

DER BAUINGENIEUR

21. Jahrgang

5. März 1940

Heft 9/10

DIE GROSSEN HÄFEN DES MITTELMEERES.

DER HAFEN VON FIUME.

Von Dott. Ing. Comm. Giulio Tian, Rom.

DK 627.2(45)

Der Hafen von Fiume wurde bis Ende des 18. Jahrhunderts ausschließlich aus der Mündung der „Fiumara“ gebildet, d. h. aus der Abzweigung des Flusses „Eneo“, der durch fortgesetzte Vertiefungen nutzbar erhalten wurde.

Der Verkehr war damals noch sehr gering, da die Stadt nicht mit dem östlichen Hinterland verbunden war, während die westlichen Provinzen Österreichs für ihren spärlichen Handelsverkehr lieber den Hafen von Triest, den Schiffe mit größerer Fracht an-liefen, benutzten.

Die erste große den Karst überquerende Verbindungsstraße wurde 1771 dem Verkehr übergeben. In den Jahren 1873 und 1874 wurden die Eisenbahnlinien eröffnet, welche die Stadt Fiume mit dem Becken der unteren und mittleren Donau verbanden, also mit Ungarn, zu dem Fiume, nachdem es von 1471—1779 öster-reichischer und von 1779 an zu wiederholten Malen ungarischer Besitz gewesen war, von 1870 an gehörte.

In dieser Epoche wickelte sich der ungarische Export voll-ständig über Fiume ab, wodurch Stadt und Hafen einen regen Verkehr erhielten, der sich bis zum Ausbruch des Weltkrieges in aufsteigender Linie bewegte; infolgedessen genügte der alte Fiumarakanal bald nicht mehr, und Ungarn entschloß sich, einen neuen großen Hafen in der der Stadt gegenüberliegenden Reede zu erbauen. Die Arbeiten wurden 1841 mit dem Bau des großen, parallel zum Ufer liegenden Dammes begonnen, wenig später aber infolge der die Beziehungen zwischen dem österreichischen Kaiser-reich und Ungarn trübenden, politischen Ereignisse eingestellt; erst 1873 konnten die Arbeiten, diesmal auf Grund großzügigerer Entwürfe, wieder aufgenommen werden.

Der Hafen von Fiume gehört dem Typ der Häfen mit einem einzigen parallel zum Ufer verlaufenden Schutz-Damm an; dieser Typ hat sich in neuerer Zeit fest behauptet, besonders da er sich mehr als andere für die notwendigen stufenweisen Erweiterungen eignet. Ein klassisches Beispiel ist der Hafen von Marseille, dessen felsige Küstennatur und die Windrichtungen die Anlage dieses Hafentyps als ratsam erscheinen ließen.

Diese Type wurde in Triest, im „Alten Hafen“ (Freihafen Vittorio Emanuele III.), dessen Küste entsprechende natürliche Bedingungen aufweist, nachgeahmt; dieser Teil des Triester Hafens besteht aus einer Reihe rechtwinklig zum Ufer angeordneter Kaizungen, die von einem 1100 m langen, parallel zum Ufer ver-laufenden Damm geschützt werden.

Eine Eigenheit des Hafens von Fiume ist, daß der Damm, obwohl er parallel zum Ufer verläuft, an seinem östlichen Ende (Abb. 1) mit einem Küstenvorsprung verbunden ist, während die Schutzdämme der anderen Häfen desselben Typs wie Triest, Mar-seille, Saloniki, Haidar Pascia, Brest, Neapel u. a. freiliegen, d. h. an keinem Punkt mit der Küste verbunden sind.

Abb. 2 zeigt die Entwicklung der Arbeiten im Fiumaner Hafen in den verschiedenen, aufeinanderfolgenden Phasen von 1872 bis heute. In dem Zeitraum von 1872—1879 wurde der Bau des großen äußeren Dammes auf eine Länge von 975 m fortgesetzt; ferner wurde das heute „Herzog der Abruzzen“ benannte Ufer (Abb. 1) erweitert und die Mole „Genua“ erbaut. 1883 wurde der Petroleum-hafen geschaffen und mit den Plänen für den Holzhafen begonnen, der damals „Baross Hafen“ hieß. Heute führt er den Namen „Hafen von Susak“ und gehört Jugoslawien (Abb. 1).

Bei Ausbruch des Weltkrieges waren zwei wichtige Bauten im Entstehen begriffen, und zwar: 1. zwecks Gewinnung von mehr Kaifläche im inneren Hafenbecken die Mole „St. Markus“ im Osten der Mole „Adamich“ (Abb. 1 und 2) die Verlängerung des Dammes „Admiral Cagni“ (Abb. 3) um 300 m, um damit die großartigen, auf den Molen „Neapel“ und „Palermo“ und am Ufer „Luigi Rizzo“ (Abb. 1) erbauten Speicher vor den vorherrschenden Win-den zu schützen; infolge des Krieges unterbrach die ungarische Regierung diese Arbeiten.

Nach Beendigung des europäischen Konfliktes nahm der Ver-kehr in Fiume infolge der bekannten internationalen Schwierig-keiten und der Schließung der Eisenbahnlinie von Zagreb von Seiten der jugoslawischen Regierung rapide ab. Nachdem Italien Fiume annektiert hatte, begann sich der Hafenverkehr zu erholen und nahm ständig zu, wohingegen die Wasserflächen und das Hafengelände mit Rücksicht auf die neue Grenze gegen Jugo-slawien, dem die Wasserflächen im Osten des Dammes „Cagni“ (Hafen von Susak) unter Einschluß der Magazine am Delta (zwi-schen dem Fiumarakanal und dem Flusse „Eneo“) zugestanden wurden, abnahmen; überdies wurde, gemäß Vertrag von Nettuno, das Becken „Thaon di Revel“ an Jugoslawien verpachtet.

Die faschistische Regierung beschloß als Ausgleich für die erwähnten Verkleinerungen des Fiumaner Hafens die Inangriff-nahme folgender, heute bereits vollendeter Arbeiten: 1. die Ver-breiterung des Kais zwischen der Mole „Adamich“ und der Mole „St. Markus“, die von der ungarischen Regierung begonnen und bei Kriegsausbruch eingestellt worden war; 2. die Erweiterung um 10—15 m des Ufers „Herzog der Abruzzen“ (Abb. 1), um den intensiven Verkehr der Lagerhäuser entlang dieses Ufers zu er-leichtern; 3. den Bau eines neuen Holzstapelplatzes (Holzauslade-platz in Abb. 1) zwischen dem Damm des „Petroleumhafens“ und dem Binnenhafen der Marineakademie, der nach der Meerseite von einer 420 m langen Ufermauer (wovon 300 m den großen Dampfern Landungsmöglichkeit bieten) gestützt wird. Für diese drei Bauten wurden 16 Mio Lire verausgabt.

Der Hafen von Fiume liegt im nördlichsten Teil des Quarneros, einer weiten Bucht, die die Form eines seitlich von den Küsten Istriens und Jugoslawien begrenzten, und an dem Grund gegen das Adriatische Meer zu offenen Dreiecks hat; der Wasserspiegel hat eine Oberfläche von 15 Quadratmeilen, mit einer von 20 m in der Nähe des Hafens bis 70 m gegen die Mitte der Fläche zu schwankenden Wassertiefe. Der Hafen besteht hauptsächlich aus vier Becken: dem „Inneren Becken“ mit einer Oberfläche von 10,23 ha, dem Becken „Herzog der Abruzzen“ mit einer Oberfläche von 4,13 ha, dem Becken „Thaon di Revel“ mit einer Oberfläche von 5,16 ha und dem Becken „Luigi Rizzo“ mit einer Oberfläche von 4,85 ha.

Das Gesamtausmaß der für den Warenverkehr verwerteten Kais, inbegriffen jene des Holzstapelplatzes, beträgt 5805 m, von denen 1754 m zum Damm „Cagni“ gehören; an diesen Kais können gleichzeitig 50 Dampfer mittlerer Tonnage anlegen, ohne den Ver-kehr zu behindern. Die für die Aufbewahrung der Waren be-stimmten ungedeckten Baugründe haben eine Oberfläche von 10 000 m², die Baugründe des „Neuen Holzausladeplatzes“, deren Oberfläche 33 000 m² beträgt, nicht inbegriffen.

Die Wasseroberfläche, in der der Hafen von Fiume erbaut

wurde, hat zwischen 20 und 46 m wechselnde Grundmauern; die Käufermauern ruhen auf einer bemerkenswert hohen und breit basierten Aufschüttung von Kalksteinsand; auch der Schutzdamm „Admiral Cagni“ ist von der Klippenreihentype.

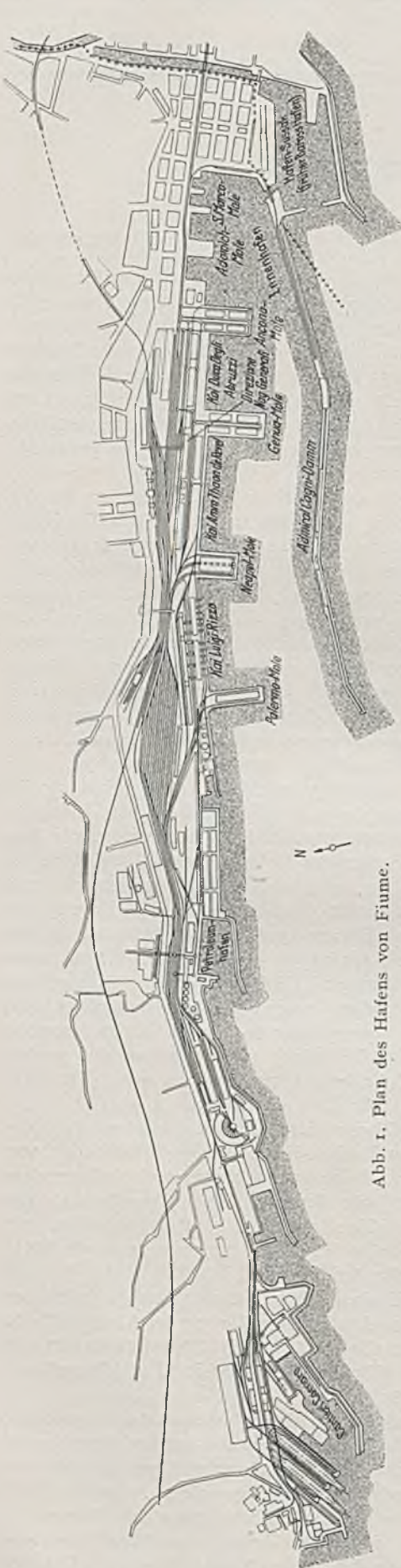


Abb. 1. Plan des Hafens von Fiume.

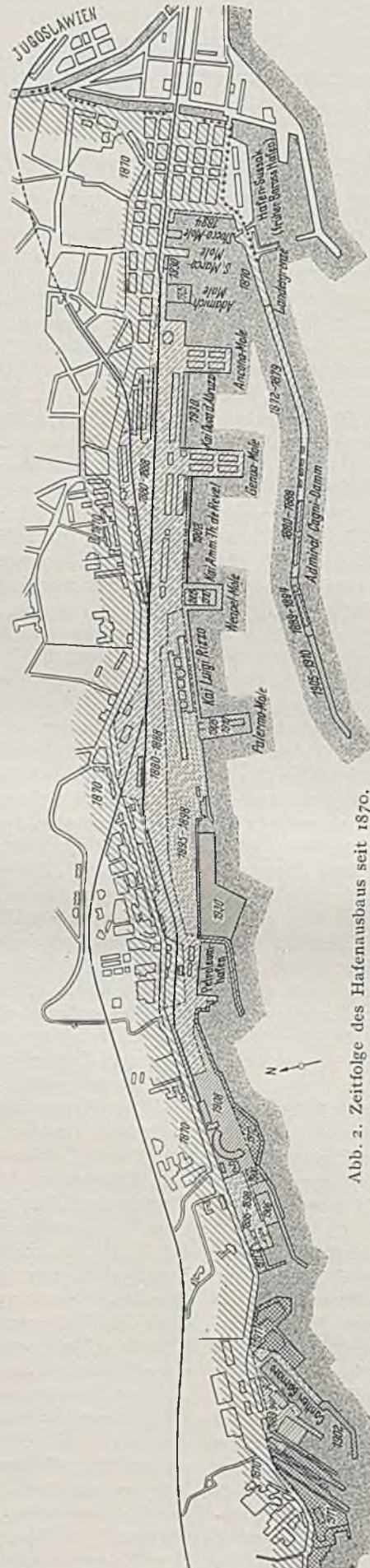


Abb. 2. Zeitfolge des Hafenausbaus seit 1870.

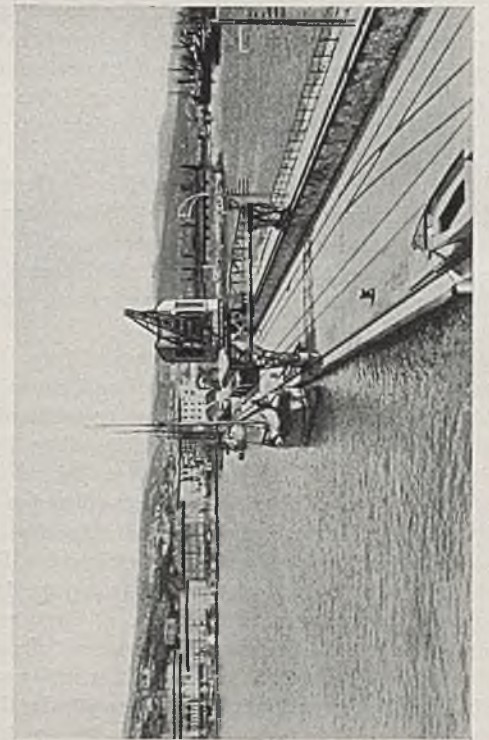


Abb. 3. Admiral Cagni-Damm.

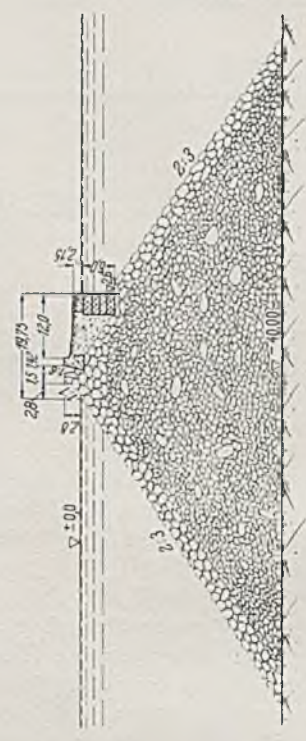


Abb. 4. Admiral Cagni-Damm (Querschnitt).

Dieses Bollwerk dient nicht nur zum Schutz der inneren Becken gegen die Flut, sondern auch zur Abwicklung des Handelsverkehrs; diese Doppelfunktion wird dadurch ermöglicht, daß die Wogen, obzwar der Quarnaro bei Scirocco sehr stürmische See hat, doch niemals die 3 m über dem mittleren Meeresniveau liegende Schutzmauer überfluten.



Abb. 5. Admiral Cagni-Damm.

Der Damm „Admiral Cagni“ (Abb. 3 und 4) ist aus einer groben Steinschlagaufschüttung gebildet, die ungefähr 40 m unter dem Meeresspiegel fußt. Die Böschungen sind mit starken Kalksteinfelsblöcken ummantelt. Gegen die Küstenseite zu ist auf einem Bankett eine Ufermauer errichtet, deren Unterbau aus künstlichen Betonfelsblöcken besteht und in der Höhe von — 6,50 auf dem Fundamentabsatz der Klippenreihe ruht; am Gipfelpunkt der Klippenreihe erhebt sich die nach außen durch eine Aufschüttung starker Kalksteinfelsblöcke geschützte Bollwerkmauer.

Der Damm erreicht an seiner 40 m unter dem Meeresniveau liegenden Grundlage eine Basisbreite von 150 m und einen Querschnitt von zirka 2500 m²; die Breite des Dammes in der Höhe des Kais beträgt (den äußeren Mauervorsprung ausgenommen) 13,42 m, von denen 1,42 m von der Kaimauer und 12 m von dem für den Handelsverkehr verwendeten Bankett beansprucht werden.

Der Damm mißt 1800 m, jedoch nimmt der oben beschriebene Bau selbst (von der Basis des Dammes an gerechnet) nur 1440 m ein, während den letzten 360 m, da der Damm hier nur mehr als Schutzwehr dient, das innere Bankett fehlt und sich über der, in einer Höhe von (— 7 m) abgeebneten Klippenreihe fünf Reihen künstlicher, 25 t schwerer Felsblöcke befinden, die an der Außenseite wieder von Klippen flankiert sind. Dieser letzte Teil des Dammes, dessen Grundmauern eine Tiefe von 42—46 m aufweisen, hat sich stark gesenkt, so daß ihn jetzt die Wogen überspülen. Nunmehr denkt man daran, ihn neuerlich zu heben, indem man über den Felsblöcken einen Oberbau, gleich jenem der 1440 m langen Strecke, errichtet.

Die Klippenreihentype, zu der, wie gesagt, die Mole „Admiral Cagni“ gehört, wurde, abgesehen von dem Überfluß an erstklassigem verfügbarem Klippenmaterial in der Gegend von Fiume sowohl des schlammigen Bodencharakters wegen gewählt, als auch mit Rücksicht auf die Wellenbildung. Die besonderen örtlichen Gegebenheiten (Winden vom zweiten Quadrant) bedingen Wogen, die nicht höher als 2—3 m und nicht länger als 30 m sind. Die Vertikaltypen hingegen ist im Falle einer felsigen Küste, die sich senkrecht über dem Meere erhebt, angezeigt: in der Praxis eignet sich die Type nicht für größere Tiefen als 12—15 m, und man stößt bei ihrer Ausführung oft auf Schwierigkeiten. Auch verlangt sie sehr kostspielige Arbeitsmittel und Anlagen. So kosteten z. B. die Molen mit senkrechter Wand im Hafen von Dover, die in einer durchschnittlichen Tiefe von 12 m unter dem Meeresspiegel der Ebbe, was einer Durchschnittswasserstandshöhe von 18 m unter dem Niveau der Flut gleichkommt, erbaut wurden, nicht weniger als 30 000 Goldlire pro Meter Länge; die Mole „Admiral Cagni“,

von der Type der einfachen Klippenreihe, in einer Durchschnittstiefe von 40 m unter dem Meeresniveau errichtet, kostete hingegen nur zirka 15 000 Goldlire je Meter und die Mole „Galliera“ in Genua, von der Type der Klippenreihe mit Felsblockverkleidung in regelmäßigen Reihen, und in durchschnittlichen Tiefen von 20 m errichtet, ebenfalls nur 15 000 Goldlire je Meter Länge.

Bisher wurde diese Type in keinem anderen Mittelmeerhafen angewendet, und zwar hauptsächlich wegen der hohen Grundmauern, die man zum Bau der Bollwerke benötigt. Diese Grundmauern übersteigen in den großen Häfen in der Regel 15 m unter dem Niveau der Ebbe.

Der Damm „Admiral Cagni“ hat in seiner letzten Strecke Höchstquerschnitt von 2900 m², und die Füllung eines Dammlinienmeters besteht aus 5800 t, ausschließlich aus Natursteinen gebildetem Material; die Kosten für den Bau der letzten, 360 m langen Strecke des Dammes „Cagni“ beliefen sich auf 3 Mio. Lire.

Von großer Bedeutung sind auch die Ausbesserungsarbeiten an den Ufermauern der Ufer, „Luigi Rizzo“ und „Thaon di Revel“. In diesen Ufermauern fand man, vorwiegend in Übereinstimmung mit der Höhe des Meeresspiegels, in regellosen Abständen zerfressene Stellen und Höhlungen, die durch die Stöße der Schiffe und die dynamische Kraft der Wellen verursacht waren. Die auszubessernden Mauern bestehen in ihrem submarinen Teil aus fünf Reihen, über denen künstliche Felsblöcke aus Beton oder Steinschlag liegen, deren jeder ein Ausmaß von 3,70 × 1,80 × 1,80 m hat; der letzte dieser Felsblöcke ruht auf einer hohen, in der Tiefe von 7,50 m unter dem Meeresspiegel abgeebneten Klippenreihe; in ihrem höher gelegenen Teil bestehen die Ufermauern aus gewöhnlichem, mit Quadersteinen ummantelten Steinschlagmauerwerk.

Die Beschädigungen wurden in vier Kategorien eingeteilt; zur Kategorie A gehören die in der ersten Reihe der künstlichen Felsblöcke in geringerer Höhe als die Höhe der Felsblöcke selbst getroffenen Zerstörungen; zur Kategorie B gehören die in der ersten Reihe, in gleicher Höhe mit den Felsblöcken befindlichen Zerstörungen (und zwar Zerstörungen, die sich über die ganze Vertikalfläche des Felsblockes ausdehnen); zur Kategorie C gehören die sich in der Höhe der ersten und zweiten Reihe der Felsblöcke ausbreitenden Zerstörungen; der Kategorie D gehören schließlich jene Zerstörungen an, die sich in der Höhe der 1., 2. und 3. Reihe ausbreiten. An den ausgeführten Reliefs wurden in der 4. und 5. Reihe keine Beschädigungen vorgefunden.

Die Schäden an Type A wurden mittels Betonaufschüttungen behoben, nachdem man an den auszufüllenden Leerräumen die not-



Abb. 6. Holzkai.

wendigen submarinen Demolierungen vorgenommen hatte; dagegen wurden die Ausbesserungen an Type B und C mittels künstlicher Betonfelsblöcke durchgeführt, deren Rauminhalt zirka 1/8 m³ beträgt und deren Länge ungefähr der Tiefe des zu füllenden Leerraumes gleichkommt, während der Raum zwischen den Felsblöcken und den seitlichen und rückwärtigen Teilen des Leerraumes mit Zementbeton gefüllt wurde; die Reparaturen an Type D

schließlich wurden mittels der teilweisen oder vollständigen Stützung der den Unterbau der Ufermauern der Ufer „Luigi Rizzio“ und „Thaon di Revel“ bildenden Felsblöcke durchgeführt. Für diese Arbeiten wurde ein Betrag von 1 090 000 Lire verausgabt.

Der neue im Jahre 1930 erbaute Holzaufladeplatz (Abb. 6) ist ein zwischen der Mole „Palermo“ und dem Petroleumhafen gelegener, den Eisenbahnanlagen benachbarter Platz; der dem Meere zugewandte Erdwall, der den Holzstapelplatz bildet, ist



Abb. 7. Innenhafen.

nicht, wie im Hafen von Fiume gebräuchlich, durch eine Klippenreihe aus natürlichen Felsblöcken abgegrenzt, sondern durch eine Ufermauer, die in ihrem submarinen Teil aus fünf, auf einer in 8 m Tiefe unter dem Meeresspiegel abgeebneten Steinschlagschicht ruhenden, übereinanderliegenden Reihen künstlicher Felsblöcke besteht. Der Oberbau dieser Ufermauern ist aus künstlichen Eisenbetonfelsblöcken und gewöhnlichem, mit Quadersteinen ummanteltem Steinschlagsmauerwerk gebildet und mit allen, für die Landung der Schiffe notwendigen Vorrichtungen versehen. Der Holzaufladeplatz wird, da zur Zeit ein Schutzdamm fehlt, hauptsächlich in den Sommermonaten verwendet, d. h. in jenen Monaten, die ruhige See haben.

Die Ausrüstung des Hafens von Fiume. Die Uferkais und die vorgebauten Molen sind in allen vier Hafenbecken mit Magazinen, mechanischen Ladevorrichtungen und Eisenbahnanlagen versehen.

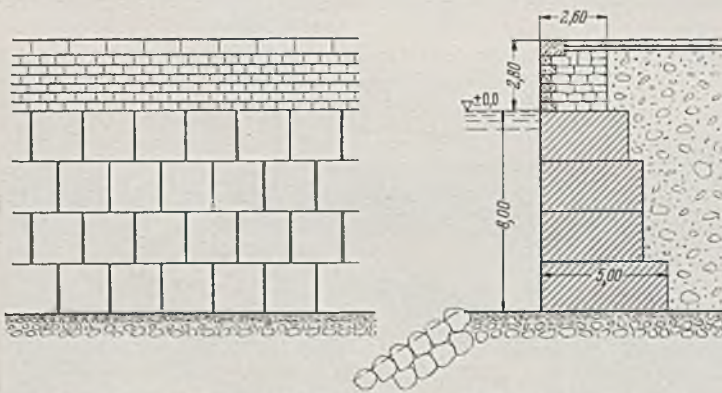


Abb. 8. Kai Herzog der Abruzzen (Ansicht und Querschnitt).

Auf dem Hafengelände befinden sich 29 Magazine und Kornspeicher, von denen 2 Holz- und 27 Mauerwerkbauten sind. Außer dem Erdgeschoß und dem Souterrain sind diese ein bis höchstens vier Stockwerke hoch; die Gesamtoberfläche aller Magazine und Kornspeicher — Stockwerk für Stockwerk berechnet — beträgt 178 846,57 m².

Ein Teil dieser Magazine untersteht der Verwaltung der „Allgemeinen Magazine“, die teilweise dem Staat und einigen öffentlichen Instituten und Banken gehören, die an dem Hafen interessiert sind.

Zur Aufbewahrung feuergefährlicher Flüssigkeiten und Schmieröle sind fünf im Petroleumhafen liegende Behälter vorhanden, die eine Oberfläche von 1926 m² und einen Fassungsraum von 14 394 m³ haben. Diese fünf Behälter sind Privatbesitz und gehören der am Ort befindlichen Mineralö Raffinerie.

Zur Lagerung des Getreides steht auf dem Ufer „Herzog der Abruzzen“ ein Getreidesilomagazin zur Verfügung, das 6000 Tonnen Getreide aufnehmen kann und mit Saugapparaten zur Verladung des Kornes auf die Schiffe versehen ist.

Was die mechanischen Geräte für die Lade- und Ausladeoperationen anbelangt, so wurden auf den Kais 26 Kräne angebracht, und zwar 14 elektrische Brückenkräne mit einer Tragfähigkeit von 1,5 t und sechs Kräne auf dem Ufer „Luigi Rizzo“ und der Mole „Neapel“ mit einer Tragfähigkeit von 3 t; ein elektrischer Brückenkran zu 6 t auf dem Damm „Admiral Cagni“, ein Handkran zu 10 t auf der Mole „Ancona“, und ein Handkran zu einer halben Tonne auf dem Ufer „24 Mai“. Die Kräne des Ufers „Luigi Rizzo“ und der Mole „Neapel“ können die Waren vom Kielraum der Dampfer bis zum höchsten Stockwerk der gegenüberliegenden Magazine heben, die für diesen Zweck mit eigenen beweglichen Treppenabsätzen versehen sind, über die die Waren mittels Flaschenzügen in die Magazine befördert werden.

Für den Magazin-Innendienst wurden 59 elektrische Aufzüge angelegt, von denen fünf eine Tragfähigkeit von 15 t und 54 eine solche von 2 t haben. Außerdem sind neun hydraulische Materialaufzüge mit einer Tragfähigkeit von 1—2 t vorhanden.



Abb. 9. Kai Herzog der Abruzzen.

Die Eisenbahnanlagen bestehen aus 65 km Geleise für Lade- und Ausladezwecke, Rangierbahnhof und Depot, von denen mehr als 10 km entlang der Kais untergebracht sind, und außerdem aus 48 drehbaren Plattformen für Lokomotive und Güterwagen; diese Anlagen gestatten eine Beförderung von 600 Güterwagen je Tag, eine bisher unerreichte Ziffer.

Im Hafen von Fiume befinden sich die bedeutenden Marineverften des Quarnero für den Bau der Dampfer und der Kriegsschiffe und das Trockendock.

Der Hafen von Fiume wurde ursprünglich erbaut, um dem ungarischen Handel einen bequemen Zugang zum Meere zu verschaffen und galt für Ungarn als Nationalhafen, in dem sich der ganze Verkehr der weiten und reichen Donauebene und des gebirgigen, zwischen dieser Ebene und dem Ostufer des Quarnerogolfes gelegenen Gebietes abspielte; der Einfluß des Fiumaner Hafens erstreckte sich auch über die ungarische Grenze nach Böhmen. Die veränderten politischen Verhältnisse haben das weite Territorium des Hinterlandes bedeutend eingeschränkt; hingegen blieb er nach wie vor der natürliche Ein- und Ausladeplatz Ungarns und eines Teiles von Böhmen.

Der Hafenverkehr, durch den Weltkrieg vollständig brachgelegt, hat sich seit der Annexion Fiumes durch Italien bedeutend erholt und nimmt ständig in befriedigendem Tempo zu; den einzigen Rückgang, hervorgerufen durch die wirtschaftliche Weltkrise, verzeichnete man im Jahre 1930. Auch der Passagierverkehr

hat einen nicht zu unterschätzenden Umfang; selbst im Jahre 1930 zählte man 174 591 ein- und 166 255 ausgeschifftene Fahrgäste.

Der Hafen von Fiume ist der Ein- und Ausladeplatz für die regulären Linien von sechs italienischen und fünf ausländischen

Schiffahrtsgesellschaften; drei lokale Gesellschaften versehen den von der Regierung subventionierten Verkehrsdienst, der Fiume mit den italienischen Quarnerohäfen und den hauptsächlichsten Häfen des adriatischen und des thyrrhenischen Meeres verbindet.

DIE HEUTIGEN BAUARTEN DER LÖFFELBAGGER FÜR DEN BAUBETRIEB.

Von Dipl.-Ing. Fr. Riedig, Zeulenroda (Unt. Haardt).

DK 621.879.34

Übersicht: Es werden die unter normalen Verhältnissen üblichen Löffelbagger nach Größen und baulichen Besonderheiten besprochen.

Die umfangreichen Bauarbeiten der letzten Jahre und die dadurch entstandenen, verschiedenartigen Anforderungen an die Maschinen und Geräte bewirken bei den Löffelbaggern teils neue Bauarten und teils das Aufgeben früherer Ausführungen. Aus der Vielseitigkeit der Aufgaben des Baubetriebes folgt der Zwang nach der Anpassungsfähigkeit der Löffelbagger, die als Aushubgeräte einen großen Anteil innerhalb der für Bauvorhaben in Betracht kommenden Maschinen ausmachen. Die Anpassungsfähigkeit der Löffelbagger erstreckt sich nicht nur auf verschiedene, auszuführende Arbeiten, sondern auch auf die Leistungen. Daraus erklärt sich, daß die Löffelbagger einesteils für zahlreiche Umbauformen und andernteils für verschieden große Leistungen gebaut werden. Mit den Umbauformen gehen die Löffelbagger zum Teil über ihre ursprünglichen Aufgaben hinaus. Ein Stampfer oder ein Kran z. B. ist in bezug auf das Arbeiten etwas anderes als ein Löffelbagger. Die Leistungen der Bagger hängen nicht nur von den Größen der Grabgefäße, sondern auch von der Gestaltung der einzelnen Bauteile ab, durch die der Baggerführer in die Lage versetzt wird, einen Bagger so weit als möglich auszunützen. Es gibt bei uns unter normalen Verhältnissen zahlreiche Bagger-Bauarten, mit denen sehr verschiedene Aufgaben gelöst werden können.

Eine Übersicht über die Größen der Umbaubagger von Orenstein & Koppel A G. bringt die Zahlentafel 1.

Zahlentafel 1.

Antriebsart	Diesel- oder Elektromotor		Diesel-, Elektromotor, Dampfmaschine		Elektromotor, Dampfmaschine
	0,35	0,75	1,0	1,5	
Löffelinhalt m ³ . .	0,35	0,75	1,0	1,5	2,5
Spielzahl bei 100°					
Drehwinkel in					
1 min	4,5	4	3,6	3,4	2,6
Betriebsgewicht t	13	26	36	56	110

Die größte Zahl der Umbauformen (bis 11) ist in normalen Zeiten mit dem 0,35 m³-Bagger möglich. Es können nicht nur die meist üblichen Umbauformen als Hochlöffel-, Tieflöffel-, Greif-, Schleppschaukel-, Planierbagger, Stampfer, Kran und Ramme, sondern auch die Formen als Eimerketten-, Tunnelbagger und Lastwagendrehkran eingerichtet werden. In der Umbauform als Eimerkettenbagger (Abb. 1) wird eine bis 5 m lange Eimerleiter eingesetzt, bei der der seitliche Druck beim Schneiden so gering ist, daß man den quergestellten Oberwagen mit der gewöhnlichen Drehwerksbremse des Löffelbaggers beim Baggern festhalten kann. Da die Kette dauernd in Bewegung ist, tritt in Verbindung mit der Form der seitlichen Eimerschneidkanten ein geringer Druck auf, der sich mit der Größe der Fahrgeschwindigkeit ändert. Die größte Fahrgeschwindigkeit beträgt 0,9 m/min. Die Anzahl der Eimer richtet sich nach der Länge und Ausbildung der Eimerleiter; sie ist also nicht immer gleich. Ausgeführt wurde z. B. eine Eimerleiter mit 17 Eimern von je 30 l Inhalt. Die Kette läuft mit einer Geschwindigkeit von 30 m/min um und ergibt eine Schüttungszahl von 25/min.

Bei den Umbaubaggen befindet sich am Unterwagen ein doppelseitiger Laufrollenkranz (Abb. 2) aus einem U-förmigen

Ring. Am Oberwagen sind Laufrollen befestigt, die sich zwischen den Laufbahnen des Zahnkranzes bewegen. In gewöhnlichen Betrieb liegen die vorderen und hinteren Laufrollen auf der unteren Laufbahn an. Bei starker Belastung des Baggers dagegen wirken die Kräfte in den Pfeilrichtungen, durch die die vorderen Laufrollen unten und die hinteren oben am Zahnkranz zum Anliegen

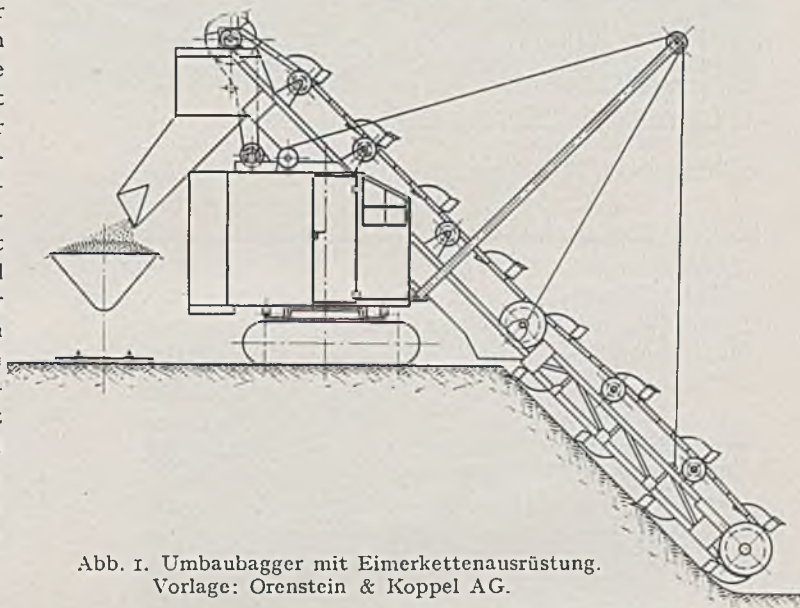


Abb. 1. Umbaubagger mit Eimerkettenausrüstung. Vorlage: Orenstein & Koppel AG.

kommen. Durch die Zwangsführung der Rollen kann der Oberwagen nicht kippen. Die besondere Führung läßt die Möglichkeit zu, die hintere Ausladung des Oberwagens so weit zu verkürzen, daß der 0,35 m³-Bagger mit einer besonderen Löffelausrüstung im kleinstmöglichen Raum arbeiten kann. Der Bagger, der in normalen Zeiten gebaut wird, kann sich in einem Tunnel von

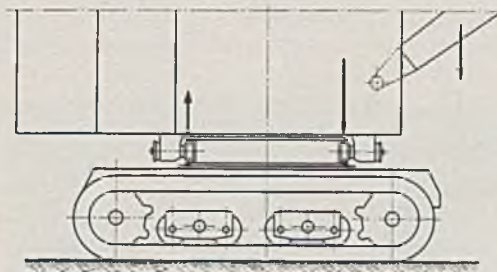


Abb. 2. Doppelseitiger Laufrollenkranz mit Zwangsführungsrollen zwischen dem Fahrwerk und dem drehbaren Oberteil eines Umbaubaggers. Vorlage: Orenstein & Koppel AG.

nur 5 m Breite frei drehen, den Boden abtragen und in Kippwagen verladen (Abb. 3). Der durch Zugstangen gehaltene Ausleger ist geknickt, um den Löffel möglichst nahe heranholen zu können.

Das Grundgerät des 0,35 m³-Baggers kann zu normalen Zeiten statt auf einem Raupenunterwagen auch auf einen besonderen Wagen mit gummiereiften Rädern aufgesetzt werden (Abb. 4), woraus sich neue Anwendungsmöglichkeiten des Baggers ergeben. Mit dem Gerät, das mit 2,8 und 8 km/h Geschwindigkeit mit eigener Kraft in gerader Richtung oder in Kurven verfährt, lassen sich z. B. Eisenbahnwagen (Sand, Kies usw.) entladen oder Baugruben ausheben u. dgl. Der Greifer hat einen Inhalt von 0,5 m³. Bei Hakenbetrieb lassen sich Lasten bis 2,5 t bei 4 m

Ausladung heben. Ferner kann man das Grundgerät auf einem Lastkraftwagen-Untergestell aufbauen. In diesem Falle tritt eine außerordentliche Beweglichkeit und rasche Einsatzmöglichkeit ein.

Auf den Straßenbaustellen hat die Umbauform als Stampfer (Abb. 5) zum Verdichten loser Schüttungen Bedeutung erlangt. Je nach den Größen der Bagger sind die Stampfgewichte verschieden schwer und die Abmessungen anders (Zahlentafel 2).

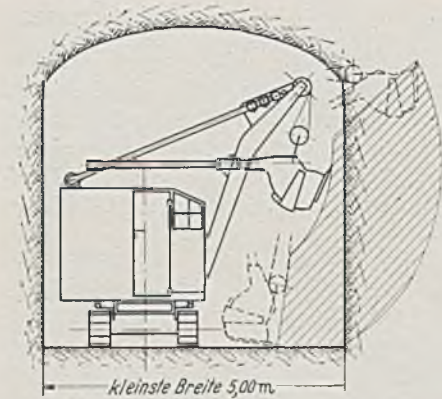


Abb. 3. Umbauform als Tunnelbagger mit verkürzter Ausladung des Oberwagens und besonderer Löffleinrichtung. Vorlage: Orenstein & Koppel AG.

Zahlentafel 2.

Größe des Gerätes (Löffelinhalt) m ³	0,35	0,75	1,0	1,5
Länge des Auslegers m	4,72	5,5	5,5	5,5
Stampfgewicht kg	1500	2000	2500	3000
Höhe des Auslegers L (Abb. 5) m	5,5	5,1	5,75	5,9
Höchste Stampferstellung P m	3,0	2,5	2,5	2,85
Ausladung bis Mitte Stampfer V m	3,4	4,5	5,4	5,75
Dienstgewicht t	12,8	25	32,5	47

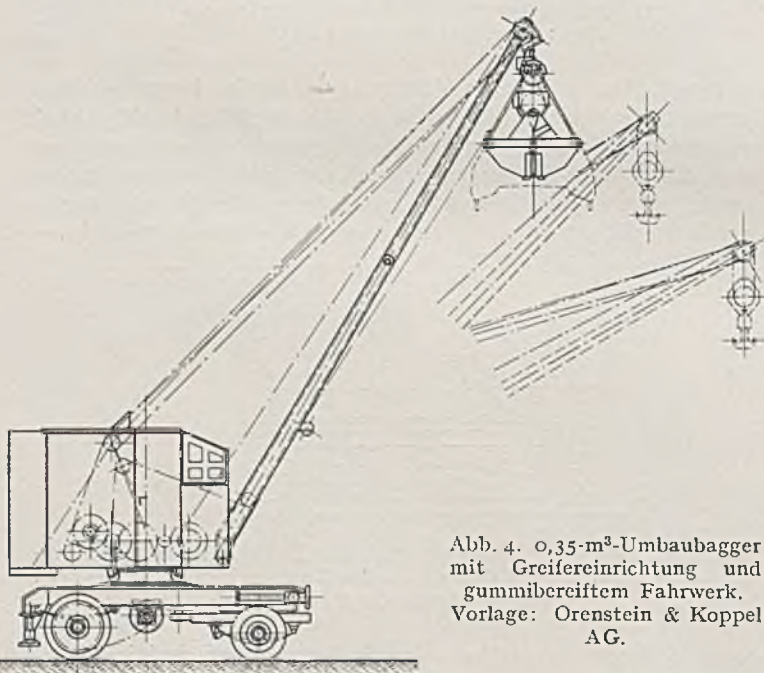


Abb. 4. 0,35-m³-Umbaubagger mit Greifereinrichtung und gummbereiftem Fahrwerk. Vorlage: Orenstein & Koppel AG.

Bei allen Größen ist der Löffel des Hochlöffelbaggers an zwei Stielen befestigt und kann sich durch eine Vorstoßeinrichtung vor und zurück bewegen (Abb. 6). Da die Vorstoßbewegung unabhängig von der Hubbewegung ist, läßt sie sich in jedem Augenblick eines Spieles ausführen.

An den Löffelbaggern der Demag sind verschiedene Vorschubarten möglich: 1. eine Einstielausführung mit einem Stahlrohr als Löffelstiel, 2. eine Vorschubart „A“ mit einem am Ausleger gelenkig befestigten Löffelstiel, 3. eine Vorschubart „B“ mit Vorschubtriebe, 4. Löffleinrichtungen der Vorschubarten

„A“ und „B“, jedoch a) mit großer Hubgeschwindigkeit und großer Reichweite bei gewöhnlichem Löffelinhalt und gewöhnlicher Reißkraft (I), oder b) mit verringerter Hubgeschwindigkeit und verkleinerter Reichweite bei vergrößertem Löffelinhalt und erhöhter Reißkraft (II).

An den Baggern können daher je nach der Bodenart, den geforderten Leistungen und nötigen Reichweiten vier verschiedene Hochlöfleinrichtungen angebracht werden (IA, IB, IIA, IIB), von denen die Abb. 7 und 8 zwei Beispiele zeigen. Außerdem lassen sich bei jeder Hochlöfleinrichtung drei verschiedenen große Löffel verwenden (gewöhnlicher Inhalt, 30% größer, 20% kleiner). Die für den Baubetrieb in Betracht kommenden Größen der Löffelbagger sind in der Zahlentafel 3 zusammengestellt.

Mechanisch einfach ist der Vorschub mit angelenktem Löffelstiel (Abb. 8), wobei der Löffel durch Senken des Auslegers vorgestoßen und durch Heben zurückgezogen wird. Als Vorschubkraft beim Senken wirkt in der Richtung des Löffelstieles eine Komponente des Auslegergewichtes.

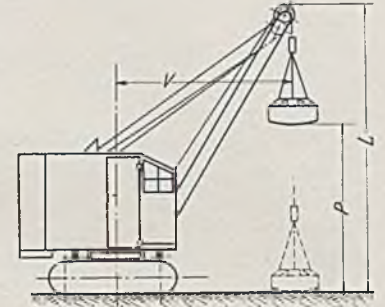


Abb. 5. Umbauform als Stampfeinrichtung (Zahlentafel 2). Vorlage: Orenstein & Koppel AG.

Zahlentafel 3.

Löffelinhalt . . m ³	0,6	0,9	1,53	2,0	3,0	1,35	2,0	3,0	4,5
Art der Löffleinrichtung . . .	IIA	IIA	IIA oder IIB	IIA oder IIB	IIB	IIA oder IIB	IIA oder IIB	IIB	IIB



Abb. 6. Löffelbagger mit Seilvorstoßwerk und doppeltem Löffelstiel. Aufnahme: Orenstein & Koppel AG.

Zu den acht verschiedenen Umbauformen gehört die Umbauform als Seilschaufler (Schrapper) zum Abnehmen geringer Bodendicken und Verladen in Wagen. — Auf den Baustellen ist der Boden oft wenig tragfähig, so daß der Bagger, wenn er nicht einsinken soll, nur wenig hin- und herfahren darf. Wenn aber mit der Umbauform als Greifbagger (leichter Boden) aus einer Baugrube in Wagen verladen wird, läßt sich das Hin- und Herfahren kaum umgehen. Außerdem sind die Arbeitsstellen oft sehr

beengt, so daß der lange Ausleger beim Drehen hinderlich ist und der Bagger auch wieder mehrfach verfahren werden muß. Für diese Fälle kann beim Greiferbetrieb ein Wippausleger angesetzt werden (Abb. 9), durch den sich der Greifer beim Verändern der Ausladung auf einer waagerechten, geraden Linie bewegt. Der Arbeitsbereich des Greifers wird dadurch zu einer breiten Kreisringfläche, ohne daß der Bagger hin- und herfährt.



Abb. 7. 1,35-m³-Löffelbagger mit Vorschubgetriebe für große Reichweiten und große Hubgeschwindigkeit (IB). Aufnahme: Demag.

An den Baggern ist auf dem Unterwagen der Drehwerk-zahnkranz mit dem Mittelzapfen und einem Rollenstern befestigt, dessen Rollen den Druck des drehbaren Oberteiles gleichmäßig auf den Unterwagen verteilen. Auf der Unterseite des Zahnkranzes ist ein Gleitring festgeklemmt, der aus auswechselbaren Segmenten besteht. Unter ihm gleiten am Oberwagen befestigte Krallen, so daß bei zu großer Belastung der drehbare Oberteil nicht kippen kann.

Die Umbaubagger von Menck & Hambrock GmbH., von denen der kleinste auch von der Simmeringer Maschinen- & Waggonbau AG. gebaut wird, haben die Löffelinhalt, Arbeitsgewichte und Greiferinhalt der Zahlentafel 4.



Abb. 8. 1,35-m³-Löffelbagger mit angelenktem Löffelstiel, vergrößertem Löffelinhalt und erhöhter Reißkraft (IIA). Aufnahme: Demag.

Zahlentafel 4.

Löffelinhalt						
gewöhnlich . . . m ³	0,53	0,74	1,0	1,4	1,9	2,6
f. leicht. Boden . m ³	0,74	1,0	1,4	1,9	2,6	3,6
Arbeitsgewicht. . . t	19,5	28,3	39,3	59,35	90,6	137
Greiferinhalt						
kurzer Ausleger . m ³	0,42	0,6	0,85	1,2	1,85	2,3
mittl. Ausleger . m ³	0,3	0,42	0,6	0,85	1,2	1,6

Möglich sind auch die üblichen neun Umbauformen. Zur Vergrößerung der Reichhöhe kann der Stiel des vorwärts schnei-

enden Löffels am oberen Ende des Auslegers angesetzt werden (Abb. 10). Die Bagger werden durch Einzelhebel gesteuert, die ohne Verwendung von Druckluft auf die verschiedenen Kupplungen wirken. Für jede Kupplung ist also im Führerstand ein einzelner Hebel vorhanden (Abb. 11), dessen Lagenveränderung einen geringen Kraftaufwand erfordert. Die Hebel brauchen nur vor- und rückwärts bewegt zu werden. Seitliche Bewegungen gibt es



Abb. 9. Greifbagger mit Wippausleger. Aufnahme: Demag.

nicht. Die Bagger haben drei voneinander unabhängige Seiltrommeln. Mit der dritten Trommel kann man den Ausleger bei jedem Hub mit gefülltem Grabgefäß verstellen (Greifbagger, Kran). Außerdem dient die dritte Trommel bei der Tiefbaggereinrichtung



Abb. 10. Löffelbagger mit vergrößerter Reichhöhe. Aufnahme: Menck & Hambrock GmbH.

zum völligen Entleeren des Tieflöffels in jeder Stellung, ohne daß der Löffel auf seinem Entleerungsweg streut. Ferner erzielt man eine volle Beweglichkeit über und unter dem Baggerplanum bei

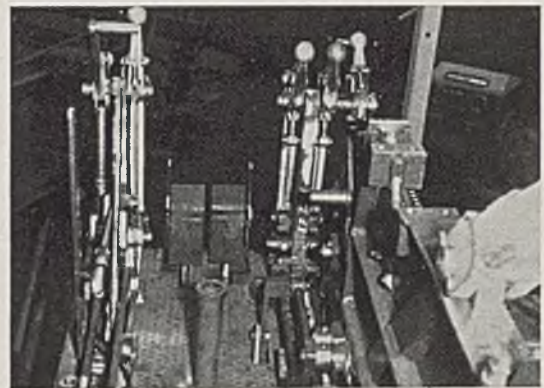


Abb. 11. Führerstand eines Umbaubaggers. Die verschiedenen Bewegungen des Baggers werden durch Einzelhebel gesteuert. Aufnahme: Menck & Hambrock GmbH.

kleiner und großer Ausladung und bei geringer und großer Ausschütthöhe. Die Umbauform als Stampfer hat keine selbsttätige Steuerung des Stampfgewichtes, um die Wucht der einzelnen Schläge jederzeit der Schüttung anpassen zu können.

Die Bagger des Eisenwerkes Weserhütte A G.,

von denen die Abb. 12 ein Beispiel zeigt, werden mit den Größen und Leistungen der Zahlentafel 5 gebaut.

Zahlentafel 5.

Löffelinhalt m ³	0,38	0,56	0,75	1,65
Anzahl der Spiele bei einem Schwenkwinkel von 120° in 1 min	4	4	4	3
Tatsächl. Leistung, in Wagen gemessen bei mittlerem Boden m ³ /h	45	67	90	150



Abb. 12. 0,56-m³-Umbau-Löffelbagger. Aufnahme: Eisenwerk Weserhütte AG.

Bei den Baggern der ersten drei Größen sind acht und bei dem 1,65 m³-Bagger sieben Umbauformen möglich. Die Bagger sind wie auch die anderen Bauarten so eingerichtet, daß die kleineren Größen in völlig zusammengebautem Zustande und die größeren Ausführungen mit nur wenigen abgenommenen Teilen auf Eisenbahnwagen verladen werden können. Die Steuerung der Arbeitsbewegungen geschieht durch Hand- und Fußhebel, wobei an den Handhebeln Drehbügel mit Zugbändern nach den Kuppelungen angebracht sind. In absehbarer Zeit kommt zu den Baggern eine weitere Größe hinzu, deren Löffelinhalt zwischen 0,75 und 1,65 m³ liegt.

Neben dem Umbaubagger mit einem Löffelinhalt von 0,5 m³, der sieben Formen annehmen kann, baut die Leo Gottwald KG (Mukag) ein weiteres Gerät, das nur als Greifbagger, Stückgutkran und als Stampfer brauchbar ist. Bei dem Vierseilgreifbagger (Abb. 13) beträgt wie auch beim Stückgutkran die

Tragfähigkeit 2 t bei 7 m Ausladung. Die Maschine mit Raupenfahrwerk arbeitet mit den Angaben der Zahlentafel 6.

Zahlentafel 6.

Anzahl der Schwenkbewegungen in 1 min	2
Hubgeschwindigkeit als Kran m/min	30
Fahrgeschwindigkeit m/min	18
Leistung des Diesel- oder Benzolmotor PS	18
Gesamtgewicht t	18,5



Abb. 13. Greifbagger mit 2 t Tragfähigkeit bei 7 m Ausladung. Aufnahme: Leo Gottwald KG.

Als Stampfer ist das Gerät mit einem Stampfgewicht von 2000 kg (1 × 1 m) versehen; es führt 16 Schläge/min aus. An Stelle des Raupenfahrwerkes wird auch ein Schienenfahrwerk untergebaut, durch das die Maschine jedoch weniger für Bauarbeiten, als vielmehr für Werksbetriebe geeignet ist.

Mit Auslegern aus Rohr, an denen die Löffelstiele drehbar angelenkt sind, sind die Umbaubagger der R. Dolberg AG mit Löffeln von 0,6 oder 0,75 m³ Inhalt versehen. Der Ausleger aus nahtlos gezogenem Rohr mit Stahlguß-Fußlagern hat einen auswechselbaren Rohrkopf für Löffel-, Greifer- und Kranbetrieb. Beim Tieflöffelbagger entleert der Tieflöffel ohne Klappe durch seilgesteuertes Umkippen des Löffels den Inhalt.

Zum Antrieb aller Umbaubagger für Baustellen dienen Rohöl- oder Elektromotoren. Der Dampftrieb wird selten gewählt, weil im Rohölmotor eine Energiequelle zur Verfügung steht, die während des Betriebes keiner Wartung wie ein Dampfkessel bedarf und jederzeit ohne größere Vorbereitungen betriebsfertig ist.

VEREINFACHTES VERFAHREN ZUR BERECHNUNG DES RAHMENTRÄGERS (VIERENDEEL-TRÄGERS).

Von Prof. Dr.-Ing. Pirlet, Köln.

DK 624.072.334.1

In der Baupraxis kommen immer wieder Fälle vor, wo die Ausführung eines strebenlosen Fachwerks notwendig oder wünschenswert ist. Jedenfalls ist die praktische Bedeutung des Rahmenträgers größer, als man es vielfach wahrhaben will. In neuerer Zeit hat diese Bauart mit dem Aufkommen der Schweißtechnik auch im Stahlbau ein erhöhtes Interesse gefunden. Ausführungen von Bahnhofshallen der Deutschen Reichsbahn aus den letzten Jahren zeigen die Verwendung von Rahmenträgern. Das vorteilhafte Aussehen dieser Konstruktionen ist unverkennbar. Daß zahlreiche Bauten nach dem Vierendeel-Trägersystem besonders in Belgien, und zwar auch im Brückenbau, ausgeführt worden sind und immer wieder ausgeführt werden, ist bekannt. Prof. Dr.-Ing. Desprets, Brüssel, hat auf dem internationalen Brückenbaukongreß Berlin 1936 in einem besonderen Referat „Die Vierendeel-Brücken großer Spannweite, die vor kurzem in Belgien gebaut wurden“, behandelt¹.

¹ Siehe „Bericht der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau“. 1936. Berlin-München, Schlußbericht S. 777 ff.

Es ist wohl nicht zu leugnen, daß man mitunter dieser Bauart ausweicht, weil man die verwickelte Berechnung scheut. Wahrscheinlich ist, daß man dem Vierendeel-Träger in der Praxis mehr Beachtung schenken wird, wenn einmal eine einfache und schnell zum Ziele führende Berechnungsmethode sich eingebürgert haben wird. In dieser Hinsicht mögen die Verhältnisse ähnlich liegen wie bei der Schalenbauweise, die inzwischen den Eingang in die Praxis gefunden hat, nachdem die theoretischen Grundlagen für diese Konstruktion geschaffen waren.

Über Rahmenträger besteht bereits eine umfangreiche Literatur. Trotz alledem kann man von der Mehrzahl der Berechnungsmethoden nicht behaupten, daß sie die für den praktischen Gebrauch erwünschte Durchsichtigkeit und Einfachheit aufweisen bzw. befriedigenden Aufschluß geben über die in praktischen Fällen auftretenden Fragen. Was wir insbesondere benötigen, sind Verfahren, die einen schnell zum Ziele führenden Weg auch bei außergewöhnlichen Verhältnissen bieten, wie z. B. für Verkehrslasten in einseitiger Laststellung. Das gilt im vorliegenden Falle

um so mehr, als die ungünstigsten Beanspruchungen durchweg bei einseitiger Belastung auftreten. Dabei soll ganz abgesehen werden von den Fällen direkter Belastung der Gurtungen zwischen den Knotenpunkten, die gleichfalls des öfteren bei Aufgaben der Praxis vorkommen und eine umfassende Klärung erfordern.

Es scheint, daß der Verfasser des Kapitels „Baustatik im Betonkalender“, Prof. Dr.-Ing. B e r r e r, die Sachlage treffend kennzeichnet, wenn er im Kapitel 6 (Rahmenträger, Vierendeel-Träger) sagt: „Von den zahlreichen seither entwickelten Rechenverfahren konnte sich keines allgemeine Geltung verschaffen“². — Prof. Dr.-Ing. G e h l e r weist im Handbuch für Eisenbetonbau, Band 6, in dem Kapitel „Balkenbrücken“ gleichfalls hin auf die „Umständlichkeit der Berechnung der Stabkräfte und Biegemomente dieser statisch vielfach unbestimmten neuen Grundform“. „Die Schwierigkeiten“, so heißt es dort, „welche den entwerfenden Ingenieur daran hindern, das Material voll auszunutzen, sind in der vielfachen inneren statischen Unbestimmtheit des Systems begründet.“ — Prof. Dr.-Ing. T a k a b e y a (Tokio) sagt im Vorwort seines Buches „Rahmentafeln“: „Die Berechnung von Rahmentragwerken ist bislang infolge ihrer statischen Unbestimmtheit als ziemlich schwierig und insonderheit die komplizierten Rahmen lange als ein unzugängliches Problem angesehen worden. — In diesem ganzen Fragenkreis wird man aller Voraussicht nach mit der Zeit zu noch einfacheren Berechnungsarten kommen, sobald ihm nur einmal größere Beachtung geschenkt wird.“

Eine mir kürzlich zur Bearbeitung übertragene Aufgabe des Eisenbetonhochbaues gab mir Veranlassung, die Aufstellung eines tunlichst einfachen Berechnungsverfahrens zu versuchen. Diese Arbeiten haben zu den im folgenden mitgeteilten Untersuchungen geführt, deren Endergebnisse von überraschender Einfachheit sind.

In erster Linie brauchen wir „E i n f l u ß l i n i e n“ für die Momente, Normal- und Querkräfte, damit wir in der Lage sind, auch bei wechselnden Belastungen die jeweils in Frage kommenden Maximal- oder Minimalwerte der statischen Größen anzugeben. Gleichzeitig ergibt sich damit die Möglichkeit, geschlossene Ausdrücke für diese Größtwerte anzugeben. Daneben interessiert die Frage der „F o r m ä n d e r u n g e n“, speziell der Durchbiegungen des belasteten oder den Temperaturänderungen ausgesetzten Rahmenfachwerks, und zwar schon aus dem Grunde, weil vielfach befürchtet wird, daß die elastischen Deformationen des Vierendeel-Trägers verhältnismäßig beträchtliche Werte annehmen.

In dem oben erwähnten Abschnitt „Baustatik“ des „Betonkalenders“ (Ausgabe 1938) heißt es: „Die meisten seither entwickelten Rechenverfahren lagen Annahmen zugrunde, die oft nicht zutreffen.“ Auf der Grundlage der nachstehenden Untersuchungen wird es nicht schwer sein, die Voraussetzungen anderer Berechnungsverfahren auf ihre Richtigkeit bzw. auf ihren Wert als Näherungsrechnungen nachzuprüfen. Wir werden an Hand der nachstehenden Ergebnisse beispielsweise Klarheit schaffen können über folgende Fragen: Lassen sich allgemeine Richtlinien oder Regeln aufstellen für die Annahme der Lage der Momentennullpunkte bzw. der Gelenke, durch die man das vielfach statisch unbestimmte System in ein statisch bestimmtes verwandeln kann? Wovon hängt gegebenenfalls die Lage dieser Gelenke ab bzw. wie weit weichen die Näherungsrechnungen von den genauen Ergebnissen ab, wenn man z. B., wie es vielfach geschieht, die Lage der Gelenke nicht nur in den Mitten der Vertikalen, sondern auch in den Mitten der Gurtungen annimmt? — Läßt sich eine feste Regel über den Abstand dieser Gelenke von den Knotenpunkten angeben?³

² Siehe Betonkalender 1935, S. 264.

³ Vgl. z. B. Saliger: „Der Eisenbetonbau“ (Leipzig 1933) bzw. B e r r e r (Betonkalender 1939, S. 305): „Die Abstände der Momentennullpunkte von den Nachbarknoten verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Trägheitsmomenten der an den Knoten anschließenden Nachbarstäbe.“

Auch hier werden vorerst bestimmte vereinfachende Voraussetzungen über die Querschnitte der Gurtungen bzw. der Ständer gemacht. Desgleichen ist zunächst nur der Fall der ausschließlichen Belastung der Knotenpunkte vorgesehen. Es ist freilich klar, daß wir letzten Endes ein Verfahren benötigen, das an keine Annahmen gebunden ist, das vielmehr sowohl mit veränderlichen Feldweiten wie auch mit veränderlichen Querschnitten der Gurtungen und Vertikalen rechnet, das schließlich auch den Fall direkter Belastung der Gurtungen zwischen den Knotenpunkten zu behandeln ermöglicht. Auf Grund der im folgenden entwickelten Gedankengänge und unter Zuhilfenahme einiger ergänzender Kunstgriffe werden wir aber, wie später gezeigt werden soll, in der Lage sein, auch dieses allgemeinste Verfahren aufzustellen. Hier ist mit Absicht vorerst der Rechnungsgang unter vereinfachenden Annahmen dargestellt worden. Denn es soll vor allem der Aufbau der Berechnung erläutert und damit zugleich die Grundlage für die

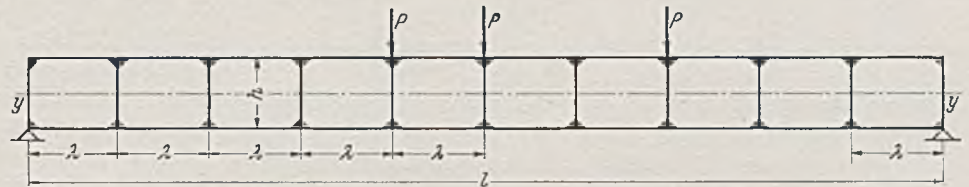


Abb. 1.

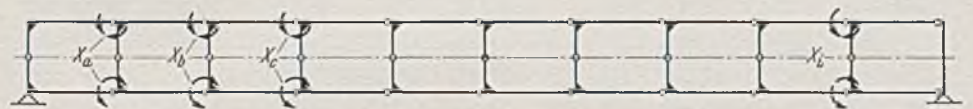


Abb. 2. Das Grundsystem.

Untersuchung verwickelterer Verhältnisse geschaffen werden. Ob und inwieweit diese vereinfachenden Annahmen über die Querschnittsverhältnisse die Resultate maßgeblich beeinflussen bzw. ob nicht für die weitaus meisten in der Praxis vorkommenden Aufgaben mit jenen Annahmen bei ausreichender Zuverlässigkeit der Ergebnisse gerechnet werden kann, diese Frage wird uns bei anderer Gelegenheit beschäftigen.

I.

1. Voraussetzungen der Rechnungen. — Wahl des Grundsystems und der Unbekannten. — Bezeichnungen.

a) Es wurde bereits erwähnt, daß wir hier vorerst ausschließlich eine Belastung durch Einzellasten P in den Knotenpunkten voraussetzen. — Des weiteren wird Symmetrie des Systems um die horizontale Mittelachse $y-y$ angenommen (Abb. 1). Im übrigen kann das Tragwerk beliebig viele, hier als gleich weit angenommene Felder haben. Bezeichnen wir die konstante Feldweite mit λ und die Zahl der Felder mit n , so ist die Spannweite

$$l = n \cdot \lambda.$$

Die Höhe des Trägers h (Entfernung der Schwerpunktslinien der Gurtungen) sei konstant; es handelt sich also um das Rahmentragwerk mit parallelen Gurtungen. Auch die Querschnitte der Gurtungen sollen als konstant und im Ober- und Untergurt einander gleich angenommen werden; letzteres ist übrigens schon durch die vorausgesetzte Symmetrie des Systems gefordert. Weiter setzen wir voraus, daß die Querschnitte der Ständer untereinander gleich sind; sie können aber verschieden sein von den Querschnitten der Gurtungen.

b) Wenn n Felder (Rahmen) vorhanden sind, ist das System im Grunde genommen $3n$ -fach statisch unbestimmt. Als Grundsystem, d. h. als statisch bestimmtes Hauptsystem, in dem alle Unbekannten entfernt sind, wählen wir die Kette von Dreigelenkbögen, wie sie in Abb. 2 dargestellt ist.

In dieser Hinsicht verwenden wir die gleichen Grundlagen für die Berechnung wie in der Abhandlung des Verfassers: „Die Berechnung des Stockwerkrahmens“⁴. Dort finden sich die näheren Angaben über die Kräfteverteilung im Grundsystem und über die

⁴ Bauing. 3 (1922) S. 18.

Ermittlung der elastischen Verschiebungen. Auf diese Unterlagen sei hier verwiesen.

Es bleibt in jedem Rahmen nur eine einzige Unbekannte, und zwar die Gruppe zweier entgegengesetzt gleicher Momente am Ende der Gurtungen. — Somit haben wir bei n Feldern statt $3n$ nur n Unbekannte.

Anmerkung: In jedem Dreigelenkrahn sind im Grunde genommen drei Unbekannte: nämlich die drei Momente in den Gelenkstellen. Wir wählen jedoch als Unbekannte eine Gruppe $X_a = 1$, bestehend aus zwei gleichen, aber entgegengesetzt gerichteten Einspannmomenten 1 , sodann eine Gruppe $X_b = 1$, bestehend aus zwei gleichen und gleichgerichteten Momenten 1 , und schließlich das Scheitelmoment X_c (Abb. 3).



Abb. 3a. Belastungs-Zustand $X_a = 1$.

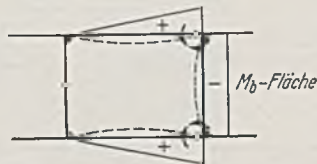


Abb. 3b. Belastungs-Zustand $X_b = 1$.



Abb. 3c. Belastungs-Zustand $X_c = 1$.

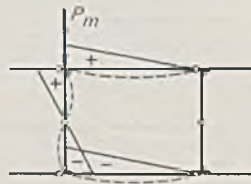


Abb. 3d. Belastungs-Zustand P_m .

Die diesen Belastungszuständen $X = 1$ entsprechenden Momentenflächen sind in den nebenstehenden Abb. 3a, 3b, 3c dargestellt. Der Belastungszustand durch eine äußere Last P in Richtung des Ständers ist in Abb. 3d angegeben.

Demnach ist die M_b -Fläche infolge der Last P am Kopfpunkt des Rahmens symmetrisch, aber zu beiden Seiten der Symmetrieachse entgegengesetzt gleich, d. h. die Teile der Momentenfläche oberhalb und unterhalb der horizontalen Achse sind entgegengesetzt gleich bzw. haben das umgekehrte Vorzeichen. — Dasselbe gilt von der M_a -Fläche infolge der Gruppe der entgegengesetzt gleichen Momente 1 . — Dagegen sind die M_c -Fläche ebenso wie die M_b -Fläche, d. h. die Momentenflächen infolge der beiden im Scheitelmoment wirkenden Momenten 1 (Gruppe $X_c = 1$) sowie [infolge der Gruppe aus zwei gleichgerichteten Momenten (Gruppe $X_b = 1$)] vollkommen symmetrisch, d. h. die Teile haben seitlich der Symmetrieachse auch das gleiche Vorzeichen.

Demnach ist:

$$[m b] = [m c] = 0; \quad [a b] = [a c] = 0.$$

Man erkennt ohne weiteres, daß diese Verschiebungen zu 0 werden, wenn man die ihnen entsprechenden Summenausdrücke nach der bekannten Gleichung für eine Verschiebung $[i k]$ anschreibt, z. B.

$$[a b] = \int M_a M_b \frac{ds}{EJ} = 0.$$

In diesem Ausdruck kommen die gleichen Beträge einmal positiv, das andere Mal negativ vor, so daß der Gesamtwert zu 0 wird.

Von 0 verschieden sind somit in den Elastizitätsgleichungen (Grundgleichungen) lediglich die Glieder $[a a]$, $[b b]$, $[c c]$, $[b c]$ sowie das Absolutglied $[a m]$. Daraus folgt: Es bleibt lediglich eine einzige Unbekannte übrig, und zwar X_a , d. h. die Gruppe der beiden entgegengesetzt gleichen Momente 1 am Fuß der Gurtungen. Die zweite Unbekannte X_b ebenso wie die dritte, das Scheitelmoment X_c , werden zu 0.

Übrigens läßt sich auch ohne weiteres übersehen, daß die beiden Unbekannten X_b und X_c zu 0 werden müssen. Denn wenn

man diese Werte in bekannter Weise als Quotienten zweier Verschiebungen des zweifach statisch unbestimmten Hauptsystems anschreibt, so erhält man für den Zählerwert z. B. von X_c den Ausdruck: $[m c \cdot 2] = \int M_c \cdot M_c \cdot 2 \cdot \frac{ds}{EJ}$. Da die M_c -Fläche vollkommen symmetrisch, die M_b -Fläche aber je zur Hälfte entgegengesetzt symmetrisch ist, so muß der Gesamtwert, d. h. der Zähler von X_c , zu 0 werden.

Das Grundsystem (Abb. 2) besteht also aus einer Kette von Dreigelenkbögen, wo in Ständermitte und am Ende der Gurtungen eines jeden Feldes ein Gelenk liegt. Die beiden entgegengesetzt gleichen Momente am Ende der Gurtungen bilden die einzige Unbekannte eines jeden Feldes. Bei n -Feldern gibt es also statt $3n$ nur n -Unbekannte.

2. Die Elastizitätsgleichungen — Berechnung der Verschiebungen des Grundsystems.

Die M_i -Fläche erstreckt sich nur über einen einzigen Rahmen i (vgl. Abb. 4). Man erkennt, daß der Belastungszustand $X_i = 1$ zu beiden Seiten der Symmetrie-Achse die entgegengesetzt gleichen Momente mit den Eckkoordinaten 1 ergibt, wobei lediglich die beiden Ständer und die beiden Gurtungen des Feldes i beansprucht werden. Jeder Ständer gehört dem Feld i sowie zugleich dem Nachbarfeld h bzw. k an.

Es ergibt sich somit für den $E \cdot J'$ -fachen Wert der Verschiebungen, wenn mit J' ein mittleres Trägheitsmoment bezeichnet wird:

$$E J' [i i] = 2 \cdot \lambda \cdot \frac{J'}{J_2} + \frac{2h}{3} \cdot \frac{J'}{J_h} = 2 \cdot \lambda' + \frac{2}{3} \cdot h'$$

$$E J' [i k] = -\frac{J'}{J_h} \cdot \frac{h}{3} = -\frac{h'}{3}.$$

In diesen Gleichungen ist

$$h' = h \cdot \frac{J'}{J_h}; \quad \lambda' = \lambda \cdot \frac{J'}{J_2}.$$

Wir können deshalb schreiben:

$$E J' [i h] = -\frac{h'}{3}$$

$$E J' [i k] = -\frac{h'}{3}$$

$$E J' [i i] = 2 \cdot \lambda' + \frac{2}{3} \cdot h'$$

$$[i \cdot a] = [i \cdot b] = [i \cdot c] = \dots = [i \cdot g] = 0.$$

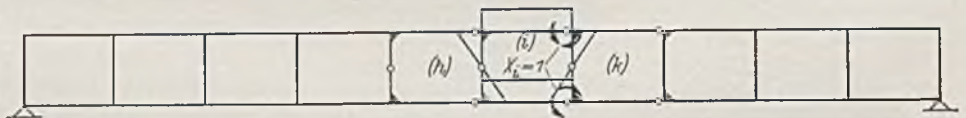


Abb. 4. Belastungs-Zustand $X = 1$ (am Grundsystem).

Es bleiben also in den Grundgleichungen nur die Diagonalglieder und die ersten seitlich der Diagonale stehenden Glieder übrig. Alle anderen Verschiebungen werden zu 0.

Somit haben wir dreigliedrige Elastizitätsgleichungen, d. h. wir haben im wesentlichen die gleichen einfachen Verhältnisse wie beim durchlaufenden Träger.

3. Die Auflösung der Elastizitätsgleichungen. — Berechnung der Unbekannten X_1 .

Wir folgen dem Gedankengang, den wir auch der Behandlung des durchlaufenden Trägers zugrundelegten³. Die für alle Rechnungen maßgeblichen Werte sind wiederum die Festwerte.

a) Ermittlung der Festwerte.

Nach den vorhin für die Verschiebungen angegebenen Gleichungen ergibt sich:

³ Vgl. Bauing. 1939, S. 461.

$$-\frac{[i k]}{[i i]} = \frac{h'/3}{2 \cdot \lambda' + \frac{2}{3} \cdot h'} = \frac{1}{2 \cdot \left(\frac{3 \cdot \lambda'}{h'} + 1 \right)}$$

Wir schreiben:

$$\mu = \frac{\lambda'}{h'} = \frac{\lambda \cdot J_h}{n \cdot J_\lambda}$$

Also wird:

$$L_{ab} = -\frac{[a b]}{[a a]} = \frac{1}{2(1 + 3\mu)}$$

Unter Anwendung dieser Gleichungen finden wir für die Festwerte folgende Ausdrücke:

$$I_{bc} = -\frac{[b c \cdot 1]}{[b b \cdot 1]} = -\frac{[b c]}{[b b] - \frac{[a b]}{[a a]} \cdot [a b]}$$

$$= \frac{h'/3}{2 \cdot \lambda' + \frac{2}{3} \cdot h' - I_{ab} \cdot \frac{h'}{3}} = \frac{1}{2(1 + 3\mu) - I_{ab}}$$

$$I_{cd} = -\frac{[c d \cdot 2]}{[c c \cdot 2]} = -\frac{[c d]}{[c c] - I_{bc} [b c]} = \frac{h'/3}{2 \cdot \lambda' + \frac{2}{3} \cdot h' - I_{bc} \cdot \frac{h'}{3}}$$

$$= \frac{1}{2 \cdot (1 + 3\mu) - I_{bc}}$$

Man erkennt, daß sich jeder folgende Festwert aus dem vorangehenden errechnet. Wir finden

$$L_{ab} = \frac{1}{2(1 + 3\mu)}$$

$$L_{bc} = \frac{1}{2(1 + 3\mu) - L_{ab}}$$

$$L_{cd} = \frac{1}{2(1 + 3\mu) - L_{bc}}$$

$$L_{de} = \frac{1}{2(1 + 3\mu) - L_{cd}}$$

Hier bietet sich nun die Möglichkeit einer wesentlichen Vereinfachung des Rechnungsganges, wenn man die Verhältnisse der praktisch durchweg in Frage kommenden Zahlenrechnungen berücksichtigt. Es zeigt sich nämlich, daß man im Nenner die Glieder L , die mehr oder minder kleine echte Brüche darstellen, gegenüber dem konstanten Glied $2(1+3\mu)$ vernachlässigen kann.

Um das an einem Zahlenbeispiel zu erläutern, betrachten wir den Fall des Rahmenfachwerks mit quadratischen Feldern, wo also $h = \lambda$ ist und der Einfachheit halber mit einem allenthalben gleichen Trägheitsmoment, also $h' = \lambda'$ und somit $\mu = 1$ gerechnet werden soll. Dann wird

$$L_{ab} = \frac{1}{2(1 + 3)} = 0,125$$

$$L_{bc} = \frac{1}{8 - \frac{1}{8}} = 0,127$$

$$L_{cd} = \frac{1}{8 - 0,127} = 0,127.$$

Die Unterschiede der einzelnen Werte L sind praktisch belanglos, sie werden noch geringer, wenn $\frac{\lambda}{h} > 1$ ist. Für Werte $\frac{\lambda}{h} < 1$ kann ebenfalls die Annäherung im allgemeinen noch als statthaft angesehen werden. Z. B. wird für $\frac{\lambda'}{h'} = 0,50$

$$L_{ab} = \frac{1}{2(1 + 3 \cdot 0,5)} = \frac{1}{5} = 0,200$$

$$L_{bc} = \frac{1}{5 - 0,20} = 0,208$$

$$I_{cd} = \frac{1}{5 - 0,208} = 0,209$$

$$L_{de} = \frac{1}{5 - 0,209} = 0,209.$$

Man ersieht, daß auch hier, in diesem ungünstigen Falle, die Unterschiede praktisch den Rechnungsgang nicht maßgeblich beeinflussen können.

Machen wir nun von dieser Vereinfachung Gebrauch, so können wir die Festwerte $L = \text{const.}$ und alle gleich $L_{ab} = L$ setzen, d. h.

$$L_{ab} = L_{bc} = L_{cd} = L_{de} = \dots = L = \frac{1}{2 \cdot (1 + 3\mu)}$$

$$L = \frac{1}{2 \left(1 + 3 \cdot \frac{\lambda}{h} \cdot \frac{J_h}{J_\lambda} \right)} = \frac{1}{2(1 + 3\mu)}$$

wo

$$\mu = \frac{\lambda'}{h'} = \frac{\lambda}{h} \cdot \frac{J_h}{J_\lambda}$$

Wenn wir analog der Berechnung des durchlaufenden Trägers die vom rechten Trägerende ansetzenden Festwerte R berechnen, so ergeben sich wegen der Gleichheit der Felder und der Querschnitte dieselben Werte für R wie für L . Wir haben also nur mit dem aus Gl. (1) sich ergebenden konstanten Festwert $L = R$ zu rechnen.

Damit ergibt sich aber ein überraschend einfacher Rechnungsgang für die nunmehr zu besprechende Ermittlung der Unbekannten.

b) Die Berechnung der Unbekannten X aus den Festwerten. — Darstellung der Momentenfläche des $(\nu-1)$ -fach statisch unbestimmten Hauptsystems ($M_{i,\nu-1}$ -Fläche) und der M_0 -Fläche ($P_m = 1$ am Grundsystem).

Wir ermitteln in gewohnter Weise jede Unbekannte X_i am ν -fach statisch unbestimmten System nach der Gleichung

$$X_i = -\frac{[i m, \nu - 1]}{[i i, \nu - 1]}$$

d. h. als Quotient zweier Verschiebungen des Angriffspunktes i von X_i , und zwar der Verschiebungen infolge der äußeren Belastungen P_m (Zählerwert) und infolge der Belastung $X_i = 1$ (Nennerwert). Es handelt sich dabei um Verschiebungen des $\nu-1$ -fach statisch unbestimmten Hauptsystems, welches nach Beseitigung von X_i (ν -te Unbekannte) übrig bleibt.

Zähler und Nenner-Wert lassen sich als Summenausdrücke darstellen, und zwar ist

$$X_i = -\frac{\int M_{i,\nu-1} \cdot M_m \cdot d_s \cdot \frac{J'}{J} + \int Q_{i,\nu-1} \cdot Q_m \cdot d_s \cdot \frac{J' K}{K F} + \int N_{i,\nu-1} \cdot N_m \cdot d_s \cdot \frac{J'}{F}}{\int M_{i,\nu-1} \cdot M_i \cdot d_s \cdot \frac{J'}{J} + \int Q_{i,\nu-1} \cdot Q_i \cdot \frac{d_s \cdot K J'}{F} + \int N_{i,\nu-1} \cdot N_i \cdot d_s \cdot \frac{J'}{F}}$$

Wenn wir, was durchweg zulässig ist und die Resultate nur unwesentlich beeinflusst, lediglich die Momente bei der Formänderungsarbeit berücksichtigen, so ergibt sich die vereinfachte Gleichung:

$$X = -\frac{\int M_{i,\nu-1} \cdot M_m \cdot d_s \cdot \frac{J'}{J}}{\int M_{i,\nu-1} \cdot M_i \cdot d_s \cdot \frac{J'}{J}}$$

Wir haben dabei schon für die Bezeichnungen M_0 und M_i zum Ausdruck gebracht, daß wir von der bekannten Regel Gebrauch machen, wonach man bei der Berechnung einer Verschiebung eines statisch unbestimmten Systems die ursächliche Belastung (äußere Last P bzw. $X = 1$) am statisch bestimmten Grundsystem angreifen lassen kann, ohne daß das Ergebnis dadurch beeinflusst würde. (Reduktionssatz — vgl. Kompendium der Statik der Baukonstruktionen II, S. 38.) Demnach sind für die Berechnung von X_i drei Momentenflächen anzugeben:

Die Momentenfläche des $\nu-1$ -fach statisch unbestimmten Hauptsystems für die Belastung $X_i = 1$ ($M_{i,\nu-1}$ -Fläche) und die Momentenflächen des statisch bestimmten Grundsystems infolge

der Belastung $X_i = 1$ (M_i -Fläche) bzw. infolge der äußeren Belastung P (M_0 -Fläche).

Die M -Fläche wurde bereits im Abschnitt 1 in Abb. 4 dargestellt. Die beiden außerdem noch in Frage kommenden Momentenflächen sollen zunächst besprochen werden.

Die $M_{i, \nu-1}$ -Fläche ist in Abb. 5 dargestellt.

Zur Erläuterung sei folgendes ausgeführt:

Grundsätzlich sind die Verhältnisse die gleichen wie beim kontinuierlichen Träger¹, wo ebenfalls dreigliedrige Elastizitätsgleichungen zu lösen sind. Der wesentliche Gesichtspunkt ist, daß jedes benachbarte Einspannmoment sich aus dem vorhergehenden ergibt durch Multiplikation mit einem Festwert L . Da diese Festwerte alle den gleichen Wert L haben, so stellen sich die Produkte

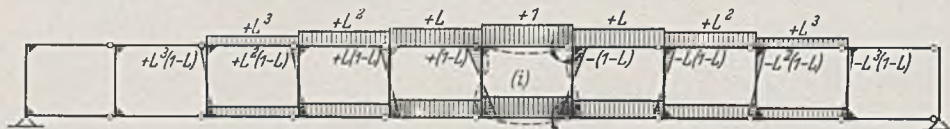


Abb. 5. Zustand $X_{i, \nu-1} = 1$.

der Festwerte als Potenzen von L dar. — Wenn also in i (Angriffspunkt von X_i) die Gruppe $X_i = 1$ wirkt, so entsteht im Nachbarfeld h die Momentengruppe L , im nächsten Feld g die Last L^2 usw. Dasselbe Bild ergibt sich rechts von i in den Feldern k, l, m, \dots , wo der Reihe nach ebenfalls die Momentengruppen $X_k = L, X_l = L^2, X_m = L^3, \dots$ usw. wirken.

Jede Einzellast $X_i = 1, X_h = L, X_g = L^2, \dots$, die insgesamt die Momentengruppe $X_{i, \nu-1} = 1$ darstellen, erstreckt ihren Einfluß nur über den jeweiligen Einzelrahmen i, h, g, \dots . Der Verlauf der Momentenfläche für jeden Einzelrahmen entspricht dem in Abb. 4

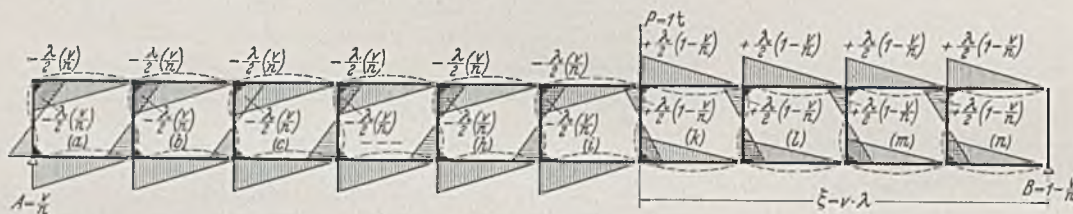


Abb. 6. M_0 -Fläche.

dargestellten Zustand für $X_i = 1$. Die Momentenflächen überschneiden sich also nur auf den vertikalen Ständern, die zwei benachbarten Feldern gemeinsam sind.

Dort wirkt die Differenz der Momente der benachbarten Felder, also $1-L$ zwischen h und $i, L-L^2 = L \cdot (1-L)$ zwischen g und h usw. ... s. Abb. 5.

Was die Vorzeichen anbelangt, so soll folgende Regel gelten: In den Gurtungen sollen die Momente positiv sein, wenn diese Gurtungen nach dem Rahmeninnern zu verbogen werden, d. h. wenn an der Innenseite der Gurtungen Zug entsteht.

In den Vertikalen sollen die Momente positiv sein, wenn diese Vertikalen nach dem Innern desjenigen Rahmens hin verbogen werden, zu dem die Vertikale gehört (vgl. Fig. 5 h , als zum Rahmen i gehörig; Verbiegung wie angegeben).

Die M_0 -Fläche, d. h. die Momentenfläche des statisch bestimmten Systems für äußere Belastung, ist in Abb. 6 dargestellt. Hierzu ist folgendes zu bemerken:

Wir untersuchen lediglich den Fall der Belastung der Knotenpunkte. Die direkte Belastung der Gurtungen zwischen den Knotenpunkten bedarf einer besonderen Untersuchung, die bei anderer Gelegenheit folgen wird. In vorstehender Abb. 6 ist der Fall einer Last 1 am rechten Rand des Feldes i dargestellt. Die Last greift im Abstand $\xi = \nu \cdot \lambda$ vom rechten Auflager aus an, d. h. ν ist die Zahl der Felder rechts vom Angriffspunkt der Last P .

Die Gesamtzahl der Felder sei n , so daß die Spannweite $l = n \cdot \lambda$ ist. Dann sind die Auflagerdrücke infolge der äußeren Last $P = 1$

$$A = \frac{1 \cdot \nu}{n} \text{ bzw. } B = 1 - \frac{\nu}{n}$$

Diese Auflagerdrücke stellen zugleich die Querkräfte links bzw. rechts vom Lastangriff $P = 1$ dar. Die Querkraft $A = \frac{\nu}{n}$ verteilt sich in jedem Dreigelenkbogen der Felder $a, b, n \dots i$ je zur Hälfte auf die beiden Auflager, d. h. auf die Gelenke am Ober- und Untergurt. Damit ergibt sich das Eckmoment zu $\frac{\nu}{n} \cdot \left(\frac{\lambda}{2}\right)$, und zwar in der oberen Hälfte negativ, in der unteren positiv entsprechend unserer Vorzeichenregel. Im rechten Balkenteile gilt das entsprechende für die Querkraft $B = 1 - \frac{\nu}{n}$, der gleiche Wert, nämlich $\frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{\nu}{n}\right)$ wirkt in jedem Gelenk am Ober- und Untergurt der Felder k bis n , so daß die Eckmomente den Wert $\frac{\lambda}{2} \left(1 - \frac{\nu}{n}\right)$ annehmen, und zwar oben positiv und unten negativ. Der Wechsel der Vorzeichen tritt bei der Last P ein, und zwar mit der Vertikalen h_k des Rahmens k .

Damit ist die M_0 -Fläche gegeben. Bei Stellung der Last P in einem anderen Knotenpunkte verschieben sich nur die beiden Teile der M_0 -Fläche rechts und links von P entsprechend; das Gesamtbild bleibt dasselbe.

4. Berechnung geschlossener Ausdrücke für die Verschiebungen des $(\nu-1)$ fach statisch unbestimmten Hauptsystems, d. h. des Zähler- und Nennerwertes der Unbekannten X_i — Werte der Ordinaten der Einflußlinien.

a) Der Nennerwert: $[i \cdot \nu - 1] = \int M_i M_{i, \nu-1} \cdot \frac{ds \cdot J'}{J}$

J' ist ein mittleres Trägheitsmoment und wird hier gleich dem J der Gurtung gesetzt. M_i bedeutet die Ordinaten der Momentenfläche für die Belastung $X_i = 1$ am Grundsystem (Abb. 4). $M_{i, \nu-1}$ stellt die Ordinaten der $M_{i, \nu-1}$ -Fläche dar, d. h. der Momentenfläche infolge $X_i = 1$ am $(\nu-1)$ -fach statisch

unbestimmten Hauptsystem (Abb. 5). — Die Integration erstreckt sich also lediglich über den Rahmen (i) , in dem $X_i = 1$ wirkt.

Es ergibt sich:

$$[i \cdot \nu - 1] = 2 \cdot \lambda' + 2 \cdot \frac{h'}{3} \cdot 1 \cdot (1-L) = \frac{2}{3} \cdot \lambda' \left[3 + \frac{h'}{\lambda'} \cdot (1-L) \right]$$

Hier ist gemäß den bereits früher gewählten Bezeichnungen:

$$\frac{\lambda'}{h'} = \mu; \quad L = \frac{1}{2(1+3\mu)}$$

also

$$\mu = \frac{1}{6} \cdot \frac{1-2L}{L} \text{ bzw. } \frac{h'}{\lambda'} = \frac{1}{\mu} = \frac{6L}{1-2L}$$

Somit wird:

$$[i \cdot \nu - 1] = \frac{2}{3} \cdot \lambda' \left[3 + \frac{6L(1-L)}{1-2L} \right] = 2 \cdot \lambda' \cdot \frac{1-2L+2L-2L^2}{1-2L}$$

Wenn wir den kleinen Wert $2L^2$ gegen 1 vernachlässigen, so ergibt sich:

$$[i \cdot \nu - 1] = \frac{2 \cdot \lambda'}{1-2L}$$

b) Der Zählerwert: $[i \cdot \nu - 1] = \int M_0 M_{i, \nu-1} \cdot ds \cdot \frac{J'}{J}$

Dieser Summenwert erstreckt sich über das ganze System, da sich sowohl die M_0 -Fläche wie die $M_{i, \nu-1}$ -Fläche über sämtliche Einzelrahmen des Grundsystems ausdehnt (Abb. 5 und 6).

Es wird:

$$[i \cdot \nu - 1] = -2 \cdot \frac{\lambda'}{2} \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \left(\frac{\nu}{n}\right) \cdot [1 + L + L^2 + L^3 \dots]$$

¹ Vgl. Baurg. 20 (1939) S. 461.

$$\begin{aligned}
 & + 2 \cdot \frac{\lambda'}{2} \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \left(1 - \frac{v}{n}\right) \cdot L [1 + L + L^2 + L^3 \dots] \\
 & - \frac{h'}{3} \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{v}{n} (1-L) \cdot [1 + L + L^2 + L^3 + \dots] \\
 & - \frac{h'}{3} \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot \left(1 - \frac{v}{n}\right) \cdot (1-L) [1 + L + L^2 + L^3 \dots].
 \end{aligned}$$

$$P = 1 \text{ am Rand des Feldes } f: X_i = -\frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v'}{n} \right) - L^3 (1+L) \right].$$

Die Glieder in den einzelnen Reihen stellen die Ergebnisse der Integrationen dar über die Gurtungen links von P (erste Reihe), über die Gurtungen rechts von P (zweite Reihe), über die Vertikalen links von P (dritte Reihe), und rechts von P (vierte Reihe).

Wir setzen:

$$1 + L + L^2 + L^3 + \dots = \frac{1-L^n}{1-L} \approx \frac{1}{1-L},$$

wobei L^n gegen 1 vernachlässigt werden kann, da L ein kleiner Wert (echter Bruch) ist.

Also wird:

$$\begin{aligned}
 [i \cdot m \cdot v - 1] &= -\frac{\lambda' \cdot \lambda}{2} \cdot \left(\frac{v}{n} \right) \cdot \frac{1}{1-L} + \frac{\lambda' \cdot \lambda}{2} \cdot \left(1 - \frac{v}{n} \right) \cdot \frac{L}{1-L} \\
 & - \frac{h' \cdot \lambda}{6} \cdot \left(\frac{v}{n} \right) \cdot -\frac{h' \cdot \lambda}{6} \cdot \left(1 - \frac{v}{n} \right) = -\frac{\lambda' \cdot \lambda}{2} \cdot \left(\frac{v}{n} \right) \cdot \frac{1}{1-L} \\
 & + \frac{\lambda' \cdot \lambda}{2} \cdot \left(1 - \frac{v}{n} \right) \cdot \frac{L}{1-L} - \frac{h' \cdot \lambda}{6}.
 \end{aligned}$$

Wir setzen:

$$\frac{h'}{\lambda'} = \frac{6L}{1-2L} \quad \text{oder} \quad \frac{h' \cdot \lambda}{6} = \frac{h'}{\lambda'} \cdot \frac{\lambda' \cdot \lambda}{6} = \lambda' \cdot \lambda \cdot \frac{L}{1-2L}.$$

Somit wird:

$$\begin{aligned}
 [i \cdot m \cdot v - 1] &= -\frac{\lambda' \cdot \lambda}{2} \cdot \left(\frac{v}{n} \right) \cdot \frac{1}{1-L} + \frac{\lambda' \cdot \lambda}{2} \cdot \left(1 - \frac{v}{n} \right) \cdot \frac{L}{1-L} \\
 & - \lambda' \cdot \lambda \cdot \frac{L}{1-2L}.
 \end{aligned}$$

Da wir $1 - 2L = (1-L)^2$ setzen können, so erhalten wir nach gehöriger Vereinfachung

$$\begin{aligned}
 [i \cdot m \cdot v - 1] &= -\frac{\lambda' \cdot \lambda}{2} \cdot \frac{1}{1-2L} \left[\left(\frac{v}{n} \right) \cdot (1-L) \right. \\
 & \left. - \left(1 - \frac{v}{n} \right) \cdot L \cdot (1-L) + 2L \right] \\
 & = \frac{\lambda' \cdot \lambda}{2} \cdot \frac{1}{1-2L} \left[\left(\frac{v}{n} \right) + L(1+L) \right].
 \end{aligned}$$

Nach Division durch den oben ermittelten Nennerwert $[i \cdot m \cdot v - 1]$ ergibt sich für den Wert der Unbekannten X_i für die Belastung $P = 1$ am Felde i:

$$X_{i \cdot v} = 1 \cdot \frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v}{n} \right) + L(1+L) \right].$$

In gleicher Weise ist die Rechnung zu entwickeln für jede beliebige Belastung P in irgendeinem sonstigen Knotenpunkt. Dabei finden wir, wenn wir der Reihe nach die Last in die Knotenpunkte am Ende der folgenden Felder setzen, die nachstehend angegebenen einfachen Beziehungen für die Ordinaten der Einflußlinien:

Für die Belastung:

$P = 1$ am Rand des Feldes i (s. Abb. 6):

$$X_i = +\frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v}{n} \right) + L(1+L) \right]$$

$$P = 1 \text{ ,, ,, ,, ,, } k: X_i = +\frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v}{n} \right) + L^2(1+L) \right]$$

$$P = 1 \text{ ,, ,, ,, ,, } l: X_i = +\frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v}{n} \right) + L^3(1+L) \right].$$

Für die Belastung:

$P = 1$ am Rand des Feldes h (links von i):

$$X_i = -\frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v'}{n} \right) - L(1+L) \right]$$

$$P = 1 \text{ ,, ,, ,, ,, } g: X_i = -\frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v'}{n} \right) - L^2(1+L) \right]$$

Man erkennt: Die Ordinaten der Einflußlinie der Unbekannten X_i haben den Multiplikator $\lambda/4$ und das positive Vorzeichen rechts, das negative links vom Felde i, in dem die Unbekannte X_i wirkt. — Das erste Glied (v/n) bzw. (v'/n) stellt die Ordinate einer Geraden dar, die über dem Auflager die Endordinate 1 hat. Über diese Geradelage tritt eine Kurve, deren Ordinaten nach Potenzen des Festwertes L abfallen, und zwar rechts vom Felde i mit positivem, links von i mit negativem Vorzeichen.

Damit ergibt sich die in Abb. 7 dargestellte Form der X_i -Linie.

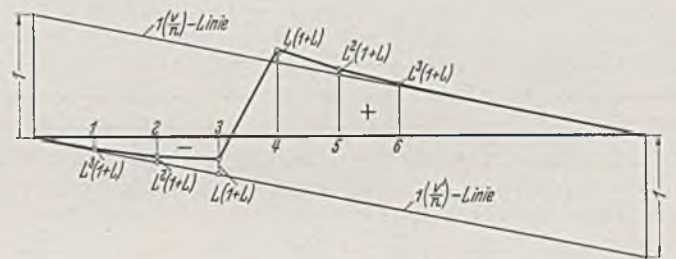


Abb. 7. Einflußlinie der Unbekannten X_i (d. i. der Gruppe der entgegengesetzt gleichen Momente im Felde i).

Es bedarf somit zur Darstellung der X_i -Linie nur der Berechnung des Festwertes L bzw. der Potenzen von L, also $L^2, L^3, L^4 \dots$. Diese Werte fallen rasch ab, und zwar wird durchweg schon der Wert L^3 und erst recht L^4 so klein, daß er in der graphischen Darstellung kaum mehr hervortritt.

In gleicher Weise wie für X_i sind die Einflußlinien aller übrigen Unbekannten aufzutragen. Der Verlauf ist der gleiche, wenigstens vom zweiten Feld b ab, d. h. die Unbekannten des zweiten bis zum vorletzten Feld haben alle den in vorstehender Abb. 7 angegebenen charakteristischen Verlauf. Hierbei liegt der Wechsel bzw. Übergang vom positiven zum negativen Teil jeweils in dem

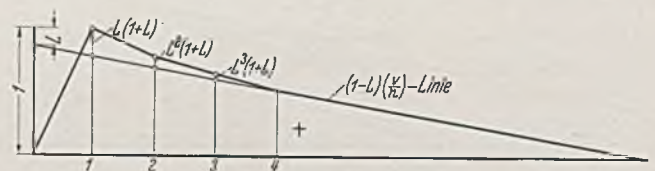


Abb. 8. Einflußlinie der Unbekannten X_a , d. h. der Momentengruppe im ersten Feld.

betreffenden Feld, in dem die Unbekannte wirkt. — Nur für die beiden Endfelder, also für die Unbekannten X_a und X_n ergibt sich ein etwas anderer Verlauf, und zwar hat die X_a -Linie die nachstehend angegebene Form.

X_a -Linie. — Einflußlinie der Unbekannten des ersten Feldes.

Die Ordinaten der X_a -Linie werden auf die gleiche Art einzeln errechnet wie vorhin für die X_i -Linie angegeben wurde. Man findet die hier angegebene Form und die folgenden Werte der Ordinaten.

$$X_{a1} = +\frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v}{n} \right) (1-L) + L(1+L) \right];$$

$$X_{a2} = +\frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v}{n} \right) (1-L) + L^2(1+L) \right];$$

$$X_{a3} = +\frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v}{n} \right) (1-L) + L^3(1+L) \right].$$

5. Die Einflußlinien sonstiger statischer Größen, der Momente, Querkräfte und Normalkräfte.

Wenn die Einflußlinien der Unbekannten gefunden sind, ist die Aufgabe im Grunde genommen als gelöst anzusehen. Jede sonstige statische Größe S bestimmt sich in bekannter Weise nach dem Gesetz:

$$S = S_0 + S_a \cdot X_a + S_b \cdot X_b + \dots + S_n \cdot X_n.$$

Hier ist S_0 der Wert der Größe S im Grundsystem infolge der äußeren Last $P_m = 1$ (S_0 -Linie), die Werte S_a, S_b, \dots, S_n stellen die Werte von S infolge der Belastungen $X_a = 1, X_b = 1, \dots, X_n = 1$ dar.

Einige Beispiele seien hier kurz angeführt.

a) Fragt man z. B. nach der Einflußlinie für das Moment am anderen Ende der Gurtung im Felde i, das wir mit M_i' (entsprechend dem Wert $M_i = X_i$) bezeichnen wollen, so ergibt die Anwendung vorstehender Gleichung für S den Ausdruck:

$$M_i' = M_{i0}' + 1 \cdot X_i.$$

Es ist nämlich M_i' außer durch P_m (Wert M_{i0}') nur von der Unbekannten X_i beeinflusst, und zwar hat S_i infolge $X_i = 1$ den Wert 1 (Abb. 9). — Setzt man für M_{i0}' den Wert der Ordinate der Einflußlinie ein, nämlich $-\frac{\lambda}{2} \cdot \left(\frac{v}{n}\right)$ und ebenso den Wert für $X_i = \frac{\lambda}{4} \cdot \left[\left(\frac{v}{n}\right) + L(1 + L)\right]$, so erhält man für die Laststellungen rechts vom Felde i:

$$M_i = -\frac{\lambda}{4} \left(\frac{v}{n}\right) + 1 \cdot \frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v}{n}\right) + L(1 + L)\right]$$

oder

$$M_i' = -\frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v}{n}\right) - L(1 + L)\right].$$

Ebenso findet man für die Ordinaten links vom Felde i:

$$M_i' = +\frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v}{n}\right) + L(1 + L)\right].$$

Damit ergibt sich die in untenstehender Abb. 9 dargestellte Form der Einflußlinie für M_i' .

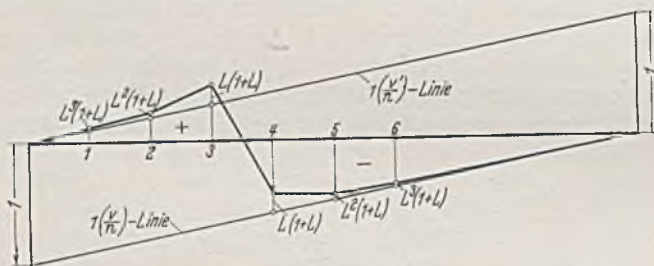


Abb. 9. M_i' -Linie: Einflußlinie der Momentengruppe am linken Ende der Gurtung im Felde i.

b) Wir geben noch die Form der Einflußlinie für das Moment am Kopf der Vertikalen im Felde i (bzw. der Querkraft in dieser Vertikalen in Feld i) an. Hierbei ist zu beachten, daß das Moment am Kopf der Vertikalen proportional der Querkraft ist ($M = Q \cdot h/2$). — Wir bezeichnen das Moment im Punkte H am Kopf der Vertikalen mit M_{H1}'' (Abb. 8). Es ist:

$$M_{H1}'' = M_0 + M_i \cdot X_i - M_h \cdot X_h = M_0 + X_i - X_h.$$

Denn nur die Unbekannten X_i und X_h haben einen Einfluß auf das besagte Moment M_{H1}'' , und zwar sind die Werte S_i und S_h gleich +1 bzw. -1 (vgl. die oben angegebene Gleichung für eine Größe S).

Also ergibt sich:

$$M_{H1}'' = -\frac{\lambda}{2} \cdot \left(\frac{v}{n}\right) + X_i - X_h \text{ für Lasten rechts von H, ab J bis N;}$$

$$M_{H1}'' = +\frac{\lambda}{2} \cdot \left(\frac{v}{n}\right) + X_i - X_h \text{ für Lasten in H und links von H.}$$

Setzt man die früher gefundenen Werte von X_i und X_h ein, so findet man:

$$\text{für die Last P in J: } M_{H1}'' = -\frac{\lambda}{4} \left[2 \cdot \left(\frac{v}{n}\right) - L\right];$$

$$\text{für die Last P in K: } M_{H1}'' = -\frac{\lambda}{4} \left[2 \cdot \left(\frac{v}{n}\right) - L^2\right];$$

$$\text{für die Last P in H: } M_{H1}'' = +\frac{\lambda}{4} \left[2 \cdot \left(\frac{v}{n}\right) - 1\right];$$

$$\text{für die Last P in G: } M_{H1}'' = +\frac{\lambda}{4} \left[2 \cdot \left(\frac{v}{n}\right) - L\right];$$

$$\text{für die Last P in F: } M_{H1}'' = +\frac{\lambda}{4} \left[2 \cdot \left(\frac{v}{n}\right) - L^2\right].$$

Hiernach ergibt sich die in Abb. 10 dargestellte Form der Einflußlinie für M_{H1}'' :

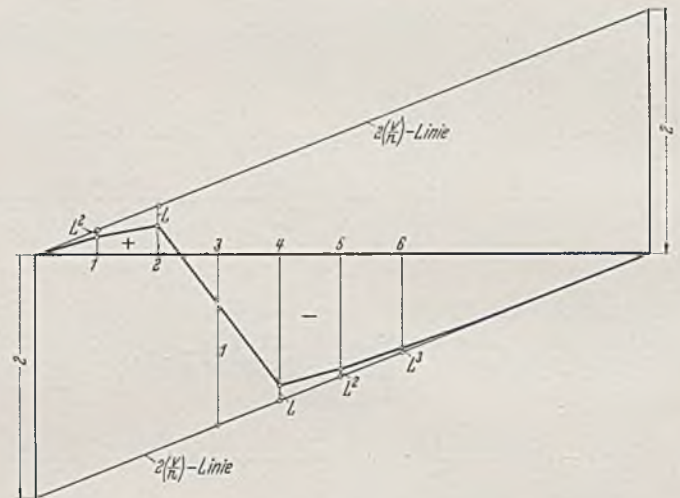


Abb. 10. M_{H1}'' -Linie: Einfluß des Momentes am Kopf der Vertikalen (h) im Felde i.

Also auch die Einflußlinien für die Momente am Kopf der Vertikalen bzw. für die Querkräfte in den Vertikalen ergeben sich in einfachster Form: Über die Geraden mit der Endordinate z lagert sich eine Kurve, die durch die schnell abfallenden Potenzen des Festwertes L gegeben ist.

In gleicher Weise lassen sich alle Einflußlinien für die Momente, Querkräfte und Normalkräfte in den einzelnen Feldern ermitteln. Alle haben die vorhin angegebene charakteristische Form. Besonderheiten ergeben sich nur für die beiden Endfelder.

c) Die Einflußlinie der Normalkraft der Gurtung im Felde (i).

Wie in nebenstehender Abb. 11 angegeben, möge das rechte Ende des Feldes (i), zu dem der zu untersuchende Gurt (hier Obergurt O) gehört, den Abstand $x = m \cdot \lambda$ bzw. $x' = m' \cdot \lambda$ von den Auflagern haben. Die äußere Last P greife im Abstand $v \cdot \lambda$ bzw. $v' \cdot \lambda$ von den Auflagern an.



Abb. 11.

Es ist

$$N = N_0 + N_i \cdot X_i$$

$$N_i = +\frac{1}{h/2} = \frac{2}{h}$$

$$N_0 = \pm \frac{v \cdot \lambda}{1} \cdot \frac{x'}{h} = \pm \frac{v \cdot \lambda}{n \cdot \lambda} \cdot m' \cdot \frac{\lambda}{h} = \frac{v}{n} \cdot m' \cdot \frac{\lambda}{h}$$

$$O = -\left(\frac{v}{n}\right) \cdot m' \cdot \frac{\lambda}{h} + \frac{2}{h} \cdot X_i \text{ (für P rechts von o)}$$

$$O = -\left(\frac{v'}{n}\right) \cdot m \cdot \frac{\lambda}{h} + \frac{2}{h} \cdot X_1 \quad (\text{für } P \text{ links von } o).$$

Nach dieser Gleichung ergibt sich z. B.

für P im ersten Punkt rechts von o, d. h. am Rand des Feldes (i):

$$\begin{aligned} O &= -\left(\frac{v}{n}\right) \cdot m' \cdot \frac{\lambda}{h} + \frac{2}{h} \cdot \frac{\lambda}{4} \left[\left(\frac{v}{n}\right) + L(1+L) \right] \\ &= -\frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{h} \left[2 \cdot \left(\frac{v}{n}\right) \cdot m' - \left(\frac{v}{n}\right) - L(1+L) \right] \\ &= -\frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{h} \cdot \left[\left(\frac{v}{n}\right) (2 \cdot m' - 1) - L(1+L) \right]; \end{aligned}$$

Für P im zweiten Punkt rechts von o findet sich entsprechend:

$$O = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{h} \left[\left(\frac{v}{n}\right) (2 \cdot m' - 1) - L^3(1+L) \right].$$

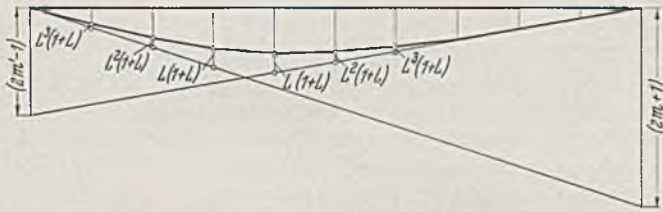


Abb. 12. Einflußlinie für die Normalkraft O im Obergurt.

Für P im ersten Punkt links von o, d. h. am linken Rand des Feldes (i)

$$\begin{aligned} O &= -\left(\frac{v'}{n}\right) \cdot m \cdot \frac{\lambda}{h} - \frac{2}{h} \cdot \frac{\lambda}{4} \left[\frac{v'}{n} - L(1+L) \right] \\ &= -\frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{h} \left[\left(\frac{v'}{n}\right) (2 \cdot m + 1) - L(1+L) \right] \quad \text{usw.} \end{aligned}$$

Damit ergibt sich die in Abb. 12 dargestellte Einflußlinie für die Normalkraft O im Obergurt:

d) Einflußlinie der Normalkraft in einer Vertikalen.

Hier liegen die Verhältnisse sehr einfach, weil die Normalkraft einer Vertikalen unabhängig ist von den Unbekannten X (N_i infolge X_i gleich o). Also ist für jede Vertikale N gleich der Normalkraft im Grundsystem, d. h.

$$N = N_0.$$

Ein Wert N₀ infolge einer Last P tritt aber nur in der Vertikalen auf, über der die Last P wirkt, und zwar ist

$$N = N_0 = \frac{P}{2}.$$

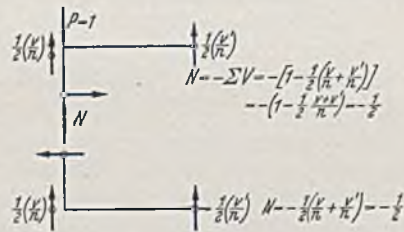


Abb. 13.

In allen übrigen Vertikalen — abgesehen von den Endvertikalen — ist N = o.

Man erkennt dies ohne weiteres, wenn man den belasteten Rahmen herauszeichnet (Abb. 13).

In den Endvertikalen wirken dementsprechend die halben Werte der Auflagerkräfte, also

$$\begin{aligned} N &= \frac{A}{2} = -\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{v}{n}\right) \\ \text{bzw.} \quad N &= \frac{B}{2} = -\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{v'}{n}\right). \end{aligned}$$

Für die Endvertikalen haben wir also eine Einflußlinie, die übereinstimmt mit der Einflußlinie für den Auflagerdruck des einfachen Balkens, nur ist die Endordinate nicht 1, sondern 1/2.

e) Einflußlinien der Querkräfte in den Gurtungen.

Hier liegen die Verhältnisse ähnlich einfach. Die Unbekannten X erzeugen keine Querkräfte in den Gurtungen, also ist

$$Q_i = 0.$$

Es ist also:

$$Q = Q_0.$$

d. h. die Querkraft in einem Gurtstab ist gleich derjenigen der Querkraft des Stabes im Grundsystem. Dennoch hat die Einflußlinie für die Querkraft einer Gurtung die Form der Geraden, wie beim einfachen Balken, nur mit der Endordinate 1/2 statt 1. — Die Querkraft verteilt sich je zur Hälfte auf den Ober- und Untergurt.

11.

Auf Grund der vorstehenden Ergebnisse und unter Verwertung der Ordinaten der Einflußlinien lassen sich nun mancherlei Fragen beantworten, die für die praktischen Aufgaben, insbesondere auch für Näherungsrechnungen, von Interesse sind.

1. Lage der Momenten-Nullpunkte in den Gurtungen bei beliebigem Lastangriff durch eine Einzellast (Abb. 14).

Greift am Rand eines Feldes (i) eine Einzellast P an, so ist die Lage der Momenten-Nullpunkte durch das Verhältnis der Endmomente der Obergurtstäbe, also M_J : M_H bzw. M_J : M_K oder M_K : M_L und M_H : M_G usw. gegeben.

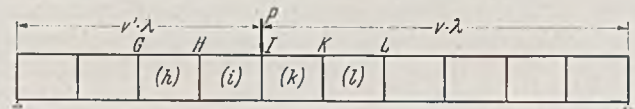


Abb. 14.

Es ist im Feld (i) (Gurtstab JH):

$$\begin{aligned} M_J &= X_1 = +\frac{\lambda}{4} \cdot \left[\left(\frac{v}{n}\right) + L(1+L) \right] \\ M_H &= -\frac{\lambda}{4} \cdot \left[\left(\frac{v}{n}\right) - L(1+L) \right]. \end{aligned}$$

Hieraus errechnen sich die Teilabschnitte x und y (Abb. 15) wie folgt:

$$\begin{aligned} x &= \frac{\lambda}{2} \left[1 - \frac{L(1+L)}{\left(\frac{v}{n}\right)} \right]; \\ y &= \frac{\lambda}{2} \left[1 + \frac{L(1+L)}{\left(\frac{v}{n}\right)} \right]. \end{aligned}$$

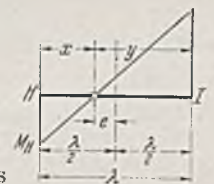


Abb. 15.

Die Entfernung e des Momenten-Nullpunktes von der Mittellinie beträgt also:

$$e_i = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{L(1+L)}{\left(\frac{v}{n}\right)}$$

Im Nachbarfeld (k) berechnet sich entsprechend aus dem Verhältnis der Momente M_J' (rechts neben J) und M_K (d. i. X_k) die Entfernung e_k wie folgt:

$$e_k = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{L(1+L)}{\left(\frac{v'}{n}\right)}$$

Damit ist die Lage der Momenten-Nullpunkte in den beiden ersten Feldern links und rechts von dem Lastangriffspunkt J gegeben.

In den beiden nächsten Feldern h und l ergeben sich die Abstände der Gelenkpunkte von der Mittellinie zu:

$$\begin{aligned} e_h &= \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{L^2(1+L)}{\left(\frac{v}{n}\right)} \\ e_l &= \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{L^2(1+L)}{\left(\frac{v'}{n}\right)}, \end{aligned}$$

d. h. der Abstand ist proportional der 2ten Potenz des Festwertes L und entsprechend in den nächsten Feldern proportional L³, L⁴... usw.

Hiernach ergibt sich die in Abb. 16 dargestellte Lage der Momenten-Nullpunkte.

Ergebnis: Die Entfernungen der Momenten-Nullpunkte von den Feldmitten nehmen mit steigenden Potenzen des Fest-

wertes L ab, je mehr wir uns von dem Lastangriffspunkt seitlich entfernen. Da durchweg schon L^2 ein sehr kleiner Wert ist, so kann man näherungsweise sagen:

Die Momenten-Nullpunkte weichen im wesentlichen nur in den beiden ersten Feldern seitlich von P (Feld i und k) von der Mittellinie ab, allenfalls noch in den beiden nächsten Feldern h und l . In den weiteren Feldern können in den Mitten der Gurtstäbe Gelenke angenommen werden.

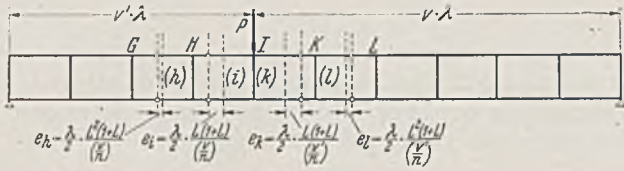


Abb. 16.

Freilich muß dabei beachtet werden, daß die Abweichungen e von den Feldmitten auch von der Stelle des Lastangriffs maßgeblich abhängen, d. h. von den Werten (v/n) und (v'/n) . Es ist also ein Unterschied, ob man einen Lastangriff nahe der Trägermitte, wo (v/n) bzw. (v'/n) sich dem Wert $1/2$ mehr oder minder nähern, oder im Bereich der Trägerenden untersucht. Hier stellen nämlich die Werte (v/n) oder (v'/n) kleine Größen dar, so daß sich die Werte 1 infolge der Division durch (v/n) bzw. (v'/n) entsprechend vergrößern. Die größte Abweichung ergibt sich für die Laststellung P im ersten Knotenpunkt vor dem Auflager. Hier ist zwar im ersten Feld

$$e = \frac{\lambda}{2} \cdot \left[\frac{L(1+L)}{\left(\frac{v}{n}\right)} - L \right],$$

das ist ein relativ kleiner Wert. Dagegen ist im zweiten Feld (b) der Abstand des Momentennullpunktes von der Feldmitte

$$e = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{L(1+L)}{\left(\frac{v'}{n}\right)} = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{L(1+L)}{\left(\frac{1}{n}\right)} = \frac{\lambda}{2} \cdot n \cdot L(1+L),$$

also je nach der Größe von L eine erhebliche Abweichung.

2. Wahl eines anderen Grundsystems. — Die Momente in den Gurtmitten als Unbekannte.

Die Untersuchungen des vorigen Abschnitts (1.) legen den Gedanken nahe, das statisch bestimmte Grundsystem unter Einlegung von Gelenken in den Mitten der Gurte und der Vertikalen zu bilden, d. h. die Momente in den Mittelpunkten der Gurtungen als Unbekannte zu wählen. — Man erkennt ohne weiteres, daß die Grundlagen für diese Berechnungsweise schon in den Ergebnissen des vorigen Abschnitts enthalten sind. Denn die vorhin ermittelten Abstände e der Momentennullpunkte von den Feldmitten sind den Einspannmomenten in den Mittelpunkten der Felder proportional. Man hat die Abstände e nur mit den Querkräften $1/2 \cdot (v/n)$ bzw. $1/2 \cdot (v'/n)$ zu multiplizieren, um die Mittelmomente zu erhalten. — Man könnte ebensowohl Einflußlinien zeichnen für die Abweichungen des Momenten-Nullpunktes von der Feldmitte wie auch für das Mittelmoment selbst. — Die Ordinaten sind aus den Werten für e (s. Abschn. 1) ohne weiteres herzuleiten.

Nähere Angaben über die Behandlung der Aufgabe auf dieser Grundlage sollen bei anderer Gelegenheit folgen.

3. Maximal- und Minimalwerte der Momente, Normal- und Querkräfte.

Es ist ohne weiteres ersichtlich, daß wir in den Einflußlinien das Mittel haben, die Maximal- und Minimalwerte einer statischen Größe für die Belastungen P in sämtlichen oder in einem Teil der Knotenpunkte anzugeben.

Da die Summe der n ersten natürlichen Zahlen den Wert hat

$$s = \frac{n}{2} (n + 1),$$

so ergibt z. B. die Einflußlinie für das Moment X_a im ersten Feld (Abb. 8):

$$M_{\max} = + \frac{P \cdot \lambda}{4} \left[(1-L) \cdot \frac{n-1}{2} + L \cdot \frac{1+L}{1-L} \right].$$

Für die maximale Querkraft in der Endvertikale ergibt sich

$$Q_a \max = - \frac{P}{2} \cdot \frac{\lambda}{h} (1+L) \left[\frac{n-1}{2} - \frac{L}{1-L} \right].$$

Entsprechend wird für die maximale Querkraft in der zweiten Vertikale, also zwischen erstem und zweitem Feld:

$$Q_b \max = - \frac{P}{2} \cdot \frac{\lambda}{h} \left[(2-L) \frac{n-1}{2} - \frac{1}{1-L} \right].$$

Die vorstehenden Werte gelten, wie die Einflußlinien zeigen, für Lasten P in sämtlichen Knotenpunkten, d. h. für Vollbelastung des Rahmenfachwerkes (Einfluß des Eigengewichtes).

In gleicher Weise lassen sich allgemeine Ausdrücke für sämtliche anderen statischen Größen entwickeln.

Die Auswertung der Ergebnisse vorstehender Untersuchungen behalte ich mir vor für eine demnächst herauszugebende Formelsammlung.

Ergebnis: Die Einflußlinien aller statischer Größen, der Momente, Querkräfte und Normalkräfte sind für ausschließliche Belastung in den Knotenpunkten dadurch gekennzeichnet, daß sich über einfache Geraden mit den Endordinaten 1 (bzw. 2) ein Kurvenzug bzw. ein Polygon legt, dessen Ordinaten durch den Festwert L gegeben sind und sehr schnell nach steigenden Potenzen von L abfallen. Dieser charakteristische Wert L , die maßgebliche Größe der Rechnung, bestimmt sich nach der Gleichung:

$$L = \frac{1}{2(1+3\mu)} = \frac{1}{2 \left(1 + 3 \cdot \frac{\lambda}{h} \cdot \frac{J_h}{J_\lambda} \right)}.$$

Hier bedeuten:

- λ die konstante Feldweite,
- h die konstante Trägerhöhe,

J_λ und J_h die Trägheitsmomente der Querschnitte der Gurtung bzw. der Vertikalen. (J_λ ist für den Ober- und Untergurt gleich und konstant, J_h für alle Vertikalen konstant angenommen.)

Schlussbemerkung: Der allgemeine Rechnungsgang, bei dem ungleiche Feldweiten, ungleiche Querschnitte der Gurtungen und der Vertikalen in den einzelnen Feldern angenommen werden, läßt sich an Hand der hier entwickelten Gedankengänge ohne Schwierigkeit durchführen. Die Rechnung erfährt nur unwesentliche Änderungen, wenn und solange die Symmetrie des Systems um die horizontale Mittelachse beibehalten bleibt.

Wenn auch diese Voraussetzung der Symmetrie des Systems um die horizontale Achse fallen gelassen wird, so haben wir den allgemeinen Fall, der aber gleichfalls nach den vom Verfasser aufgestellten allgemeinen Verfahren in Anlehnung an die Gaußsche Eliminationsmethode ohne weiteres durchgeführt werden kann. Er erfordert etwas mehr Rechenarbeit.

Von besonderer praktischer Bedeutung ist der Fall direkter Belastung der Gurtungen zwischen den Knotenpunkten. Hierbei ist die wesentliche Voraussetzung des vorstehenden Verfahrens — Gleichheit der Eckmomente im Ober- und Untergurt — nicht mehr erfüllt. Untersuchungen über die dann in Frage kommende Berechnungsmethode sind im Gange. Auch diese Aufgabe kann aber bereits als grundsätzlich gelöst gelten.

VERSCHIEDENE MITTEILUNGEN.

Richtlinien für die Erhärtungsfähigkeit der Baukalke, die an der Luft erhärten.

Der Arbeitsausschuß für Baukalk und vor allen Dingen die Fachgruppe Kalkindustrie der Wirtschaftsgruppe Steine und Erden haben sich entschlossen, die Anforderungen an die Erhärtungsfähigkeit der Kalke, die an der Luft erhärten, und die zugehörigen Prüfverfahren zunächst noch nicht als Vornorm zu DIN 1060 als Blatt 2, wie vorgesehen war, herauszugeben. Die Brauchbarkeit des Prüfverfahrens ist zwar durch zahlreiche Vergleichsversuche festgestellt, indessen reichen die Ergebnisse noch nicht aus, um die Anforderungen, die besonders an Dolomitzkalk zu stellen sind, genau festzulegen. Wenn auch das Prüfverfahren sich bei Vergleichsprüfungen in mehreren Prüfstellen als brauchbar erwiesen hat, so muß doch noch der Beweis erbracht werden, ob seine Anwendung in der Praxis sich überall als zweckmäßig erweist oder ob es noch vervollständigt und verbessert werden muß.

Die nachstehend gegebenen Richtlinien, die gleichlautend sind mit dem Wortlaut des vom Arbeitsausschuß für Kalk verabschiedeten endgültigen Entwurfs einer Vornorm stellen somit eine Vereinbarung dar, auf Grund deren Bestimmungen die Erhärtungsfähigkeit von Kalken, die an der Luft erhärten, ermittelt und nachgeprüft werden kann.

Gebeten wird, Kalke nach diesen Richtlinien zu liefern und nach den gegebenen Prüfverfahren zu untersuchen sowie dabei gemachte Erfahrungen, entgegenstehende Bedenken und Gründe für die Benutzung abweichender Verfahren dem Deutschen Normenausschuß EV, Berlin NW 7, Dorotheenstr. 40, mitzuteilen.

I. Erhärtungsfähigkeit

Die Erhärtungsfähigkeit der Kalke gibt einen Anhalt für die maßgebenden mörteltechnischen Eigenschaften (bei Mauer mortel: Tragfähigkeit; bei Putzmörtel: Haftfähigkeit).

Sie wird bestimmt als K-Wert für das Kohlensäure-Erhärtungsvermögen (Lagerung in Kohlensäure).

Der K-Wert soll für Weißkalk und Dolomitzkalk nach 7 Tagen Lagerung im Kohlensäurestrom mindestens 10 betragen.

II. Prüfung der Erhärtungsfähigkeit

Die Prüfung auf Erhärtungsfähigkeit bietet nur dann Gewähr dafür, daß zuverlässige und vergleichbare Ergebnisse erzielt werden, wenn die für ihre Ausführung gegebenen Vorschriften genau und in allen Einzelheiten beachtet werden.

1. Vorbehandlung des Kalkes

Gelöschte und löschfähige in Pulverform eingelieferte Kalke sind nach DIN 1060 Bl. 1 § 9 Abs. 1 vorzubehandeln.

Ungelöschte und unvollständig gelöschte eingelieferte Kalke sind zu Pulver abzulöschten und dann ebenfalls nach DIN 1060 Bl. 1 § 9 Abs. 1 vorzubehandeln.

Besondere Anweisungen des Erzeugers für die Behandlung der Kalke sind sinngemäß zu berücksichtigen.

2. Herstellung des Mörtels

200 g Kalkpulver und 1600 g Normensand werden in einer Schüssel zunächst trocken von Hand mit einem leichten Löffel oder Spatel 1 Minute gemischt.

Dem trockenen Gemisch werden 153 g (8,5%) Wasser zugesetzt. Die feuchte Masse wird eine weitere Minute von Hand gemischt.

Wird Kalkteig geliefert, so ist die 200 g Kalkpulver entsprechende Menge mit 1600 g Normensand von Hand in einer Schüssel gut zu mischen und der Wassergehalt durch Absaugen bzw. Zufügen von Wasser auf 8,5% zu bringen.

Die feuchte Masse wird in dem Normen-Mörtelmischer (DIN 1164) gleichmäßig verteilt und durch 40 Schalenumdrehungen weiterverarbeitet.

3. Herstellung der Versuchskörper

Die Formen müssen vor dem Gebrauch gut gereinigt und mit Formöl, einer Mischung von zwei Drittel Rüböl und ein Drittel Petroleum, leicht geölt sein; starkes Ölen oder Einfetten der Formen beeinflusst die Ergebnisse ungünstig.

70 g des vorschriftsmäßig gemischten Mörtels werden in die Normen-Zylinderform (III, Bild 1) gebracht und im Normen-Hammergerät (DIN 1164) mit 130 Schlägen eingeschlagen.

Nach Entfernen der Form von der Unterlagsplatte wird der Prüfkörper mit Hilfe des Aufsatzstempels herausgedrückt und gekennzeichnet. Für die Prüfung sind acht Zylinder herzustellen.

4. Lagerung der Versuchskörper

Es sind jeweils alle acht Versuchskörper in das Kohlensäure-Behandlungsgerät zu bringen (III, Bild 2).

Die Zylinder werden eine halbe Stunde lang an der Luft im Zimmer liegend aufbewahrt, so daß die Luft allseitig an die Körper herankommt. Zur Lagerung können Holzroste oder Traggestelle des Kohlensäure-Behandlungsgefäßes verwendet werden. Dann kommen sie in das Kohlensäure-Behandlungsgerät (III) und werden in einem Kohlensäurestrom sieben Tage gelagert. Der Kohlensäurestrom wird so eingestellt,

daß aus dem Rohr in der Waschflasche in der Sekunde etwa vier Blasen austreten. Die Zylinder sind vorsichtig in das mit Kohlensäure gefüllte Behandlungsgerät einzulegen (auf die Mantelfläche). Zweckmäßig wird das in III Bild 3 dargestellte Traggestell verwendet.

Bei normenmäßiger Durchführung der Lagerung trocknen die Prüfkörper soweit, daß etwa zwei Tage vor Abschluß der Lagerung die Luftfeuchtigkeit im Behandlungsgerät auf 65% und weniger zurückgeht. Dieses ist zu überprüfen.

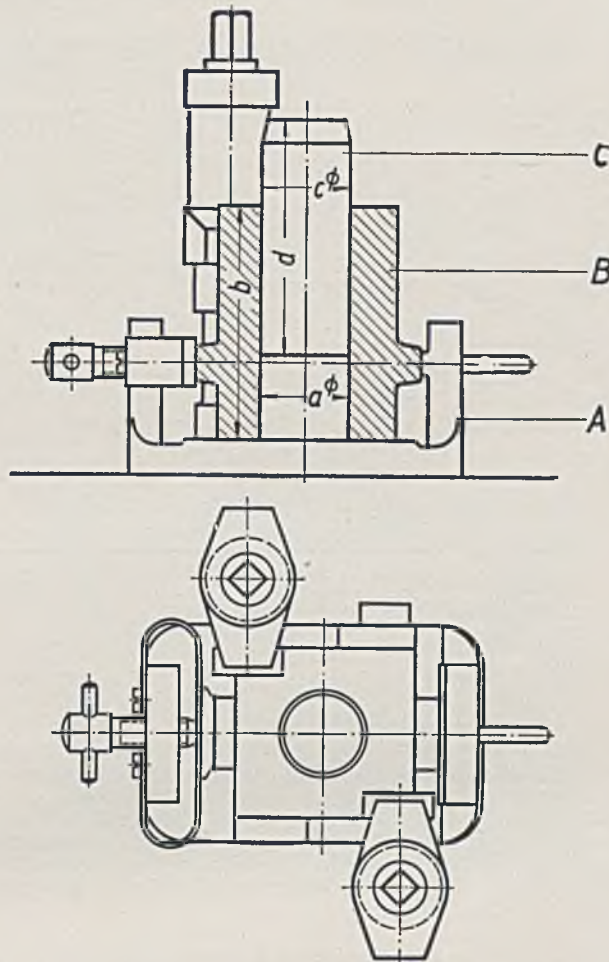


Bild 1

Maße in mm

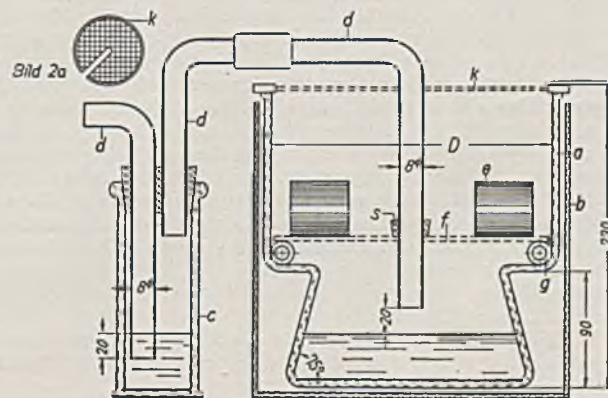


Bild 2

5. Prüfung

Vorprüfung. Vor der Prüfung ist in jeder Reihe ein Zylinder längs aufzuspalten und der Grad der Kohlensäurewirkung durch sofortiges Aufträufeln einer wässrigen und alkoholischen Phenolphthalein-Lösung (Mischung 1:2) nachzuprüfen. Tritt sofortige Rotfärbung auf, so muß die Kohlensäurebehandlung der restlichen Körper noch so lange weitergeführt werden, bis die Prüfung eine vollständige Durchdringung mit Kohlensäure anzeigt. Die Lagerdauer ist dann im Prüfungsbefund anzugeben. Tritt an den Körpern erst nach drei Minuten

oder später eine Rotfärbung ein, so gelten diese Körper auch als völlig von Kohlensäure durchdrungen.

Raumgewicht. Die Raumgewichte der einzelnen Prüfkörper sind vor der Druckbeanspruchung festzustellen (durch Ausmessen und Wägen).

Druckbeanspruchung. Die Prüfkörper werden auf Drucken, die den Bestimmungen von DIN 1604 entsprechen müssen und innerhalb der jeweils in Frage kommenden Belastungsgrenzen einen Genauigkeitsgrad von $\pm 1,5\%$ aufweisen, auf Druck beansprucht. Da die Geschwindigkeit der Kraftsteigerung von Einfluß auf das Versuchsergebnis ist, ist darauf zu achten, daß die Belastung um 20 kg in der Sekunde zunimmt.

Der Druck wird auf die Endflächen des Zylinders ausgeübt.

Der K-Wert ist $\frac{1}{40}$ des Mittels der in kg ausgedrückten Bruchlasten aus fünf Versuchen.

Offensichtliche Fehlproben sind auszuschneiden. Als solche gelten Proben, deren Wert mehr als 10% unter dem Mittel sämtlicher Werte liegt. Die K-Werte sind als Zahlenwerte in ganzen Zahlen anzugeben.

III. Formeinrichtung für Zylinder und Kohlensäure-Behandlungsgerät

a) Formeinrichtung

Die Formen und Zubehörteile für Zylinderkörper müssen den Angaben in Bild 1 und Tafel 1 entsprechen.

Tafel 1

Maße für Form und Zubehörteile für zylindrische Versuchskörper. (Bild 1.)

1. Unterlagsplatte für Druckform (A) wie in Bild 19 DIN 1164.
2. Form für zylindrische Versuchskörper (B):

Zeichen	Bezeichnung	Maße in mm	
		Größtmaß	Kleinstmaß
a	Durchmesser	35,7	35,6
b	Höhe	100	99
3. Kern für die zylindrische Form (C):			
c	Durchmesser	35,5	35,4
d	Höhe	101	100

Die Formeinrichtung muß mittig in die Einspannvorrichtung für Formen gemäß § 15 Bild 16 DIN 1164 eingespannt werden können.

Die Formeinrichtung besteht aus einer Unterlagsplatte (A), der einteiligen zylindrischen Form (B) und dem Formkern (C). Die Form ist so gebaut, daß sie in die Einspannvorrichtung des Normen-Hammergerätes paßt. Die Unterlagsplatte ist die gleiche, wie sie für die Formen zur Herstellung der Druckprobenkörper nach DIN 1164 § 16 Bild 19 vorgeschrieben ist.

b) Kohlensäure-Behandlungsgerät

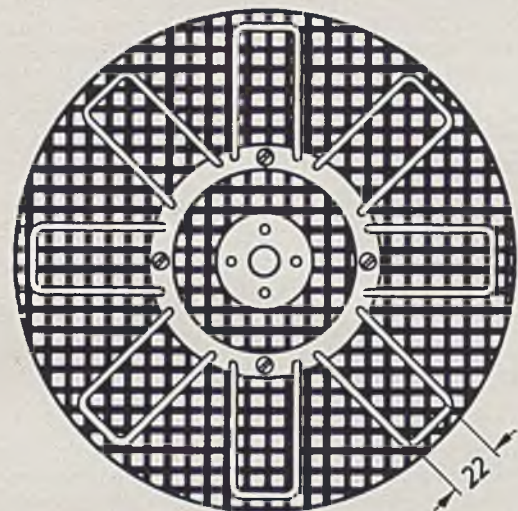
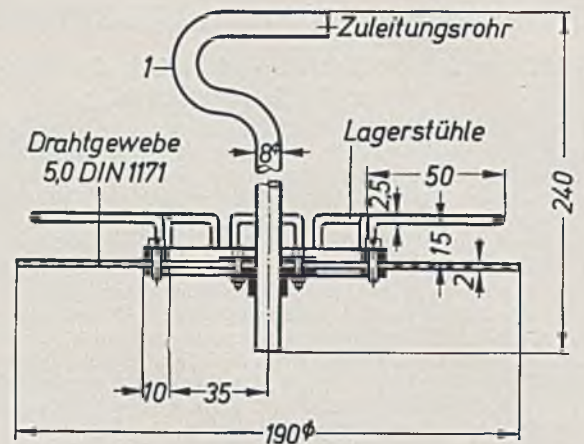
Für das Kohlensäure-Behandlungsgerät (Bild 2) wird ein Exsikkator (a) mit vorgeschalteter Waschflasche (c) verwendet. Der Exsikkator wird am Boden und an den Wänden durch zwei Lagen Wellpappe (b) isoliert. Die Zuleitungsrohre (d) haben 8 mm lichten Innendurchmesser; das Rohr in der Waschflasche taucht 20 mm in das Wasser ein und das in den Exsikkator führende Rohr endet etwa 20 mm über der Flüssigkeit. Auf den oberen Boden des Exsikkators wird an die Innenwand ein Ring (g) aus weichem Gummischlauch von etwa 10 mm Durchmesser gelegt, der einem Drahtgewebe (f) (5,0 DIN 1171), das in der Mitte eine Öffnung für das Zuleitungsrohr hat, als Auflager dient.

Die acht Probekörper (e) werden auf dieses Drahtgewebe etwa 10—15 mm von der Innenwandung des Exsikkators entfernt auf ihre Zylinderflächen gelegt. Jetzt wird das Glaszuleitungsrohr, das einen Anschlag (s) (durchbohrten Korken) zur Sicherung des Abstandes des Flüssigkeitsspiegels haben soll, eingesetzt. Dann ist der Exsikkator mit einem abnehmbaren Siebdeckel (k) (Gewebe 1,0 DIN 1171) abzudecken. Der Deckel muß eine Bohrung für das Zuleitungsrohr in der Mitte und einen Schlitz haben (Bild 2a).

An Stelle des Auflagersiebes (f) für die Prüfkörper und des Glaszuleitungsrohres hat sich das in Bild 3 dargestellte Traggestell bewährt.

DIN E 4114 — Knick- und Beulvorschriften für Baustahl

Zu dem Normblattentwurf DIN E 4114 „Knick- und Beulvorschriften für Baustahl“ — veröffentlicht am 17. November 1939 in der Zeitschrift „Der Bauingenieur“ Heft 45/46 und in der Zeitschrift „Die



Werkstoff: Messing

Bild 3

Bautechnik“ 1939 Heft 53/54 als Beilage zum „Stahlbau“ mit ausführlichen Erläuterungen von Professor Dr.-Ing. Chwalla und Professor Dr.-Ing. Gehele — wurden Änderungs- und Ergänzungswünsche bis zum 1. Februar 1940 erbeten. Auf mehrfachen Wunsch hat der Deutsche Normenausschuß die Einspruchsfrist bis zum 1. April 1940 verlängert.

Norm für Absperrvorrichtungen in Grundstücksentwässerungen

Von dem Normblatt DIN 1997 „Absperrvorrichtungen in Grundstücksentwässerungen, Baugrundsätze“ hat der Deutsche Normenausschuß soeben einen Neudruck herausgegeben. Die von der Reichsstelle für Metalle zur Einsparung von Metallen erlassenen Vorschriften sind berücksichtigt worden.

Das Blatt ist vom Beuth-Vertrieb, Berlin SW 68, zum Preise von 0,75 RM (ausschl. Versandkosten) zu beziehen.

Normen für Fettabscheider neu gefaßt

Die beiden Normblätter für Fettabscheider DIN 4040 und 4041 sind vom Deutschen Normenausschuß in Neufassung herausgegeben¹ worden. Die Baugrundsätze (DIN 4040) sind verbessert und teilweise vereinfacht worden; der Wirkungsgrad ist durch einen zweckmäßigeren Prüfungsgrundsatz sicherer gewährleistet, so daß die heute so wichtige Altstofferrfassung weiter gefördert wird. Die Vorschriften für Einbau, Größe und Betrieb (DIN 4041) sind, abgesehen von den Bestimmungen für Entlüftungsrohre, im wesentlichen unverändert geblieben.

¹ Beuth-Vertrieb, Berlin SW 68; Stückpreis 0,75 RM (ausschl. Versandkosten).