wagte<sup>44)</sup>. W. Ritter beweist in seiner Arbeit auch sehr anschaulich, daß es für jeden Wandpunkt nur eine einzige Gleitfläche gibt, die mit den Gleichgewichtsbedingungen kleiner Elemente verträglich ist. (Wir kommen auf den Ritterschen Aufsatz noch in anderer Hinsicht zurück.)

Für die Gleitflächenausbildung im Gelände ist bemerkenswert, daß sich keine eigentliche Rutschfläche (mit einem Absatz im Gelände) bildet; dagegen wird der gesamte Gleitkörper in Richtung der untersten Gleit-

<sup>43)</sup> A. Spilker, Mitteilung über die Messung der Kräfte in einer Baugrubenaussteifung. Bautechn. 1937, Heft 1, S. 16.

<sup>44)</sup> W. Ritter, Zur Theorie des Erddruckes auf Stützmauern. Schweiz. Bauztg. 1910, S. 197.

fläche verzerrt. Abb. 31 u. 32 liefern hierfür den versuchsmäßigen Nachweis (grober, trockener Sand hinter einer Glasplatte).

Als Umkehrung der vorstehenden Ausführungen ist für die Wandbewegung B zu folgern, daß im Gleitkörper für diesen Fall an keiner Stelle des Rutschkörpers der Grenzstand des Gleichgewichts erreicht ist (ausgenommen den obersten Teil, da die Rechnung zeigt, daß hier in einigen Fällen der Erdwiderstand überwunden wird), weil zur Hervorrufung des Grenzstandes im Innern des Rutschkörpers die entgegengesetzte Gleitbewegung der einzelnen Schichten erforderlich wäre. Nur in der eigentlichen unteren Gleitfläche ist der Reibungswinkel des Bodens erreicht. Aber noch ein anderer, sehr wesentlicher Punkt ist bei dieser Wandbewegung zu beachten: die lotrechte Richtung der Gleitfläche in der Nähe der Geländeoberfläche. Die Gleitfläche kann in der Nähe der Oberfläche nicht die geneigte Richtung nach der Rankineschen Theorie haben, da sich der Boden dann zwischen Wand und Gleitfläche festklemmen würde, wenn er durch Nachrutschen der Wandbewegung folgen will. Die Gleitfläche muß daher wenigstens lotrechte Richtung haben. Eine nach vorn überhängende Richtung wäre denkbar, ist aber wohl unwahrscheinlich.

Soll sich das Nachrutschen des Bodens bei der Wandbewegung B möglichst ungezwungen vollziehen, so wäre als Gleitflächenform der Kreis anzunehmen. Damit soll nicht gesagt sein, daß der Kreis die genaue Form der Gleitfläche ist; ich habe die Zahlenrechnungen aber unter der Annahme kreisförmiger Gleitflächen durchgeführt (s. unter V). Entgegen der Gleitflächenbildung für die Wandbewegung A rutscht hier der Erdkörper als Ganzes und hinterläßt deshalb im Gelände einen Absatz. Abb. 33 u. 34 zeigen Versuchsbilder, die das Gesagte bestätigen.

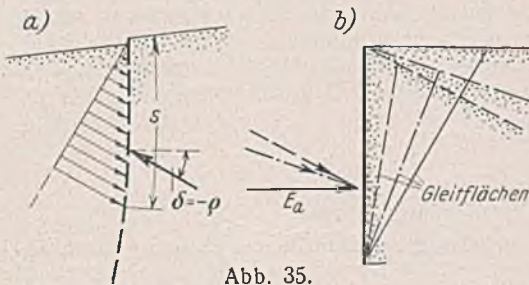


Abb. 35.

Betrachten wir einen kleinen Umkreis der Ausmündung der Gleitfläche im Gelände, so haben wir hier in der lotrechten Gleitflächenrichtung einen sehr merkwürdigen Fall des Erddruckes vor uns, nämlich den des aktiven Erddruckes mit negativem Wandreibungswinkel ( $\phi' = -\phi$ ); der Rutschkörper übernimmt hierbei die Rolle der „Wand“ (s. Abb. 35a). Gl. (27) ergibt für diesen Fall:  $\tan \vartheta = \infty$ , also  $\vartheta = 90^\circ$ . Denken wir den Neigungswinkel  $\delta$  des Rankineschen Erddruckfalles von 0 bis  $-\phi$  wachsend, so wird die Neigung der Gleitflächen mit wachsendem  $\delta$  immer größer (vgl. Abb. 35b), um für den Fall  $\delta = -\phi$  in die Lotrechte überzugehen. Das Merkwürdige ist also, daß für den Grenzfall das Gewicht des Gleitkeiles selbst verschwindet. Dieser Umstand darf uns

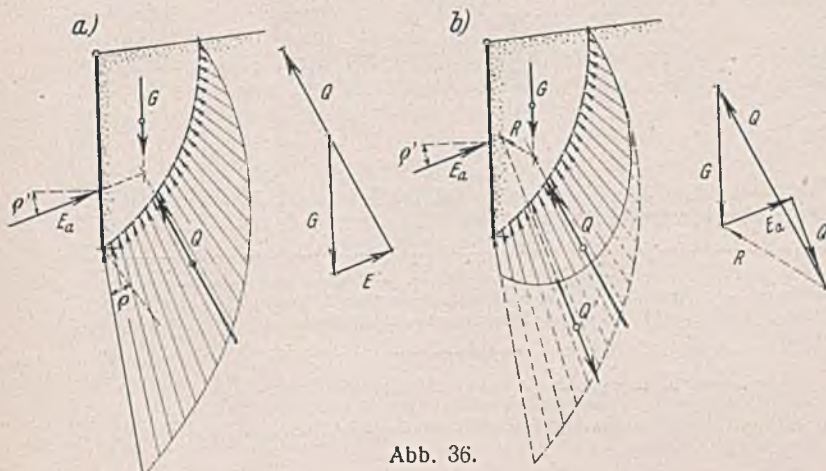


Abb. 36.

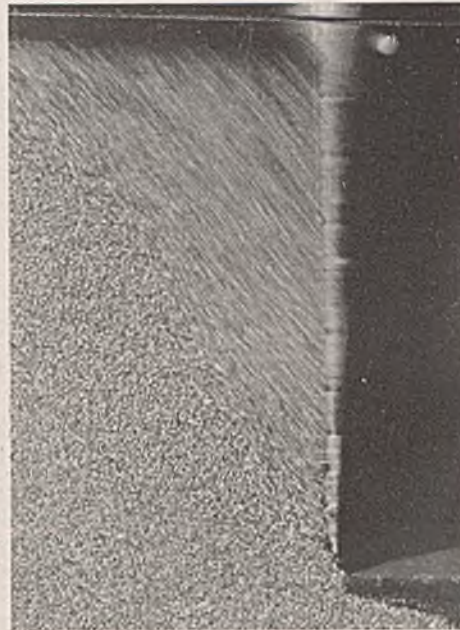


Abb. 31.

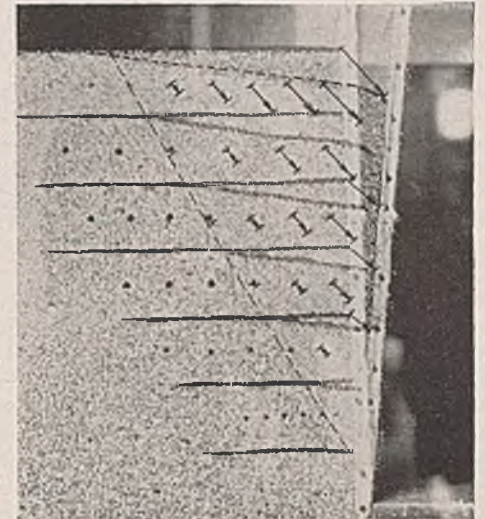


Abb. 32.

Erbewegung bei einer Drehung der Wand um ihren untersten Punkt. Abb. 31 während der Bewegung, Abb. 32 vor und nach der Bewegung.

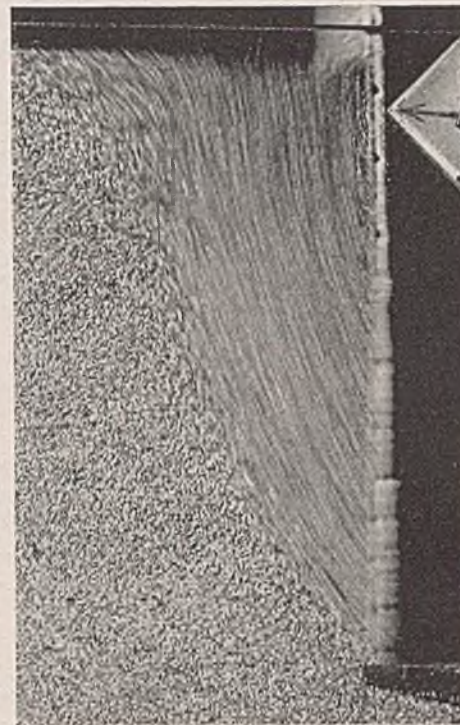


Abb. 33.



Abb. 34.

Erbewegung bei einer Drehung der Wand um den obersten Erdpunkt. Abb. 33 während der Bewegung, Abb. 34 vor und nach der Bewegung.

aber nicht davon abhalten, mit der Existenz dieses Grenzfalles zu rechnen, da kurz vor dem Grenzübergang eindeutige Verhältnisse vorliegen. — Aus Gl. (29b) erhält man für die Normalspannung in der Gleitfläche:  $\sigma = \sigma'$  und mit  $\sigma' = \frac{\gamma s}{1 + \mu^2}$ :

$$(42) \quad \sigma = \frac{1}{1 + \mu^2} \cdot \gamma s.$$

Dasselbe Ergebnis erhält man auch aus den Erddruckformeln für ebene Gleitflächen, wie noch gezeigt werden wird. Auch die Köttersche Gleichung für die Spannungsverteilung in der Gleitfläche (s. weiter unten) liefert für  $\vartheta = 90^\circ$  denselben Wert, so daß an der Richtigkeit der Gl. (42) wohl nicht zu zweifeln ist. Die Verhältniszahl  $\lambda$  des Erddruckes ist also hier:

$$\lambda = \frac{1}{1 + \mu^2}.$$

Dieser  $\lambda$ -Wert ist bedeutend größer als in gewöhnlichen Fällen. So erhält man z. B. für einen Reibungsbeiwert  $\mu$  von 0,6 ein  $\lambda$  von 0,735, während für waagrechtes Gelände und  $\delta = 0$  der Verhältniszahl zu 0,321 erhalten wird ( $\frac{0,735}{0,321} = 2,3$ ). Dieses Ergebnis ist die Ursache, wenn wir bei der zahlenmäßigen Durchrechnung für den Fall der Wandbewegung B

nicht unerheblich höhere Erddrücke erhalten als für den Fall der Wandbewegung A.

Wollte man nun Gl. (42) für den ganzen Verlauf der Gleitfläche gelten lassen, so würde man sehr bald auf Widersprüche stoßen. Es zeigt sich z. B., daß die Mittelkraft  $Q$  aller Gleitflächenanspannungen bedeutend größer ist, als es zum Schließen des Kräftecks gefordert werden muß (Abb. 36a). Gl. (42) gilt aber offenbar auch nur für den ersten Anfang der Gleitfläche, nämlich so lange, als die Gleitfläche noch annähernd lotrecht verläuft. Die wirkliche Druckverteilung längs der Gleitfläche muß deshalb etwa nach Abb. 36b verlaufen. Zur Kraft  $Q$  nach Abb. 36a ist eine Zugkraft  $Q'$  hinzuzufügen, deren Angriffspunkt natürlich tiefer liegt als der von  $Q$ . Bringen wir nun die Kräfte  $G, Q, Q'$  und  $E_a$  zum Gleichgewicht, wie es Abb. 36b zeigt, so sehen wir, daß der Angriffspunkt von  $E$  bedeutend höher liegt als  $1/3 h$  von unten (nach den späteren Berechnungen liegt er für  $\mu = 0,60$  meist noch höher als  $1/2 h$  von unten). Damit ist einwandfrei gezeigt, daß der Angriffspunkt des Erddruckes für eine Drehung der Wand um den oberen Erddruckpunkt bedeutend höher liegen muß als im unteren Drittelpunkt. Der Erddruck ist daher in ähnlicher Weise kurvenförmig verteilt, wie es Abb. 29b zeigt.

Bei einer Durchbiegung der Wand (Wandbewegung C) ist hinsichtlich der Verteilung des Erddruckes auf die Wand zwischen drei verschiedenen Bereichen zu unterscheiden. Im oberen Teile  $MN$  (s. Abb. 29c) hat man annähernd den Fall der Wandbewegung B vor sich, so daß in diesem Teile der Erddruck auch eine ähnliche Verteilung hat wie in Abb. 29b. Die Gleitfläche muß deshalb auch wieder im Gelände lotrecht auslaufen. Im untersten Teile  $OP$  dagegen werden die Bodenverhältnisse hinter der Wand zum Gleiten gezwungen, weil hier ähnliche Verhältnisse vorliegen wie bei der Wandbewegung A. Zwischen diesem unteren und dem oberen Bereich ist ein mehr oder weniger kurzer Übergangsbereich  $NO$  vorhanden. Der Gleitflächenbereich  $OP$  mündet an der Oberfläche zu einer einzigen Gleitfläche aus, weil das Ausmünden von mehreren nebeneinander befindlichen lotrechten Gleitflächen mit den Gleichgewichtsbedingungen des Rankineschen Erddruckfalles nicht zu vereinbaren ist. Die Form der Verteilungslinie des Erddruckes ist dadurch gegeben, daß im oberen Teil — wie schon bemerkt — eine Druckverteilung nach Abb. 29b anzunehmen ist. Da der Gesamterddruck ebenfalls bekannt ist

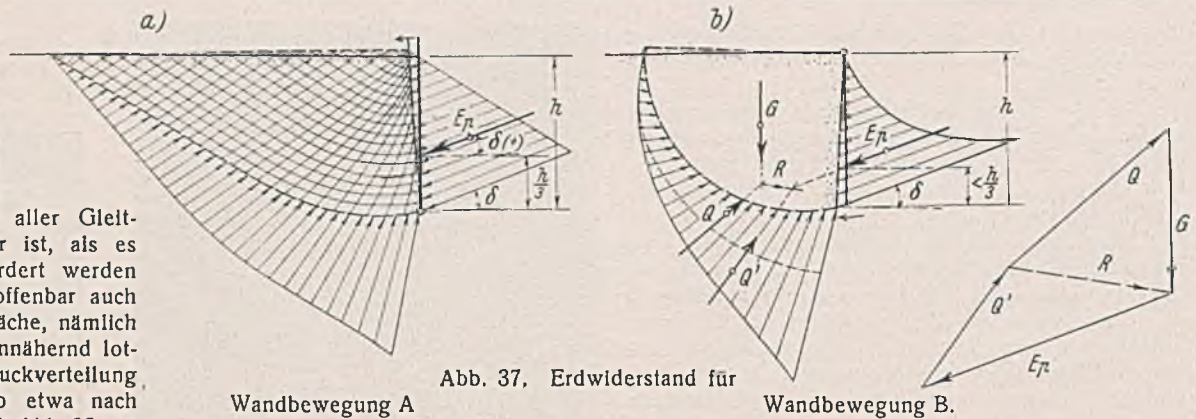


Abb. 37. Erdwiderstand für Wandbewegung A und Wandbewegung B.

(bzw. ermittelt werden kann), so ist für das Aufzeichnen der Druckverteilungslinie für den unteren Wandteil kein großer Spielraum mehr vorhanden. Näheres s. unter VI dieses Aufsatzes.

Die obigen Darlegungen zeigen, daß man in der Frage der Wanddruckverteilung schon auf verhältnismäßig einfache Art und Weise weiter kommen kann. Es dürfte daraus aber auch deutlich hervorgehen, daß man die Rankineschen Annahmen fallen lassen muß (soweit es nicht schon geschehen ist); denn auch bei einem Wandreibungswinkel, der zufällig der Rankineschen Annahme entspricht, sind die Gleitflächen bei einer Wanddrehung um den Geländepunkt stark gekrümmte Flächen. — Die weiteren Berechnungen werden die in Abb. 29 gezeigten und oben bewiesenen Zusammenhänge auch zahlenmäßig nachweisen.

Für den Erdwiderstand ist der Zusammenhang zwischen Wandbewegung, Gleitflächenform und Druckverteilung ein ähnlicher wie für den Erddruck. Die Beweise für die Wandbewegungen A und B können Schritt für Schritt übernommen werden. Der Unterschied für die Wandbewegung B ist nur der, daß die zusätzliche Kraft  $Q'$  sich jetzt als Druckkraft ergibt (s. Abb. 37b). Dadurch rückt der Angriffspunkt tiefer als  $1/3 h$  von unten, so daß die Wanddruckverteilung, von oben an gerechnet, stärker zunimmt als nach einem Dreieck. Außerdem ergibt sich der Erdwiderstand kleiner als für den Fall der Wandbewegung A. — Wie schon unter I. dieses Aufsatzes bemerkt wurde, ist aber bei der Ermittlung des Erdwiderstandes viel mehr als beim Erddruck auf die den „Gleitungs-Wandbewegungen“ (A oder B) vorangehenden Wandbewegungen zu achten, die von der Zusammendrückbarkeit des Bodens herrühren.

(Fortsetzung folgt.)

Vermischtes.

**Massive Ladestraßenkante.** In einem älteren Aufsatz des Verfassers<sup>1)</sup> ist eine Ladestraßenkante aus Beton mit einer Abdeckung von zwei Reihen Kleinpflastersteinen in Zementmörtel und mit senkrechten Schienenpfosten in Abständen von 2,50 m dargestellt und beschrieben. Diese Konstruktion ist in den Jahren 1927 und 1928 sowie 1935 und 1936 auf verschiedenen Bahnhöfen mit gutem Erfolg ausgeführt worden.

Bestehende Abb. 1 zeigt nun eine ähnliche Konstruktion, bei der zur völligen Ausschaltung von Eisen im Sinne des Vierjahresplanes die Schienenpfosten durch Prellsteine ersetzt sind. Die Kante ist nach Art einer Futtermauer konstruiert, wobei das Gewicht der Mauer dem Erddruck entgegenzuwirken hat. Der untere Teil der Mauer ist zur Ersparung von Beton mit Einzelpfeilern ausgeführt. Diese Pfeiler sind zur Erzielung guter Wirkung gegen Kippen kräftig nach dem Gleis hin vorgezogen und auf der Rückseite unterschritten. Ein Absacken von Boden unter dem Pflaster beim Stopfen des Gleises und bei der Bettungs Erneuerung ist nicht zu befürchten, da sich, wenn der unter der durchgehenden Mauer befindliche Boden abrutschen sollte, eine Böschung von etwa 1:1 bilden kann, ehe weiterer Boden unter dem Pflaster von hinten wegfallen kann (Abb. 2). Die Annahme dieser Böschungsneigung dürfte als Sicherheit gegen Durchrutschen von Boden vollständig genügen. Prellsteine sind in Abständen von 2,50 m angeordnet. Damit sie in der Mauer festsitzen, werden sie, soweit nötig, mit senkrechten Rillen von etwa 0,25 m Höhe versehen (vgl. Abb. 1, Schnitt C—D). Die Stützpfiler stehen in Abständen von 1,25 m senkrecht unter den Prellsteinen und mitten zwischen diesen. In Abständen von je 5 m sind senkrechte Dehnungsfugen angeordnet, und zwar nicht

unmittelbar unter den Prellsteinen, sondern in der Mitte zwischen zwei Prellsteinen. Die Fuge geht durch einen Pfeiler und die durchgehende Mauer von Fundamentunterkante bis Oberkante Mauer durch. Der Pfeiler, durch den die Dehnungsfuge hindurchgeht, wird durch diese in einen Doppelpfeiler aufgeteilt.

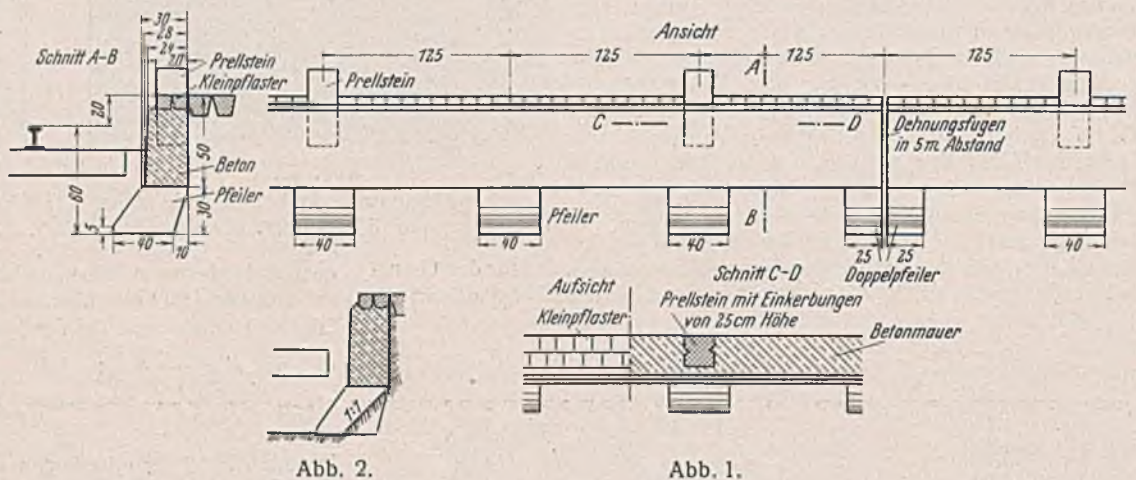


Abb. 2.

Abb. 1.

Die beschriebene Konstruktion ist im Sommer 1937 auf den Bahnhöfen Soltendieck und Klötze ausgeführt.

INHALT: Stelmauerwerk bei Brückenbauten. — Weiteres zur Frage der Ingenieur- ausbildung. — Zur Theorie des Erddruckes unter besonderer Berücksichtigung der Erddruck- verteilung. (Fortsetzung) — Vermischtes: Massive Ladestraßenkante.

Verantwortlich für den Inhalt: A. Laskus, Geh. Regierungsrat, Berlin-Friedenau.  
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.  
Druck der Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin.

<sup>1)</sup> Bautechn. 1928, Heft 8, S. 100, Abb. 4.