

Das neue Geschäftsgebäude des Ministeriums für Landwirtschaft, Domänen und Forsten in Berlin. (Bauteil I und Zwischenbau.)

(Mit Abbildungen auf Blatt 11 im Atlas.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

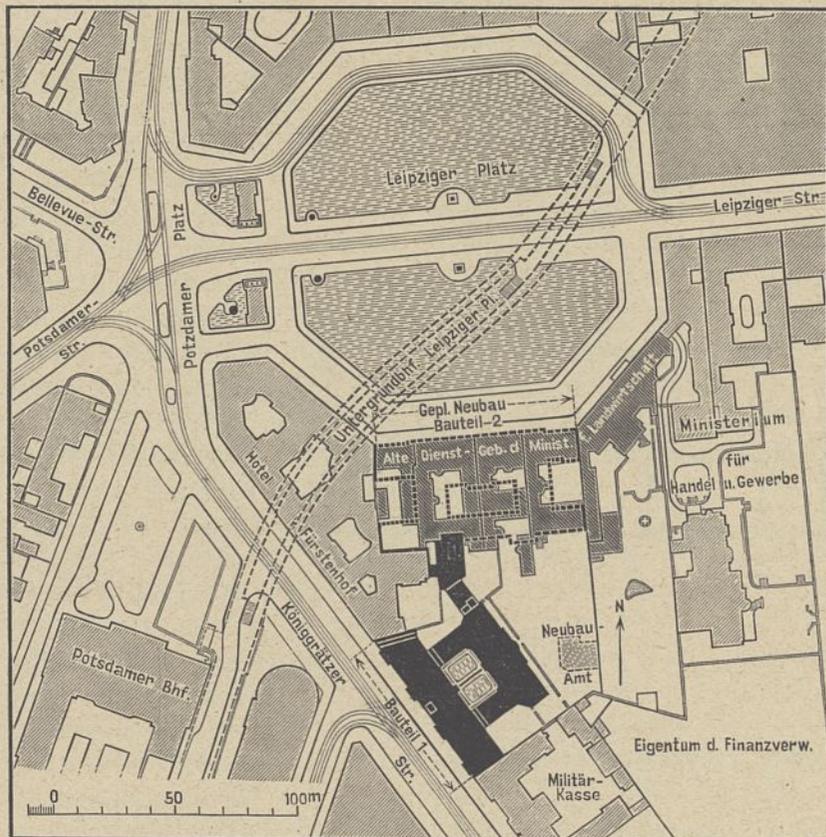


Abb. 1. Lageplan.

Die Diensträume des Ministeriums für Landwirtschaft, Domänen und Forsten befanden sich bisher in den Häusern Leipziger Platz 6—9; die Wohnung des Ministers nebst dem Zentralbureau in dem früheren prinzlichen Palais Leipziger Platz 10. Diese Unterbringung konnte nur als Notbehelf bis zur Errichtung eines Neubaus angesehen werden. Die vier Gebäude Leipziger Platz 6—9 sind als einzelne Miethäuser mit ungleichen Stockwerkhöhen erbaut und für den Dienstbetrieb notdürftig durch stufenreiche Verbindungsgänge in Zusammenhang gebracht. Hierdurch konnte nur eine gezwungene, wenig übersichtliche Verbindung der Geschäftsräume erzielt werden; das Zurechtfinden ist schwierig, die Flure sind sehr eng und vielfach dunkel, die Zimmer zum Teil unzureichend. Der bauliche Zustand der schon recht alten Häuser ist so mangelhaft, daß er ständig bedeutende Unterhaltungskosten erfordert; die Feuersicherheit in den alten, engen Gebäuden mit ihren teilweise hölzernen Treppen entspricht in keiner Weise den bescheidensten Anforderungen.

Von den beteiligten Behörden war die Notwendigkeit eines Neubaus schon lange anerkannt und betont worden. Der Beschluß seiner Herstellung konnte durchgesetzt werden, als der Finanzminister es als unvermeidlich bezeichnete, daß

das die Ministerwohnung enthaltende Palais Leipziger Platz 10 in wenigen Jahren dem benachbarten, der Ausdehnung bedürftigen Ministerium für Handel und Gewerbe zugeschlagen werden müsse. Der Neubau sollte daher die gesamten Geschäftsräume des Landwirtschaftsministeriums und die Dienstwohnung des Ministers enthalten.

Als Bauplatz wurde die zum größten Teile bereits in fiskalischem Besitz befindliche Fläche bestimmt, die vom Leipziger Platz in südlicher Richtung bis zur Königgrätzer Straße durchgeht und die alten Häuser Leipziger Platz 6—9 und die Grundstücke Königgrätzer Straße 123, 123a und 123b nebst den zugehörigen Gärten umfaßt (Text-Abb. 1). Die Baustelle hat ungefähr die Form eines mit einer Spitze nach Süden gerichteten Fünfecks, in das an seiner westlichen Seite das monumentale Gasthaus „Der Fürstenhof“ mit einem annähernd rechteckigen Einschnitte hineinragt. Am Leipziger Platze grenzen an die Baustelle im Westen der Fürstenhof und im Osten das Handelsministerium, sofern diesem das Gebäude Leipziger Platz 10, das bislang die Wohnung des Landwirtschaftsministers enthält, zugeteilt wird; an der Königgrätzer Straße steht der Neubau zwischen dem Fürstenhof im Nordwesten und dem Gebäude der General-Militärkasse im Südosten.

Die Lage in Berlin kann als sehr günstig bezeichnet werden. Der Leipziger Platz stößt unmittelbar an den Potsdamer Platz, einen der wesentlichsten Verkehrsmittelpunkte der Stadt, in den auch die Königgrätzer Straße mündet; in großer Nähe befinden sich der Potsdamer und der Anhalter Bahnhof; nahe liegen die Ministerien für Handel und Gewerbe, für Krieg, der öffentlichen Arbeiten, ferner das Herrenhaus, das Haus der Abgeordneten, das Geschäftshaus des Bundes der Landwirte usw.

Die Baustelle besaß im allgemeinen eine ebene Oberfläche und zeigte bei den bisherigen Bauausführungen in geringer Tiefe guten, tragfähigen Sand als Baugrund. Der Grundwasserspiegel stand so tief, daß er von der Grundsohle noch nicht erreicht wurde; eine besondere Abdichtung war daher nur für Grundmauerwerk und Fußboden des tiefer eingesenkten Heizkellers erforderlich.

Im Entwurf ist der Neubau in zwei große Hauptteile geschieden, von denen der eine am Leipziger Platz und der andere an der Königgrätzer Straße angeordnet ist. Jeder von diesen Hauptteilen besteht aus einem Vorderhause, einem Hinterhause und zwei Zwischenflügeln, so daß sich im ganzen zweimal drei Höfe ergeben. Die Verbindung der Hauptteile wird durch einen Zwischenbau hergestellt, der

In den hier folgenden Ausführungen werden lediglich der „erste Bauteil“ und der „Zwischenbau“ behandelt werden.

Der erste Bauteil sollte im wesentlichen Dienstzimmer mit Zubehör, daneben noch in dem Flügel an der Militärkasse die in zwei Stockwerken übereinander angeordnete Dienstwohnung des Bureaudirektors aufnehmen; doch werden die Räume für letztere bis zur Fertigstellung des gesamten Neubaus auch noch zu geschäftlichen Zwecken, zur Unterbringung der Bibliothek im Erdgeschoße und von Dienstzimmern im ersten Stockwerke, in Anspruch genommen. Die Lage an der verkehrsreichen und geräuschvollen Königgrätzer Straße ließ es wünschenswert erscheinen, im Untergeschoß nach der Straße zu keine Diensträume, sondern zu vermietende Verkaufsläden unterzubringen. Die Anregung zu der Maßnahme, auch in Staatsgebäuden geeignete Räumlichkeiten an private Geschäfte zu vermieten und dadurch eine bessere Verzinsung der Gebäude zu erwirken, war einer Besprechung im Abgeordnetenhaus entsprungen. Der Einbau der Läden mit ihren großen Schaufenstern wurde naturgemäß für die Ausgestaltung der Straßenfront von Bedeutung.

Wie bereits erwähnt, wird der Bauteil gebildet aus einem an der Straße gelegenen Vorderhaus, aus einem Hinterhaus; dem sogenannten Gartenhaus, und zwei Verbindungsflügeln, so daß sich zwei seitliche Höfe (die Höfe IV und VI) und ein Mittelhof (Hof V) ergeben.

Für den ganzen Bauteil sind über dem Keller fünf Geschosse vorgesehen; ein Untergeschoß, ein Erdgeschoß und drei Stockwerke (Text-Abb. 2 u. 3). Im Untergeschoße befindet sich neben dem „Fürstenhof“, in der Fassade etwas zurückspringend, eine Durchfahrt nach dem Hof IV. Die übrige Straßenfront ist symmetrisch gestaltet und enthält in der Mitte den Haupteingang und zu beiden Seiten je sechs große Schaufenster, hinter denen Ladenräume, und rechts vom Eingang ein Pförtnerzimmer, gelegen sind. Der Haupteingang führt zunächst in eine offene Vorhalle, deren straßenseitige Öffnung nur durch ein geschmiedetes Gitter von Brüstungshöhe von dem Straßenverkehr geschieden ist, während die Haustür in der inneren Wand der Vorhalle angelegt ist. Weiter gelangt man durch einen schmalen Windfang in eine geräumige Flurhalle, die sich links und rechts zu den beiden großen Haupttreppenhäusern öffnet und geradeaus einen wiederum mit Windfang versehenen Ausgang nach dem Mittelhof (Hof V) enthält.

Durch den linken Verbindungsflügel ist zunächst dem Vorderhaus ein Flurgang angelegt, der die Höfe IV und V miteinander verbindet. Die weiteren Räume des Flügels waren als Kraftwagenhalle und Pferdestall mit einem niedrigen Zwischengeschoße darüber für den Futterboden geplant; sie sind aber einstweilen für die Druckerei des Ministeriums in Anspruch genommen. Der rechte Flügel enthält die Dienstwohnung des Pförtners, gegenwärtig des Kastellans, sowie entsprechend dem Durchgangsfloß des linken Flügels einen Flureingang als Zugang zu dieser Dienstwohnung und der des Bureaudirektors; für letztere ist an der Rückseite des Vorderhauses mit Ausgang nach Hof VI eine Nebentreppe eingebaut, die bis in das Dachgeschoß führt und den Zugang gewährt zu der dort eingerichteten Waschküche und den Bodenräumen.

Das Gartenhaus enthält Dienstzimmer. In der Hauptachse ist an der Rückseite mit Ausgang zum Garten eine

bis zum Dachboden führende Nebentreppe angelegt. Den Wagenverkehr von Hof IV nach dem Garten ermöglicht eine Durchfahrt. Die links von dieser gelegenen Räume am Zwischenbau sind für die Wohnung des Kutschers, gegenwärtig des Heizers, verwertet.

In den übrigen Geschossen befinden sich nur Diensträume. Vorderhaus und Gartenhaus haben je einen Mittel-flur; in den Seitenflügeln ist je ein Seitenflur vorhanden, dessen Fenster auf die Höfe IV und VI gerichtet sind. Jedes Stockwerk enthält sowohl im Vorder- wie im Gartenhaus Aborte, sowie ein Botenzimmer mit Fernsprechkabine und Aktenaufzug. Ein Personenaufzug, bis zum dritten Obergeschoße führend, ist nur im Vorderhaus eingerichtet und von der großen Flurhalle im Untergeschoße zugänglich. Die beiden Haupttreppen im Vorderhaus sind dreiläufig und führen bis zum dritten Stockwerk. Von diesem aus ist noch eine zum Dachgeschoß führende Nebentreppe im linken Teile des Vorderhauses angelegt. Im zweiten Stockwerk sind zwei kleine Sitzungssäle vorhanden: ein Saal von rd. 48 qm Fläche an der Straßenfront und ein rd. 70 qm großer Saal am Hof V. Das Dachgeschoß enthält Waschküche, Plättstube und Trockenboden für die Dienstwohnungen und die Gebrauchswäsche des Ministeriums, sowie Verschlüge zur Aufbewahrung von Akten. Über dem linken Seitenflügel ist eine ebene Dachfläche als Plattform zur Ausstaubung von Akten angelegt.

Die Höhen — von Fußboden zu Fußboden — betragen für das Kellergeschoß 3,30 m, und für das Untergeschoß 4 m. Indessen ist die Höhe in den Läden, den Flurhallen und der Druckerei 4,80 m, da hier der Fußboden nur 15 cm über Straßenhöhe liegt, während in den anderen Räumen des Untergeschosses der Unterschied zwischen Fußboden und äußerem Bürgersteig 95 cm beträgt. Die übrigen vier Geschosse sind, von Fußboden zu Fußboden gemessen, je 3,84 m hoch.

Während der architektonisch bedeutsamste Teil des gesamten Neubaus am Leipziger Platze geplant ist, hat der erste Bauteil an der Königgrätzer Straße eine sparsame und schlichte Ausbildung erfahren. Nur die Ansicht an der Straße ist in der stark belebten, bevorzugten Stadtgegend mit dem nötigsten baulichen Schmuck, wie ihn die Würde des Gebäudes erfordert, ausgestaltet worden (Abb. 1 Bl. 11). Die Straßenfront ist 68,88 m lang. Links am Fürstenhofe springt die „Rücklage“, der 4 m breite Bauteil über der Durchfahrt, um 77 cm hinter die Bauflucht zurück. Die übrige Fassade mit ihren dreizehn Achsen ist durch vier um 29 cm vorspringende, je 6,11 m breite und je eine Achse enthaltende Risalite gleichmäßig gegliedert. In dem in kräftiger Quaderarchitektur aus stark scharriertem Sandstein errichteten Untergeschoße befindet sich in jeder Achse ein mit Korbbogen überwölbtes Schaufenster, und in der Mittelachse die Öffnung des Haupteinganges; in den weiteren vier Geschossen darüber enthält jede Achse zwei schmale gekuppelte Fenster. Das Untergeschoß schließt mit einem starken Gurtgesims ab und bildet den Unterbau für die Pfeilerarchitektur der Fassade. Die Pfeiler treten 13 cm vor die Frontfläche vor und reichen durch drei Stockwerke (Erdgeschoß, erstes und zweites Obergeschoß). Sie sind ionischer Ordnung und kanneliert. Jedes Risalit ist von zwei Eckpfeilern eingefast; in jedem Zwischenfelde stehen, entsprechend den drei Fensterachsen,

zwei breite Mittel- und zwei schmalere Wandpfeiler. Das Hauptgesims besteht aus einem niedrigen Architrav, einem hohen Fries und einem weitausladenden, mit Zahnschnitt, Konsolen und Tropfenplatten versehenen Kranzgesims. Über ihm erhebt sich noch das dritte Obergeschoß, das durch ein kleineres Gesims gegen das Dach abgeschlossen wird.

Die Rücklage ist abweichend von der übrigen Frontarchitektur ausgebildet. Die Durchfahrt im Untergeschoße ist scheinrecht überdeckt. Das Erdgeschoß enthält vor einem kurzen Balkonaustritt eine schmale Türöffnung, darüber in einer halbkreisförmigen Nische ein Sandsteinrelief. Im ersten und zweiten Stockwerk ist die Fensteröffnung sehr breit angelegt und von je zwei toskanischen Säulchen flankiert.

Die Front ist im Untergeschoß, einschließlich der Innenwände und der gewölbten Decke in der Vorhalle des Haupteinganges, über einem Sockel aus Beuchaer Granit mit Plagwitz Sandstein bekleidet. Aus dem gleichen Werksteine bestehen die Pfeiler, die Gesimse und die Fenstersohlbänke der Fassade in den übrigen Geschossen, während die Zwischenflächen mit rauhem Terrasit geputzt sind. Die Rücklage hat über dem gequaderten Untergeschoße eine bis zum Hauptgesims durchgehende Verblendung von glatt bearbeitetem Sandstein erhalten.

Auf den Hof- und Gartenfronten ist zum Schutze gegen Verwitterung der Sockel aus Beuchaer Granit ebenfalls überall durchgeführt. Aus Sandstein sind hier nur die bescheidenen Gurt- und Hauptgesimse und die einfach glatten Umrahmungen der Fenster hergestellt. Die sonstigen Fassadenflächen sind mit rauhem Kiesbewurf in hydraulischem Kalkmörtel geputzt.

Bildnerischer Schmuck ist nur sparsam angebracht und auf die Front an der Königgrätzer Straße beschränkt. Der Schlußstein über dem Bogen des Haupteinganges ist als große Wappenkartusche ausgebildet, auf der mit ausgebreiteten Flügeln der preußische Adler thronet, dessen Fänge die Schlangen der Zwietracht zerdrücken. Über den Fenstern des ersten Stockwerks ist in jedem der vier Risalite ein viereckiger Stein ein wenig vorgestreckt; auf diesen Steinen sind Ackerbau, Fischerei, Forstwirtschaft und Viehzucht mit einfachsten Mitteln, durch Kornähren, Fische, Hirschgeweih und Stiergehörne, sinnbildlich zum Ausdruck gebracht. Auf der Attika des obersten Gesimses am Dachanschluß sind acht große Sandsteinvasen aufgestellt, von denen immer zwei über den Ecken eines Risalites stehen. An der in zierlicheren Formen errichteten „Rücklage“ ist durch ein Sandsteinbild über den Erdgeschoßfenstern der Jagd eine heitere Darstellung gegeben: zwei mit ungestümem Eifer vorwärts drängende Dackel werden von einem nackten Knaben an der Koppelleine gehalten. Die Bildhauerarbeiten sind vom Bildhauer Feuerhahn gefertigt worden.

Die Decken über den Kellerräumen, den Läden und den sämtlichen Geschäftsräumen sind als ebene Hohlsteindecken zwischen eisernen Trägern nach der Schillerschen Bauart ausgeführt. Über den Fluren der Seitenflügel und des Gartenhauses sind massive Gewölbe, teils Tonnen mit Stichkappen, teils Kreuzgewölbe, hergestellt. Ausgenommen hiervon sind die weitgespannten Kreuzungsstellen der Flure am Zusammentreffen der Flügel und des Gartenhauses und die Flure im obersten Stockwerke, die zur Vermeidung des Schubes nicht massiv überwölbt, sondern mit Hohlsteinen

zwischen Trägern eben überdeckt sind. Auch alle Flure des Vorderhauses haben wagerechte Hohlsteindecken erhalten, unter denen jedoch Scheingewölbe in Rabitz untergespannt sind. Die Haupttreppenhäuser und die große Flurhalle tragen ebene Decken; dagegen ist die geviertförmige Vorhalle mit einer böhmischen Kappe überwölbt (Abb. 2 u. 3 Bl. 11). In dieser Vorhalle, die, nur um eine Stufe erhöht und an der Front offen, als zur Straße gehörig betrachtet werden kann, ist der Fußboden in Übereinstimmung mit dem Sockel aus Platten von Beuchaer Granit hergestellt. Der Fußboden der großen Flurhalle ist einfarbig mit gelblichgrauen Solnhofener Sandsteinplatten belegt und von den Umfassungswänden durch einen Friesstreifen aus dunklem, geschliffenem Kalkstein geschieden. Der Heizkeller und die Wagenhalle sind mit hochkantigen Klinkern gepflastert. Mit diesem Pflaster sollen später auch die Stallräume versehen werden, in denen, solange sie noch der Druckerei dienen, hölzerne Dielung verlegt ist. Die Kellerräume haben Betonfußboden, der mit Zementestrich abgeglichen ist. In allen übrigen Räumen des Gebäudes besteht der Fußboden aus Linoleum über einem Zement- oder Gipsestich in den Fluren, die zur besseren Schallabdichtung unter dem Gipsestich noch eine Sandschicht erhalten haben.

Die beiden Haupttreppen des Vorderhauses sind aus Eisenbeton an Ort und Stelle gestampft und mit einem schlichten, aber wuchtigen Geländer aus Schmiedeeisen bewehrt. Alle sonstigen Treppen sind aus Kunststein hergestellt und mit einfachen geschmiedeten Geländern versehen. Sämtliche Treppenstufen haben Linoleumbelag.

Die unter 52° geneigten Dächer sind über kiefernem Dachstuhl und Lattung mit roten Biberschwänzen als Kronendächer eingedeckt. Die Dachfenster sind als flachbogige Gauben ausgebildet und mit Ausnahme der senkrechten Vorderseite vollständig überziegelt. Für die Gesimsabdeckungen, Rinnen, Abfallrohre und Wandanschlüsse an der Königgrätzer Straße war ursprünglich Kupfer, an der Gartenfront und an den Höfen Zink vorgesehen; wegen der Beschlagnahme des Kupfers im Kriege erfolgte die Ausführung durchweg aus Zink.

Alle zum dauernden Aufenthalt von Menschen bestimmten Räume haben Doppelfenster, die Flure, Treppenhäuser, Keller- und Bodenräume einfache Fenster erhalten. Die Fenster sind aus Kiefernholz mit eichenen Sprossen und Wasserchenkeln hergestellt. Sie werden zum überwiegenden Teil durch Basküle mit eisernen Oliven geschlossen. Die oberen Flügel der meisten Flur- und Treppenfenster werden durch einen Oberlichtöffner geöffnet, der von Handhöhe aus betätigt wird. Die Schaufenster sind mit starken geschliffenen Spiegelscheiben verglast und nach der Ausführung von Alex Hermann, Berlin, in einem schmalen Eisenrahmen mit Bleikern eingefast. — Die Außentüren sind aus Eichenholz, die Innentüren aus Kiefernholz gefertigt. Alle Türen sind mit eisernen Beschlägen mit einfach geschmiedeten Drückern versehen.

Für die Innenausbildung war der Grundsatz maßgebend, daß bei größter Einfachheit und Sparsamkeit eine möglichst dauerhafte Ausführung mit besten Baustoffen anzustreben sei, sowohl zur Erzielung einer der Würde des Hauses entsprechenden Wirkung, wie auch zur Einschränkung der späteren Unterhaltungskosten.

Die nach der Straße zu offene Vorhalle ist im engen Zusammenhange mit dem Untergeschoße der Außenfronten

gänzlich in natürlichem Werkstein ausgeführt. Fußbodenbelag und Sockel bestehen aus Beuchaer Granit, die Wände und die gewölbte Decke aus Plagwitz Sandstein, der nur hier in einem Innenraume mit feinerer Scharrierung als an der äußeren Fassade behandelt ist. An der rechten Seitenwand befindet sich die Tür zum Pförtnerzimmer, gegenüber in der linken eine ausgerundete Nische zur späteren Aufstellung eines Bildwerks. Die dritte innere Wand enthält die Haupteingangstür. An diesen drei Wänden ist über den Türen und über der Nische je ein Flachbild eingearbeitet. An den Seitenwänden ist auf runder Scheibe der Kopf der Zeres zwischen Obstzweigen und der des Silenos zwischen Weinreben dargestellt; auf dem Bildwerk an der Mittelwand schmücken zwei Putten ein Wappen mit Laubgewinde.

Durch einen schmalen Windfang gelangt man in die große Flurhalle; auch in dieser ist der Steincharakter noch durchaus gewahrt, nur daß hier Kunststein an die Stelle des natürlichen Werksteines getreten ist. Die Halle besteht aus zwei sehr ungleichen Teilen: dem eigentlichen Hauptraume, einem Rechteck von 15,38 m Länge und 5,50 m Tiefe, und einem erheblich kürzeren und schmaleren Vorraum. Die Verbindung vermitteln zwei Paare von freistehenden ionischen Säulen. Ihnen entsprechen ionische Wandpfeiler, die rings an den Wänden herumgeführt sind und die Architektur der Halle bestimmen. Die Wandfelder zwischen den Pfeilern haben eine Quaderteilung erhalten. Säulen, Pfeiler, Wände und Gesimse sind in einem graublauen Kalksteintone ausgeführt und scharriert. Die untergespannte Drahtputzdecke des Hauptraumes ist von einem kassettierten Randfries in Stuck eingefast; zwei gleiche Zwischenfriese teilen das Deckenfeld in drei Spiegel, die weiß geputzt sind, während die Friese eine sandsteinartige, gelbliche Tönung erhielten. Die ruhige Farbenwirkung wird ergänzt durch die große einfarbige Fußbodenfläche aus graugelbem Solnhofener Sandstein, deren schmale Randeinfassung aus dunklem Kalkstein zu dem Blaugrau der Wände überleitet. Die fünf hohen Fenster- und Türöffnungen in der Außenwand am Hof V erzielen mit ihrem rundbogigen Abschluß, ihrem weißen Sprossenwerke und ihrer Kathedralverglasung einen würdigen Eindruck für die Halle. Die Heizkörper unter den Fenstern sind mit Verkleidungen aus poliertem Kalkstein umgeben; ihre Luftausströmungsöffnungen sind mit geschmiedetem Stabwerk vergittert. Zu den links und rechts anschließenden Treppenhäusern führen breite Freitreppen von je sechs Stufen hinan; auf ihren Wangen sind zierlich geschmiedete Kandelaber aufgestellt, die in Anlehnung an altberlinische Vorbilder entworfen und von der Aktiengesellschaft Schäffer u. Walker ausgeführt sind. Eine dicht unter der Decke befestigte Mittelkronen aus Schmiedeeisen vervollständigt die Beleuchtung des Raumes.

Der Steincharakter überwiegt auch noch in den Haupttreppenhäusern mit ihren breiten Stufen und wuchtigen, wegen der Dreiläufigkeit der Treppen vielgewundenen Kunststeinwangen. Die Pfeiler zwischen den Öffnungen zu den Fluren haben Sockel und Kapitelle aus Kunststein. Trotz und derb steht auf den Treppenhängen das eiserne Geländer; ein starkes Gitter aus senkrechten und wagerechten Stäben, von scharfeckigen mäanderartigen Verzierungen belebt. Jedoch wird die Strenge gemildert durch den breiten, hell-

polierten Handlauf aus Elsenholz. Die Wandflächen zeigen nicht mehr Werksteinbehandlung mit Fugenteilung, sondern sind glatt geputzt und mit Kaseinfarbe gestrichen. Die Farben, ein blasses Rötlichblau mit weiß abgesetzten Linien, sind nicht ohne Absicht ein wenig kalt gewählt, damit die Möglichkeit zu weiterer Steigerung verbleibt.

In den Fluren sind die geputzten Wände bis zur Kämpferhöhe in warmem Ockergelb gestrichen und mit einem schmalen grünen Mäanderstreifen abgeschlossen; die oberen Flächen und die Decken sind in leicht gebrochenem Weiß gehalten. Den Steincharakter bekunden nur noch die Fensterbretter, der Wandsockel und die Türumrahmungen. Für die Fensterbretter ist der gleiche grauschwarze, lebhaft gefleckte polierte Kalkstein gewählt, der für die Heizkörperverkleidungen der großen Halle verwendet ist. Die Türgehänge, die durch die ganze Stärke der Mauern reichen, sind aus Kunststein in ruhigem, grauem Kalksteinton gefertigt und scharriert. Aus dem gleichen scharrierten Kunststein bestehen die Schutzsockel der Wände. Den inneren Abschluß der tiefen Türnischen bilden die sattrot gestrichenen Türen mit ihren schwarzen geschmiedeten Drückern. Der Fußboden ist mit grünem Linoleum bedeckt.

In den Diensträumen sind sämtliche Decken weiß gestrichen. Einfache Stuckgesimse sind nur in den beiden Sitzungszimmern des zweiten Stockwerks angebracht, von denen das größere auch eine schlichte Kassettenteilung der Decke aus Stuck erhalten hat. Die Wände der Boten- und Aktenzimmer, sowie der Aborte und ihrer Vorräume sind gestrichen, die Wände sämtlicher übrigen Räume bis zu zwei Drittel ihrer Höhe tapeziert. Die Aborte haben Fliesenbelag als Fußboden; die 2 m hohen inneren Trennwände sind aus beiderseitig weißglasierten 3 cm starken Fliesen mit Eiseneinlage hergestellt, und in gleicher Höhe sind die Umfassungswände mit weißen Kacheln belegt. Die Türen sind hier dazu passend mit weißem Anstrich versehen.

Die Beheizung sämtlicher Räume erfolgt durch eine Warmwasserniederdruck-Heizung. Die Kessel sind in dem Heizkeller unter dem Zwischenbau, das Ausdehnungsgefäß über dem Treppenhaus des Gartenhauses aufgestellt. Die Verteilungsrohre befinden sich im Dachboden; die Rücklaufrohre liegen teils an der Kellerdecke, teils auf oder unter dem Kellerfußboden. Die senkrechten Heizstränge sind in Wandschlitz vermauert. Eine künstliche Lüftungsanlage erwies sich nicht als notwendig. In jedem Nutzungsraume ist mindestens ein Doppelfenster mit zwei versetzt angebrachten Glas-Steilläden in den Oberflügeln versehen, und an den einfachen Fenstern der Flure sind, wie bereits erwähnt, die Oberflügel mit einer von unten zu handhabenden Öffnungsvorrichtung ausgestattet. Außerdem sind für einzelne Räume (Aktenzimmer, Aborte) Entlüftungsrohre in den Wänden mit eisernen Lüftungsclappen angelegt.

In einem Vorraume des Heizkellers befinden sich ein Feuerungskessel und ein Boiler für eine Warmwasserversorgungsanlage. Die Entnahme des warmen Wassers, das vornehmlich der regelmäßigen Reinigung des Gebäudes dient, erfolgt an Zapfstellen in den Vorräumen der Aborte.

Eine Gasleitung ist nur für die Kochherde in den Dienstwohnungen, für das Erhitzen der Bügeleisen in der Plättstube des Dachgeschosses und für die Gaskocher in den

Verkaufsläden vorgesehen. Die Beleuchtung sämtlicher Räume geschieht durch elektrische Lampen. Den Schlußstein im Sandsteingewölbe der Vorhalle bildet ein Kranz aus Eichenblättern, der eine Halbwattlampe unter einer Kristallglocke als Deckenbeleuchtung enthält. Die Beleuchtung der großen Flurhalle ist bereits beschrieben. In den Fluren hängen einfache Pendel mit Glühlampen. Die Innenräume haben zumeist schlichte Deckenbeleuchtungen und Tischlampen erhalten. Die Dienstzimmer der höheren Beamten sind mit dreiflämmigen Kronen ausgestattet; größere Kronen sind für die Zimmer des Unterstaatssekretärs und der Ministerialdirektoren, sowie für die Sitzungszimmer beschafft worden. Die Beleuchtungskörper sind nahezu sämtlich aus Eisen gefertigt; nur einige fünfflämmige Kronen und einige Tischlampen haben Körper aus Holz nach besonderer Zeichnung erhalten.

Elektrische Kraft wird verwendet zum Betriebe des Personalfahrschulers und der beiden Aktenaufzüge, sowie für die Entstaubungs- und die Schmutzwasserhebeanlage.

Die Entstaubungsanlage Borsigscher Bauart zerfällt in die im Keller untergebrachten Maschinen und die Preßluftverteilungsrohrleitung. Die ersteren sind: ein zwölfpferdiger Gleichstromelektromotor, eine Luftpumpe mit Riemenantrieb und ein schmiedeeiserner Druckluftbehälter. Die Rohrleitung ist im Keller frei an der Decke verlegt und durch vier in Mauerschlitz hochgeführte Steigeleitungen in die Stockwerke des Gebäudes geleitet. In den Fluren befinden sich die Zapfstellen, an denen die Preßluftschläuche mit den Reinigungswerkzeugen angeschlossen werden können. Die Anlage arbeitet gleichzeitig mit Preßluft und Saugluft. Durch Entwicklung hoher Luftgeschwindigkeit innerhalb der Apparate soll eine leichte Lockerung und Entfernung des Staubes erzielt werden.

Die Schmutzwasserhebeanlage erfüllt die Aufgabe, die Abwässer aus dem Heizraume und den im Keller befindlichen Aborten und Baderäumen auf die Höhe der städtischen Entwässerungsrohre zu heben und so in die Kanalisation zu befördern. Auch hier wird die Maschinenanlage gebildet aus einem Gleichstrommotor, einer Luftpumpe und einem Druckluftkessel. Letzterer ist verbunden mit einer Vorgrube von $1\frac{1}{2}$ cbm Inhalt; ein kupferner Schwimmer mit Stromschlußstange bewirkt selbsttätig die Ein- und Ausschaltung des Motors.

Das Leitungsnetz und die Zentralapparate der Fernsprechanlage sind bereits derart angelegt, daß sie für den ganzen Neubau einschließlich des späteren Bauteiles II ausreichen werden. Die Zentrale ist im obersten Stockwerk des Zwischenbaues geplant, ist aber einstweilen noch an ihrer alten Stelle im Hause Leipziger Platz 10 belassen worden. Es ist ein neuer Fernsprechhauptumschalter beschafft, an welchen 15 Amtsleitungen mit zusammen 150 Postnebenstellen angeschlossen werden können. Dem Sprechverkehre innerhalb des Ministeriums dienen 260 Hausapparate. Die meisten Dienstzimmer des Neubaus sind mit je einem Tischapparate versehen; außerdem sind in jedem Stockwerke zwei Fernsprechzellen eingerichtet.

Von weiteren Schwachstromanlagen sind die Einrichtungen für Wächterkontrolle, Feuermeldung und elektrische Uhren bereits so weit vorbereitet, daß sie nach Fertigstellung

des zweiten Bauteiles sogleich angeschlossen und in Betrieb gesetzt werden können. Bis zu diesem Zeitpunkte bleiben noch die vorhandenen Einrichtungen in den alten Häusern am Leipziger Platz im Gebrauche.

Zur inneren Einrichtung der Zimmer sind teilweise vorhandene Möbel verwendet, teilweise sind neue Möbel in gediegener, aber einfacher Ausstattung beschafft worden. In den Aktenräumen sind Aktengestelle aus Eisenblech, vom Fußboden bis zur Decke reichend, aufgestellt worden, welche die Estler Regale-Gesellschaft in Magdeburg nach eigener Bauweise geliefert hat.

Der Zwischenbau bildet die Verbindung zwischen dem ersten und dem zweiten Bauteile. An die Flure im Gartenhaus des ersten Bauteiles schließen in allen Geschossen den Zwischenbau durchziehende Flure an, die vom Hof IV und von einem an der Nachbargrenze angelegten Lichthofe Licht erhalten. Die Diensträume liegen an der Gartenfront. Der Zwischenbau enthält im Keller die Heizungsanlage, im Untergeschosse Diensträume für Kutscher und Heizer, im Erdgeschosse Diensträume, im ersten Obergeschosse den etwa 135 qm großen Hauptsitzungssaal, im zweiten einen kleineren von etwa 100 qm Fläche nebst einem Geschäftszimmer, im dritten Obergeschosse den Raum für die künftige Fernsprechzentrale, sowie andere Diensträume. Die Geschoßhöhen, von Fußboden zu Fußboden gemessen, betragen im Keller 4,04, im Untergeschosse 3,30, im Erdgeschosse 4,00, im ersten Stockwerke 4,88, im zweiten 4,14 und im dritten 3,84 m. Die Frontflächen sind denen der Garten- und Hoffronten des ersten Bauteiles entsprechend ausgeführt.

Die tiefe Lage des Heizkellers machte eine besondere Grundwasserabdichtung erforderlich. Hierfür wurde eine 45 cm starke Sohle als Unterbeton hergestellt, auf der eine 10 cm hohe wasserundurchlässige Zementabdichtung mit Dachsteineinlage aufgebracht ist; eine zuverlässig dichte Zementschicht ist außerdem ringsum an den Innenwänden 83 cm hoch ausgeführt. Der Heizkeller ist mit einer doppelten Hohlsteindecke mit zwischenliegender Luftschicht überdeckt. Wegen der Beschlagnahme der eisernen Träger konnte außer dem Keller nur noch ein volles Stockwerk Hohlsteindecken erhalten, die sonst nur über den Fluren, deren geringe Breite die Verwendung von Trägern entbehrlich machte, verlegt wurden. In den übrigen Stockwerken wurden über den $7\frac{1}{2}$ m tiefen Räumen an der Gartenfront zwischen Eisenbetonträgern Decken nach der Bauweise Raebel in Zementbeton gestampft.

Für die Fußböden der Dienstwohnungen, Bureaus und Flure konnte Linoleum nicht mehr beschafft werden. Als Ersatz ist einstweilen hier ein fugenloser Steinholzfußboden „Konit“ aufgebracht worden, der die spätere Überklebung mit Linoleum nicht ausschließt. Die noch nicht fertiggestellten Sitzungssäle erhalten eichenen Stabfußboden. Für den größeren Sitzungssaal ist ein rings umlaufendes kiefernes Wandpaneel vorgesehen, dessen Füllungen mit Faserstoffgewebe bespannt werden sollen; die geputzten Wandflächen oberhalb des Paneels werden, ebenso wie die ganzen Wandflächen des kleineren Saales, mit farbigem Anstrich versehen werden. Die Wandflächen der Diensträume und der Zimmer der Dienstwohnungen sind tapeziert, die Decken weiß gestrichen. Die Flure sind hinsichtlich ihrer farbigen Behandlung mit denen des ersten

Bauteiles in Übereinstimmung gebracht. Desgleichen entsprechen Türen, Fenster, Aborte usw. im Zwischenbau denen des ersten Bauteiles.

Mit den Bauarbeiten am ersten Bauteile wurde im Sommer 1913 begonnen. Eine durchgreifende Planänderung der Straßenfront im Winter 1913/14, ein längerer Streik der Steinmetzen in den schlesischen Sandsteinbrüchen im Frühjahr 1914, sowie der Ausbruch des Weltkrieges brachten Verzögerungen mit sich, so daß erst Ende April 1915 alle Dächer gerichtet waren. Im Herbst 1916 wurde der erste Bauteil bezogen. Zu seiner Beheizung war eine Hälfte des Heizkellers unter dem Zwischenbau bereits ausgeführt, eingerichtet und vorläufig mit einem Schuppen überbaut. Nach dem langen und harten Winter 1916/17 wurde der Heizkeller fertiggestellt und der Zwischenbau darüber begonnen.

Über die Höhe der Baukosten lassen sich abschließende Angaben noch nicht mitteilen, weil die Abrechnung des ersten Bauteiles noch nicht beendet und der Zwischenbau nicht fertiggestellt ist. Die Kosten des gesamten Neubaus ohne innere Einrichtung waren auf 3 000 000 Mark veranschlagt, wobei sich das Geviertmeter bebauter Fläche auf 582,57 Mark und das umbaute Raummeter auf 25,16 Mark stellte. Nach bisheriger Schätzung werden sich die wirklichen Kosten für den ersten Bauteil etwa auf 1 397 800 Mark belaufen,

wobei sich die Ausgabe für 1 cbm umbauten Raumes zu 28,82 Mark ergeben würde. Wesentlich teurer wird sich der Zwischenbau stellen, weil inzwischen erhebliche Preissteigerungen in Löhnen und Baustoffen eingetreten sind. Seine Ausführung konnte gleichwohl nicht zurückgestellt werden, da eine wettergeschützte Verbindung zwischen dem neuen ersten Bauteile und den alten Häusern am Leipziger Platze zur Aufrechterhaltung des geschäftlichen Betriebes unentbehrlich ist.

Nach dem im Ministerium der öffentlichen Arbeiten aufgestellten Vorentwurfe ist der ausführliche Entwurf durch den Regierungs- und Baurat v. Saltzwedel ausgearbeitet worden. Unter der Oberleitung des Geh. Baurates Hesse im Ministerium der öffentlichen Arbeiten und unter Aufsicht des Regierungs- und Geh. Baurates Hohenberg lag die örtliche Bauleitung anfangs dem Regierungs- und Baurat v. Saltzwedel unter Mitwirkung des Regierungsbaumeisters Gerlach ob. Im März 1914 wurde infolge Versetzung des Herrn v. Saltzwedel die Bauleitung dem Regierungs- und Baurat Grube übertragen, der jedoch bei Ausbruch des Krieges zugleich mit dem Regierungsbaumeister Gerlach zum Heeresdienste eingezogen wurde. Grubes Vertretung übernahm im August 1914 Baurat Rudolph und vom 1. Oktober 1915 ab Baurat Kübler.

Flandrische Edelsitze.

Von Dr.-Ing. Hans Vogts in Merl (Mosel).

(Schluß.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

IV.

Die zweite Hälfte des 17. und der Anfang des 18. Jahrhunderts waren in Flandern an ländlichen Neubauten arm, wohl eine Folge der vernichtenden Raubkriege Ludwigs XIV., vielleicht aber auch eine Gegenwirkung gegen die weitgehende Baulust zu Beginn des 17. Jahrh., die das Baubedürfnis für mehrere Geschlechter gedeckt hatte. Gilt dies von den südlichen Niederlanden überhaupt, so doch besonders von Flandern, das die Führung auf diesem Gebiet an Brabant und die wallonischen Provinzen abtritt. Der rege Landhausbau Hollands und das Tafelwerk Vingboons aus Amsterdam (1688), das auch mehrere Landsitze bringt, blieben anscheinend ohne Einfluß. — Palladios Gedanke einer symmetrischen, möglichst einheitlichen und zusammengefaßten Bauform lebte zunächst fort; ein gutes Beispiel dafür ist das anfangs des 18. Jahrh. entstandene, im 19. Jahrh. nach einem Brande auf den alten Grundmauern wieder aufgebaute Schloß Bossuit an der Schelde mit vier turmartigen Eckbauten und dazwischen eingefassten Terrassen (Abb. 26). Reicher, aber ähnlich gegliedert ist das Schloß von Poëke bei Deinze (Abb. 27 u. 30) mit giebelbekrönten Mittelrisaliten, runden Ecktürmen und weit vorspringenden

Seitenrisaliten der Hauptfront, zwischen denen sich ein Ehrenhof öffnet. Der prächtige Bau vom Jahre 1752 bringt nicht nur in dieser Anordnung, sondern auch in einzelnen Schmuckteilen schon die Formen des Rokokostiles.

Diese und ähnliche Schöpfungen haben eine auffallende und nicht nur auf die Gleichheit der Baustoffe (Ziegelrohbau mit Hausteineinfassungen) beschränkte Verwandtschaft mit den gleichzeitigen Schloßbauten des Niederrheins und des Münsterlandes.¹⁸⁾

Das französische Vorbild führt zu einer anderen Gestaltung des Aufbaues, als sie noch Bossuit beherrscht; um dem Wohnbedürfnis bequem Rechnung zu tragen, ergeht man sich in die Breite und läßt den Gedanken zusammengefaßter Hausform fahren. Um so maßgebender bleibt die Forderung unbedingter Symmetrie. Sie führt unwillkürlich zu einer Betonung der Mitte und der beiden Enden, der Mitte durch Portal und Giebel, der Enden durch Risalite, bei lebhafterer Gliederung durch Eckbauten, bei weitläufigeren Anlagen durch Seitenflügel und die Bildung eines dazwischenliegenden Ehrenhofes. Die Forderung der Symmetrie schließt

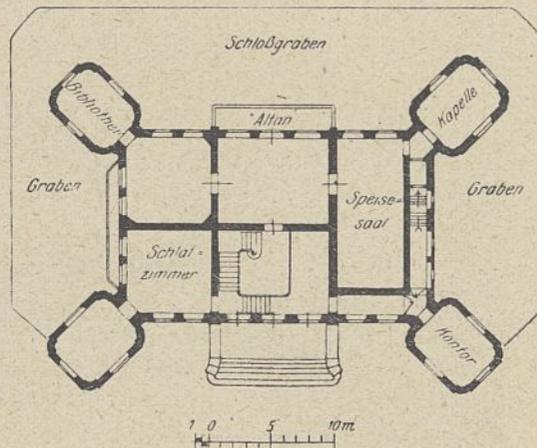


Abb. 26. Schloß Bossuit. Erdgeschoß.

18) Wie zu Anmerkung 7.

zweiflügelige Bauten im allgemeinen aus; wo sie geschaffen werden, wie durch den Klassiker der belgischen Baukunst dieser Zeit, durch De Wez, in Overhamme bei Aalst, führen sie auf die Benutzung älterer Grundmauern zurück und handelt es sich um bescheidene Anlagen. Andererseits werden auch ältere Wasserburgen in symmetrische Bauten verwandelt, wofür die Schauseite des freundlichen Landsitzes Welden bei Gent ein gutes Beispiel liefert. Bei einheitlichen Neuschöpfungen richtet sich die Umgebung des Herrenhauses nach diesem und nach denselben Gesichtspunkten: die Wirtschaftsbauten werden, wie wir es schon in Laarne sahen (Abb. 8), symmetrisch angeordnet, oft an Stelle der Seitenflügel zur Bildung des Ehrenhofes oder zu einer Verlängerung der Seitenflügel benutzt; die Zufahrtsallee mit ihren Baumreihen, das vordere, zuweilen von pavillonartigen Pfortnerhäuschen flankierte Tor, die über den Graben führende Brücke unterstreichen die Betonung der Mitte.

Aus der großen Zahl der Schloßbauten dieser Art seien genannt der weitläufige hufeisenförmige Bau in Ingelmunster, dann das Schloß der Familie Rodriguez auf Destelbergen zu Beerlegem in gefälliger Verbindung von Backsteinrohbau mit Sandsteingliederungen und als ein geschmackvoller Putzbau mit flachem Relief ganz im Geiste gleichzeitiger Genter Bauten, besonders der dortigen Baumeister Bernhard De Wilde und David t'Kindt, das Haus Ter Beken der Familie von Allegambe zwischen Drongen und Mariakerke (1748, Abb. 28, 29 u. 31), bei dem Anbauten mit dreiseitigem Schluß in eigenartiger Weise zwischen dem Wohnflügel und den seitlichen Wirtschaftsbauten vermitteln. Dafür, daß der dreiflügelige Grundriß weniger im Zusammenhang mit dem französischen Einfluß stand, als vielmehr auf Grund natürlicher Bedingungen und alter Überlieferung aufkam, zeugt das ehemalige Schloß in Olsene (nach einem Gemälde im Besitz des Barons Peers in Kruishoutem), wo die Seitenflügel noch mit echt flandrischen Stufengiebeln schließen, und das Haus in Eeke, ein Empirebau, der in seiner Schlichtheit ganz ohne Anschluß an bestimmte Bauformen ist.

Andererseits wird aber die Vorherrschaft der französischen Kunst immer fühlbarer. Einer ihrer Führer, Servandoni, schuf das große Schloß von Ursel

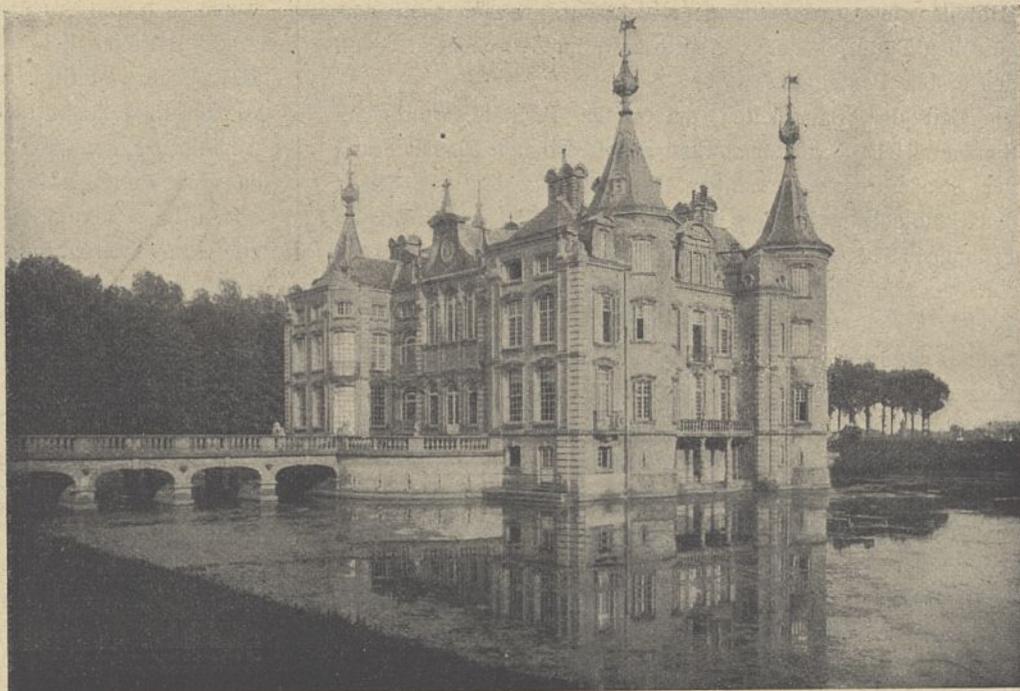


Abb. 27. Schloß Poeke bei Deinze. Vorderansicht.

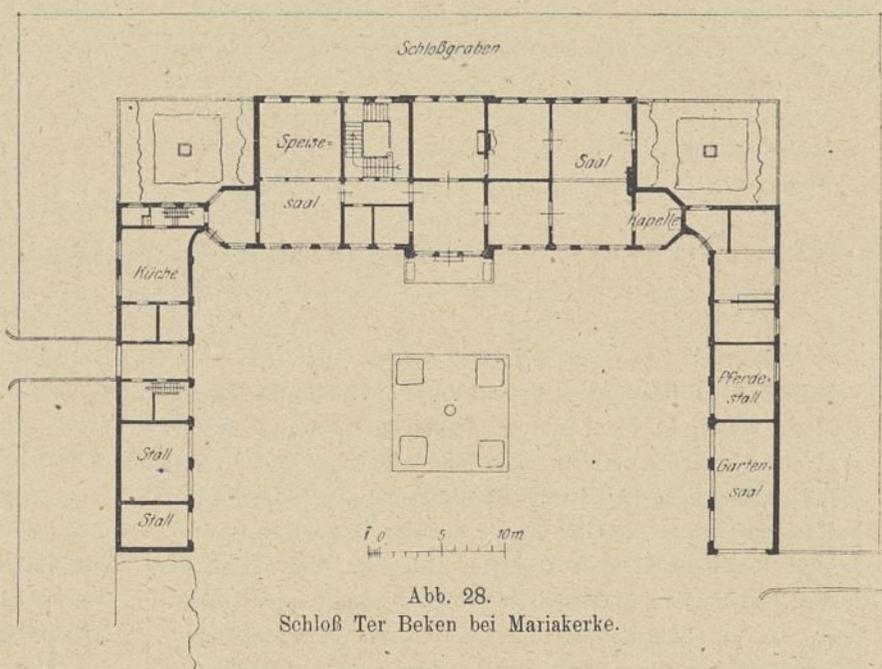


Abb. 28. Schloß Ter Beken bei Mariakerke.



Abb. 29. Schloß Ter Beken bei Mariakerke.

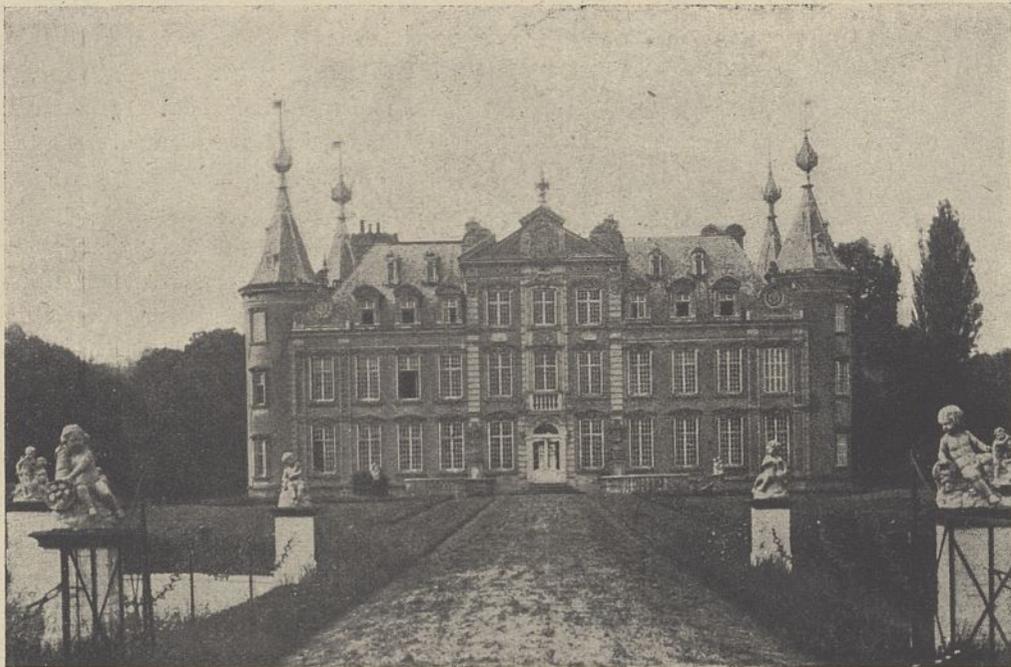


Abb. 30. Schloß Poocke bei Deinze. Gartenansicht.

für den Herzog von Arenberg. In der Grundrißbildung folgt man vielfach dem Vorbild Boffrands und Blondels, von denen der erste auf belgischem Boden ein Jagdhaus für den Statthalter Max Emmanuel von Bayern plante. Man wußte in die starre Außenform eine Folge verschieden gestalteter, selbst

eine in Deutschland fast unbekannt oder doch nur auf einige Fürstnhöfe beschränkte Sitte. Ein Beispiel aus der Rokokozeit bietet Oosterzele, ein solches aus den letzten Jahrzehnten des 18. Jahrh. mit feingeteilter Fassade Kurne bei Kortrijk; die Landsitze in Wondelgem (Abb. 34 u. 35) und

kreisrunder oder länglich runder Räume einzuschließen. Gefälliger sind gerade bei diesem Stil oft die kleineren Anlagen, von denen Schloß Spiere (Abb. 32) genannt sei. Die strenge Achsenteilung, die Zusammenfassung der Mittelrisalitgeschosse, die Eckbauten, welche die Seitenflügel vorn abschließen, und deren Blendarkaden lassen an die Art des schon erwähnten De Wez denken, der sich selbst einen Landsitz bei Mecheln in seiner Herrschaft Steen und außer dem schon genannten Overhamme die Schlösser von St. Ulrich und Brugelette bei Ath schuf.

Auf unmittelbaren französischen Einfluß gehen auch die häufigen einstöckigen Landhäuser zurück, die als Sommersitze reicher Stadtherren nur wenige Räume enthalten,

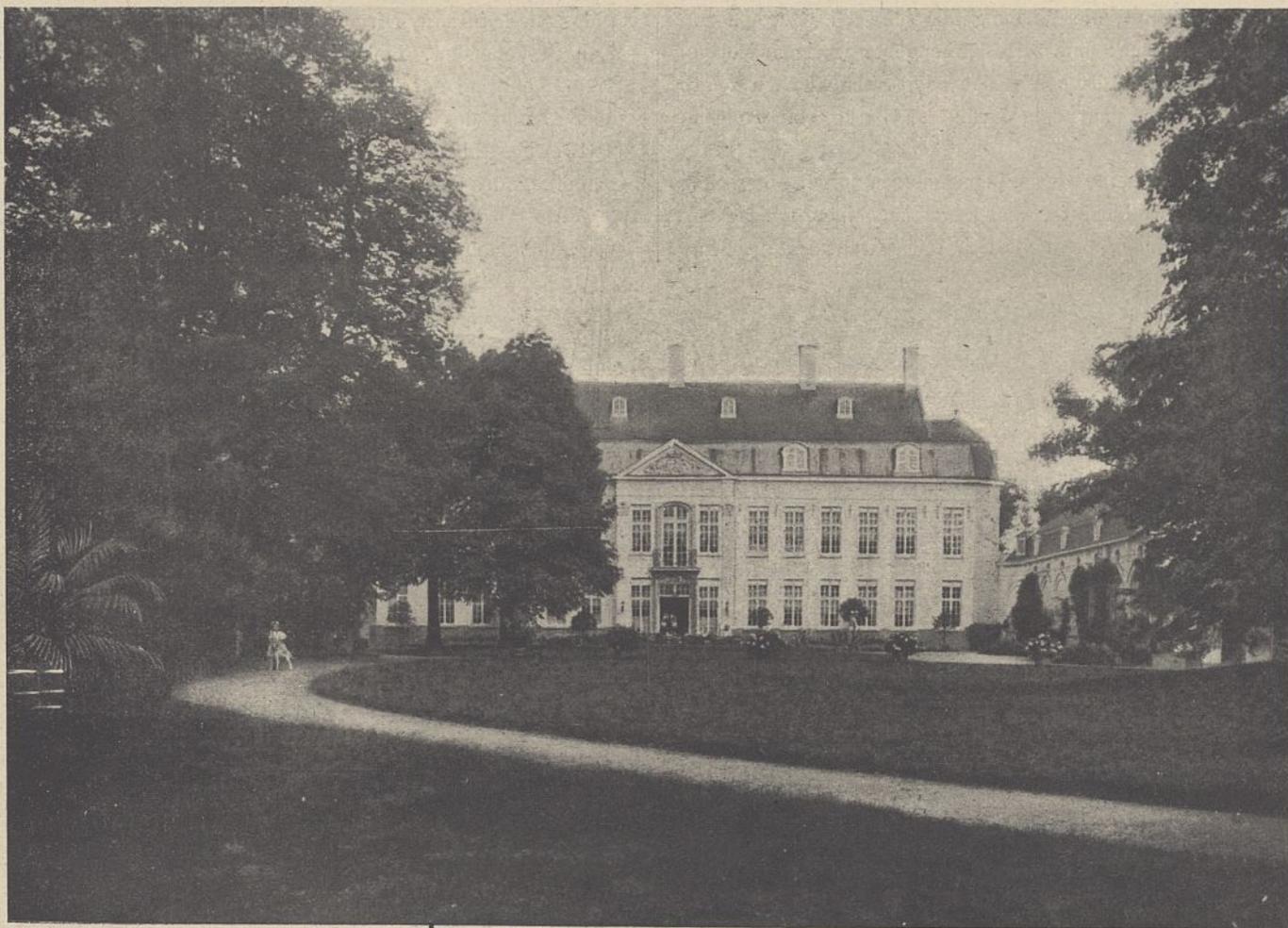


Abb. 31. Schloß Ter Beken bei Mariakerke (Gemeinde Drogen). Gartenansicht.

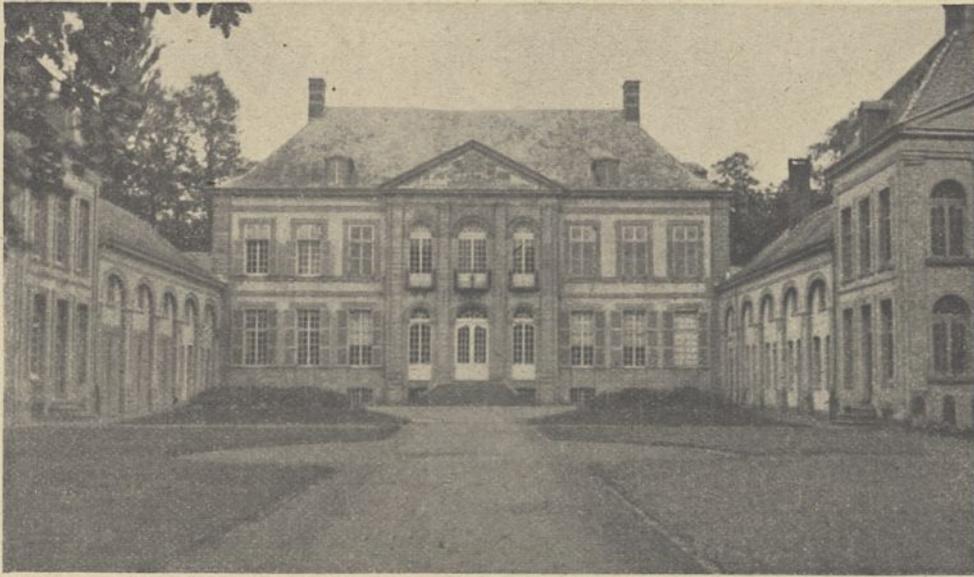


Abb. 32. Schloß Spiere (Espierres).

Hingene bei Antwerpen (Baumeister De Wailly aus Lille, um 1790) überliefern die Tafeln Goetghebuers aus dem Anfang des 19. Jahrh. Die geringen Abmessungen schließen oft eine wertvolle Durchbildung der Fassaden wie der Innenräume nicht aus, an der sich die ersten Künstler beteiligen. Daneben finden sich ganz schlichte Bauten dieser Art, wie ein Biedermeierhäuschen mit leichter Säulenhalle bei Zaffelare.

Die Gliederung der Fassaden ist meist von schwächstem Relief, so beim Edelsitz von Heusden. Dort finden wir auch ein Mittel, die Wirkung der schwach vortretenden Pfeiler zu verstärken: eine zarte Farbgebung, die zwischen den weißen Architekturteilen rosige oder gelbe Flächen zeigt und in Verbindung mit dem Grün der Parke von großem Reize ist.

De Wez und seine Gesinnungsgenossen leiten einerseits zu klassischer Einfachheit, andererseits zu einer feierlichen Monumentalität über, die gern den Mittelrisalit mit großen,



Abb. 33. De Pinte bei Gent.

die Geschosse zusammenfassenden Säulenstellungen und mit Giebeln, Attiken oder gar Kuppeln versieht. In diesem Sinne führt Guimard in Brüssel das Lebenswerk und den Stil De Wez' fort; in Flandern errichtet er 1786 den schmucken Landsitz Wannegem bei Oudenaarde (Abb. 37 u. 38). Zur Aufnahme eines länglich runden Vorsaaals oder Saales treten die Mittelrisalite häufig halbrund oder dreiseitig vor die Front; sehr fein ist dieser Vorbau bei den zu dieser klassizistischen Gruppe gehörenden Schlössern von Izegem (Rückseite) und Vinderhoute (1807) (Abb. 36) in eine hohle Biegung der übrigen Fassade eingefügt, welche die Seitenrisalite pavillonartig vorschiebt. Als weitere Beispiele dieses Stils seien genannt

ein bescheideneres Schloßchen zwischen Melle und Heusden, Ter Saxen bei Beveren (1770), Temsche, ein Bau des Brüsseler Bankherrn Schoore vom Jahre 1783, Waesmunster mit mittlerer Säulenhalle und Kuppel, 1818 für Albert Vermeulen von dem Dendermonder Baukünstler J. B. Dubois errichtet,¹⁹ Meerendree und Zwijnaarde und viele andere. Ein Hauptmeister dieser Bauart war J. B. Pisson aus Gent (Wondelgem, Mooregem bei Oudenaarde, Oostacker, wahrscheinlich auch De Pinte bei Gent, Abb. 33); ihm schlossen sich Brou, Dutry, Van de Capelle, dieser mit dem noch bestehenden, einem etruskischen Tempel gleichenden Schloßchen von Destelbergen (1821/23) an. Großartiger war die Besetzung des Barons Peelart in St. Andries bei Brügge (1813, Abb. 42 bis 44), von langen Säulengängen flankiert, eine Schöpfung des Brügger Architekten van Geerdgom.²⁰

Die Vorliebe für die klassizistischen Formen geht so weit, daß man älteren Häusern, z. B. dem Herrenhaus von Vinderhoute, eine neue Fassade schafft und in dieser Kulissenarchitektur vor aufgemalten Fenstern und Steineinfassungen nicht zurückscheut, ja sogar ein ganzes attikaartiges Obergeschoß vortäuscht. Diese Unwahrheiten ist man aber zu verzeihen geneigt angesichts der guten Verhältnisse und der Anregungen, die eine Verbindung eines mittelalterlichen Treppenturmes mit einer Empirefassade bietet (Abb. 16, 17 u. 39).

Die Zeit nach den Befreiungskriegen brachte eine immer weitergehende Anspruchlosigkeit und Be-

19) Vgl. über die Landsitze im Waes aus dieser Zeit Van den Begaerde District van St. Nicklaas, 1825, III.

20) Vgl. zu den meisten der aufgeführten Bauten des Empirestils Goetghebuers, *Choix de Monuments* (mit vielen Tafeln, Grundrissen und Ansichten und reichhaltigem Künstlerverzeichnis).



Abb. 34. Landhaus in Wondelgem.
(Nach Goetghebuer.)

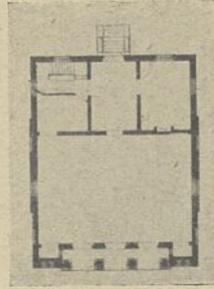


Abb. 35. 1:600.
Grundriß.

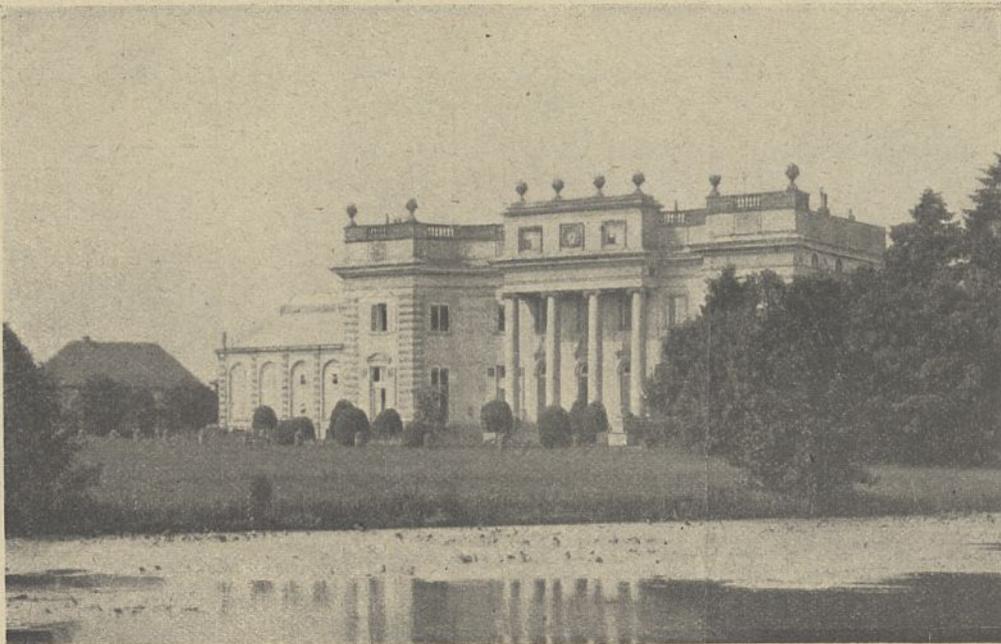


Abb. 36. Schloß Vinderhoute.

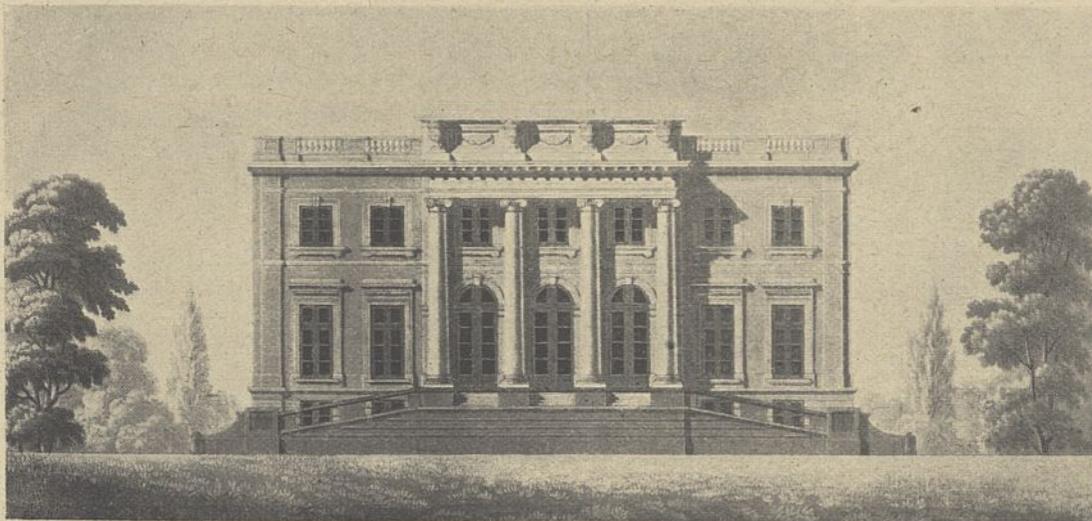


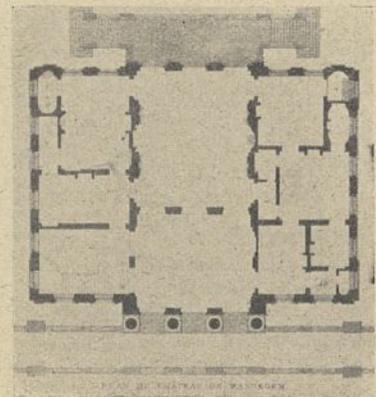
Abb. 37. Schloß Wannegem bei Oudenarde.
(Nach Goetghebuer.)

scheidenheit der Bauweise, die aber nicht eines gediegenen Eindrucks entbehrt. Diesen Eigenschaften entspricht die vielfach noch erhaltene innere Einrichtung. Gute Beispiele finden sich überall, besonders in St. Denis-Westrem, Melle, Meirelbeke, Vinderhoute, Scheldewindeke (Blauwkasteel) und bei Kortrijk. Statt der früheren farbigen Behandlung war ein gleichmäßiger weißer Verputz allgemein geworden, der zwischen dem Grün der Parke von freundlichem, heiterem Aussehen ist. Durch ihre an Nüchternheit grenzende Zurück-

haltung und Sparsamkeit verschuldete diese Bauart aber den Verlust mancher guten Überlieferung einer hochentwickelten Baukunst und aller Bauhandwerkzweige. In die dadurch entstehende Lücke und Leere drängte sich der Eklektizismus.

Zuerst wirtschaftete eine trockene Neugotik, die aus England eingeführt wurde; bezeichnend ist für ihre Beurteilung ein Um- und Ausbau der älteren Burg des Grafen Vilain in Basele,²¹⁾ wo den Raumgedanken der Empirezeit gotische Formen aufgezwängt werden. Noch unfruchtbarer war die französische Schulung, die zugleich mit dem politischen Einfluß des zweiten Kaiserreichs Oberhand gewann und um so mehr Werte vernichten konnte, als sie von der steigenden wirtschaftlichen Blüte und Bedeutung des Landes Nutzen zog. Von kunstgeschichtlichen Liebhabereien und Reisekenntnissen der Bauherren und ihrer Künstler geleitet, gefiel sich die Baukunst in einer Häufung von Motiven, ohne deren Wesen und Sinn zu ergründen. Dabei kann der Wechsel der maßgebenden Familien gerade auf belgischem Boden nicht als ein ausreichender Grund für den Verlust

21) Goetghebuer, Seite 54, Tafel LXXIX f.



0 5 10 20m

Abb. 38. Grundriß.

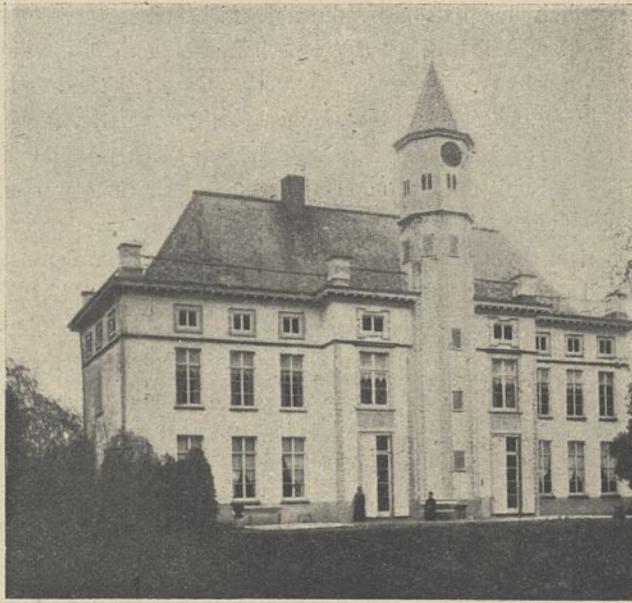


Abb. 39. Herrenhaus von Vinderhoute.

einer guten Bauüberlieferung gelten, weist doch die Geschichte des Landhausbaues in den voraufgehenden Jahrhunderten schon so oft neue Geschlechter auf, die ihren Namen von jungem Ruf mit dem der alten Edelhöfe verknüpfen.

V.

Das Bild, das wir vom flandrischen Edelsitz und seiner Entwicklung gaben, wäre unvollständig ohne die Betrachtung

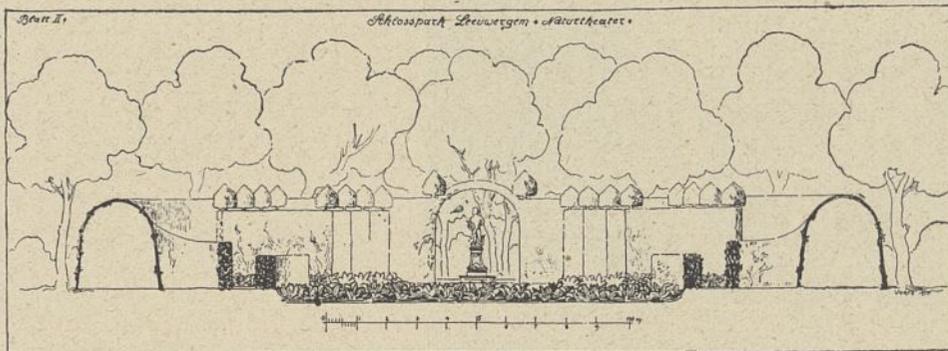


Abb. 40. Querschnitt durch das Naturtheater.

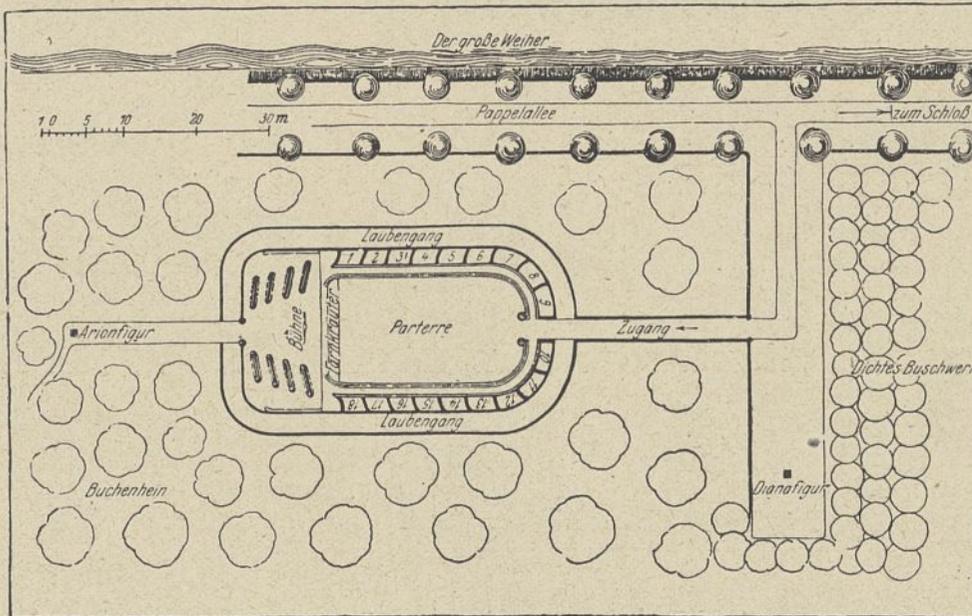


Abb. 41. Grundriß.

Abb. 40 u. 41. Naturtheater im Schloßgarten Leuvergem.

des Rahmens, den ihm die Gräben, Gärten und Parke geben, zwischen dem Bau und der Landschaft vermittelnd. Den busch- und weidenumstandenen Gräben, in denen sich die Bauwerke spiegeln, kommt in der Tiefebene dieselbe Aufgabe zu wie den starren Mauern, welche die Kunstformen der Hochschlösser mit dem Steingeschicht der umgebenden Bergwelt verbinden.

Parke und Gärten fehlen schon beim mittelalterlichen Landsitz nicht. Den Garten dieser Zeit können wir uns am besten nach den Miniaturen und Gemälden der flämischen Meister vergegenwärtigen. Sie haben zwar wohl häufiger Kloster- als Schloßgärten zum Vorbild genommen, aber die Klostersgärten waren ja wieder die Vorbilder der übrigen Gartenkunst. Wir finden da mauerumschlossene blumenreiche Wiesen, zuweilen durch einige schmale Wege geteilt, häufig mit Obstbäumen (wie auf einem Seitenflügel des van Eyck-schen Bildes in Ypern), zuweilen mit steinernen Sitzbänken, mit Rosenlauben oder mit zierlichen plätschernden Brunnen (wie auf Madonnenbildern des Jan van Eyck und seiner Schule in Berlin und Antwerpen). Ungefähr so sehen noch heute die Höfe der flandrischen Bauernanwesen und die Gärtchen der Beginen aus; die Wiesenplätze dienen zugleich als Spielplätze, Weiden und Bleichen. An solche Ziergärten schließen sich regelmäßig und zweckentsprechend aufgeteilte Nutzgärten mit Obst- und Gemüseplantagen. Untrennbar von den Gärten schien ihre Belebung durch Getier und Geflügel, weshalb die großen Parke auch den Namen „vivarium“ (Tiergarten) führten

(woher die häufige Ortsbezeichnung Wavern, Wavre usw., auch die heute so oft genannte Woevre bei Verdun). Diese Gartenkunst des Mittelalters war vielleicht vom biblischen Bild des Paradieses befangen. Gerühmt werden besonders derartige Parke der Herzöge von Brabant in Löwen, Brüssel²²⁾ und Tervueren.

Die italienische Gartenkunst, die im 15. Jahrh. vorbildlich wurde, brachte nur insofern Neues, als die bisherige, meist unsymmetrische Zwanglosigkeit nun durch einen geometrischen Plan und bestimmter eingefasste Wege ersetzt wurde; im übrigen drückte sich der neue Stil in größerem Reichtum aus. Der Wechsel im Gartenbau vollzog sich im gleichen Schritt mit dem besprochenen Wechsel zwischen Wehr- und Landsitzbau.

Das Beispiel gaben wieder die Schöpfungen der Statthalterin Maria von Ungarn. In Binche wurden zwei Gärten angelegt, in der Mitte des einen ein 10 Fuß weites Brunnenbecken, in der Mitte des anderen ein achtsäuliger Pavillon; um diese Mittelpunkte gruppierten sich Rasenflächen und Blumen-

22) Vgl. dazu u. a. den Reisebericht des böhmischen Barons de Rosmital vom Jahre 1466, Messenger des sciences 1847, 42.

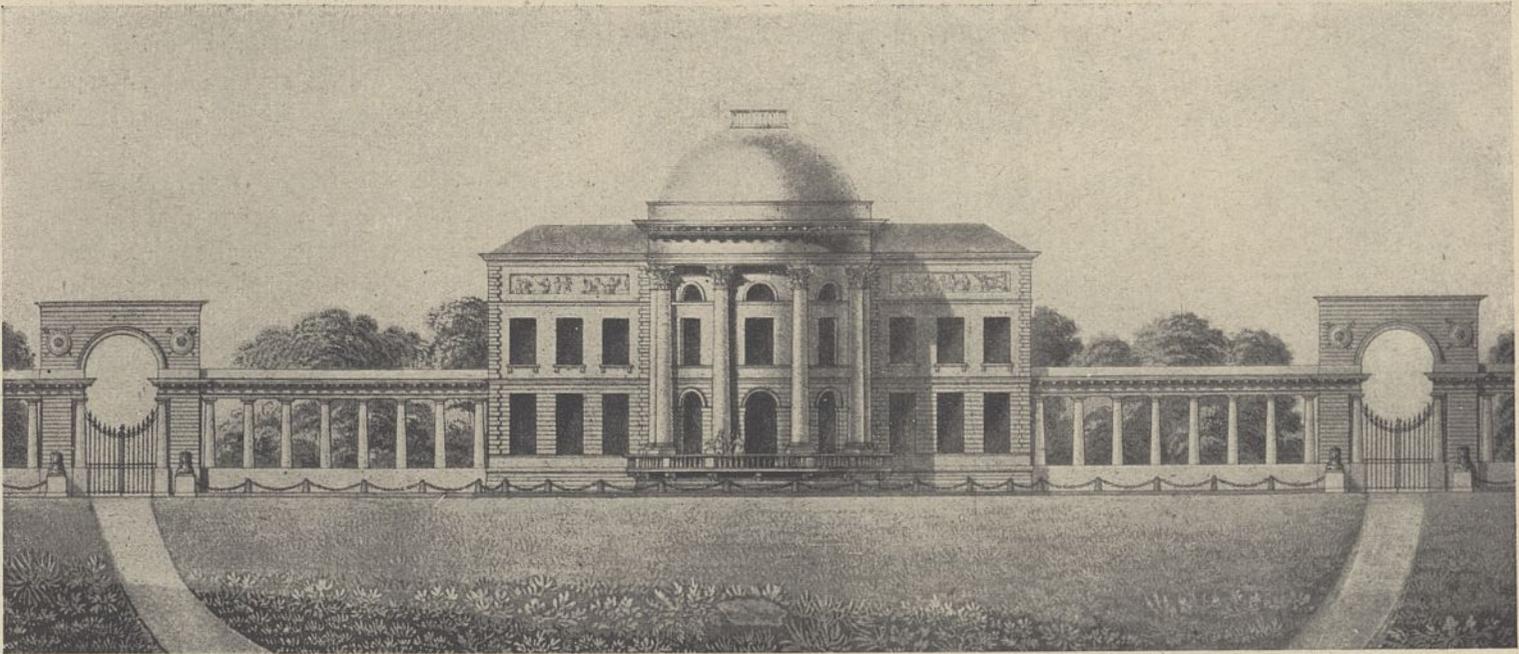


Abb. 42. Schloß St. Andries bei Brügge. (Nach Goetghebuer, Choix des Monuments.)

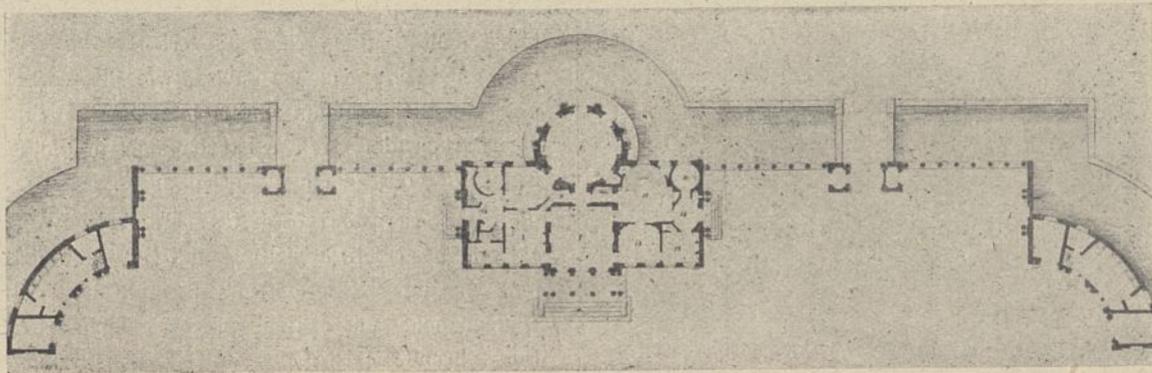
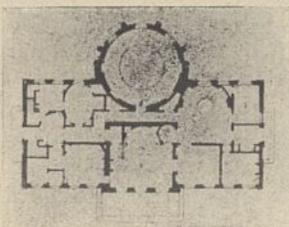


Abb. 43. Erdgeschoß. 1:800.

beete, die auch figürlichen Schmuck, darunter antike Skulpturen oder Nachahmungen von solchen, erhielten. In Mariemont werden zahlreiche Brunnen und Wasserspielereien erwähnt. Wasserkünste und Grottengewölbe mit sprudelndem Wassergetier und Geflügel zierten auch die prächtigen Gärten des alten Hofes in Brüssel. Ein Italiener Pastorana schuf nach solchen Vorbildern den Lustgarten des Kardinals Granvella zu St. Josse ten Noode, wo auch ein Schloßpark des Herzogs von Croy entstand. Bezeichnend war das Buenretiro des Dichters Joh. Bapt. Houwaert († 1599) zu Molenbeek bei Donkermolen, des flämischen Sängers der Frauen und der Liebe, eines Schwiegersohnes des kaiserlichen Baumeisters Sebastian van Noye; bis zum Anfang des 19. Jahrh. war sein Lustgarten als Klein-Venetie erhalten und den Brüsselern wohlbekannt. Italienische Gartenkunst pflegt und verbreitet dann vor allem der erfindungsreiche Antwerpener Architekt Vredeman de Vries, der 1565 seine „Hortorum viridariumque tabulae“ herausgab (2. Aufl. 1583) und darin die Stilunterschiede der antiken Ordnungen durch die Gartenkunst mit ihren Hecken, Lauben, Einfassungen, Beeten und kunstvoll beschnittenen Bäumen auszudrücken versuchte.

Brabant bleibt auf diesem Gebiete führend; das lehren nicht weniger die Bilder brabantischer Klöster in des San-

Abb. 44. Obergeschoß.
(Nach Goetghebuer.)

derus Chorographia Brabantiae (1656/64) als die Tafeln Le Roys von den Kastellen des Herzogtums (1699). Im Park des Barons de Stalle in Laeken sah man zwei Blumenflächen, eine dreieckige höher gelegene und eine größere geviertförmige, beide mit einem Springbrunnen als Mittelpunkt. Im Park bei Kampenhout, dem Schlosse Everhards von der Mark, waren „das Notwendige, Nützliche, Angenehme“ vereinigt; bemerkenswert sind von der dortigen

Anlage die acht von einem Punkt ausgehenden Triften, die den Baumgarten teilen. Ähnliche Baumwege bot das Lusthaus Ferdinand Rooses zu Scherrebeke bei Brüssel, wo sie einen rechteckigen Weiher umgaben; den eigentlichen Ziergarten belebten zwei Lauben und zahlreiche Springbrunnen; derselbe Edelmann legte den kaum minder schönen Park in Bouchoute bei Grimbergen an. Durch ein „Labyrinth“, eine beliebte Gartenform des 17. Jahrh., schon im Mittelalter ein beliebtes Motiv für Kachelfußböden (vgl. den Plattenfußboden des großen Saales im Rathause in Gent), war der Park von Waterwale-Böschvoorde bei Brüssel ausgezeichnet, durch schön geschnittene Hecken und Einfriedigungen die kleineren Gärten von Trazegnies (Hennegau) und Duysborg bei Tervueren. Gartenkunst und Gartenpflege dieser Zeit sind der Gegenstand zweier kennzeichnenden Gemälde im

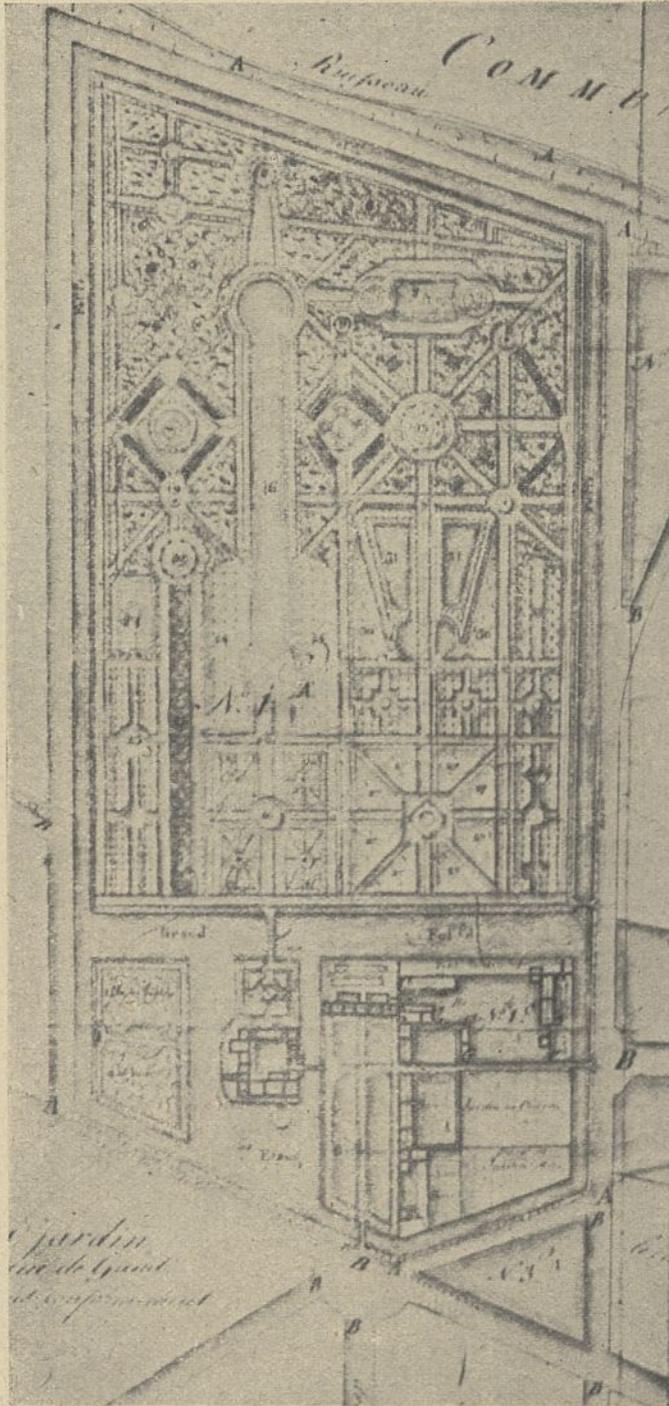


Abb. 45. Schloß Loochristi. Lageplan und Park.

(Nach einer Zeichnung des Geometers De Vuere in der Sammlung Goetghobuer, Gent, Universitätsbibliothek.)

Antwerpener Museum, die von J. Grimmer († 1595) und Abel Grimmer (1624) stammen.

An diese brabantischen Vorbilder schließen sich die flandrischen Gärten eng an. Als große Seltenheit ist im Klosterhof der Biloke in Gent ein Renaissancegarten, wahrscheinlich vom Jahre 1662, erhalten, mit Taxusbüschen auf den betonten Punkten und mit buchsbaumgefaßten Wegen, die einem geometrischen Plan folgen. Auf den Tafeln des Sanderus begegnet man vor allem, auch als Umgebung der noch aus unfreundlichem Mittelalter stammenden Kastelle, Laubengängen und Laubentempelchen, deren acht — auf den Schnittpunkten der Gartenwege — der Park zu Poeke bei Deinze aufwies. Eines der schönsten Beispiele war der Garten des Belvedere bei Gent, dessen Aufteilung ganz der Fassade

entspricht (Abb. 47). Eine flandrische Eigenart waren vielleicht die häufigen Zierinseln im Grabennetz; eine solche sechseckige Insel mit regelmäßiger Aufteilung, Löwen als Wappenhältern, Freitreppen, geschnittenen Bäumen und Hecken lag beim Genter Prinzenhof. In den zu diesen Inseln führenden Brücken erhielt der Garten weitere Schmuckgelegenheit. Eine besonders schöne Anlage gibt Sanderus beim Schloß Leuvergern an, die der Gouverneur Valentin van Lannoy von Hulste und seine Gattin Isabella van Laloo schufen, mit Laubeneinfassungen und einem Ehrenhof, in dem aus gefälliger doppelter Blumenschale in schönem Bogen Wasserstrahlen sprangen und von Beckenrand zu Beckenrand plätscherten. Der letztgenannte Park wurde, als Johann Franz d'Heyne Schloß Leuvergern 1724 neu erbaute²³⁾, umgewandelt und birgt noch aus seiner Zeit, abseits von einer großartigen ansteigenden Folge verschieden gestalteter Wasserflächen, das köstliche Naturtheater mit einem Logenkranz und Seitenkulissen aus sorgsam beschnittenen Buchenhecken (Abb. 40 u. 41). Mehr noch als in den Wohngebäuden spiegelt sich in solchen Werken der Gartenkunst Geist und Lebensart der damaligen Gesellschaft wieder.

Offenbar kam der italienische Geschmack in der Gartenkunst den Neigungen der Niederländer und ihrer Formenlust sehr entgegen; manches davon, wie die Vorliebe für Lauben und künstlichen Baumschnitt, ist volkstümlich geworden; aus den Parks der Großen hat es sich in die Kleingärten gerettet und dort bis heute erhalten.

Der französische Gartenstil ist eigentlich nichts als eine besondere Entfaltung und Entwicklung der von Italien und von den Niederlanden mit ihrer alten Überlieferung in Blumenzucht und Blumenpflege gekommenen Anregungen. Der führende Meister der französischen Gartenkunst Lenôtre arbeitete selbst nahe der flandrischen Grenze, wo er 1711 den teilweise in damaliger Form erhaltenen Park von Belloeil bei Ath für den Fürsten von Ligne mit einer Wasserfläche von rund 35 zu 170 m Ausdehnung schuf. Ihren Hintergrund bildet heute ein „englischer“ Park, den der Feldmarschall Fürst von Ligne 1786 anlegte, als er auch den heutigen großartigen Zugang zum Schloß, die Brücke mit den flankierenden Vorbauten, entstehen ließ.

Eine prächtige Schöpfung, die den französischen Gartenstil mit dem neuen englischen verband, gibt ein Plan des Geometers De Vuere zur Umbildung des alten Genter Bischofshofes in Loochristi (Abb. 45) für den prachtliebenden Bischof Ferdinand von Lobkowitz (1778—1792) wieder (Universitätsbibliothek, Sammlung Goetghebuer, XVII). Man beachte, wie vor dem Haupteingang Baumwege von fünf Richtungen zusammengefaßt sind, davon einer mit dem Blick auf die Kirche einer Eremitage, wie eine weitere Zufahrtsallee die Achse für die Tore der Wirtschaftsgebäude angibt und auf die Brücke zum Herrenhaus zuführt. Vor dessen neuer Gartenfassade dehnt sich dann ein kleines Blumenbeet und jenseit des Grabens eine weitzügige Anlage mit langgestrecktem Wasserbecken. Überall bilden in den Wegeachsen Statuen, Lauben und Weiher Ruhepunkte für das Auge. Bemerkenswert ist, wie sich hier noch Flora und Fauna zur Ergötzung der Sinne

²³⁾ Vgl. dazu Gérard, Histoire des anciennes seigneuries de Leuvergern 1833.



Abb. 46. Park eines Schlosses zwischen Melle und Meirelbeke bei Gent.

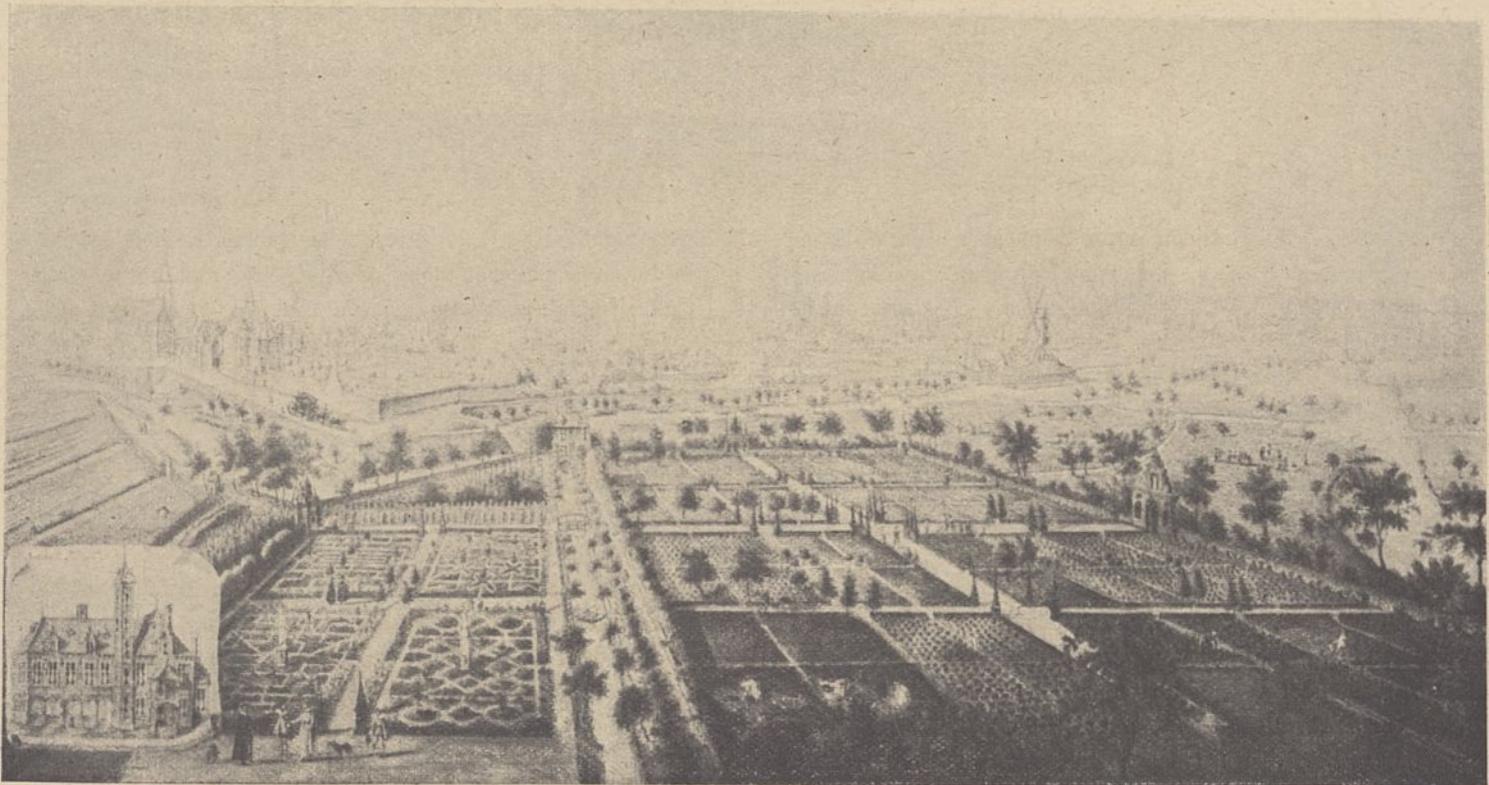


Abb. 47. Belvedere in Ackergem bei Gent.
(Nach einem Gemälde in der Universitätsbibliothek in Gent.)

verbinden; die seitlichen trapezförmigen Weiher dienen als Becken für seltene ausländische Fische, und etwas weiter ist ein Geflügelhof eingeschoben. Am Ende verliert sich der Park in einen Fichtenhain mit Hermen und einen englischen Garten, in dessen Geschmack auch eine Zierinsel zur Seite des Herrenhauses angelegt ist. Gleichzeitig und ähnlich legten österreichische Offiziere den Park des Schlosses Rumbke an.²⁴⁾ Die günstigen Witterungsverhältnisse und der fruchtbare Boden haben die flandrischen Parke begünstigt, so daß wir in ihnen oft besonders schöne Einzelbäume oder Baumgruppen, auch oft südländische und seltene Pflanzen finden. Der Park von Ter Beken bei Mariakerke zeichnet sich durch seinen Kiefernain, ein Park in Wetteren durch seine gewaltigen Zedern, der von Meire bei Vosselare durch eine alte Gerichtslinde mit einer Krone von mehr als 9 m Durchmesser aus.

Mit wenigen Ausnahmen sind die Parkanlagen des italienischen und französischen Stils seit dem Ausgang des 18. Jahrh. in „englische“ Parke verwandelt worden, in ungezwungene Anlagen, die sich gut in die umgebende Landschaft einfügen und deren Hauptreize, die Üppigkeit der Wiesen, den Wasserreichtum und die Weite des Blicks, geschickt verwerten (Abb. 46). Eine solche Anlage, in Verbindung mit Baumhainen und vielreihigen Alleen, weiß den Edelsitz von Landstraße und Dorf zu trennen und doch vom Hause aus den Blick auf den Ort mit dem beherrschenden Kirchturm, vom Ort den auf die Fassade des Herrschaftsgebäudes in gefälligem Ausschnitt freizugeben. Als besonders kennzeichnend seien

24) Vgl. die Entwurfzeichnungen der Anlage im Besitze des Schloßherrn Grafen von Limburg-Stirum.

die Parke im Waes (Temsche, Waesmunster, Wissekerke bei Baseele, Ter Saxen bei Beveren), in Destelbergen, in Oydonck (ein Werk des Genter Baumeisters Dutry) und in Vinderhoute genannt, der letzte im Gegensatz zu dem kleinlichen und spielerischen neueren Park, der gegenüber liegt und dessen Zugang als einzige Überreste der alten Schloßanlage noch zwei knorrige Kastanien von fast spätgotischem Wuchs säumen.

Eigenheim und Gartenbau haben in Flandern nach dem jahrzehntelangen Niedergang in den letzten Jahren auf englische Anregung hin den Wiederanschluß an die Natur gesucht; sie haben ihn teilweise, besonders unter der liebevollen Anteilnahme von Künstlern und Schriftstellern, in der Anlehnung an Bauernhausformen und Bauerngärten gefunden und damit neue gefällige Wohnsitze vor den Toren der Städte geschaffen, die für uns Deutsche in manchem, z. B. in ihrer Anspruchlosigkeit und Sparsamkeit, lehrreich sein können. Der Bau stattlicherer Landsitze und der städtischen Villen ist diesen Spuren nicht gefolgt oder in eine Sackgasse, die Nachahmung des englischen „Cottagestils“, geraten, aus der sich die deutsche Baukunst vor ungefähr einem Jahrzehnt gerade noch rechtzeitig gerettet hat.

Der Krieg soll den Flamen Selbstbesinnung und Selbstbewußtsein wiederbringen, vielleicht auch in der Baukunst die Abkehr von französischer Akademie ebenso wie von englischer Mode. Das mag dann zu einer neuen eigenen leuchtkräftigen Blüte des Landhausbaues führen, die sich dem Kranze einfließt, mit dem die alten Schlösser und Burgen den flandrischen Boden schmücken.

Deutsch-Gotisches.

Vom Regierungs- und Baurat a. D. Hasak in Berlin-Grunewald.

(Mit Abbildungen auf Blatt 1 und 2 im Atlas.)

(Schluß.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

Von Magdeburg scheint unser Baumeister nach Walkenried gelangt zu sein. Professor Mohrmann in Hannover machte mich auf Walkenried aufmerksam. Er hatte meine Abhandlung „Zur Geschichte des Magdeburger Dombaues“ gelesen und verwies auf einen ebensolchen Kragstein mit den zwei Halbmonden daselbst.²⁴⁾ So war es in der Tat. In der südlichen Außenwand des Ostendes des südlichen Seitenschiffes war der Rundbogen einer Nische auf solch einen Kragstein aufgesetzt, und rings unter dem hohen Grase sah man wohlbekannte Einzelheiten aus Maulbronn und Magdeburg umherliegen: Schlußsteine und Gewölberippen von der Hand unseres Baumeisters. Und die noch aufrecht stehenden Mauern vom südlichen Kreuzschiff zeigten die Säulenbündel vom Maulbronner Kreuzgang, nämlich als Kern ein vierkantiger Stein, um den die Säulchen angeordnet sind. Der Bau hat lange gedauert, aber die anfäng-

24) Zentralblatt der Bauverwaltung 1897, S. 552 ff. (Hasak, Walkenried.)

lichen Zeichnungen sind eisern festgehalten worden, so daß sich die ursprünglichen Simse und Maßwerke nur in etwas dem jeweilig veränderten Zeitgeschmack anpassen. Dies zeigt auch die Baugeschichte. Die ursprünglichen Urkunden sind verloren, aber Eckstorm schreibt:²⁵⁾

„Auf der Seite der Halle, die der alten Kirche anlag, war damals folgendes aufgeschrieben gewesen: Im Jahre Christi 1127 ist dieses Kloster gegründet worden, gegen das Jahr 1200 aber ist es an diesen Ort verlegt worden, dem Gott gnädigst seinen Segen spenden möge. Amen.“

Zu dieser Ortsveränderung werden die Brüder Jordan und Berthold das Ried trocken gelegt haben.

Von dem Abt Friedrich berichtet Eckstorm weiter (S. 83): „Friedrich i. J. Christi 1216 gewählt, stand 7 Jahre vor, denn er starb 1223. Er war ganz damit beschäftigt das Kloster neu aufzubauen. Deswegen sandte er zwei Brüder hinaus

25) Eckstorm, Chronicon Walkenredense sive catalogus Abbatum etc. Helmstädt 1617. S. 300.

zu den Klöstern seines Ordens und ebensoviel zu den Seestädten, welche eine große Menge Geldes zum Bau des neuen Klosters gesammelt haben.“

Und vom nächsten Abt Heinrich III. berichtet er (S. 87):

„Heinrich III. ist i. J. Christi 1223 gewählt; starb 1231; stand 8 Jahr vor. Er ist fromm, gelehrt, aufrichtig und des Bauens erfahren gewesen. Er hatte 21 Conversen: Berühmte Steinnetzen, Maurer, Baumeister und Schmiede, welche für den zu errichtenden Tempel mühevoll Arbeit leisteten.“

Unter diesen beiden Äbten ist der Neubau ersichtlich begonnen worden. Unter ihnen hat auch unser Baumeister in Walkenried gewirkt. Also seit 1216 ungefähr. Das stimmt zu der Annahme, daß er nach Vollendung des Magdeburger Bischofsganges gegen 1212 nach Walkenried übergesiedelt ist. Einer Bereicherung seiner Baueinheiten begegnet man hier nicht. Dagegen findet man auch hier drei der antiken Magdeburger Kapitelle. Ich habe zuerst 1897 auf sie in meiner Abhandlung über Walkenried hingewiesen und bin dann im Handbuch der Architektur²⁶⁾ dieser antiken Vorliebe der Baumeister jener Zeiten eingehender gefolgt. Im Heiligen Lande hatten diese Baumeister die Übung des antiken Ornamentes zur Zeit der Kreuzzüge noch vorgefunden und mit nach Haus gebracht.

Aber mit Walkenried ist die Tätigkeit unseres Baumeisters hier im Norden nicht erschöpft gewesen. Professor Kettner in Mühlhausen (Thüringen) hat ihn auch dort entdeckt an der St. Blasiuskirche wie an der Marienkirche daselbst. Dort lernen wir ihn von einer neuen Seite kennen, nämlich in bezug auf die Turmbauten. Es sei gleich vorweg genommen, daß der unermüdliche Professor Kettner die Kragsteine mit den Halbmonden schließlich auch in Treffurt und im Dom in Nordhausen aufgefunden, und daß man im Süden noch zwei weitere Bauten entdeckt hat, an denen unser Baumeister mit den zwei Halbmonden tätig gewesen ist, nämlich im Kloster Schönau bei Heidelberg und in der Schloßkirche in Pforzheim. — Auf Schönau hatte mich Dr. Schulze schon gegen 1903 aufmerksam gemacht. Inzwischen ist die Inventarisierung der Baudenkmäler von Geheimrat v. Öchelhäuser erschienen und hat den Überrest genau festgestellt. Pforzheim hat eine besondere Abhandlung erhalten²⁷⁾. Beide Bauten sind ohne Jahreszahlen. Wir kommen noch auf sie und dürfen sie wohl der Zeit zuschreiben, als sich unser Baumeister noch in Süddeutschland befand. — In Mühlhausen sehen die Baueinheiten so derb wie in Reichenbach bei Freudenstadt aus, so daß man über die Entstehungszeit im Zweifel sein könnte. Jahreszahlen haben sich nicht erhalten. Die Türme von St. Blasius sind dagegen vollendete Meisterwerke. Sie sind in ihren Oberteilen achtseitig und so die Vorbilder für die herrlichen Türme von Gelnhausen geworden. Man kann aller-

dings nicht behaupten, daß unser Baumeister der Schöpfer der vor uns stehenden Türme ist. Seine Tätigkeit ist in Mühlhausen nur kurz gewesen. Nur in den unteren Teilen findet man seine Einzelheiten, dann verschwinden sie. Aber der gesamte Entwurf dürfte wohl von ihm herrühren und von seinem geistreichen Nachfolger beibehalten worden sein, wenn dieser auch seine besonderen Einzelheiten zeichnete. Dieser war ebenfalls ein Baumeister ersten Ranges, dem man vielleicht die Liebfrauenkirche in Arnstadt mit ihren reizvollen Türmen noch zuschreiben darf.

Am Dom in Magdeburg versucht man vergeblich zu erraten, wie wohl unser Baumeister die oberen Turmgänge der Osttürme, wie die der Westansicht sich gedacht haben mag. Unter dem Eindruck der Türme von St. Blasius in Mühlhausen möchte man vermuten, daß die achteckigen Laternen der Magdeburger Hauptansicht zum mindesten schon im Entwurf unseres Baumeisters mit den Mondsicheln vorhanden gewesen sind. Hat er doch ebenfalls an ihren Unterteilen gebaut, wie die Rundstäbe an den Ecken derselben zeigen, die wir auch in gleicher Höhe an den Osttürmen finden wie hinter einzelnen Standbildern des Bischofsganges.

Ergänzt man auf den Osttürmen die Obergeschosse wie in Mühlhausen, dann ergibt sich ein sehr annehmbares Ganzes. Der Dom gewinnt an Größe und Leben, während er jetzt etwas trocken anmutet.

In Treffurt wie im Dom in Nordhausen (Text-Abb. 26) finden sich innen Teile von der Hand unseres Baumeisters mit Mondsicheln auf den bekannten Kragsteinen, die in beiden Bauten höhere glatte Aufsätze darüber zeigen, wie wir sie in ähnlicher Anordnung in Schweinfurt in der Pfarr-

kirche gesehen haben.

In Schönau bei Heidelberg stammt von seiner Hand nur noch ein übriggebliebenes Joch des früheren Kreuzganges mit Rundbögen. Der schöne zweischiffige Kapitelsaal, die jetzige Kirche, rührt nicht von ihm her, obgleich dieser Saal derselben Schule entsprossen ist. In Schönau befinden wir uns übrigens wieder auf Magenheimschem Besitz²⁸⁾.

Die Stiftskirche in Pforzheim zeigt im Turm über der Orgelbühne einige Überreste von der Hand unseres Baumeisters nebst einigen Mondsichelkragsteinen. Das Innere des Mittelschiffes stammt aus derselben Zeit und Schule. Auch außen am südlichen Eingang in das Seitenschiff taucht der Maulbronner Strebepfeiler auf. Jahreszahlen sind nicht überliefert. Aber Zusammenhänge mit Maulbronn müssen schon längere Zeit bestanden haben, denn das romanische Westtor der Hauptansicht dieser Pforzheimer Stiftskirche zeigt die gleiche Kunst wie das entsprechende romanische Westtor der Maulbronner Klosterkirche. Schließlich hat mein hoch-



Abb. 26. Dom in Nordhausen. Chor.

26) Hasak, Die romanische und die gotische Baukunst. Stuttgart 1903. Bd. 2, S. 258 ff.

27) Erwin Vischer, Die Stifts- (Schloß-)kirche St. Michael zu Pforzheim. Straßburg 1911.

Zeitschrift f. Bauwesen. Jahrg. 69.

28) Zeitschrift f. d. Gesch. des Oberrheins. N. F. Bd. 6. 1891. S. 441 ff. [Huffschild, Die Zisterzienserabtei Schönau bei Heidelberg] und Edelmaier, Das Kloster Schönau bei Heidelberg. Heidelberg 1915.

verehrter Lehrer Oberbaurat Karl Schäfer im Westbau von St. Thomas in Straßburg einen kleinen Kragstein mit den zwei Mondsicheln aufgefunden. Sonstige Einzelheiten unseres Meisters sind daselbst nicht vorhanden. Da jedoch die Darstellung des Apostels Thomas, wie ihn Jesus die Hand in die Seitenwunde legen läßt, völlig den beiden Bogenfeldern außen am Südkreuz des Münsters entspricht, so sieht man die Schulzusammenhänge zwischen den Zisterziensereinzelnheiten des Meisters mit den zwei Halbmonden und denen des Münsterkreuzschiffes. Auch hat Schäfer Halbmonde im kleinen Maßstabe als richtige Steinmetzzeichen auf den Rippen und Basen der Johannis-Kapelle wie in dem Kapitelsaal darüber aufgefunden, die aber wohl mit unserem Meister nichts zu schaffen haben.

In Mühlberg an der Elbe hat Professor Karl Weber von der Hochschule in Hannover (am 22. August 1915 vor Brest-Litowsk gefallen) in der Sakristei einen derartigen Kragstein entdeckt. Aber er trägt keine Halbmonde. Auch sind sonstige Einzelheiten unseres Meisters nicht vorhanden.

Die Westansicht des Domes in Halberstadt stammt ebenfalls nicht von der Hand unseres Baumeisters, wie man in neuerer Zeit glauben machen möchte. Wohl erweckt der Anblick der so überaus reizvollen beiden Turmtüren im Inneren zuerst den Eindruck, als habe sie der Halbmondbaumeister gezeichnet. Aber die Mondsicheln fehlen. Kein Blatt an den Kapitellen gleicht dem in Magdeburg oder Maulbronn. Schließlich sieht man bei genauerem Hinblicken auch nicht ein Sims oder Bogenstück, wie wir es sonst überall von unserem Meister gewöhnt sind. Selbst der Überrest des Hauptgesimses, wie er sich an der Nordseite des Hochschiffes unmittelbar hinter dem Turm erhalten hat, gleicht wohl im großen ganzen dem Magdeburger Hauptgesims, aber die Akanthusblätter fehlen. Der Baumeister war ein Mitschüler und Zeitgenosse des Halbmondebaumeisters. Für seine Turmansicht müssen wir die Einweihung von 1220 in Anspruch nehmen. Hierüber hat sich folgender Ablaßbrief erhalten²⁹⁾:

„Dem ehrwürdigen Herrn und Bruder in Christus, dem geliebten Friedrich, dem Halberstädter Bischof und den zu verehrenden Herren Meinhard Propst, Arnold Dekan und dem ganzen Domkapitel dieser Kirche Siegfried von Gottes Gnaden der Hildesheimer Bischof, Konrad der Mindener und Wilhelm der Havelberger fromme Gebete in Christus mit der Zuneigung brüderlicher Liebe. Wir erkennen an und bestätigen mittels diesem Schreiben hinsichtlich unserer Sondergewährung, daß welche Büßende auch immer oder andere Andächtige am Tage der Ankunft der Reliquien und Eurer Kirchweihe, bei welcher wir zugegen gewesen sind, aus unseren Sprengeln zu dieser Eurer Kirche mit Andacht hineilen, bei ihr dieselbe Gnade, denselben Nachlaß erlangen sollen, welchen Ihr Euren Bereuenden und Untergebenen bestimmt habt durch den Bischof Eurer Kirche. Und damit Euch dies sicher sei und den Hinkommenden dienlich, haben wir diese Seite durch den Eindruck unserer Siegel unterzeichnet und Eurer Kirche zum genügenden Ausweis gegeben, da wir in diesem wie in allem, was wir können, Euch und Eure Kirche immer ehren wollen.“

29) Gustav Schmidt, Urkundenbuch des Hochstifts Halberstadt. Leipzig 1883. Teil 1, S. 473.

Dieser Halberstädter Baumeister war überdies ein großer Liebhaber und Förderer des Kleeblattbogens. Tritt dieser schon an seiner Turmansicht in der reizvollsten Abwechslung uns entgegen, so sehen wir ihn in den Fenstern des Kreuzganges für den bürgerlichen Gebrauch hergerichtet, und zwar in einer Gestalt, wie er weder in Frankreich noch in England oder Italien wieder vorkommt. Eine in Wahrheit deutsche, gotische Fensterart. Sie ist dann in das Wiederaufleben der Gotik in England, in das Revival, vor einem halben Jahrhundert eingedrungen, wohl durch die Veröffentlichungen Ungewitters, besonders in seinen Stadt- und Landhäusern, welcher diese urdeutsche Fensterbildung ebenfalls sehr liebte.

Können wir in der Westansicht des Halberstädter Doms kein Werk unseres Meisters erblicken, so auch nicht in der Kirche des Zisterzienserklosters Riddagshausen bei Braunschweig. Wohl sehen wir auch hier Einzelheiten wie Kragsteine und Rosetten, welche überraschende Ähnlichkeit mit den Einzelheiten unseres Baumeisters aufweisen, aber seine Hand ist es nicht und die Mondsicheln fehlen. Es hat eben um jene Zeit in Deutschland eine große Zahl Baumeister gegeben, ob sie Zisterzienserkirchen, Dome, Stiftskirchen oder Pfarrkirchen bauten, welche diese Zisterzienserweise zeichneten. Zisterzienserbaukunst dürfte der zutreffendste Name sein.

Allerdings haben die Zisterzienser von Anfang ihres Bestehens an diese Bauweise nicht besessen. Sie tritt erst gegen 1200 deutlich sichtbar auf. Wir kommen noch darauf. Bis dahin sind in Deutschland sämtliche Zisterzienserbauten in den einheimischen romanischen Formen Deutschlands geschaffen, ob man die Kirche von Maulbronn oder von Mariental bei Helmstädt aufsucht, einen besonderen Zisterzienserstil gibt es damals nicht. Dieser tritt erst gegen 1200 in die Erscheinung, und zwar in Deutschland am fruchtbarsten, da er auch einen großen Teil der nicht-zisterziensischen Bauten beherrscht. Ihm ähnelt die Entwicklung im Süden Italiens. In Frankreich dagegen hat der Zisterzienserstil den geringsten Einfluß ausgeübt. Bauten einer Bauschule, welche vor 1200 diese Zisterzienserformen gezeichnet hätte, so daß sie die Mutterschule dieser Baukunst wäre, gibt es nicht. Und gerade auf die Mitwelt in Frankreich hat der Zisterzienserstil von 1200 den geringsten Einfluß ausgeübt. Alles erlag der übermächtigen nordfranzösischen Gotik. Der Zisterzienserstil erscheint bei eingehenderen Untersuchungen nicht als der Stil Burgunds, sondern als die Schöpfung einiger Ordensbaumeister um 1200, über deren französische Herkunft man die berechtigten Zweifel hegen darf.

Wir haben im vorstehenden die Tätigkeit eines deutschen mittelalterlichen Baumeisters an der Hand seiner künstlerischen Schöpfungen verfolgen können, wie uns dies aus so früher Zeit sonst nicht vergönnt ist. Steht er allein? Hat er weder Schüler noch Mitgenossen besessen? — Er hat sowohl Schüler wie Mitgenossen gehabt, die in ihren Werken noch heute gut erkennbar sind. Betrachten wir zuerst seine Schüler. Diese haben eine eigne deutsche Abart der Gotik geschaffen, deren unvergleichlicher Reiz gegenüber französischen gleichzeitigen Bauten unbestreitbar ist, die jedoch in ihrer Einheit bisher ebensowenig erkannt sind, wie früher die Einheit der Werke unseres Baumeisters

mit den zwei Halbmonden. Man kann behaupten, daß diese Schüler noch mehr als der Meister auf der bisherigen deutschen romanischen Kunst fußen, sowohl im reizvollen, turmreichen Umriß ihrer Außenansichten, wie in den meisterhaften Einzelheiten der Innenräume. In Wahrheit also eine deutsche Gotik, deren Wiederaufnahme in unserer Zeit z. B. in der Kaiser-Wilhelm-Gedächtniskirche durch Schwechten erfolgt ist. Diese deutsche Gotik war in der Tat eine weitere Entwicklung der deutschen romanischen Kunst. Während die Liebfrauenkirche in Trier, die Elisabethkirche in Marburg und der Dom in Köln, obwohl die Werke deutscher Künstler, einen Bruch mit der deutsch-romanischen Kunst darstellen, zeigen die hier folgenden Bauten die weitere Pflege der alten romanischen Kunst, durchdrungen von den neuen Errungenschaften der nordfranzösischen Gotik.

Versuchen wir also diese in Wahrheit deutsche Gotik aus dem Beginn des 13. Jahrhunderts in ihren Werken näher zu erfassen und genauer festzulegen. Hierfür bieten sich vor allem die Westteile des Bamberger Domes als Überleitung dar.

Der Westchor von Bamberg.

Will man von einem Schüler unseres Baumeisters mit den zwei Halbmonden sprechen, so darf man das mit Recht in bezug auf den Baumeister des Westbaues am Dom in Bamberg. Schon vom Domplatz aus fällt die Zwerggalerie am Kreuzschiff mit den Kleeblattbögen rechts und links vom Eingangstor in die Augen. Alle Einzelheiten wie in Maulbronn und doch ganz anders. Im Inneren dieselbe Kleeblattstellung unter den Chorfenstern und an den Chorschranken daselbst. An der Nordwand ragen sogar die wohlbekannten Kragsteine unter einem Säulenbündel hervor. Man eilt näher, um die Halbmonde darauf zu entdecken. Aber sie fehlen. Und wenn auch die schlanken Säulenbündel völlig an unseren Meister gemahnen, es ist doch alles um eine Abtönung leichter. Er ist es nicht, sondern einer seiner Schüler oder ein etwas vorgeschrittener Genosse. Vielleicht ist es der Baumeister der Ebracher Ostteile, denn dasselbe Hauptgesims, welches diese — wie die Michaelskapelle — bekrönt, sehen wir auch am Westchor und Kreuzschiff in Bamberg.

Die Jahreszahlen erweisen dies ebenfalls. 1237 wird der Dom eingeweiht. Die Erfurter Jahrbücher berichten³⁰⁾:

„... 1237... In demselben Jahr am 6. Mai wurde das Münster in Bamberg eingeweiht von folgenden Bischöfen, dem Würzburger, dem Eichstedter, dem Naumburger, dem Merseburger, und der Papst gab daselbst einen großen Ablass...“

1231 war der Westchor schon fertig, weil der Gottesdienst in diesen Westchor verlegt wird³¹⁾, wohl um nun auch den Ostchor nebst seinen Zugängen dem Westteile anzupassen.

Hiermit haben wir eine feste Unterlage für die Zeitbestimmung dieses Schülers oder jüngeren Genossens unseres Halbmonde-Baumeisters. Da schon die Oberteile des Westchores wie die Türme daselbst einen ganz anders geschulten Baumeister zeigen, einen, der aus Laon kommt und ein sehr viel schwerfälligerer Künstler ist, so wird dieser Bamberger Genosse gegen 1225 seinen Westchor geschaffen haben..

30) Monumenta Germaniae historica. Script. XVI Hannover 1859. S. 31.

31) Looshorn, Gesch. d. Bistums Bamberg. 1886. Bd. 2, S. 651.

Hiermit stimmt wiederum die Entstehungszeit eines zweiten Baues, welcher dem Westchor Bambergs gleicht, nämlich die Marienkirche in Gelnhausen. Nicht daß derselbe Baumeister beide Bauten geschaffen hat, aber ihre Schöpfer waren Zwillingsbrüder in der Kunst, und zwar der Gelnhauser einen leichten Ton meisterhafter als der Bamberger. Bei dem Gelnhauser Baumeister läßt sich auch eher eine Vermutung über seine künstlerische Herkunft aussprechen, da er seinen Bau von unten bis oben und, den Westturm abgerechnet, in seiner gesamten Länge herstellen konnte, während in Bamberg nur der Westchor ohne Schiff und Türme dem betreffenden Meister gehört. Der Bamberger Baumeister weicht übrigens noch durch ein Merkmal sowohl von dem Maulbronner wie von dem Gelnhauser ab — er bildet fast sämtliche Basen mit Eckblättern.

Diese Marienkirche Gelnhausens ist beinahe gleichzeitig mit dem Westbau Bambergs entstanden. Denn am ersten Chorstrebe Pfeiler der Südseite befand sich vor dem Anbau der jetzigen Sakristei folgende Inschrift:

„Im Jahre des Herrn 1232 am 21. Juni Herr Paul, der Schatzmeister dieser Kirche.“

Der Chor muß also 1232 zum mindesten außen fertig gewesen sein, daß man den Schatzmeister dort begraben konnte. Ja, es spricht nichts dagegen, daß der Chor und damit der gesamte Bau noch einige Jahre früher fertig gewesen ist. Urkunden fehlen; Bauten aber, welche mit ihren Formen dem entgegenständen, gibt es ebenfalls nicht.

Sein Baumeister hat sich ersichtlich am Nordtor genannt. Heinrich Vingerhut steht in großen lateinischen Buchstaben neben der kleinen Gestalt, welche ihn wohl selbst darstellt. So großartig er als Baumeister war, so wenig hervorragend sind seine Gestalten der Bogenfelder. Daß diese Tore nachträglich eingesetzt seien, entspricht ebensowenig dem Baubefund, wie die Annahme, daß der Bau der Kirche nicht aus einem Gusse erfolgt sei, daß man ihn zweierlei Baumeisterhänden zuzuschreiben habe³²⁾. Der Bau entspricht im übrigen völlig den normännischen Gepflogenheiten in Sizilien, das Chorhaupt nebst dem Kreuzschiff zusammenzufassen und zu überwölben, während die drei Längsschiffe Holzdecken erhalten und mit ihrem Fußboden tiefer liegen³³⁾. Wie der Baumeister zu diesen sizilianischen Kenntnissen kommt, läßt sich leider nicht aufhellen. Doch war Friedrich II. damals aus seinem Erblande Sizilien bald in Deutschland, bald wieder in Süditalien. — Ebenso wenig die neueste Baugeschichte dieser glorreichen Marienkirche Gelnhausens zutrifft, ebenso irrig ist die Geschichte des gesamten Ortes Gelnhausen seit der Herausgabe seiner spärlichen Urkunden geschrieben worden³⁴⁾. Die Herausgeber erklären die Urkunde vom 26. Mai 1151, in welcher die beiden Kirchen Gelnhausens, St. Marien und St. Peter schon vorkommen, einzig aus dem Grunde für gefälscht, daß es „ganz unmöglich sei, daß die erst 1170 neugegründete Stadt Gelnhausen 1151 bereits zwei Kirchen gehabt haben sollte“ (!) Dabei zeigt es der Turm der Marienkirche wie die Reste der Peterskirche deutlich, daß beide schon 1151

32) Noack, Die Kirchen von Gelnhausen. Doktor-Dissert. Halle 1912.

33) Denkmalpflege 1915. (Hasak, Die normännische Bauweise.)

34) Hessisches Urkundenbuch. Leipzig 1891. Abt. 2, Bd. 1, S. 64ff.

vorhanden waren. Und in anderen Städten, z. B. in Krakau, ist der Verlauf der Stadtwerdung ganz der gleiche. In Krakau stand schon ein halbes Dutzend seiner heute noch vorhandenen Kirchen, als es 1257 zur Stadt erhoben wurde. So entsteht „Geschichte“.

Dieser Gelnhauser Baumeister bietet nun lauter deutsche Bauteile dar. Da ist die Zwerggalerie außen um den Chor! Ist sie französisch oder burgundisch? — Nein. Dort kommt sie nie vor. Am Rhein dagegen hat sie ihre stolzen Vorgängerinnen! Groß-St. Martin, St. Aposteln, St. Marien auf dem Kapitol in Köln, und zahlreiche kleinere Kirchen als Mitgenossinnen wie Sinzig, Ruhrmond prunken mit ihnen. Die Dome in Speyer, Worms hatten sie in reichster Abwechslung und Ausdehnung.

Aber in viel größerer Nähe, in Hessen selbst, in Fritzlar, besitzen wir ein richtiges Vorbild des Gelnhauser Chores aus rein romanischer Zeit. Fritzlar zeigt seinerseits Einzelheiten, welche völlig an den Wormser Dom gemahnen (geweiht 1187). Dieser wiederum hat in Worms selbst eine Nachfolgerin, welche ihrerseits wieder an unseren Maulbronner Baumeister erinnert, nämlich St. Paul. Wir sehen uns also einer ganzen Schule gegenüber, und zwar einer deutschen Schule, welche wohl allmählich französische Einzelheiten in sich aufnimmt, aber zur Hauptsache eine Fortbildung deutscher Baukörper darstellt.

Zu diesen deutschen Bauteilen gehören zweitens die achteckigen Türme, insbesondere die achteckigen Vierungstürme, und diese womöglich begleitet von zwei Osttürmchen neben dem Chor. Auch hierfür ist Gelnhausen ein glanzvoller Höhepunkt der Entwicklung, der in Köln wie in Speyer, Mainz und Worms seine alteingewurzelten Stammbäume besitzt.

Aber selbst die Kleeblattgalerie innen im Chor unter den Fenstern muß man als einen deutschen Bauteil in Anspruch nehmen. In Frankreich findet man diese frühesten Kleeblätter fast gar nicht. Erst in der ausgebildeten französischen Frühgotik begegnen uns Kleeblattbögen.

Gerade im Bamberger Dom besitzen wir aber einen ganzen Stammbau dieser Kleeblattgalerien. Die älteste umzieht innen unten den Ostchor in der altertümlichsten Fassung, wohl bald nach 1185, nach dem großen Brande entstanden.

„1185 am 2. August ist das Münster des hl. Petrus mit der ganzen Stadtumgebung abgebrannt.“³⁵⁾

Dann folgen die Schranken in diesem Ostchor, auf denen die Apostel von Kleeblattnischen umrahmt sind, um schließlich im Westchor zu der Art ausgebildet zu werden, wie wir sie von unserem Maulbronner Meister her kennen. —

Aber all die Baueinzelheiten unseres Meisters mit den zwei Halbmonden erklärt man ja für burgundisch. Von dorthier wird auch diese Kleeblattgalerie stammen; selbst die achteckigen Türme findet man dort.

Das ist zur Hauptsache Irrtum. Es dürfte daher hier der Ort sein, die Entstehung dieses Burgunder Irrtums aufzuhellen.

Um der eigenartigen Gestalt der Halbmondkragsteine nachzugehen, schlägt man natürlich Viollet-le-Duc auf, und da bietet sich bei Corbeau im 4. Band des Dictionnaire de

l'architecture ein ganz ähnlich gebildeter vom Dome in Auxerre dar — aber ohne Halbmonde und die Rundstäbe geradlinig, statt wie in Deutschland gekrümmt. — „13 Jahrhundert“ schreibt Viollet hinzu. Wenn man schriftliche Belege für die Entstehungszeit sucht, so stellt sich heraus, daß Auxerre später entstanden ist als die Bauten unseres Halbmondebaumeisters.

Die Gesta pontificum Autissiodorensium berichten zum Jahre 1215:³⁶⁾

„Zu derselben Zeit erblühte der Eifer der Bevölkerungen für neue Kirchenbauten von neuem. Weil daher der Bischof seine Kirche von Auxerre von alter Bauart und wenig ausgebildet durch Schmutz und Verfall verkommen sah, während andere ihre Häupter ringsum von bewunderungswerter Schönheit erhoben, so beschloß er sie durch einen neuen Bau und durch ein hervorragendes Kunstwerk der in der Baukunst Erfahrenen zu zieren, damit sie nicht den übrigen durch Art und Eifer völlig ungleich sei. Und er ließ sie von dem hinteren Ende an völlig herunterreißen, so daß sie nach Niederlegung der Verfallenen aus alter Zeit zur schöneren Weise der Neuzeit sich verjüngte. Mit welcher ungeheuren Aufwände und Verschwendung der Zustrom erfolgte, verkündigte der Bau des ersten Jahres, der über alles Erwartete vorangekommen, sein Haupt in ungeheure Höhen erhob. Ungefähr 70 Pfund von seinem Eigenen gab er im ersten Jahr außer den Spenden der Gläubigen und außer den Einkünften seiner Gerichtsbarkeit, welche er von Anfang an dazu bestimmte. Zu den Kosten dieses Baues gab er in den übrigen Jahren bald in jeder Woche zum wenigsten 10 Pfund, bald 100 Solidi über das Versprochene hinaus und außer den Sammlungen seines Sprengels oder der benachbarten Sprengel.“

Der Domchor von Auxerre ist also später als Maulbronn-Magdeburg entstanden. Sein Baumeister ist gleichaltrig denen von Bamberg-Gelnhausen. Außerdem liegt Auxerre dermaßen am Nordwestzipfel Burgunds, daß seine Formen ebensogut der Ile-de-France zugerechnet werden können oder der Champagne. — Aber da ist doch die Liebfrauenkirche in Dijon, welche ähnliche Gestaltung wie der Domchor von Auxerre zeigt. Jawohl. Aber gleicht Auxerre oder Dijon in irgend etwas den früheren Burgunder Bauten wie Autun, Langres, Vézelay, Fontenay, Pontigny? — In nichts! Also erscheinen Bauten wie Auxerre und Liebfrauen in Dijon wie fremde Einfuhr etwa aus der Champagne. Kurz, je eingehender man sich mit der burgundischen Herkunft der Bauformen unseres Halbmondebaumeisters befaßt, desto mehr scheidet das französische Burgund aus. Seine Einzelheiten finden sich überhaupt nicht im westlichen Burgund, höchstens noch im östlichen Burgund, in der Freigrafschaft, welche seit 1033 zu Deutschland gehört hat, deutsches Reichsgebiet gewesen ist und dessen Herrscher, die Freigrafen von Burgund, am Ende des 12. Jahrhunderts im deutschen Breisgau, in Freiburg ihren Sitz hatten. Zu dieser Freigrafschaft gehörte auch die heutige Schweiz, und das Reiterstandbild des Grafen Bertholds V. von Zähringen vor dem Münster in Bern gemahnt uns lebhaft daran, daß die Gründung der Stadt Bern 1191 das Werk dieses Freiburger Fürsten ist.

35) Monum. Germ. hist. Hannover 1861. Scr. XVII, S. 637. [Annales S. Petri Babenbergenses.]

36) Lebeuf, Mémoires concernant l'histoire civile et ecclésiastique d'Auxerre. Bd. I, S. 376.

Hier in der Schweiz finden wir daher in Neuenburg-Neuchâtel die Abteikirche oberhalb der Stadt, soweit sie gegen 1200 entstanden ist, ganz in denselben Formen hergestellt, die wir in Deutschland durch unseren Baumeister mit den Halbmonden und durch seine Zeitgenossen kennen gelernt haben.

Das Allermerkwürdigste aber ist, daß gerade so wie im Deutschen Reiche eine eingeborene deutsche Gotik auf dem Grunde dieser hauptsächlich an den Zisterzienserklöstern auftretenden Baukunst entsteht, sich auch in Italien der gleiche Vorgang abspielt. Ob man Ebrach oder Casamari und Fossanova südlich von Rom sieht, man meint fast dieselbe Kirche vor sich zu haben.

Wir kommen noch darauf. Vorab müssen wir noch einen weiteren Irrtum bezüglich dieser Zisterzienser Bauten darlegen.

Man findet in der neueren Kunstgeschichte sehr häufig die Ansicht, daß die Zisterzienserkunst oder die Baukunst Burgunds auch ihrerseits auf dem Wege zur Gotik begriffen gewesen wäre, daß ihre eigenartige Entwicklung jedoch durch die übermächtig erblühende Kunst der Ile-de-France erstickt worden sei. Jedenfalls aber sei sie ebenfalls ein Quellwasser des späteren gotischen Stromes. Das ist eine völlig unbewiesene Ansicht. Und so bestechend sie auch auf den ersten Augenblick wirkt, so läßt sie sich nicht nur nicht beweisen, sondern das Gegenteil stellt sich heraus, sobald man die Jahreszahlen zusammenträgt.

Hieran hat es bisher gefehlt. Der Grund für diesen Irrtum liegt an folgendem: Die Kirche des Mutterklosters Cîteaux ist völlig vom Erdboden verschwunden. Wie ihre Einzelformen ausgesehen haben, weiß man nicht. Ebenso wenig kennt man die Art ihrer Überwölbung. Die zwei bis drei Skizzen ihrer äußeren Erscheinung, von denen die schönste Viollet-le-Ducs³⁷⁾ Meisterstift allgemein bekannt gemacht hat, gibt natürlich nicht den ursprünglichen Bau von 1106 wieder, sondern den zweiten oder dritten Ersatzbau, die erst 1148 und 1193 geweiht worden sind. Die Skizze zeigt also einen Bau, der erst nach der Entwicklung der Gotik entstanden ist, nach dem Chorbau von St. Denis, gebaut 1144, wie nach dem Erneuerungsbau von Canterbury von 1174 bis 1180, nach den Domen in Noyon (1150), in Paris (1164) und nach den Chören von St. Remi zu Reims (1180) und St.-Germain des prés in Paris (1163) und der Liebfrauenkirche in Châlons an der Marne (1183). Aus der Mutterkirche läßt sich also nicht erweisen, daß ihre Kunst auch eine Quelle der Gotik gewesen sei. Ihre vier Töchter: La Ferté, Pontigny, Clairvaux und Morimond sind bis auf Pontigny ebenfalls völlig vom Erdboden verschwunden. Was sie zur Gotik etwa beigetragen haben, läßt sich also nicht feststellen.

Pontigny steht dagegen noch wohl erhalten vor uns. Dieses kann uns belehren. Von diesem wird nun behauptet, es sei ein Bau vom Jahre 1150, durch die reichen Stiftungen des Grafen Theobald von der Champagne entstanden; nur der Chor sei später angefügt worden. Wäre dies der Fall, dann könnte man zur Not eine Mitquelle der späteren Gotik in ihr erblicken. Aber man sieht sofort, daß ein Bau aus zwei völlig verschiedenen Teilen vor uns steht. Die beiden Kreuzflügel

einerseits sind der ältere Bauteil, das gesamte Langschiff nebst dem Chor andererseits der spätere Bauteil. Dieses spätere Langschiff nebst Chor hat das ursprüngliche Langhaus nebst Chor völlig ersetzt. Nur dieses Langschiff nebst Chor zeigt gotische Einzelheiten. Solange man dieses für den ursprünglichen Bau hielt, der vielleicht 1150 entstanden ist, solange konnte man meinen, Pontigny war 1150 auf dem Wege zur Gotik wie St. Denis bei Paris. Aber das ist nicht der Fall. Das Längsschiff, das im Inneren wie im Äußeren völlig einheitlich ist, gehört einem späteren Bau an. Es ist beträchtlich höher als die alten Querflügel, die zu einem niedrigeren Bau gehört haben. Dieser ältere Bau hat rundbogige Fenster, ist längst nicht soweit vorgeschritten wie St. Denis, allerhöchstens ein durch die Ordensvorschriften vereinfachtes St. Denis. Da man aber über die Entstehungszeit dieses älteren Baues überdies nichts Sicheres weiß — er könnte auch erst 1160 begonnen worden sein, so kann er zu einer Mitquelle der Gotik nicht gestempelt werden. Damit entfällt aber jeder Beweis für die Frühzeit burgundischer Gotik, denn der Zeit nach bestimmte andere Bauten jener frühen Zeit kennt man nicht in Burgund.

Aber da ist die Zisterzienserkirche Fontenay von 1139 bis 1147 bei Dijon! Ja, diese Kirche in Fontenay dient höchstens als Gegenbeweis gegen die frühe Betätigung der Zisterzienser in Bauten, die auf dem Wege zur Gotik waren. Sie zeigt keine Kreuzgewölbe, diesen hauptsächlichsten Keim gotischer Entwicklung. Das Mittelschiff wird in der alten romanischen Art und Weise jener Gegenden durch eine spitzbogige Längsstone überdeckt; in den Seitenschiffen bilden quergelagerte kurze Spitzbogentonnen die Widerlager. Höchstens könnte man neben den Spitzbogen die Strebebogen unter den Seitenschiffsdächern noch als einen Schritt zur Gotik betrachten. Aber die Entstehungszeit 1139 bis 1147 ist für diese gotischen Bestandteile nichts Frühes. Man denke an die viel entwickelteren Formen von St. Denis von 1140 und 1144. — So kann man den Bau in Fontenay höchstens als ein mühsames Nachfolgen in längst entwickelten Bauformen bezeichnen. Keine irgendwelche gotische Sonderart will sich überdies erblicken lassen, nicht einmal die Eigenart des Aufbaues der späteren Zisterzienserkirchen. Nur der Grundriß sieht eigenartig aus — ein Zisterziensergrundriß. Jedoch, was ist das Besondere daran? Der viereckige Altarraum und die gleichfalls quadratischen Kapellen an den Kreuzflügeln. Sind das besondere Eigenarten der herannahenden Gotik? — Keineswegs. Den viereckigen Chorschluß zeigt schon die deutsche romanische Benediktinerkirche in Limburg a. d. Haardt (1030) wie das Aachener Münster gegen 804. Auch die quergelegten Widerlagertonnen besitzt schon jene ganz frühe deutsche Zeit in der Salvatorkirche in Werden. Also auch Fontenay bietet keinen Grund, den Zisterziensern oder der burgundischen Baukunst einen eigenartigen Zustrom zur Gotik zuzuschreiben. Dazu sind alle in Betracht kommenden Bauten viel zu später Herkunft, die nur streng vereinfachte Schwestern nordfranzösischer Bauten sind. Und nur diese nordfranzösischen Bauten besitzen einen Stammbaum langer Zeit, der sich gotisch nennen kann.

Nun, dann verbleibt für Burgund noch Vézelay einerseits wie Langrès und Autun andererseits. Betrachten wir vorab die beiden letzteren. Gerade das Gemeinsame beider und

37) Viollet-le-Duc, Dictionnaire rais. de l'architecture. Bd. 1, S. 270.

was sich vor allem bei beiden dem Auge einprägt, die antiken Einzelheiten, finden sich bei Zisterzienserbauten nicht. Diese burgundische Eigenheit nehmen die Zisterzienserbaumeister nicht in ihren Formenschatz auf. Aber das liegt vielleicht gerade daran, daß beide Bauten wohl erst der zweiten Hälfte des 12. Jahrhunderts entstammen, also derart spät sind, daß sie als Quellströme für die Gotik überhaupt nicht in Betracht kommen. Dabei ist Autun im Mittelschiff auch nur mit einer Spitzbogentonne überdeckt, also mit jenem alten aussichtslosen Behelf, das zur Entwicklung der Gotik nichts beigetragen hätte, selbst wenn dieser Bau 100 Jahre älter wäre, als er es wahrscheinlich ist. So verbleibt Vézelay. Dieses zeigt allerdings eine Entwicklung zur Gotik hin — in den Anordnungen und Einzelheiten der Gewölbe. Aber es sieht so wenig „burgundisch“ aus, daß seine Gewölbekunst wohl ebenfalls aus dem Norden stammen wird. Schließlich macht man die Entdeckung, daß die hauptsächlichsten Zisterzienserklöster gar nicht in Burgund, sondern in der Champagne liegen! Nämlich Pontigny, Clairvaux und Morimond! Also das einzige alte Zisterzienser Kloster, welches noch aufrecht steht und dessen Einzelheiten uns über die Herkunft der Zisterzienserkunst belehren können, liegt in der Champagne, bietet uns die Kunst der Champagne und noch dazu die einer viel späteren Zeit als man bisher angenommen hat. Damit entfallen alle Burgunderbeweise.

Betrachtet man daraufhin die Denkmalkarte des Abendlandes von Franz Mertens so findet man, daß dieser große Forscher alles das ebenfalls schon gesehen hatte und daß trotz seiner großartigen Vorarbeiten die nachfolgende Kunstforschung in die irrigsten Bahnen eingelenkt hat.

Ich habe nach dem Tode des Forschers seine Zeittafeln mit einer Unterstützung durch die Akademie des Bauwesens herausgegeben und diesem Werke einige der noch vorhandenen Karten beigelegt³⁸⁾. Hoffentlich gelingt eine neue Herausgabe dieser unschätzbaren Karte der Bauschulen Europas zur Zeit der Kreuzzüge, deren Steine in meinem Besitz sind, um sie allen Kunstliebhabern zugänglich machen zu können.

Doch zurück zu den italienischen Zisterzienserbauten dieser Zeit. Ebrach und Fossanova gleichen einander dermaßen, daß man sie wie gesagt einer Baumeisterhand zuschreiben möchte. Tatsächlich ist auch Fossanova am 19. Juni 1208 durch Papst Innozenz III. geweiht worden³⁹⁾.

„... am 4. Wochentage, bei Anbruch des Tages, weihte der Herr Papst den Hochaltar der neuen Kirche des vorbenannten Klosters.“

Das stimmt zur Bauentwicklung in Ebrach, welches nach der Einweihung der Michaelskapelle 1207 allmählich aufgeführt wird. In Fossanova sind sämtliche Fenster noch rundbogig geschlossen, da die gesamte Kirche 1208 fertig war. In Ebrach sind nur die des Kreuzschiffes mit Rundbogen geschlossen. Das spätere Längsschiff zeigt schon den spitzbogigen Fensterschluß. Die Bauentwicklung war also südlich Rom dieselbe wie in Deutschland. Die Zisterzienser waren daher die Träger dieser ihrer Kunst selbst. Auch diese Übereinstimmung von Fossanova und Ebrach ist ein

Beweis gegen die bisherige Zeitbestimmung Pontignys, als um 1150 entstanden. Aus dieser Zeit stammen nur der nördliche und südliche Überrest des alten Kreuzschiffes, das gesamte Schiff mit seinen Spitzbogenfenstern ist erst nach 1210 neu aufgeführt worden.

Die italienische Entwicklung aus dieser Zisterzienserkunst zeigt am besten Enlart in seinem Werke: *Origines françaises de l'architecture gothique en Italie*, Paris 1894, wenn er auch den Amerikaner Frothingham, welcher dasselbe kurz vorher veröffentlicht hatte, fast verschweigt.

Nur die deutsche Entwicklung ist im Vorstehenden und nur zur Hauptsache gegeben, denn eine große Zahl Zisterzienserklöster bis nach Österreich hinein, so das herrliche Heiligenkreuz bei Wien, zeigt überall auf deutschem Boden dieselben deutschen Formen. Ihre Veröffentlichung würde jedoch ein ganzes Buch erfordern.

In Frankreich dagegen fehlt eine solche französische Entwicklung. Enlart, welcher wie Viollet-le-Duc die burgundische Herkunft für unumstößlich gesichert hielt, bringt selbst nur wenige, man möchte im Vergleich zu Deutschland und Italien sagen, kümmerliche Überreste aus Burgund bei. Und diese ohne Jahreszahlen, so daß man gar nicht weiß, ob vor den Zisterzienserbauten in Burgund überhaupt eine derartige Kunst geblüht hat. Auch die völkische Eigenliebe der Franzosen dürfte alles das übersehen haben.

Die Zisterzienserkunst erscheint daher als die Tat einiger Ordensbaumeister in der Zeit zwischen 1180 und 1210, über deren Herkunft und Schulung wir nicht unterrichtet sind. Da aber in Frankreich weder vorher eine ähnliche Kunst bisher nachgewiesen worden ist, noch zur gleichen Zeit oder hinterher das Erblühen einer Schule nachzuweisen ist, wie wir sie in Deutschland in so reicher und meisterhafter Weise vor uns sehen, wie sie auch in Italien teilweise zu finden ist, so dürfte der Schluß nicht ungerechtfertigt erscheinen, daß man die Keime dieser Kunst auch da zu suchen hat, wo sie sich am schönsten und kräftigsten entwickelt hatte — in Deutschland und in seinem alten wechselnden Grenzlande Lotaringien.

Mein hochverehrter Lehrer Karl Schäfer hatte nach meinen Abhandlungen über den Halbmondebaumeister auch seinerseits versucht, Licht in diese Entwicklung zu bringen.

Sein Sohn Regierungsbaumeister Hermann Schäfer war sowohl nach Frankreich (Auxerre, Semur, Dijon) wie nach Italien gezogen, um die Bauten selbst in Augenschein zu nehmen. Der Briefwechsel hierüber hat sich noch teilweise erhalten. Er zeigt, daß die Besichtigung an Ort und Stelle manche vorher gefaßte Ansicht über Schulzusammenhänge oder Werke eines Meisters zerstörte. Nach dem Tode des Vaters setzte Hermann Schäfer diese Arbeiten fort. Seine Überzeugung hatte sich dahin befestigt, daß in Straßburg sowohl das Südkreuz des Münsters wie der Turm von St. Thomas von dem Halbmondemeister herstamme — auch Auxerre und Dijon. Er nannte ihn den „Waltenheimer“ nach einem oberelsässischen Geschlecht, welches die gleichen Halbmonde führte. Ich machte ihm meine Bedenken geltend, denen er nicht unzugänglich war. Als der Krieg ausbrach, war er unter den Ersten all der Helden, welche für uns Zurückbleibenden ihr Leben geopfert haben. Er fiel am 26. August 1914 bei Tannenbergl. — Seine Arbeiten über-

38) Franz Mertens, Zeittafeln der Denkmäler mittelalterlicher Baukunst. Berlin 1910.

39) Ughelli, Italia sacra. X. Aneed. I, Sp. 27.

nahm dann sein Schwager, Professor Weber in Hannover. Wir traten ebenfalls in freundschaftlichen Gedankenaustausch über die Möglichkeit, daß unser Halbmondebaumeister bis Straßburg und Auxerre zu verfolgen sei. Dann erlag auch Professor Weber, welcher trotz schwankender Gesundheit wiederum ins Feld gegangen war, vor Brest-Litowsk einer schweren

Verwundung am 22. August 1915. — In dem Nachlasse Hermann Schäfers hat sich die hier veröffentlichte, vorzügliche Aufnahme der Michaelskapelle in Ebrach vorgefunden (Blatt 1). Zu dem Zwecke der Veröffentlichung hat auch Regierungs- und Baurat Clingstein seine schönen Blätter der Maulbronner Vorhalle beige-steuert (Bl. 2 und Text-Abb. 8 bis 15).

Die vorkarolingische Basilika St. Emmeram in Regensburg und ihre baulichen Änderungen im ersten Halbjahrtausend ihres Bestandes (740 bis 1200).

Vom Regierungsbaumeister Dr.-Ing. Franz Schwäbl in München.

(Mit Abbildungen auf Blatt 3 bis 6 im Atlas.)

(Fortsetzung statt Schluß).

(Alle Rechte vorbehalten.)

II. Teil. Spätere Entwicklung der Kirche St. Emmeram bis zum Jahre 1200.

I. Die Bauvornahme Tutos.

1. Der Bauvorgang. Daß die älteste Gestalt der Kirche bis heute so ganz verdunkelt blieb, beruht gutenteils gerade auf jenen Umbauten, die schon in sehr früher Zeit wesentliche Züge verändert haben. Genaues Zusehen läßt auch diese Vorgänge deutlich verfolgen.

Wir haben schon in der geschichtlichen Übersicht bemerkt, daß auf den als selig verehrten Abt und Bischof Tuto (892—930) jener berühmte Hochaltar zurückgeführt wurde, der erst im Dreißigjährigen Krieg seines Schmuckes beraubt und später durch Brand zerstört wurde. Wir haben diesen Altarbau, den wir uns wohl als Ciborium vorstellen dürfen, dabei so nebensächlich erwähnt, wie ihn bisher die baugeschichtliche Forschung betrachtet hat. In Wirklichkeit hat aber der damit verbundene Umbau, kaum 100 Jahre nach Fertigstellung der alten Basilika, deren Ostteile wesentlich umgestaltet. Wir haben oben den ältesten Hochaltar im Scheitel der Apsis vermutet. Dieser Raum war klein, und so mochte er Tuto für das geplante prächtige Altarwerk, vielleicht auch aus anderen Gründen nicht geeignet erscheinen. Er schob daher den Altar nach Westen zu in den Chorraum vor, ungefähr an die Stelle, wo auch heute der Hochaltar steht (Text-Abb. 5 I u. II, Abb. 3 Bl. 3, Abb. 8, 10, 13, 14 Bl. 5 und Abb. 2 Bl. 6). Weil dadurch aber der Altar von der alten Confessio abrückte, schuf Tuto unter der neuen Anlage auch eine neue Confessio. Als Ersatz einer anderweitigen Verbindung mit den dort beige-setzten Reliquien müssen wir jenen schon eingangs erwähnten, bisher als Entlüftungsanlage (Walderdorff S. 306) oder dergleichen arg mißdeuteten, schlauchartigen Schacht erkennen, der zwischen den heutigen Krypteneingängen in Augenhöhe auch noch unter dem heutigen Hochaltar durchläuft und unter ihm in der Mitte eine Verbreiterung aufweist (Text-Abb. 7, Abb. 3 Bl. 4 u. Abb. 3 Bl. 6). Diese Erweiterung ist offenbar die Stelle, wo nach gänzlichem Abbruch des alten Hochaltars einst jener berühmte Reliquienfund gemacht wurde, den das Mausoleum so rührend schildert: „(Nach dem Brande vom Jahre 1642 hat) dann Gott uns betrübte mit seinen Gnaden Augen wider Väterlich angesehen, und im dritten Jahr hernach als 1645 den 23. Martij in dem durchs Feuer übel verderbten Altar-Stock, das höchste Kleinod und Schatz, unsern hl. Vatter Emmeramum in seiner

doppelten Truhen oder Sarch finden lassen, welcher hernach 1659 am heiligen Pfingsttag in die silberne Sarch gelegt und allen frommen Christlichen Seelen zu Ehren erstemal vor Augen gesetzt worden.“⁸¹⁾ Wir kommen auf die Reliquiengeschichte noch zurück; vorerst vergewissern wir uns über die rein baulichen Fragen. Für diese ist wichtig, daß uns auch ausdrücklich die Übertragung von Reliquien in den Hochaltar zur Zeit Tutos überliefert ist, wenn auch in einer sonst vielfach fabulierenden Stelle.⁸²⁾

Wir haben im Ostteil von St. Emmeram neben der ursprünglichen Confessio des frühen 8. Jahrhunderts also auch noch eine zweite, in ihrer Art bis heute alleinstehende Confessio mit beiderseitigen eigentümlichen Fensterchen aus dem Ende des 9. Jahrhunderts erhalten. Durch den schlauchartigen Schacht war zwar kein Zugang zur Grabkammer möglich, es mußte der frommen Verehrung genügen, wenn das Auge, das heute frei hindurchblickt, früher im Mittel auf die genannte Reliquientruhe traf. Dieser Sehkanal ist ganz einfach, etwa 40 × 40 cm im Querschnitt und roh mit Ziegeln ausgekleidet. Nur der nördliche Einblick ist noch unverändert und zeigt, wie er als Fensterchen angelegt war: Da verengt sich der Schacht durch ein Steingewände zu einem schmalen, stehenden Schlitz von 12 × 28 cm. Das Gewände ist oben und beiderseits abgeschragt, unten geht es mit dem Boden des Schachtes bündig. Der Südausgang war, wie der Plan des Pfarrarchivs vom Jahre 1885 zeigt, eine Zeitlang vermauert; heute öffnet sich der Schacht mit dem vollen Querschnitt; das „Fensterchen“, das Gewände, fehlt.

Mit der Anlage dieser archäologisch sehr merkwürdigen Altarconfessio war gleichzeitig auch die Verlegung der Krypteneingänge in die heutigen Seitenschiffe verbunden. Damals also erfolgte diese schon mehrmals erwähnte Änderung, bei welcher der alte Sakristeieingang mitverwendet wurde. Der Halbring der Emmeramkrypta wurde um seine heutigen niedrigeren und schmälere Anfangsstücke verlängert, in die ja

81) Mausoleum (4), S. 40.

82) Mausoleum (4), S. 38: „Der gottseelige Kaiser Arnolphus aber hat dasselbige (Kloster) nit allein mit der Stadtmauer eingefangen, und beschließen lassen, sondern auch sich viel bemühet, daß Pabst Formosus zu Zeiten Totonis Bischofen zu Regensburg, den Heil. Emmeramum in die Zahl der Heiligen einschriebete. u. von S. Georgen Capellen übersetzt in dem Hoch-Altar der Closterkirchen, die gedachter Formosus zu Ehren der Allerheiligsten Dreyfaltigkeit, . . . und Bischoffs Emmerami . . . weyhete . . .“

auch die eigenartigen Fensterchen der neuen Altarkrypta münden. Und diese Teile wurden deshalb so enge gehalten, damit man auch möglichst niedrig über dem alten Fußboden des Mittelschiffchores bleiben konnte. Offenbar wurde damals der alte Mittelschiffchor soweit erhöht, daß er gerade noch über die neuen Krypteneingänge hinweg reichte. Das ist auch gerade die Höhe der zweitältesten Fußbodenlage, die 1894 oberhalb der alten Confessio aufgedeckt wurde; sie geht auf den Umbau Tutos zurück (Abb. 2 Bl. 3 und Text-Abb. 7, Abb. 8, 10, 13, 14 Bl. 5). Der heutige Notbehelf aber, bei dem, wie erwähnt, die in den Mittelschiffchor noch hineinragenden Krypteneingänge durch Stufen verkleidet sind, wurde erst durch den Barockumbau nötig (Abb. 16, 18, 21, 22 Bl. 5); noch der Plan von 1680 zeigt ein gleichmäßig um mehrere Stufen erhöhtes Altarhaus (Text-Abb. 6); erst 1731 wurde es also wieder größtenteils tiefer gelegt. Während nun zum neuen nördlichen Krypteneingang die alte Sakristeiöffnung mitbenutzt werden konnte, mußte der südliche Zugang erst neu durch das Mauerwerk gegen die Georgkapelle hin ausgebrochen werden. Das verrät uns heute nicht nur das andere Aussehen dieses Zugangs, sondern auch eine Stelle des Mausoleums, die von seiner nachträglichen Erweiterung spricht (Mausoleum [4] S. 120). Ein Bedürfnis hierfür erklärt sich am einfachsten daraus, daß der mühsame Mauerdurchbruch ursprünglich nur auf das unbedingt nötige Maß beschränkt worden war. Dieser Punkt ist somit auch noch ein weiterer Beweis für den einst selbständigen Bau der Georgkapelle.

Auch in deren Verhältnis zur Gesamtanlage trat damals eine entscheidende Änderung ein. Die Verlegung der Krypteneingänge in die Georgkapelle und in die Sakristei brachte ja diese Räume in innigere Beziehung zum übrigen Gotteshaus; insbesondere ist die Sakristei als Durchgangsraum zur Krypta nicht denkbar. So erfolgte denn damals der Umbau dieses Nutzraumes zum nördlichen Nebenchor; wahrscheinlich wurde eine Ostapsis angegliedert, wie der Plan von 1680 noch eine solche zeigt. Und zu gleicher Gestalt wurde auch die alte Georgkapelle umgebaut. Offenbar dieser Um- und Neubau ist unter der schon genannten, bisher nicht recht verständlichen Nachricht vom Bau des Grafen Iring zu verstehen, den man schon bisher ungefähr für jene Zeit angenommen hat (vgl. S. 60, Anm. 9). Welcher Ersatz für die ehemalige Sakristei bis zum Neubau der heutigen geschaffen wurde, ist vorläufig nicht bekannt; ich vermute einen kleineren Bau als Vorläufer der jetzigen; vorerst ist bei weitem der Nachweis wichtiger, daß um jene Zeit die heutigen Nebenchöre der Kirche entstanden.

Bei solchen reichlich weitgehenden Umbauten wird jetzt auch die bisher als unbegründet abgelehnte und als Fabel betrachtete Nachricht von einer neuen Weihe der Kirche zur Zeit Bischof Tutos durchaus verständlich (vgl. Anm. 82).

2. Kunstgeschichtliche Stellung.

a) Die Altarconfessio. Die eben beschriebene Altarconfessio zwischen den Krypteneingängen, bis heute meines Wissens das einzige Beispiel ihrer Art, steht doch nicht so ganz allein, sobald man den Grundgedanken betrachtet. Da sind die Reliquien vor und außerhalb der Apsis beigesetzt; ihre Verbindung mit den Gläubigen ist durch einen geraden

Schacht quer durch das Altarhaus hergestellt. Diese Anlage zeigt, aufs äußerste vereinfacht, in den wesentlichen Punkten starke Gemeinschaft mit dem Plan von St. Gallen und der Krypta von St. Aurelius in Hirsau.⁸³⁾ Mettler hat in sehr klaren Folgerungen die Bedeutung dieser T-förmigen Krypten dargelegt und insbesondere ihren Zusammenhang mit der Grundrißlösung des lateinischen Kreuzes entwickelt: „Die T-Form der Krypta hat . . . die Kreuzform der Kirche zur Voraussetzung. Als mit dem Aufkommen eines selbständigen Altarhauses diese Voraussetzung erfüllt war, hätte, so sollte man erwarten, auch die entsprechende Umgestaltung der (halbringförmigen) Krypta eintreten müssen. Aber in Wirklichkeit hat der deutsche Kirchenbau die Stufe der T-förmigen Krypta übersprungen“ (Mettler S. 81). St. Emmeram bestätigt durch Widerlegung des Schlußsatzes aufs deutlichste den ersten Teil dieses Gedankenganges. Beide Stufen folgen hier nacheinander und mit ihnen wechselt, ebenfalls ganz nach Mettlers Voraussetzung der Platz des Hochaltars. In Tutos Umgestaltung ist somit ein weiterer Schritt zur Ausbildung des selbständigen Altarhauses, des Mittelschiffchores gegeben, eine weitere Entwicklungsstufe des lateinischen Kreuzes. Leider war dieser Fortschritt aber, wie oben erwähnt, auch mit einem Rückschritt verbunden insofern, als durch Verlegung der Krypteneingänge die Weiterbildung der Halbringkrypta zum Chorumgang unmöglich wurde. Erst seit der Erhöhung des Mittelschiffchores durch Tuto ist der Ostteil St. Emmerams überhaupt deutlich in eine Ober- und eine Unterkirche geschieden. Die ungünstig veränderte Raumwirkung läßt ein Vergleich der Text-Abbildungen 20 und 21 erkennen.⁸⁴⁾

b) Nebenchöre. Andererseits wurde durch die Bildung der Nebenchöre ein neuer, bedeutsamer Bagedanke gewonnen. Die Fortführung der Seitenschiffe jenseit der Kreuzarme und ihr Abschluß in besonderen, vom Mittelschiffchor durch geschlossene Wände getrennten Kapellen begegnet uns hier zum erstenmal.⁸⁵⁾ Man hat sie bisher als besonders deutliches Merkmal der alten Schule von Cluny betrachtet (Mettler S. 95. Dehio und v. Bezold S. 271 u. a. m.). Mettler denkt sie als Weiterbildung der Altarplätze der Querhausflügel entstanden. Mag eine solche Entwicklung anderwärts stattgefunden haben oder nicht; in St. Emmeram jedenfalls entstehen die Nebenchöre aus ganz bestimmten, gegebenen Verhältnissen heraus, aus Umbau und Wiederverwendung vorhandener Räume. Die dadurch geschaffene Lösung wurde in Regensburg und weit darüber hinaus ganz besonders beliebt. Bei weitem Spielraum für Einzelheiten finden wir den Grundgedanken, den Seitenschiffabschluß in gesonderten Kapellen, zähe bis tief in die Gotik hinein festgehalten, wo der Regensburger Dom eine letzte, schöne Abwandlung bringt. Man hat darum auch von einem „Regensburger Grundriß“ gesprochen. Hildebrandt, der das Wort geprägt hat (Hildebrandt S. 19), führt die Anordnung zwar auf Italien zurück und nennt das Donautal

83) Text-Abb. 39 nach A. Mettler, Die beiden romanischen Münster in Hirsau . . . Württemb. Vierteljahrshefte für Landesgeschichte 1915, S. 68.

84) Die Türen in der Ostwand seitlich der Apsis in Text-Abb. 21 wurden erst beim Umbau Abt Ramwolds (978) angeordnet; vgl. S. 230.

85) S. Ambrogio in Mailand ist in den ähnlichen Ostteilen wahrscheinlich älter, doch läßt sich kein Bild von der ursprünglichen Gesamtanlage gewinnen.

seine zweite, ebenbürtige Heimat. Wir haben jetzt aber Regensburg selbst als den Ausgangspunkt nachweisen können und das alte St. Emmeram als seinen ursprünglichen Entstehungsort. Über den italienischen Einfluß, der hinzutrat, haben wir schon oben gesprochen.

3. Reliquiengeschichte. Durch die Klärung der Baugeschichte gewinnt auch die viel umstrittene Emmeramer Reliquiengeschichte manchen wertvollen Aufschluß. Ohne im einzelnen zu der bisher oft arg gezwungenen und verwickelten Deutung hier Stellung zu nehmen, möchte ich kurz die nunmehr wahrscheinlichste Lösung darlegen: Aus dem ursprünglichen Grabe in der Georgkapelle wurde der Leib des hl. Emmeram durch Bischof Gaubald erhoben und mit Ausnahme des Hauptes und einzelner anderer Reliquien im Jahre 740 in jener Confessio beigesetzt, die 1894 wieder gefunden wurde. Die abgetrennten Reliquien mochten zunächst in der Georgkapelle verbleiben oder sie wurden schon damals im Hochaltar selbst verwahrt. Bei dessen Verlegung durch Tuto aber wurde das Haupt zusammen mit einigen anderen Reliquien in der neuen Altarconfessio feierlich beigesetzt. Allmählich zog diese wertvollste Reliquie die ganze Verehrung auf sich, und die erste Confessio im Scheitel der Apsis geriet in Vergessenheit, ein Umstand, der bisher schwer zu erklären war. Im Hochaltar Tutos war die neue Altarconfessio die erste und vorläufig einzige, so daß Papst Leo IX. im Jahre 1052 der Sitte der Zeit gemäß eine *secunda confessio* in denselben legen konnte.⁸⁶⁾ Diese zweite wurde aber nicht in die tief im Altarbau versteckte Truhe der ersten beigegeben, sondern im Altar selbst an einer zugänglicheren Stelle verwahrt. Für die Reliquien dieser *secunda confessio* ließ Abt Wolfhard Strauß (1423—54) jenen Silbersarg fertigen, der heute, unter der Mensa verwahrt, einen der kostbarsten Schätze der Kirche bildet. Im Jahre 1659 wurden dann, wie beschrieben, auch die Reliquien der *prima confessio* in diesen Silbersarg gelegt. Es wurden somit 1645 wie 1894 echte Reliquien des Kirchenpatrons aufgefunden. — Diese Darlegung entspricht in gleicher Weise dem Fundberichte von 1645 wie dem von 1894. Auch das Urteil der Ärzte, die 1873 die Reliquien des Silbersarges nur „mit Wahrscheinlichkeit“ einem einzigen Skelett zuschreiben konnten, läßt sich gut damit vereinbaren, ja sogar der Irrtum der Klosterüberlieferung.⁸⁷⁾

II. Die Bauvornahme Ramwolds.

1. Der Bauvorgang. Nach weiteren rund 80 Jahren wurde an der Kirche erneut gebaut und wieder im Osten: Abt Ramwold fügte die nach ihm benannte, im Jahre 978 vom hl. Wolfgang geweihte Krypta im Scheitel der Emmeramskrypta an, wobei er nach unseren früheren Darlegungen den

86) Eodem quoque anno (1052) . . . secundam confessionem principali altari beati Emmerami imposuit (sc. Leo. IX) . . . Mon. Germ. hist. Notae s. Emmer. Ser. XV, p. 1906.

87) Vgl. die frühere Auffassung in den eingehenden Darlegungen: J. A. Endres, Die neu entdeckte Confessio des hl. Emmeram zu Regensburg. Regensburg 1895. — H. Graf v. Walderdorff (Titel wie vor), Separatabdruck der Beilage zur Augsburger Postzeitung 1895. — G. A. Weber, Die Reliquien des hl. E., und Das angebliche Grab des hl. E., in „Studien und Mitteilungen aus dem Benediktiner- und Zisterz.-Orden“, Jahrg 1906 und 1903. — J. A. Endres, Römische Quartalschrift 1907. — Br. Krusch in „Neues Archiv der Gesellschaft für ältere deutsche Geschichtskunde“, Band 29 und 30.

östlichen Eingang der alten Krypta zum westlichen Zugang seiner neuen umgestaltete. Gleichzeitig legte er über diesem Durchgangsraum die Schatzkammer an und als Zugang hierzu ein zweites Stockwerk über der ursprünglichen Emmeramskrypta mit Türen links und rechts in der Ostwand des Mittelschiffchores (Text-Abb. 5 II, Abb. 7 bis 14 Bl. 5, Abb. 2 Bl. 6).

Stellt diese Bauvornahme auch keinen tieferen Eingriff in den alten Bestand dar, als das ohnehin schon besprochen wurde, so verdient sie in anderer Hinsicht weit höhere Beachtung als bisher. Man hat bisher kein klares Bild dieser Ramwoldkrypta zu gewinnen gewußt; nur Walderdorff hat überhaupt den Versuch gewagt, die alte Gestalt zu klären. Er hält den heutigen Grundriß für teilweise umgestaltet und vermutet als ursprünglichen Bau eine Art Friedhofkirche verwandt der sogen. „Drei-Conchen-Kirchen“ (Walderdorff S. 307). Ähnlich, nur unklarer, drückt sich Hildebrandt aus (Hildebrandt S. 21, 22). Freilich ist der Raum nur in einem schlimmen Umbau der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts auf uns gekommen. Doch wir haben vom alten Zustand noch eine recht frühe Beschreibung und wichtige andere Spuren; zumal diese letzteren sind bis heute unbeachtet geblieben. Der mit Symbolik überladenen Schilderung Arnolds aus dem 11. Jahrhundert entnehmen wir als wesentlich, daß die Krypta dreischiffig war, zwei *columnae*, also Säulen oder wahrscheinlicher Pfeiler besaß und im eigentlichen Kapellenraum fünf Altäre hatte, der sechste „*ad pedes*“ ist ja jener Altar unmittelbar „zu Füßen“ des hl. Emmeram in der Nische im Scheitel der Emmeramskrypta.⁸⁸⁾ Diese Beschreibung stimmt genau überein mit dem Grundriß vom Jahre 1680 des Mausoleums (Text-Abb. 6). In dem wertvollen Stich von 1722 (Text-Abb. 2) haben wir ferner noch eine Außenansicht des offenbar unveränderten Zustandes. Endlich haben wir noch einen Anhalt für die einstige lichte Höhe des Mittelschiffes: In der Flachnische der Ostwand der Schatzkammer finden wir nämlich noch ein vergittertes, jetzt von Osten vermaueretes, offenbar ursprüngliches Fensterchen, das sich nur in die Krypta geöffnet haben kann (Text-Abb. 7, Abb. 2 Bl. 6).

Aus diesen Spuren und dem heutigen Bestande ergibt sich eine sehr bestimmte, fast ins Einzelne klare Lösung. Diese Ramwoldkrypta war eine ganz stattliche Hallenkirche. Drei gleichlaufende Tonnen stützten sich anscheinend so auf zwei Mittelpfeiler, daß nur im Mittelschiff Kreuzgewölbe, in den Seitenschiffen nur einseitig einschneidende Stülpkappen entstanden; die seitlichen Tonnen stützten sich in der vollen Länge ihrer Kämpfer auf die Außenmauern; die heutigen Pfeilervorsprünge in den Ecken sind demnach erst beim Umbau eingeführt worden. Die seitlichen, rechteckigen Ausbauten, bei Paßler „*anguli*“ genannt (Paßler S. 817), waren

88) Arnold schildert wie folgt: „Cuius cryptae aedificatio per virum Dei satis artificiose ordinata, trifariam necnon quadrifariam speciem intuentibus exhibet. Et quia huius operis auctor sanctam dilexerit Trinitatem, atque quattuor evangeliorum firmiter tenuerit fidem, quasi quodam testimonio perhibet. Columnae vero, quae eandem crypticam ecclesiam sustentant, dualitate sua geminam dilectionem, Dei scilicet et Proximi, pulcherrime compingunt. Quinque autem altaria, in quibus totidem pyxides collocatae cum reliquiis, quas preminatus heros de Lotharingia transtulit, quinque librorum Moysi principalem observantiam in memoria monent teneri et in quinque sensibus corporis hortantur quinarium prudentiam semper haberi: Sextum quidem altare, quod dicitur ad pedes, senarii perfectione denunciat omnia concludi.“ Mon. Germ. Hist. Ser. IV, p. 568.

durch tiefer liegende, in entgegengesetzter Richtung gewölbte Tonnen überspannt, deren Scheitel wohl unter der Kämpferhöhe der Längstonnen blieb. Auf diese Art wurde sehr geschickt eine ausgezeichnete Absteifung des Seitenschubes der großen Tonnen erzielt, eine Anordnung, der das Gewölbe seinen Fortbestand bis zur gewaltsamen Zerstörung verdankte. Vor das etwas breitere Mittelschiff trat eine Apsis; die geraden Abschlußseiten der übrigen Tonnen besaßen je ein kleines Fensterchen, desgleichen die Rückwand des Mittelschiffes oberhalb des Eingangs: eben jenes noch erhaltene Fensterchen aus der Schatzkammer. Nach dem Grundriß von 1680 besaßen die seitlichen Vorbauten auch noch je ein Fensterchen in der Ost- und Westwand. Dieser ganze Bau hatte ein einfaches, flaches Satteldach, das ohne Absatz auch über die seitlichen Ausbauten fortgeführt war; frei vor dem Ostgiebel stand die Apsis, an dem Westgiebel lief das Satteldach der Schatzkammer an (vgl. Abb. 10, 11 u. 14 Bl. 5).

Ehe wir auf diesen Hauptbau zurückkommen, haben wir noch die Schatzkammer zu schildern. Ihr Fenster der Ostwand spricht für ihr gleichzeitiges Entstehen mit der Krypta, ebenso ihr Gewölbe, eine ganz einfache Tonne. Nach Süden öffnen sich zwei ganz kleine, in der Tiefe ihrer Leibung zweimal schwer vergitterte und überdies durch eiserne Läden verschließbare Fensterchen; leicht geschwungen und einfach profiliert ist das Gewände der Türe. Den Zugang zu dieser Schatzkammer durch einen Gang oberhalb der Emmeramskrypta weist noch der Stich vom Jahre 1721 auf.⁸⁹⁾ Merkwürdigerweise zeigt dort dieser Bauteil Lisenen. Man wird zugeben, daß diesen Mönchen, die so viel Mystik in den Beziehungen ihrer Bauwerke finden konnten (vgl. Anm. 88), der Sinn für nüchterne Wirklichkeit doch keineswegs fremd war. Die große Vorsicht, die aus der Anlage dieser Schatzkammer spricht, zeugt von recht gründlicher Erfahrung in weltlichen Dingen.

2. Kunstgeschichtliche Stellung. Den Bauten Ramwolds kommt, seit wir die Krypta in ihrer alten Form nachweisen können, sehr beträchtliche Bedeutung zu. Diese Hallenkirche ist die älteste ihrer Art, die bis heute in Deutschland bekannt geworden. Sie ist ein völlig selbständiger Bau, also weder Unterkirche im gewöhnlichen Sinne der Krypta, noch etwa eingebaut wie die Halle des Erdgeschosses der Klosterkirche in Corvei (erbaut rund anno 1000).⁹⁰⁾ So steht

89) Daß auch über dem Südflügel ein solches Obergeschoß bestanden hat, wissen wir aus einer Nachricht über den späteren Gemäldeschmuck der Kirche (vgl. unter VII, 2). In der späteren Zeit erfolgte der Zugang zur Schatzkammer durch den Südflügel, während im Nordflügel ein Sacrarium, eine kleine, vom Chor aus zugängliche Kapelle, eingebaut war. Ob diese besondere Anordnung schon auf Ramwold zurückgeht, ist ungewiß. Die Stufen zu den Eingängen müssen in den Chor vorgelegt gewesen sein. Dafür, daß zumindest zum Südflügel kein Eingang derart wie der heutige zur zweiten Sakristei vorhanden war, ist noch der bauliche Beweis gegeben. Es sind das jene nur im Südflügel der Emmeramskrypta noch erhaltenen Abstufungen der Wölbung über dem alten Krypteneingang unter der Ostwand. Die Schnittfiguren zeigen, daß diese Bogen, ebenso wie sie im Nordflügel zerstört sind, auch im Südflügel nicht mehr vorhanden sein könnten, wenn jemals ein Zugang in ein Stockwerk über der Halbringkrypta auch rechts der Apsis in gleicher Art wie heute links bestanden hätte (Abb. 8 u. 9 und 16 u. 17 Bl. 5).

90) Abb. bei Dehio u. v. Bezold, Taf. 170. Fig. 7 u. 8; ebendort (Taf. 170, Fig. 5 u. 6) Abb. der nachfolgend erwähnten Bartholomäuskapelle in Paderborn.

sie am nächsten der Bartholomäuskapelle in Paderborn aus dem Jahre 1017, hinter der sie auch in den Querschnittabmessungen nur wenig zurückbleibt. Doch ist der Regensburger Bau noch altertümlicher, viel schwerfälliger und ganz gewiß weit einfacher in der Formensprache gewesen. Die Schiffe sind noch nicht in Einzelgewölbe aufgelöst, das verbietet die Art, wie die Öffnung der seitlichen Ausbauten zu den Mittelpfeilern stehen, wir müssen daher die beschriebene Drei-Tonnen-Form annehmen. Auch verraten die vorgelagerten Quertonnen noch eine gewisse Ängstlichkeit, fast zu große Vorsicht.

Die genannten Anhaltspunkte für unsere Ergänzung ließen sogar die Annahme zu, daß alle drei Schiffe ganz einfache Tonnen besessen hätten ohne jede Verschneidung durch Quertonnen. Dann hätte die Verbindung der Mittelpfeiler mit ihren Wandpfeilern in niedrigen Bogen bestanden, deren Scheitel gleich denen der seitlichen Ausbauten unter den Tonnenkämpfern geblieben wären. Andererseits findet sich aber ein ganz ähnliches Gewölbe, wie wir es vorher beschrieben und auch in den Zeichnungen angenommen haben, noch heute in Regensburg erhalten in der sogenannten Erhardikrypta. Dieser kleine Raum von nur $6 \times 6,5$ m Grundfläche ist gleichwohl durch sechs Pfeilerchen in drei Schiffe geteilt. Nur das Mittelschiff ist in Kreuzgewölbe aufgelöst, während die seitlichen Tonnen sich nur mit Stüchappen gegen den Mittelraum öffnen (Walderdorff S. 219). Die Entstehungszeit dieses Bauwerks ist nicht gesichert; man hat bisher spätestens das 10. Jahrhundert dafür angenommen. Ob die Erhardikapelle daher als Vorstufe der Ramwoldkapelle gelten kann, oder ob sie in Anlehnung an diese entstanden ist, kann vorerst kaum entschieden werden. Im letzteren Fall käme der Ramwoldkrypta insofern noch höhere Bedeutung zu, als sie dann als das sichere Bindeglied gelten dürfte, das die Gruppe der bayerischen Hallenbauten mit denen des nordwestlichen Deutschlands verknüpft. Abt Ramwold war ja aus dem Kloster St. Maximin bei Trier nach St. Emmeram gekommen und hatte von einer späteren Reise dorthin gerade auch jene Reliquien nach Regensburg zurückgebracht, die nach der Überlieferung die Erbauung der Krypta veranlaßt haben (Mausoleum (4), S. 99 bis 101). Leicht möglich, daß er vom gleichen Ort auch den Bauplan mit heimgebracht hat. Im Gegensatz zur Meinung von Dehio u. v. Bezold (Dehio u. v. Bezold S. 314) scheinen die bayerischen Hallenkirchen also doch von Nordwestdeutschland beeinflußt zu sein. Mit Sicherheit können wir jedenfalls die Frage der gleichen Forscher beantworten, wo die Regensburger Hallenkirche St. Leonhard, die benachbarten Hallenkirchen zu Prüll und Walderbach einzureihen seien (Dehio u. v. Bezold S. 509). Sie gehen auf das einflußreiche Kloster St. Emmeram, auf die Hallenkirche Abt Ramwolds zurück.

III. Die Bauvornahme Kaiser Heinrichs II.

1. Die Überlieferung.

Wie schon erwähnt, ist eine Bautätigkeit Kaiser Heinrichs des Heiligen zu St. Emmeram mehrfach überliefert, doch gegenständlich umstritten. Walderdorff, B. Riehl, Dehio und v. Bezold haben darunter die Erbauung des westlichen Querschiffes verstanden, eine heute erledigte Auf-

fassung⁹¹). Schon im Jahre 1894 sprach Endres die Ansicht aus, es dürfte sich die Bautätigkeit Kaiser Heinrichs II. nur auf die Wiederherstellung des verbrannten Kirchendaches und die Stiftung eines Deckengetäfels beschränkt haben; Endres stützte sich dabei auf eine Stelle des Mausoleums, die einzige bisher bekannte Quelle, welche die Bauvornahme dieses Kaisers genauer umschreibt⁹²). Nun hat uns aber Paßler neben allerlei anderen Inschriften, die im alten Gotteshaus aufgemalt waren, auch zwei Verse übermittelt, die vormalig in oder neben der Apsis unter einem Bilde standen, das „Kaiser Heinrich“ und „Papst Leo“ im Zwiegespräch darstellte:

*Hainricus Imperator ad Leonem Papam:
Hanc torrens ignis aedem quia rosit e fundo
Refectam dignis trabibus precor unge secundo.
Leo Papa respondet Imperatori:
Corporibus sanctis domus haec cum sit redimita
Hanc tibi Christe dico quae libera sit repetita.*

(Paßler S. 752.)

Bei der hier genannten Wiederherstellung der abgebrannten Kirche, in der der Kaiser ausdrücklich auf das „würdige Gebäk“ Bezug nimmt, ist sachlich somit genau eine Maßnahme hervorgehoben, wie sie auch das Mausoleum nennt. Aber der Kaiser, der diesen Vers zu Papst Leo spricht, kann gar nicht der heilige Kaiser sein; es ist vielmehr Heinrich III.; denn die genannte Wiederweihe und Freiheitsbestätigung der Kirche ist die des Jahres 1052 durch Papst Leo IX. nach dem Umbau der Kirche durch Abt Reginward! Sollten beide Kaiser Heinrich ein neues Getäfel gestiftet haben? Viel wahrscheinlicher liegt ein Irrtum des Mausoleums vor. Nachdem aus der Inschrift des Bildes der tatsächlich gemeinte Kaiser Heinrich nur durch den sachlichen Zusammenhang deutlich kenntlich war, so konnte eine Verwechslung ganz gut unterlaufen. Die Bauvornahme Kaiser Heinrichs III. wurde dem heiligen Kaiser zugeschrieben, auf dessen Tätigkeit schon um seiner Heiligsprechung willen die Überlieferung besonderen Wert legen mochte. Paßlers Angabe verdient aber auch schon deshalb mehr Glauben, weil er ausdrücklich sagt, er habe die Verse einer alten Aufschreibung des Jahres 1503 entnommen (Paßler S. 751), so daß dieser Nachricht auch ein höheres Alter als der des Mausoleums zukommt. Soll nun die Überlieferung von einer Bauvornahme Kaiser Heinrichs des Heiligen gänzlich erfunden sein? Oder was bleibt für sie als sachliche Grundlage übrig?

2. Die Portalnischen.

a) Der Baubefund. Mit dem Vorbehalt einer Vermutung sei im folgenden der Versuch gemacht, auf Kaiser Heinrich II. einen Baurest zurückzuführen, dessen Herkunft bis heute mehr denn jeder andere Punkt der Kirche umstritten wurde: das viel erörterte Doppelnischenportal. Wir haben schon oben bei Erwähnung der Reginwardbauten einmal die Beschränkung betont, unter der allein wir auch den

Portalbau der Reginwardbauzeit zurechnen können, sofern wir ihn nämlich als Umbau eines früheren Bauwerkes auffassen. Diese Ansicht und damit auch die Ablehnung der Auffassung, es stelle das heutige Doppelportal eine ursprüngliche Anlage dar, haben wir nunmehr zu begründen.

Der Hauptgrund, wonach v. Quast, B. Riehl und am eingehendsten Hager das Doppelportal als Ganzes dem Abte Reginward zugeschrieben, ist der Pentameter des Steinreliefs am Mittelpfeiler: „Abba Reginwardus hoc fore jussit opus“⁹³). Was Reginward etwas ruhmredig hier sein Werk nennt, kann sich aber allen Deutungen jener Forscher entgegen doch nur auf den Umbau und die Eingliederung eines Restes beziehen, wie das Walderdorff, Pohlig und Wagner vertreten⁹⁴), und wie es erneut die bauliche Untersuchung lehrt. Wir wiederholen von den bisherigen Einwänden folgendes gegen die erstere Auffassung: Die Anlage ist als Portalbau ganz ungewöhnlich, sofern von zwei gleichen Türen sich die eine ins Querschiff, die andere ins nördliche Seitenschiff öffnet (Abb. 3 Bl. 3). Dabei tritt die Nordflucht des Nischenportales 1,6 m über die Querschiff-, fast 4 m über die Seitenschiffaußenwand vor. Das Verbindungsstück zwischen Seitenschiffwand und Portalbau ist nicht regelrecht mit dem letzteren verwachsen. Hierzu kommen als neue Gründe: Die Querschiffostwand trifft nicht auf das Mittel des Nischenbaues. Seit einer Bauvornahme in St. Rupert im Jahre 1909 ist eine Südostecke des Nischenbaues freigelegt; sie zeigt an der Südseite deutlich verstrichene Fugen; deutlich zeigt sich das Verbindungsstück als loses Füllmauerwerk gegen diese Südseite nachträglich angeschichtet. Unbeachtet blieb bisher sodann der Pfeiler in der Nordostecke des Querschiffes. Er geht bündig mit der Leibung des Westportales und endigt in Höhe von dessen innerem Segmentbogenabschluß (Abb. 2 Bl. 3). Genaue Aufnahmen erweisen, daß die Südseite dieses Pfeilers mit den Südkanten der tieferen Leibung des Ostportales in einer Flucht liegt; sie erweisen überdies, daß diese Südflucht mit der Nordflucht des Portalbaues gleich läuft, daß aber der ganze Nischenbau schräg zur Querschiff- und Seitenschiffwand, überhaupt schräg zur Kirchenachse steht. Zudem erwies sich im Frühjahr 1917, als gelegentlich von Erneuerungsarbeiten im Querschiff der Putz über dem Portal abgenommen wurde, das Portalmauerwerk deutlich verschieden von dem der anstoßenden Querschiffwand. Diese war ursprünglich nicht verputzt; dafür zeigten sich die Fugen deutlich verstrichen, und zwar waren in den glatt gestrichenen Fugenmörtel die Linien der Stoß- und Lagerfugen als Vertiefungen wieder eingezogen. Diese Behandlung setzt deutlich erst seitlich und eine Strecke oberhalb des Portales an, wo das Mauerwerk überhaupt regelmäßiger wird. Damit ist klargelegt, daß der Nischenbau als Fremdkörper ins Querschiffmauerwerk einbezogen wurde; noch bleibt der nachträgliche Einbau der heutigen Portale zu beweisen.

Mehrmals wurde als seltsam betont, daß sich die Nischen nach außen öffnen; sie mündeten jedoch niemals unmittelbar ins Freie, und so konnte Hager diesen Einwand mit Recht

91) Walderdorff S. 312. — B. Riehl, Denkmale frühmittelalterlicher Baukunst in Bayern . . . S. 67; vgl. die spätere Auffassung Riehls in „Zur Geschichte der frühmittelalterlichen Basilika in Deutschland“, Münchener Sitzungsbericht 1899, Bd. I, S. 319; Dehio und v. Bezold S. 209.

92) Endres S. 11; dazu Mausoleum (4) S. 243: „Der heilige Heinrich baute unser abgebranntes Kloster wieder auf und richtete ein Tabulat in unser Kirchen von schönen Figuren.“

93) v. Quast in „Reihenfolge und Charakteristik der vorzüglichsten Bauwerke des Mittelalters in R.“, 1852, S. 7 ff. — B. Riehl in „Denkmale frühmittelalterlicher Baukunst in Bayern“, 1888, S. 67. — G. Hager in „Mittelalterl. Bauten Regensburgs“, 1895, S. 6 ff.

94) Walderdorff S. 324 ff., Pohlig S. 16 ff., Wagner S. 20.

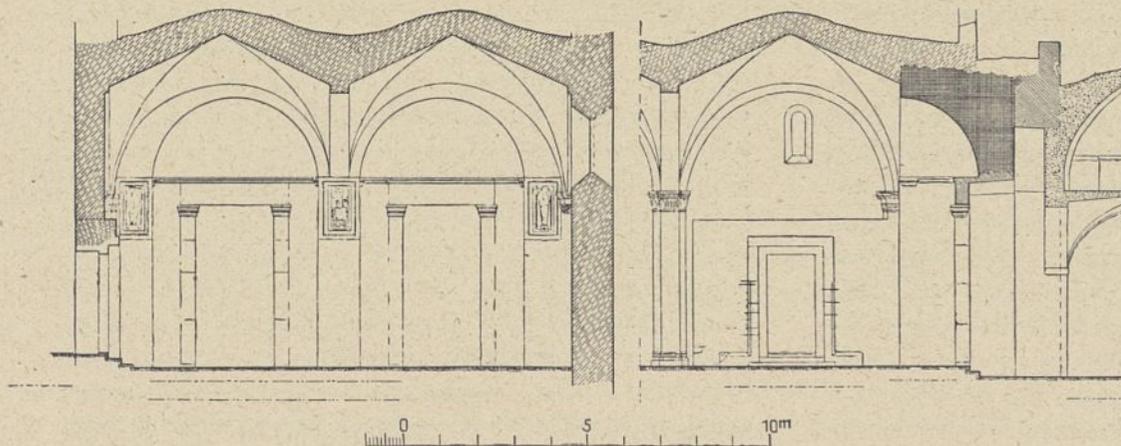
als nicht stichhaltig ablehnen. Unerklärlich für eine Neuanlage bleibt aber der Aufbau der Portale, insbesondere der tote Raum, der dadurch entsteht, daß der als Architrav behandelte Türsturz sehnartig die Nischenwölbung durchschneidet, so daß die Viertelskugel sich hohl darüber zurückwölbt (Text-Abb. 37). Diesen unverkennbaren tektonischen Mangel, den namentlich Pohligh klar betont hat, suchten Dehio und v. Bezold dadurch zu beseitigen, das sie den geschilderten toten Raum sich ursprünglich vollgemauert dachten (Dehio und v. Bezold Tafel 292, Fig. 7). Auf diese Weise wäre über dem Türsturz ein Halbkreistympanon gebildet worden; doch diese Lösung hat nie bestanden. Das beweisen die Fresken, die seit der Wiederinstandsetzung der Vorhalle in der ganzen Tiefe der Viertelskugel wieder aufgedeckt sind. Leider hat man seinerzeit die Untersuchung nicht auf den Steinverband von Türgewände, Architrav und

in diesen Rest erst nachträglich eingefügt worden. Auf den mutmaßlichen Zweck und die Form des ursprünglichen Baues werden wir alsbald eingehen. Vorerst sei noch erwähnt, daß Wagner offenbar recht hatte, als er Pohlighs Mutmaßung ablehnte, es könnte der Nischenbau vielleicht ein Überrest aus der Zeit Bischof Sindberts sein; wir haben die „Sindbertkirche“ inzwischen ja kennen gelernt. Wagner will den Portalbau nicht allzuweit zurückverlegen; er denkt an den Beginn des 11. Jahrhunderts.

3. Die Herleitung.

Wir haben also einen ungeklärten Baurest, der spätestens zu Beginn des 11. Jahrhunderts entstanden sein kann. Und wir haben für den Beginn des 11. Jahrhunderts die Überlieferung einer gegenständlich ungeklärten Bautätigkeit Kaiser Heinrichs des Heiligen. Es liegt daher nahe an gegenseitige

Ergänzung zu denken und zwar um so mehr, als die Volkssage den Portalbau ohnehin, wenn auch locker, mit Heinrich dem Heiligen schon in Beziehung gebracht hat. Bis zum Jahre 1894 stand nämlich vor dem Mittelpfeiler der Nischen der schon erwähnte „Heinrichstuhl“. Es ist das ein hoch altertümlicher, aus einem Stück Kalkstein gemeißelter Sitz, den zwei heute arg verstümmelte liegende Löwen und eine schmale Mittelstütze tragen und dessen Rücklehne halbzylindrisch gebildet ist. Man glaubte in diesem Stück eine sehr alte bischöfliche Kathedra wiederzuer-



Ansicht von Norden und Schnitt durch den Eingang nach St. Rupert.

Schnitt durch die östliche Portalnische und Ansicht des heutigen Eingangs nach St. Rupert.

— — — — — Ältester Fußboden von St. Rupert.
 — — — — — Alter Fußboden der Vorhalle.
 — — — — — Mutmaßlicher Fußboden in St. Emmeram.

Abb. 37.

Doppel-Portal.

Gesimsen mit dem Nischenmauerwerk ausgedehnt. Immerhin zeigte sich der bemängelte Hohlraum an seiner schwächsten Stelle gegen die innere Türleibung (vgl. Schnitt Text-Abb. 37) mit einem Holzbalken zugeflickt, was gewiß nicht als Zeichen einer ursprünglichen Anlage gelten kann. Bei den letzten Arbeiten im Querschiff zeigte sich aber auch der Segmentbogen über der inneren Leibung als deutlich nachträgliche Zutat. Er ist nur $\frac{1}{2}$ Stein stark in Ziegel unter das beim Portalausbruch oberhalb stehen gebliebene Bruchsteinmauerwerk eingesprengt, die Zwickel sind nachträglich ausgefüllt. Es steht außer Zweifel, die heutigen Portale wurden erst nachträglich in den schon älteren Nischenbau eingebrochen. So erklärt sich auch der besprochene Pfeiler in der Ecke des Querschiffes. Er ist noch der Überrest der einstigen Südwand, die ganz beträchtlich in den Raum des heutigen Querschiffes hineinragte. Als das Portal durchgebrochen wurde, legte man den westlichen, allzusehr störenden Vorsprung nieder und somit auch alles vorragende Mauerwerk oberhalb der Öffnung. Deshalb reicht dieser Pfeiler so genau bis zum Ansatz des Segmentbogens! Dieser Rest wurde dann offenbar als unauffällig genug erachtet, so daß man die Mühe sparte, auch seinen Vorsprung noch abzuarbeiten.

So steht denn fest: Der Nischenbau ist ein älterer Rest aus der Zeit vor Reginward und die heutigen Portale sind

kennen, die einst bei einem Umbau von ihrem ursprünglichen Platz in der Kirche an die seltsame Stelle vor den Toren gekommen sei. Voll befriedigend war diese Erklärung nie. Sie begründete weder den Namen noch die ganz merkwürdige Platzwahl nach einer Veränderung, über deren Zeitpunkt wir keinerlei Nachricht besitzen. Wir wissen vielmehr nur, daß der „Heinrichstuhl“ schon im Jahre 1615 vor dem Mittelpfeiler der Nischen stand⁹⁵). Nach der einen Fassung der Volkssage soll Kaiser Heinrich der Heilige auf diesem Stuhle Platz genommen haben, wenn er vorzeitig zur Frühmesse kam und die Kirchentüren noch verschlossen fand (Walderdorff S. 322). Nach der anderen Fassung „überwachte“ er von diesem Stuhl aus „den Bau“ (Janner I. S. 460). Verrät sich die erste Lesart ohne weiteres als fromme Legende, so darf man der zweiten wahrscheinlich höhere Beachtung als bisher beimessen. Sofern sie wenigstens den merkwürdigen Stuhl und einen Bauvorgang an dieser Stelle mit Kaiser Heinrich dem Heiligen überhaupt in Zusammenhang bringt, mag ihr ein wahrer Kern zugrunde liegen.

Es läßt sich nämlich im Nischenbau der Rest eines Gerichtsgebäudes und im „Heinrichstuhl“ der einstige

⁹⁵) Walderdorff S. 321; ebenda eine Abbildung des Heinrichstuhles.

Richterstuhl vermuten, und diese Anlage dürfte als das Werk Kaiser Heinrichs des Heiligen aufgefaßt werden. Eine genauere Bezeichnung oder Schilderung dieses nur im allgemeinen überlieferten Baues aber scheint uns deshalb nicht erhalten zu sein, weil sein unveränderter Bestand nur ganz kurze Zeit gewährt haben kann. Zur Begründung dieser Vermutung erweist sich neuerdings ein Vergleich mit Werden a. d. R. als ganz besonders wertvoll. Effmann hat nachgewiesen, daß dort im Westen der alten Abteikirche eine „Vorkirche“ nachträglich angefügt wurde. „Dieselbe war für besondere Zwecke der Pfarrgemeinde bestimmt und hieß als solche ursprünglich Marienkirche, später Peterskirche. Sie war nicht als Basilika, sondern als Zentralbau gestaltet.“ (Effmann S. 168.) Es war ein selbständiges Gotteshaus, auf das wir schon im ersten Teil zu sprechen kamen. Von dieser Kirche ist uns sowohl der ursprüngliche Weihetitel zu Ehren Mariens als der spätere Wechsel der Zueignung wichtig. Gleich wichtig ist ihre älteste überlieferte Zweckbestimmung als Synodalgericht⁹⁶⁾ wie ihre später genannte, nach Effmanns Vermutung gleichfalls von Anfang an bestimmte Benutzung zu pfarramtlichen Vornahmen wie Taufen und Eheschließungen und auch zu Begräbnissen (Effmann S. 177). Von gleichem Belang ist die ungefähre Entstehungszeit (Weihe 943) und die Form als hochragender Turm; so wird die Kirche auch gleich bei der Weihe bezeichnet: *Dedicatio ecclesiae s. Mariae sive turris* (Abbildungen bei Effmann S. 214 ff.). Vergleichen wir hiermit, was wir in Regensburg finden: Wir schreiben die Nischen Heinrich dem Heiligen zu, somit einer Zeit, die nicht allzuweit von der Vollendung des Gerichtsgebäudes in Werden entfernt ist. Wir erblicken im „Heinrichstuhl“ den Richterstuhl, der von je in diesem Raume stand. Auch vornehme, alte Begräbnisse vor dem heutigen Portale sind nach Walderdorff anzunehmen, der hier einst eine Gedächtniskapelle der Grafen Babo vermutet hat⁹⁷⁾. Wir sehen im Nischenbau somit nicht nur den Gerichtsbau, sondern genau wie in Werden auch die älteste, eigene Pfarrkirchenanlage des Klosters, die uns später unmittelbar östlich als St. Rupert begegnet. Das Fresko der Ostnische des Doppelportales zeigt heute noch ein überlebensgroßes Madonnenbild. Auch zu St. Emmeram mag somit das Gerichtsgebäude der hl. Maria geweiht gewesen sein. Das Fresko der Westnische wäre dann als St. Rupert zu deuten, und wie in Werden so hätte auch bei St. Emmeram der Weihetitel der Pfarrkirche später gewechselt. Endlich erklärt sich die gewaltige Mauerstärke des Nischenblockes wohl am besten bei der Annahme eines ursprünglich hochragenden Baues, eines „Turmes“, wiederum genau wie in Werden. Auch der Richtungsunterschied zwischen Nischenkörper und Emmeramskirche läßt sich jetzt begründen, wenn gleich bis heute nicht restlos erklären: Dieser Nischenbau war eine selbständige Kirche, die unabhängig von der Emmeramskirche geostet worden war. Wir begegnen hier also der gleichen merkwürdigen Frage, auf die wir schon oben beim Richtungsunterschied zwischen

96) Effmann S. 176: „In der Einweihungsnachricht von 943 ist nur angegeben: *et quicquid ad synodalia pertinet, in ea exigatur.*“

97) Walderdorff, Die neu entdeckte Fessio des hl. Emmeram in Regensburg; vgl. auch Walderdorff S. 328 über die Grabstätte des Landgrafen von Stefling († 1043).

Georgkapelle und Emmeramskirche gestoßen sind. Das Steinbild des Weltenrichters „Christus voll Ernst mit erhobener rechter Hand und in der linken das Buch des Lebens haltend“ (Walderdorff S. 325), das später Abt Reginward am Mittelpfeiler anbringen ließ, läßt sich ebenfalls sehr gut mit einem Gerichtsgebäude vereinbaren und scheint anzudeuten, daß schon damals der Richterstuhl den Platz vor dem Mittelpfeiler erhalten hatte.

Die Mutmaßung verdichtet sich somit zu hoher Wahrscheinlichkeit, daß die heutigen Portalnischen tatsächlich der ältesten Pfarr- und Gerichtskirche St. Emmerams angehört haben. Wenn diese erst eine Gründung Heinrichs des Heiligen war und nicht etwa eine Vollendung — und wir werden das erstere noch aus Gründen der Formensprache wahrscheinlich machen —, dann hat dieser Bau nur wenige Jahre, kaum ein paar Jahrzehnte bestanden. Schon das im Jahre 1052 geweihte Querschiff setzt, wie wir schon wissen und bald noch genauer sehen werden, die Umwandlung dieses Baues zu einer Vorhalle voraus⁹⁸⁾. Nur einzelne Teile wird man hierzu verwendet haben, wahrscheinlich wird der größere Rest des durch Brand geschädigten Gebäudes als Steinbruch für den Neubau von Querschiff und Westchor benutzt worden sein. Einige Auskunft werden uns sicherlich eines Tages noch Grabungen geben. In deren Ergebnis müssen wir schließlich ja überhaupt noch die letzte Bestätigung unserer Mutmaßung abwarten. Vorher bliebe es müßiges Raten, irgend viel mehr über die Gestalt des ursprünglichen Baues zu sagen, als daß er im Kern ein hochragendes, turmähnliches Gebäude gewesen sein dürfte. Völlig klar ist nur das eine erwiesen: Die heutigen Nischen des Doppelportales sind älter als die übrigen noch erhaltenen Westteile St. Emmerams.

IV. Die Bauvornahme Reginwards.

1. Der Bauvorgang.

a) Bauanlaß, Baubedingungen und Grundrißlösung. Bei Beschreibung des heutigen Baubestandes, bei Entwicklung der ursprünglichen Westteile, desgleichen in den eben vorangehenden Ausführungen haben wir die Bauten Abt Reginwards schon wiederholt berührt. Ihre tiefgreifenden Änderungen und ihre bisher keineswegs voll erkannte kunstgeschichtliche Bedeutung erfordern nunmehr ein genaueres Zusehen. Die in ihren Grundzügen noch unverändert erhaltenen Anlagen aus der Zeit Abt Reginwards, die wir mit der Weihe der Wolfgangskrypta und der Wiederweihe der ganzen Kirche am 7. Oktober des Jahres 1052 als abgeschlossen zu denken haben, verdanken ihr Entstehen und ihre Gestaltung einer ganzen Reihe von Gründen. Den äußeren

98) Aus späterer Zeit kommt denn auch die Nachricht von einer Gerichtsstätte weiter westlich, nahe der heutigen Ägidienkirche, wo der Burggraf Recht spricht. Es war eine Stelle, welche zur ehemaligen Pfalz Kaiser Arnulfs gehörte. Vgl. Manfred Mayer, Die Geschichte der Burggrafen von Regensburg S. 13. München 1883. Auf diese Angabe verweist Endres in seiner Abhandlung: Karls des Großen Schenkung von Prül an St. Emmeram in Regensburg (Historisch-politische Blätter, Bd. 154 (1914), S. 490). Die von Endres dort — übrigens ausdrücklich als schwach begründete Mutmaßung — mitgeteilte Ansicht, es könnten die Portalnischen Reste einer der hl. Maria geweihten Pfalzkapelle Kaiser Arnulfs sein, dürfte durch die obigen Darlegungen überholt sein.

Anstoß bot ein Brand, der insbesondere die Westteile und offenbar auch das Gerichtsgebäude verheerte. Statt eines unveränderten Wiederaufbaues dachte man sicher von Anfang an an eine großzügige Erweiterung der Gesamtanlage; wir dürfen bei der großen Bedeutung des Klosters und bei der Anschauung der maßgebenden Partei der Mönche, die wir später noch eingehend kennen lernen werden, diese Absicht mit aller Bestimmtheit voraussetzen. Aus gleichem Grunde wurde von vornherein die stattlichste Lösung in Aussicht genommen, die jene Zeit kannte: die Verdopplung von Querschiff- und Choranlage. Daß auch eine aufwandreiche Krypta nicht fehlen durfte, lag gleichfalls im Sinne der Zeit und der fortschrittlichen Richtung im Kloster. Hingegen wäre bei einem derartigen Bauvorhaben keinesfalls, wie das bisher stets stillschweigend vorausgesetzt wurde, auch die weitere grundlegende Änderung mit nötig geworden: die Verlegung des Haupteinganges von der Westseite an die Nordfront. Daß die heutigen Westteile, insbesondere die Turmanlage, einen Eingang an dieser Seite nicht zulassen; ist offenbar keine Begründung. Essen, St. Gallen, Reichenau bieten Beispiele einer Lösung von Westchor mit gleichzeitig westlichen Eingängen, und Bamberg, Mainz und Worms lösen die gleichen Schwierigkeiten an der Ostseite, und ebenso war es einst auch am Dome in Augsburg.⁹⁹⁾ Auch in St. Emmeram hätte man eine ähnliche Anordnung treffen können, wenn nicht die Verlegung des Hauptzuges von vornherein mit beabsichtigt gewesen wäre. So war es denn auch in der Tat, und zwar haben triftige Gründe städtebaulicher Art diesen Wechsel veranlaßt.

St. Emmeram war ja, nachdem es vorher außerhalb der Stadt gestanden hatte, im Jahre 917 von Herzog Arnulf samt einem beträchtlichen Gelände durch Erweiterung der Stadtmauer „miteingefangen“ worden. Hierbei büßten natürlich manche ursprünglichen Anlagen ihre alte Berechtigung ein. So wurde auch der Westeingang der Kirche durch Torhalle und Vorhof von den Städtern sicher lange schon als lästiger Umweg empfunden, bis sich nach dem Brande Gelegenheit zu entsprechender Änderung bot. Gegen die Stadt zu war schon das Gerichtsgebäude im Norden der Kirche angelegt worden, und aus gleichen Grunde war jetzt auch ein Nordportal der Hauptkirche beim Wiederaufbau von vornherein vorgesehen. Seine Einzelanordnung und insbesondere die Platzwahl wurde aber durch den schon vorhandenen Baubestand mitbestimmt; mit diesem Gedanken hat Hager sicherlich recht (Hager S. 6). Keineswegs aber bekam das heutige Doppelportal seinen Platz etwa deshalb, weil dieser gerade noch frei war, während die übrige Nordwand schon von einer so frühen, romanischen Rupertuskirche verbaut gewesen wäre (Hager S. 6), sondern gerade umgekehrt: entscheidend war, daß Reginward vor der Nordseite ein älteres Gebäude, das sich zum Umbau zu einem Portale zu eignen schien, bereits vorfand, nämlich jenen schon oben besprochenen Nischenbau. Andernfalls fänden wir eine Anlage wie bei den sächsischen Doppelchorkirchen oder wie bei St. Jakob in Regensburg. Niemals wäre bei freier Wahl eine so unglückliche Anordnung entstanden, daß eine Vorhalle mit zwei gleichwertigen, ja

völlig gleichartigen Portalen zu zwei ganz verschiedenen Räumen führt, so daß dem Besucher jede Möglichkeit entzogen wird, sich zurechtzufinden. Wie der Nischenbau früher mit der alten Kirche verbunden war, wissen wir nicht; damals wurde er in den Erweiterungsbau mit einbezogen (Text-Abb. 5 III). Seine übrigen, heute verschwundenen Teile mögen als Vorhalle vielleicht auch weiterhin für Pfarrzwecke gedient haben, in die Nischen wurden die heutigen Portale gebrochen, und von Süden rückte das Querschiff so weit heran, als die Wiederverwendung der heutigen westlichen Portalnische das gerade noch erlaubte. Wir sehen, auch die scheinbar willkürlich geringe Ausladung des Querschiffes über die Seitenschiffe war damit schon vorbestimmt! Auf diese Weise erklärt sich also die Anordnung des heutigen Doppelportales. Arbeitersparnis, wohl auch die Vorliebe für die beim Neubau mehrfach wiederholte Nischenbildung mag den Meister mit den schlimmen, mehrfach gerügten Nachteilen ausgesöhnt haben. Einen damit auch verbundenen Vorteil hat Hager betont: Bei dieser Anordnung konnte die Krypta, ohne allzusehr zu stören, weit ins Querschiff vorgebaut werden. Freilich, dieser Bestand allein würde eine solche Besonderheit noch keineswegs rechtfertigen. Aber wir haben ja oben den tieferen Grund schon dargelegt; der weitausladende Vorsprung der Krypta war veranlaßt durch die Beibehaltung alter Grundrißbeziehungen des einstmaligen Vorhofes.

Erst jetzt, da wir das Bauvorhaben und alle verwickelten Vorbedingungen zugleich mit der Lösung der Aufgabe überblicken können, vermögen wir einigermaßen gerecht auch die Leistung zu bewerten; und wir müssen ihr hohe Anerkennung zollen. Abgesehen von der Portallösung, mit der sich der Meister wohl nicht ohne Sträuben zufrieden gab, vertragen nirgends mehr nennenswerte Mängel die überwundenen Schwierigkeiten. Im Gegenteil, im Inneren der Kirche besticht gerade die Besonderheit des Westteils den Besucher durch die hohe Schönheit der Raumwirkung, wie wir sie eingangs hervorgehoben haben. Sie hat ihren Grund in der eigenartigen, glücklichen Verschränkung der Einzelräume, auf die wir der Reihe nach nunmehr kurz eingehen wollen.

b) Die Einzelräume.¹⁰⁰⁾ Westliches Querschiff und Westchor. Wir haben soeben die Bedingungen kennen gelernt, an die sich der Meister bei seiner Grundrißlösung band. Nur für die Querschiffbreite hatte er noch Spielraum innerhalb der doppelten Rücksicht, daß das Querschiff selbst angemessene Verhältnisse und daß der Westchor noch genügende Tiefe erhalten sollte; denn dessen Westabschluß war durch das Ausmaß des Vorhofes bzw. der Krypta ja ebenfalls schon gegeben. Für beide Räume wurden annähernd gleiche Breiten gewählt. Der Westchor ist etwas schmaler als das Querschiff; auf eine Vierung und einen Mittelurm hat man verzichtet, wohl mit Rücksicht auf das geplante westliche Turmpaar. Das Querschiff betont nur die Querichtung. Seine Ostwand ist noch die ursprüngliche, nur umgebaute und erweiterte Westwand der Gründungsanlage. In Ost- und Westwand öffnen sich gleich breite Bogen gegen Langhaus und Westchor. Sie besitzen noch heute die Kämpfergesimse jener Zeit, die in der Hauptsache aus Platte, Kar-

99) F. Schildhauer, Baugeschichte des Augsburger Domes. Zeitschrift des Hist. Vereins für Schwaben und Neuburg S. 41. Augsburg 1899.

100) Vgl. Text-Abb. 13.

nies und kräftig geschwungener Hohlkehle zusammengesetzt sind, den gleichen eigentümlichen, scharf geschnittenen Profilen, die wir bei der ganzen Reginwardgruppe finden. Der Abschluß gegen den Westchor zeigt auch noch die Sockelglieder aus umgekehrtem Karnies und Platte. Die gleichen Fußglieder dürften bei der Öffnung ins Langhaus wohl noch im Boden stecken, der sich ja beträchtlich erhöht hat. Die Bogenöffnungen in die Seitenschiffe haben wir schon oben als die alten Eingänge aus den Vorhofhallen wahrscheinlich gemacht. Hoch in der Ostwand zeigt sich noch heute über den Seitenschiffen je ein halbkreisförmig geschlossenes Langfenster; die Querschiffstirnwände besaßen je zwei solcher Art, wie sich noch an der Außenseite der Nordwand deutlich erkennen läßt. Die Westwand war ohne Fenster, nachdem an der einen Seite der Turm ohnedies eine Lichtöffnung ausschloß. In der Giebelwand des Westchors verrät sich noch statt der heutigen beiden Rundfenster eine ehemals ziemlich große halbkreisförmig geschlossene Öffnung; doch ist nicht zu entscheiden, ob das ursprüngliche Fenster war. Unklar bleibt auch die alte Altaranlage des Westchors. Desgleichen ist der ursprüngliche Aufgang nicht mehr ersichtlich. Vielleicht haben die Stufen, die heute beiderseits der Krypta zu dieser hinauführen und die heutigen Aufgänge längs der Querschiffwestwand einst die Richtung vertauscht, damit man seitliches Licht in die Krypta gewinnen konnte. An deren Ostseite ist der alte Aufgang wohl kaum zu denken, hier wären von anderen Gründen abgesehen die Stufen allzuweit in das ohnehin schon verschmälerte Querschiff vorgetreten.

Die Wolfgangskrypta. Der dritte Raum, der die Eigenart der Westteile erst bedingt, ist die Wolfgangskrypta (Abb. 2 Bl. 3 u. Abb. 3 Bl. 4). Ihr Körper trat bei der früher tieferen Fußbodenlage des Querschiffes einst noch beherrschender als heute im gesamten Raumbild auf; er wirkte als ein mächtiger Vorbau mit breiten, vermutlich seitlichen Aufgängen vor dem hochliegenden Westchor. Dem alten Atriumhofe folgend erhielt der Innenraum annähernd quadratischen Grundriß. Durch die beiderseits vortretenden Grundmauern des Trennungsbogens zwischen Querschiff und Westchor ist er in zwei auch architektonisch unterschiedlich behandelte, ungleiche Hälften geteilt. Im westlichen boten die starken Mauern des Westchores Gelegenheit zum Wandschmuck der Halbkreisnischen; vor die weniger belasteten, schwächeren Wände der östlichen Hälfte sind zur Unterteilung nur Wandpfeiler vorgestellt. Sechzehn Säulen teilen den Raum nach beiden Richtungen in fünf Schiffe, die mit gerade gestochenen Kreuzgewölben zwischen Gurten überspannt sind. In Richtung von Ost nach West ist das Mittelschiff etwas breiter, von Nord nach Süd die Felderreihe der Zugänge; dies letztere wohl mit Rücksicht auf die schon erwähnten Bogengrundmauern. So entsteht im Grundriß eine Kreuzform, was schon Paßler erwähnt. Paßler erzählt auch an der gleichen Stelle, daß die Krypta ursprünglich sehr düster war, da sie nur ein einziges Fensterchen hatte,¹⁰¹⁾ wir müssen annehmen in der Mittelnische der Westwand.

101) Paßler S. 921: „Haec crypta ... in formam crucis constructa fuit a Reginhardo Abbate ...“; S. 924: Quia haec crypta ad imitationem antiquarum erat constructa unicum tantum fenestellam habens, per quam modicum lumen illabebatur ...“

Sehr eigenartig ist der Grabbau der Krypta, innerhalb derselben ein Hochbau, der das ganze östliche Feld des Mittelschiffes bis zum Gewölbe überbaut. Von Anfang an war eine Doppelconfessio gedacht; zwei enge Schächte übereinander sollten heilige Leiber aufnehmen. Durch Umbau im Jahre 1211 wurde noch eine dritte Grabkammer darüber errichtet, die über die Krypta emporragt und die Mensa des damals aus dem Mittelschiff hierher übertragenen Kreuzaltars trägt. Erst aus dieser Zeit stammt nach der Formensprache wenigstens in seiner heutigen Anlage ein ganz enger, vom Querschiff aus erreichbarer Raum in der Ostmauer vor dieser Grabkammer, der erst im Jahre 1888 wieder aufgedeckt wurde. Durch einen ganz schmalen, wagerechten Schlitz ist er mit der obersten Confessio verbunden; er ist gerade „groß genug zur Aufnahme einer Person, die recht nahe bei den heiligen Reliquien beten wollte“ (Walderdorff S. 322). Ohne Zweifel stellt diese Anlage eine Art fenestella dar, die dritte Spielart, der wir in St. Emmeram begegnen.

Doch wir kehren in den Kryptenraum zurück. Nur eine Grabkammer wurde wirklich benutzt; in diese wurden im Jahre 1052 die Gebeine des hl. Wolfgang übertragen, nach welcher Zeitangabe wir die Vollendung der ganzen Westteile der heutigen Kirche bestimmen. Heute ruhen die Reliquien in einem erst im Jahre 1877 neu gefertigten Schrein unter der Mensa des Altares, der, wie von Anfang an, nicht über, sondern westlich vor der Confessio steht. Seine heutigen Formen sind späte Änderung, desgleichen die beiden Seitenaltäre in ihrer Gesamtanlage. Später Unverstand wollte auch die beiderseits vorspringenden Bogengrundmauern beseitigen, ein Beginnen, dem sie heute noch die häßlichen, windschiefen Flächen jener Verschwächung verdanken. Die Eingänge zeigen nicht mehr ursprüngliche Formen, doch werden sie, wenn auch die Richtung der Zugangstreppen wahrscheinlich gewechselt hat, die alten Plätze behalten haben. Von den 16 Freistützen sind die acht mittleren achteckig, ja zum Teil sogar leicht kanneliert, die übrigen sind Rundsäulen. Die Sockel sind unreine attische Basen auf schmaler Platte ohne Eckknollen; die Kapitelle über einem Halbring sind die ersten Würfelkapitelle in Regensburger Kirchen. Die Schilder sind etwas weniger als ein reiner Halbkreis und waren wohl anfänglich alle glatt; erst nachträglich erhielten wohl einige schon ganz hübsche Blattornamente,¹⁰²⁾ bei den übrigen begnügte man sich, die Mittelflächen etwas zu vertiefen, so daß eine halbringförmige Umrandung entstand. Über den Würfeln ladet ein auffallend stark verbreiteter Abakus aus; stark geschwungene Hohlkehle, Karnies und Platte, dazwischen auch allerlei schräggestellte, scharfgeschnittene Plättchen sind seine seltsamen Profile; etwas vereinfacht kehren sie auch als Wandkämpfer wieder.

Der Nebenraum der Wolfgangskrypta. Durch die Mittelnische der Nordwand gelangt man aus der Krypta in einen kleinen, architektonisch unbedeutenden Raum, das Untergeschoß des Turmes. Sein schwerer Mittelpfeiler, dem vier Wandvorlagen entsprechen, trägt zwischen Gurten vier

102) Hager hält die Ornamente für ursprünglich, weil auch in der Staufer Burgkapelle sich die gleiche Art findet. Siehe: Mittelalterliche Bauten Regensburgs S. 5.

Kreuzgewölbe mit gerade gestochenen Kappen; drei Fensterchen bringen ungenügendes Licht. In der Ostwand ist eine Art Halbkreisnische offensichtlich nachträglich ausgebrochen. In dieser steht ein Steintrog mit Resten einer ursprünglichen Bleiauskleidung, zwei kleinere Steintröge ohne solche Zutat stehen sonstwo an den Wänden. Die Bedeutung dieser Einrichtung ist rätselhaft geblieben, bis Endres ihren Zweck erkannte.¹⁰³⁾ Nach dessen eingehenden Forschungen diente der Nebenraum zu Vorbereitungen von Exorzismen, deren Vornahme sich dann im Hauptraume der Krypta möglichst nahe dem Heiligengrabe abspielte. Im größeren Troge mag der Heilbedürftige, dessen Genesung die Teufelaustreibung bewirken sollte, vorher in geweihtem Wasser gebadet worden sein; die kleineren Gefäße enthielten geweihtes Wasser zur Kleiderbesprengung und zu ähnlichem Gebrauch. So ist uns also auch hier ein höchst merkwürdiges mittelalterliches Denkmal erhalten geblieben.

Die Magdalenenkapelle. Oberhalb des Nebenraumes der Krypta liegt in gleicher Höhe mit dem Westchor und von diesem aus zugänglich der Baurest der Magdalenenkapelle, dieses Schmuckstückes der Reginwardbauten. Erst vor kurzem habe ich das ursprüngliche Aussehen dieses wertvollen Raumes nachgewiesen.¹⁰⁴⁾ In den starken Mauern finden wir wie in der Wolfgangskrypta Halbkreisnischen ausgespart: eine, die Altarnische, im Mittel der Ostwand, je zwei an den übrigen Seiten; alle reichen bis zum Boden. Nur mit der Rückwand an die Nische gelehnt steht in der östlichen der gemauerte Altar, der eine Steinmensa aus drei Einzelstücken trägt. Zwei steile Hohlkehlen und Platte sind ihre Profile. In den Nischen der Nord- und Westwand finden wir je ein kleines Fenster, in der Ostnische der Südwand die roh veränderte Türöffnung. Der Mittelpfeiler je zweier Wandnischen wird durch eine Säule gebildet, die auf hohem Sockel steht und aus dem Pfeilerkörper zwischen den Nischen ausgespart ist. Nach dem gleichen Gedanken sind beiderseits der Altarnische kleinere Säulen angeordnet. Die Säulen tragen Schildbogen über den Nischen, bzw. einen Vorsprung der Gewölbeschale der Altarnische. In Scheitelgegend dieses Vorsprunges laufen an der Ostseite die Schildbogen tot, die hier ohne Nischen die Doppelteilung der übrigen Seiten wiederholen. In den Raumecken sehen wir kleine Pfeilerchen ohne alle Gliederung ansteigen und als Grate ins Gewölbe überlaufen. Dieses Gewölbe wurde leider zur Säkularisationszeit einer bequemen Turmtreppe zuliebe eingeschlagen; es war ganz besonders wertvoll, wurde aber bis vor kurzem irrig beurteilt. Während man früher vier Kreuzgewölbe mit einer Mittelstütze annahm, konnte ich aus den Resten noch den Nachweis erbringen, daß eine Mittelsäule nie vorhanden war. Die von den Eckpfeilern ausgehenden Grate liefen vielmehr auf einen hochliegenden Schnittpunkt zusammen und bildeten so das Gerüst eines einzigen Kreuzgewölbes. Aber auch die Gurten, die wir über den Säulen im Mittel der Wände steil noch ansteigen sehen — der Fuß der östlichen war der Scheitel der Altarnische —, liefen auf den gleichen Schnittpunkt zusammen, und zwischen den Graten

und Gurten waren von den Schildbogen ausgehend busige Kappen entwickelt. So entstand eine höchst merkwürdige achtteilige Gewölbeschale, eine Zwitterform von Fächer- und Kreuzgewölbe, die zumal zu ihrer Zeit völlig vereinzelt steht. Die großen Säulen sind achteckig, die kleinen rund. In ihren Einzelformen sind sie aufs engste denen der Krypta verwandt, nur sind sie in der Hauptsache durch Wiederholung der gleichen Profile noch reicher gegliedert. Bei den kleinen Säulen und an der Säule der Westwand sind die Schilde der Würfelkapitelle glatt. Bei den zwei anderen sind die Mittelflächen etwas vertieft, so daß eine halbringförmige, erhabene Umrandung entsteht. An den den Raumecken zugewandten Nischenrändern finden wir einfache Kämpfer aus Hohlkehle und Platte, nur einmal in der Westnische der Nordwand eine etwas reichere Anordnung. Die Gesamtwirkung war zweifellos äußerst glücklich, zumal bei der noch in deutlichen Resten erhaltenen farbenkräftigen, großenteils auch figürlichen Bemalung. Die Gesamtstimmung mutet aber wenig romanisch an; neben Anklängen an altchristliche Zentralbauten¹⁰⁵⁾ finden wir eine Raumentfaltung, die schon Renaissancegedanken vorwegnimmt.

Turmanlage. In dem verschiedenen Bauabschnitten angehörigen Mauerwerk über der Magdalenenkapelle finden wir noch die Spuren einer ursprünglichen Balkenanlage unmittelbar oberhalb des Gewölbes. Weiter oben beobachten wir in zwei Stockwerkanlagen übereinander auch noch der ersten Bauzeit angehörige, halbkreisförmig geschlossene Flachnischen, die nur im Innenraume eines Turmes als Sparnischen erklärlich sind (Abb. 2 Bl. 4). Schräg über dem Eingang zur Magdalenenkapelle sehen wir ferner ein Türchen, das sich in einer dieser Sparnischen öffnet, die deshalb tiefer als die übrigen herabgeführt ist. Diese Anordnung beweist zugleich die ursprüngliche Anlage des seltenen Gewölbes der Magdalenenkapelle wie auch den Bestand eines Turmes überhaupt, was gleichfalls früher abgelehnt wurde. Hingegen ist unwahrscheinlich, daß ehemals auch ein entsprechender Südurm ausgeführt wurde. Das heute im Winkel von Querschiff-südflügel und Westchor befindliche Gebäude zeigt weder im Erdgeschoß Spuren, noch lassen sich im Obergeschoß und Dachraume Sparnischen wie jene des Nordturmes nachweisen.

Portalumbau. Noch haben wir den wiederholt genannten Portalumbau Reginwards zu schildern (Abb. 3 Bl. 3 und Text-Abb. 37). Über das ursprüngliche Aussehen des Nischenbaues wissen wir im einzelnen noch nichts. Heute finden wir in Kämpferhöhe ein fein profiliertes Gesims, Karnies und Plättchen, durch die Rundung der Nischen laufen, das gleichzeitig den Architrav bekrönt. Es umzieht jedoch nicht die Pfeiler der Nischen, sondern läuft noch innerhalb der Rundung, aber ohne regelrechten Anschluß an einer Art Pilasterkapitell tot. Die Hauptglieder dieser Kapitelle sind kräftige Platte und Hohlkehle; plastische Pilaster fehlen, desgleichen Sockel. Doch können Sockelprofile noch gut im Boden stecken, denn eine frühere Nachgrabung beschränkte sich darauf, auch über einer Fußbodenlage 40 cm unter der heutigen keine solchen festzustellen (Pohlitz S. 16); es ist aber sehr wahrscheinlich,

103) J. A. Endres, Der Nebenraum der St. Wolfgangskrypta ... Zeitschrift für christliche Kunst, 1910, 12, S. 355.

104) „Die Magdalenenk. zu St. E.“ Die christl. Kunst, München 1917, S. 324 ff. — Vgl. Text-Abb. 11, 12 und 13.

105) Vgl. die Baptisterien zu Ablegna und Novara, auch S. Giovanni in fonte zu Ravenna; Abb. bei Dehio u. v. Bezold, Taf. 3, Fig. 4, 5 u. 6 bzw. 7 u. 8; Taf. 16, Fig. 10.

daß jene Lage noch nicht der älteste Fußboden war. Sehr ungenau ist auch der Anschluß des Kämpferprofils an das gerade Stück über dem Architrave; zudem liegt die Stoßfuge in der Gehrung. All das spricht für eine erst nachträgliche Einfügung des Kämpfergesimses. Auch das Türgewände zeigt Pilasterkapitelle; sie sind reicher und zierlicher aus den gleichen Grundformen wie die eben geschilderten gebildet und tragen den mächtigen geraden Türsturz, den man mit vollem Recht Architrav nennen darf. Auch hier beobachten wir keine Sockel. Merkwürdigerweise laufen die Profile dieser Pilasterkapitelle nicht an der Innenfläche der Tore tot, sondern sind wie an der Außenseite gegen die Leibung des Gewändes zurückgekröpft. Dem Reginwardumbau entstammen auch die drei fast vollrund in Stein gearbeiteten, rechteckig umrahmten Bildwerke an den Pfeilern des Nischenbaues. Das östliche stellt den hl. Emmeram dar, das westliche den hl. Dionysius, das mittlere den Weltenrichter und unterhalb als Brustbild Abt Reginward innerhalb der schon erwähnten Umschrift. Dieser wertvolle Schmuck ist nicht planmäßig mit der architektonischen Gliederung der Nischen verbunden. Die Oberkante der Bildumrahmungen reicht bis zur Oberkante des Kämpfergesimses, das deshalb nicht durchgeführt werden konnte. Was nun hiervon ursprüngliche Anordnung ist und wie weit der Umbau Reginwards beim Bau und der Überwölbung der heutigen Vorhalle abermals verändert wurde, das ist zumal heute noch nicht, vielleicht überhaupt nicht mehr festzustellen. Daß das heutige Gewölbe keine ursprüngliche Anlage wiederholt, zeigt sein willkürlicher Anschluß an das Nischenmauerwerk, an dessen Stirnwand häßliche, halbsichelförmige Ausschnitte entstanden sind (Text-Abb. 37). Die Architekturglieder der heutigen Portale, zumal die Architrave und Gewände gehörten wohl schon dem Gerichtsgebäude an und wurden von Reginward nur an ihre heutige Stelle versetzt.

2. Kunstgeschichtliche Stellung.

a) Die Gesamtanordnung. Durch Angliederung von Westchor und Westquerschiff hat Abt Reginward seine Klosterkirche auf eine im Sinne seiner Zeit besonders prächtige Stufe, zur Doppelchorkirche, erhoben. „Es gab eine Zeit in Deutschland“, so schreiben Dehio und v. Bezold von jener Epoche (I. 178), „wo das Planschema des Doppelkreuzes, schon in karolingischer Zeit hier und da zur Anwendung gebracht, plötzlich die Bauphantasie einer unternehmungslustigen Generation ganz und gar einnahm und erfüllte.“ Nur daß zu St. Emmeram die Sache ganz anders gelagert war, als man bisher dachte, solange man vom älteren Bestande, vom östlichen Mittelsturm und Querbau nichts gewußt hat. Man hat bisher St. Emmeram den wenigen Beispielen zugezählt, die bloß ein westliches Querschiff zeigen, wie z. B. Obermünster in Regensburg. Von dieser irrümlichen Voraussetzung aus kam daher B. Riehl noch vor zwei Jahrzehnten zur Behauptung, daß in Regensburg um jene Zeit ein „wesentliches Zurückbleiben“ hinter der Entwicklung in West- und Mitteldeutschland zu beobachten sei durch „ein Festhalten an älterer, ja an veralteter Kunst.“¹⁰⁶⁾ In Wahrheit ist es

106) Zur Geschichte der frühmittelalterlichen Basilika in Deutschland. Sitzungsberichte der Königl. Bayer. Akademie, Bd. I, S. 319. München 1899.

umgekehrt; denn für St. Emmeram trifft nicht mehr in vollem Maße zu, was Dehio und v. Bezold als das künstlerisch Befremdliche und Nachteilige der Doppelchorkirchen überhaupt anführen: „Eine Zwitterform ist geschaffen, eine Vermischung des Longitudinalbaues und des Zentralbaues, bei welcher die Idee des ersteren verdunkelt und der Springpunkt des letzteren doch nicht getroffen wird. Allerdings steht dieser Einbuße an architektonischer Klarheit und Folgerichtigkeit ein ebenso großer Zuwachs reichster malerischer Reize gegenüber, die indes wesentlich erst dem Außenbau zugute kommen und erst im fortgeschrittenen Stil sich völlig entfalten“ (I, 174). Bei St. Emmeram überwogen bereits die Vorteile. Reginward hat die künstlerisch bedenkliche Verdopplung glücklich vermieden, indem er auf einen westlichen Vierungsturm verzichtete. Auf diese Weise verblieb dem Ostturm die ursprüngliche, beherrschende Wirkung; der Westbau trat nicht in störendem Wettbewerb, sondern in malerischer Ergänzung, in abwechslungsreichem Gleichgewicht hinzu. Die Anordnung eines (wenn auch nur im Nordturm wirklich ausgeführten) westlichen Turmpaares anstatt eines zweiten Mittelturmes stellt einen sehr wichtigen Fortschritt dar. Ob er völlig selbständig erfolgte oder ob das westliche Turmpaar schon an den Flankentürmen der Torhalle vorgebildet war, wie wir das vorläufig annehmen, kann nichts an der großen Bedeutung dieser Lösung verändern (Text-Abb. 16 u. 17).

b) Die Formensprache. Weit mehr als die eben behandelten, grundlegenden Fragen der Raumgestaltung wurden von der bisherigen Forschung die Einzelformen beachtet; aber auch ihre Bedeutung wurde letzten Sinnes noch nicht erkannt; es handelt sich hier um die mehrfach angetroffene Nischenbildung, um die Vorliebe für die seltsamen Profile, die Säulen, die Pilaster- und Architravordnung an den Portalen und endlich um die Gewölbe.

α) Verwandte Bauten. Bekanntlich spielen in diese Fragen noch zwei Bauwerke außerhalb St. Emmerams mit herein: St. Stephan oder der sog. „Alte Dom“ in Regensburg und der Überrest der bischöflichen Burgkapelle bei Donaustauf, zwei Stunden östlich von Regensburg.

Die Staufer Burgkapelle. Die Burgkapelle bei Donaustauf ist mehrfach eingehend besprochen; sie lag im ersten Obergeschoß über der Einfahrt und war zumindest noch von einem Stockwerk überbaut.¹⁰⁷⁾ Es war ein quadratischer Raum mit je drei Halbkreiswandnischen und mit vier Freistützen, von Kreuzgewölben mit Gurten überspannt. Die Gesamtanlage war somit sehr ähnlich jener der Wolfgangskrypta. Dazu kommen noch schildbogenähnliche Gurte vor den Nischen und die uns aus der Magdalenenkapelle bekannte eigentümliche Verwendung der Säule als Ausschnitt aus dem Körper der Nischenpfeiler. In dieser Weise waren bei der Staufer Kapelle auch die Eckpfeiler ersetzt. Die Säulen sind rund und gleichen in Kapitell-, Abakus- und Basenformen ganz und gar jenen der Krypta und der Magdalenenkapelle. Die engste Verwandtschaft mit diesen Bauten ist ganz offensichtlich.

St. Stephan. Um so mehr ist St. Stephan umstritten, räumlich bei weitem die größte erhaltene Anlage der Gruppe,

107) Hager, Die Kunstdenkmale des Königreichs Bayern. Band XX, S. 62 ff.

nördlich des Domkreuzganges (vgl. Text-Abb. 18). Dehio und v. Bezold bringen, von den Westtüren abgesehen, einen richtigen Grundriß, sonst treffen wir aber meist falsche Bilder und falsche Beschreibungen an. Es heißt da, St. Stephan sei im Grundriß aus zwei Quadraten zusammengesetzt, an deren Seiten in den starken Wänden je zwei Halbkreisnischen angelegt seien, während die Rundung der größeren Altarnische über die Ostwand vortrete.¹⁰⁸⁾ Tatsächlich ist aber auch diese Ostnische aus vollem Mauerwerk ausgespart, einheitlich ist der ganze Grundriß von einem Rechteck umschrieben. Die Nischen sind schmal und hoch und mit Viertelskugeln überwölbt. An der Stoßstelle der Grundrißquadrate und in den Raumecken treten Wandpfeiler vor. Zwei Kreuzgewölbe, von einer Gurte getrennt, überspannen den Raum. Sie setzen in Kämpferhöhe der Nischen an und fassen je zwei von ihnen in einem Felde zusammen. In den freibleibenden Zwickeln ist an der Südseite je ein kleines Fenster mit nach außen und innen stark abgeschrägten Leibungen angeordnet. Die ursprünglichen Fenster in den Nischen der Südwand wurden gelegentlich einer Bauvornahme im Jahre 1866 aufgefunden und in Pläne eingetragen, die heute das Landbauamt verwahrt. Die gleichen Pläne zeigen auch noch den Vorgänger des damals unrichtig erneuerten, heutigen Gewölbes. Doch dürfte auch jenes Gewölbe nicht mehr das ursprüngliche gewesen sein. Es zeigte gerade gestochene Kappen mit sehr hoch liegendem Scheitel. Das alte dürfte hingegen sehr flach, vielleicht mit wagerechten Scheitellinien gebildet gewesen sein. Dann ließe sich im Einklang hiermit auch jene mehrfach erwähnte, heute leider verschwundene alte Dachspur erklären, deren Dachneigung bei dem vormaligen Gewölbe unmöglich gewesen wäre und die man deshalb seinerzeit als die Neigung eines früheren Notdaches aufgefaßt hat.¹⁰⁹⁾ Die Ostnische der Nordwand zeigt drei ganz winzige Fensterchen in drei oratorienartige, enge Räume übereinander, die vielleicht von Anfang an in dem nördlich anstoßenden, dem Bischof gehörigen Gebäude angelegt waren.¹¹⁰⁾ In die Westhälfte des Westquadrates ist eine allem Anschein nach ursprüngliche Empore eingebaut (Pohlig S. 9, Hager S. 7). Ihre zwei heute gleichfalls veränderten Kreuzgewölbe stützen sich auf einen Freipfeiler, dem Vorlagen an den Mittelpfeilern der Wandnischen entsprechen. Oberhalb und unterhalb der Empore schließen die Nischen mit Viertelskugeln. Ursprünglich war die Empore von Norden her zugänglich aus dem Obergeschoß des anstoßenden Hauses, das seinerseits wieder durch einen Schwibbogen mit dem jenseit der Straße gelegenen alten Bischofshofe verbunden war (Pohlig S. 7). Das Erdgeschoß besaß wohl nur vorübergehend auch einen Zugang von Westen; hingegen bestand der heutige Eingang unter der Empore von Süden her wohl von je; aber er ist nicht, wie häufig zu lesen, in einer Nische, sondern statt einer solchen angeordnet. Mit Recht hat Walderdorff auf die ursprüngliche Anordnung dieser Türe aus den alten Profilen geschlossen, die sich hier neben jüngeren noch erhalten haben

108) Walderdorff S. 171 falscher Grundriß; desgl. Pohlig S. 9, unrichtige Beschreibung bei Hildebrandt S. 23.

109) Correspondenzblatt des Gesamtvereins d. d. G. u. A.-V., 18. Jahrgang 1877, S. 11 (Protokoll der 2. Sektion, 2. Sitzung am 23. Sept. 1870 zu Regensburg); vgl. auch Walderdorff S. 174.

110) Das oberste Stockwerk wurde mehrfach verändert.

(Walderdorff S. 173). Es sind das eine kräftige Hohlkehle und scharfkantige, schräg gestellte Plättchen, also die bekannten Formen, die auch im Innenraume und zwar hier zusammen mit Karnies und Platte mehrfach wiederkehren. So finden wir diese Grundformen mit geringen Abweichungen im einzelnen an den Sockeln und Kämpfern der Wandpfeiler und wiederum so bei den Nischenpfeilern der östlichen Hälfte. Bei dem der Südseite ist deutlich der Versuch erkennbar, diesen Nischenpfeiler zu einem selbständigen Bauglied auszugestalten, zwar nicht zur Säule, wie in Stauf und in der Magdalenenkapelle, aber doch zu einem verschmälerten, im Grundriß rechtwinkligen Viereckpfeiler nach dem gleichen Gedanken, so daß er aus der beginnenden Nischenrundung gleichsam herausgearbeitet und ausgespart erscheint, wenn er auch mit der Rückseite angelehnt bleibt. Weiter finden wir solche Sockel und an Pilasterkapitelle erinnernde Kämpfer an der großen Ostnische, in welcher auch der bekannte, hochaltertümliche Steinaltar steht; lediglich Kämpfer sodann an den übrigen Nischenkanten. Sockel und Kapitelle schmücken außerdem den Mittelpfeiler der Nischen in der Westwand der Empore; und zwar ist bei dem letzteren in die Hohlkehle noch ein Rundstab gelegt, der nach Art eines gedrehten Strickes ornamentiert ist.

Gleicht soweit St. Stephan den übrigen Bauten der Gruppe vielfach in Gedanken des Aufbaues und der Schmuckformen, so unterscheidet es sich nicht nur durch die Wahl wesentlich steilerer Verhältnisse, sondern es macht auch durch rohste Ausführung sowohl der Gesamtanlage als sämtlicher Einzelformen einen weit altertümlicheren Eindruck. Auch nicht zwei Nischen sind gleich groß, keine einzige ist im Grundriß rein halbkreisförmig; die Profile sind höchst ungeschickt und unsauber gearbeitet und vielfach sehr ungenau versetzt; schwerfällig und unbeholfen wirken die Viertelskugeln der Nischenwölbung. Kann hierbei auch manche Sünde einer nachträglichen und nachlässigen Erneuerung nach einem Gewölbeeinsturz mitspielen, so spricht doch schon die rohe Gesamtausführung für eine frühere Entstehungszeit als die der gewandt behandelten Emmeramer Bauten. Im vollen Gegensatz steht dazu die bei weitem größere Kühnheit der Überwölbung, die zweifellos von Anfang an vorgesehen und wohl überlegt war.

Nordostjoch des Kreuzganges von St. Emmeram. Endlich zählt noch das älteste erhaltene Joch des Emmeramer Kreuzganges zum besprochenen Formenkreis. Wir berührten es schon einmal; es ist das Joch südlich vom Chor der Georgkapelle. Wir finden hier frei vor den Wänden stehende Säulen, teils rund, teils achteckig und kanneliert. Dreimal sehen wir Würfelkapitelle, einmal das sogenannte Pyramidenkapitell als Übergang aus der Säule zum Abakus, der wiederum die bekannten Profile zeigt; ähnlich wie bei den Säulen der Wolfgangskrypta sind nach Hager auch die Basen gestaltet, die einst freigelegt wurden, heute aber wieder tief eingeschüttet sind. Zwischen Gurten lastet auf den vier Säulen ein gratiges Kreuzgewölbe.

β) Bisherige Beurteilung. Auf die große Ähnlichkeit dieser sämtlichen Bauten und Bauteile hat zuerst und ausführlich Hager aufmerksam gemacht (Hager S. 5). Nachdem aber schon v. Quast St. Stephan und das Doppelportal nach des letzteren Inschrift ins 11. Jahrhundert verlegt

hatte¹¹¹), hat Hager dann die sämtlichen Bauten als „Kinder eines Geistes“ dieser Zeit zugeschrieben. In seiner Gefolgschaft hat sie Hildebrandt mit wenig Vorsicht gar auf eine Entstehungszeit von nur 20 Jahren zusammengedrängt (Hildebrandt S. 23). Auch Wagner führt alle Bauten in die erste Hälfte des 11. Jahrhunderts zurück (Wagner S. 29). Clemen verglich sie mit den jedoch nur ganz im allgemeinen verwandten Nischenbauten des Rheinlandes (P. Clemen, Die Kunstdenkmäler der Rheinprovinz, Bd. 2, III, Essen Kreis und Stadt, S. 93). Nun haben wir zwar nachgewiesen, daß der Nischenkörper des Doppelportales ein zweifellos älterer Bau rest ist, als v. Quast und Hager dachten, haben ihn aber gleichwohl für den Beginn des 11. Jahrhunderts wahrscheinlich gemacht. St. Stephan aber wird zum ersten Male schon beim Tode Bischof Wolfgangs im Jahre 994 erwähnt. Es gibt keine sachliche Grundlage, wonach wir unter jener Kirche einen anderen Bau als den oben beschriebenen uns vorstellen müßten. Im Gegenteil, nach der oben geschilderten Unbeholfenheit kann St. Stephan ganz gut weit älter sein, wie das auch eine allerdings im 17. Jahrhundert (aber wohl in gutem Glauben) gefälschte Nachricht¹¹² will. Auf diese vielfach vertretene Ansicht werden wir noch zurückkommen.

Vorerst wollen wir die bisherige Beurteilung dieser merkwürdigen Formensprache kennen lernen, die wir mit geringen Änderungen bei all diesen Bauten gefunden haben. Es ist das ein fremder Einschlag, ein nicht rein romanischer Zug, den fast alle Forscher betonen. Hager spricht bezüglich der Nischen vom „Wiederaufnehmen eines in der römischen Baukunst struktiv, in der karolingischen und frühromanischen Periode mehr ästhetisch verwerteten Motivs“, er spricht von „zum Teil höchst eleganten Profilen der Gesimse, Kämpfer und Deckplatten“ und von „eigenartigen Karniesprofilen.“ Er führt das alles, desgleichen die Säulen, auf italienischen Einfluß zurück (Hager S. 7). Ebenso Hildebrandt und Wagner, die den Einfluß fremder Werkleute betonen, deren unbotmäßiges Auftreten uns überliefert wird¹¹³. Bezüglich des Doppelportales schreibt v. Quast: „Die Tür mit ihren sie begrenzenden Pilastern, deren Kapitelle allseitig ausladen, und der Architrav darüber, gewähren einen fast griechischen Anblick Dieser Eindruck wird durch die Profilierungen noch wesentlich verstärkt¹¹⁴.“ Als im Jahre 1860 der Gesamtverein der deutschen Geschichts- und Altertumsvereine auf seiner Tagung in München die Frage aufwarf: „Läßt sich in Altbayern der Einfluß der Antike auf die Architektur und Skulptur des romanischen Stils nachweisen?“ Da erinnerte wiederum v. Quast an das Emmeramer Doppelportal und an St. Stephan in Regensburg: „Die Profile wie die ganze Anordnung deuten auf Römisches“ und diese Formenbildung müsse auf „altrömische Tradition“ zurück-

111) v. Quast, Reihenfolge und Charakteristik, a. a. O. S. 7.

112) Die Nachricht Arnolds, daß der Bischofsitz von St. Emmeram durch Bischof Wolfgang in die Stadt verlegt worden sei, trägt den späteren Zusatz „ad St. Stephanum, ubi prius erat“; vgl. auch hierzu Correspondenzblatt des Gesamtvereins Deutscher Geschichts- u. Altertumsvereine, 18. Jahrg. 1870, S. 11.

113) Hildebrandt a. a. O. S. 22, Wagner S. 24, doch bezieht sich diese Nachricht nicht auf Vorgänge bei einem der genannten Bauten, sondern auf solche beim Kloster St. Mang in Stadthof.

114) v. Quast, Reihenfolge und Charakteristik a. a. O. S. 11.

geführt werden¹¹⁵). Und ebenso trat zehn Jahre später der gleiche Forscher erneut für den nicht verkennbaren Zusammenhang dieser Bauten mit der Antike ein¹¹⁶). Walderdorff führt aus gleichen Gründen besonders das Doppelportal auf sehr frühe Zeit zurück (S. 327) und sagt von St. Stephan, daß Stil und Profile auf römischen oder altchristlichen Vorbildern beruhen (S. 176). Ähnlich drückt sich Pohlig aus (Pohlig S. 9), und Riehl denkt gleichfalls an die römische Kunst, die er wieder durch lomardischen Einfluß vermittelt glaubt¹¹⁷). Nun reichen aber solche allgemeine Verwandtschaftsbestätigungen offenbar nicht aus, das Auftreten derartiger Formen in dieser engbegrenzten Gruppe tatsächlich zu erklären. Eine solche Verwandtschaft bleibt immer noch eine rätselhafte Ähnlichkeit, solange nicht ein tieferer Zusammenhang in irgendwelcher Richtung sich aufdecken läßt. Es wird sich lohnen, zu diesem Zwecke etwas weiter auszuholen.

7) Die Renaissancebewegung im 11. Jahrhundert.

Das gesamte geistige Leben des 11. Jahrhunderts ist von mancherlei Zwiespalt durchsetzt gewesen. Die großen Streitfragen, die in der zweiten Hälfte zwischen Gregor VII. und Heinrich IV. zu schärfstem Austrag kommen sollten, haben sich frühzeitig und verschiedenartig angebahnt; sie wurzelten tief in den Verhältnissen des 10. Jahrhunderts. In den vielfachen Wirren gegen Ende des 1. Jahrtausends war die frühere Strenge und geistige Höhe in Kirchenleben und Klosterzucht bedenklich gesunken; ein trübes Bild, in dem auch Regensburg keine Ausnahme machte. Da trat in dieser Stadt Bischof Wolfgang dem beginnenden Verfall erfolgreich entgegen. Er brachte Reformgedanken vom Kloster Einsiedeln mit und verinnerlichte allenthalben das kirchliche Leben im Weltklerus, in Männer- und Frauenklöstern, sei es durch Wiederbelebung oder durch vorbildliche Neugründung. Auch die seit der Bistumsgründung durch den hl. Bonifatius bestehende Verbindung des Bischofsitzes mit der Abtei zu St. Emmeram hob er auf, um dem Kloster den vollen Frieden der Beschaulichkeit zurückzugewinnen. Er selbst legte dort die Abwürde nieder und gewann dafür in seinem Vetter Ramwold auch in geistigem Sinne einen Verwandten als Nachfolger. Das Wirken Wolfgangs, dieses Mannes, der „die Summe der geistigen und sittlichen Bildung seiner Zeit“ vergegenwärtigte (Doeberl I. S. 198), war durchaus segensreich für alle nach höheren Zielen gerichteten Bestrebungen. Zu St. Emmeram wurde damals die erste besondere Bücherei erbaut, und ein noch erhaltenes Verzeichnis aus der Zeit Ramwolds zählt 513 Nummern (Doeberl I. S. 200), darunter den trojanischen Krieg und zahlreiche Klassiker. Wir haben schon oben die Bautätigkeit Abt Ramwolds gewürdigt. Für seine Kunstliebe zeugt außerdem die Sorgfalt, mit der er den kostbaren Codex aureus ausbessern und um ein Bildblatt bereichern ließ. Unter Kaiser Heinrich dem Heiligen, dem Zögling Wolfgangs, haben wir die Entstehung des Gerichtsgebäudes angesetzt; gerade damals erlebt auch die Regensburger Buchmalerei eine Blütezeit¹¹⁸).

115) Correspondenzblatt des Gesamtvereins d. d. G. u. A. V., 8. Jahrg., S. 129.

116) Ebenda 18. Jahrg., 1870, S. 26.

117) Riehl, Denkmale frühmittelalterlicher Baukunst in B. S. 70, vgl. auch in „Deutsche und italienische Kunstcharaktere“.

118) B. Riehl, Deutsche u. italienische Kunstcharaktere S. 26.

Nach dem Tode der großen führenden Männer war aber die Zeit nicht fähig, deren umfassendes Bildungsziel zu begreifen und gleichmäßig fortzuentwickeln. Bald setzt ein Zwiespalt ein. Eine leichtere und eine strengere Auffassung scheiden sich aus und teilen sich unbewußt in den Segen des vordem einheitlichen Aufstieges, um seine Früchte schließlich immer mehr zu gefährden. Die weniger strenge Partei wird zur fortschrittlichen Richtung auf den Gebieten von Kunst und Wissenschaft; die andere Richtung arbeitet in immer deutlicherem Eifer dagegen, ihr Ziel steigert sich zur übertriebenen Abtötung, zu einer auf Kunst und Wissenschaft übergreifenden Weltflucht. Es ist das ein ganz getreuer Spiegel der allgemeinen Bewegung dieser Zeit; doch wir wollen vorerst bei Regensburg bleiben. Unter Abt Reginward finden wir bereits zwei deutlich geschiedene Gruppen im Kloster St. Emmeram vor; die fortschrittliche mit dem Abt an der Spitze, die im Kloster das Übergewicht und am bischöflichen Hofe in Gebhard III. einen einflußreichen Gesinnungsgenossen besitzt; daneben die Minderheit unter dem im Übermaß strengen Otloh. Dieser wollte für den Mönch die Pflege der sieben freien Künste ausgeschlossen sehen¹¹⁹); er eiferte gegen die „weltliche Wissenschaft“, insbesondere gegen die Dialektik und die Pflege der heidnischen Klassiker¹²⁰); er war das Haupt jener Richtung, „die für die Mönche keine Wissenschaft außer dem Psalterium für erlaubt erklärte¹²¹)“, ja in seinem Übereifer schien ihm für den Mönch eine „rusticitas divina¹²²)“ angemessen, ein Verzicht auf Bildung aus Liebe zu Gott. Deshalb eiferte er auch gegen den Abt, weil von diesem „alles nach Befehl des Bischofs und nach dem Belieben der jüngeren Brüder angeordnet werde¹²³)“. Otloh mußte aber der Partei des Bischofs zunächst weichen und zog sich einige Zeit bis ins entfernte Fulda zurück.

Den unglücklichen Einfluß Otlohs für das Kunstleben in St. Emmeram hat schon Swarzenski hervorgehoben, soweit er sich für die Buchmalerei bemerkbar macht. Es sei kein Zufall, daß trotz Otlohs ungemein fleißiger Tätigkeit als Schreiber „in keiner Handschrift seiner Hand auch nur ein künstlerisch ausgestatteter Zierbuchstabe sich befindet“¹²⁴). Und an einer anderen Stelle: „eine so streng und ausschließlich asketische Geistesart . . . mußte nicht nur jeder profanen, sondern jeder künstlerischen Arbeit hinderlich sein.“ Daß die Schmuckfreude der Reginwardbauten nicht in Otlohs Sinne gelegen sein konnte, ist da selbstverständlich. Ja wir können jene Stelle, daß „alles nach dem Befehle des Bischofs geschehe“, unmittelbar auf Reginwards Bautätigkeit beziehen.

119) J. A. Endres, Forschungen zu der Geschichte der frühmittelalterl. Philosophie in „Beiträge zur Geschichte der Philosophie des Mittelalters“, Band XVII, Heft 2 u. 3, S. 65 ff. Münster 1915.

120) A. Helmsdörfer, Forschung zur Geschichte des Abtes Wilhelm von Hirschau S. 67 ff. Göttingen 1874.

121) „Cum nobis monachis nihil liberalis scientiae praeter psalterium licere asserant“, so Wilhelm v. Hirschau in der Vorrede seiner astronomica; vgl. Pez. Thes. Anecd. VI, 261.

122) J. A. Endres a. a. O. S. 68.

123) A. Helmsdörfer a. a. O. S. 70, nach dem liber visionum 4 bei Pez. Thesaurus. III, S. 564.

124) G. Swarzenski, Die Regensburger Buchmalerei des X. und XI. Jahrhunderts. Studien zur Geschichte der deutschen Malerei des frühen Mittelalters S. 172 ff. Leipzig 1901.

Wir wissen ja, daß der Abt mit ausdrücklicher Billigung Bischof Gebhards die Erweiterung der Kirche, insbesondere die Niederlegung¹²⁵) des alten Westgiebels vornahm.

Außerdem ist uns jetzt der Zusammenhang der bischöflichen Burgkapelle bei Donaustauf mit den Emmeramer Bauten vollends klar! Die oben geschilderte Ähnlichkeit dieser Denkmäler beruht aber offenbar auf mehr als auf einer etwa zufälligen Mode. Abt Reginward und Bischof Gebhard III. waren Gesinnungsgefährten, und so ist auch die Formensprache der Ausdruck einer gemeinsamen Vorliebe, sie ist offenbar ein Spiegel ihrer Geistesrichtung überhaupt. Oder ist es zuviel gewagt, die Wahl dieser Formen mit jener anderen, von Otloh so viel geschmähten Vorliebe der gleichen Richtung für die „heidnische klassische“ Literatur in Zusammenhang zu bringen? Ich glaube nicht. Dieses vielfach betonte unromanische Gepräge der Nischenbauten ist nicht nur ein zufälliger Anklang an die Antike; es erklärt sich jetzt zwanglos aus einer bewußten Anlehnung an deren Kunst. „Mit warmer Liebe“, sagt Doeberl, habe sich ursprünglich der Kreis um Wolfgang „der auf antikem Boden erwachsenen Kultur hingegeben“. Es ist auch kein Zufall, wenn in jener Zeit Regensburg ein „zweites Athen“ genannt wird (Doeberl I. S. 202 u. 199). Diese Profile, diese Pilaster, die Architravordnung und die Halbkreisnische sind darum wohl fremde Gedanken, aber ihr Auftreten steht völlig im Einklang mit den Gesamtbestrebungen der fortschrittlichen Richtung jener Zeit, es spiegelt ihre Neigung zur Antike wieder. Aber was galt jener Zeit als antike Kunst? Römische und altchristliche Kunst konnte sie sicher nicht scheiden. Wenn darum südländische Handwerksleute, wahrscheinlicher weitgereiste Mönche selbst, Gedanken altchristlicher Baptisterien in der Anlage der Magdalenenkapelle wieder aufgegriffen haben, so spricht das nicht gegen unsere Ansicht. Schon die sehr selbständige Weiterbildung, in der vom Gewölbe ganz abgesehen das Würfelkapitell an Stelle eines antiken dabei Verwendung findet, zeigt ja deutlich genug, daß jene Richtung nicht bloß wiederholen wollte, daß sie vielmehr auch schöpferisch und fortschrittlich gesinnt war. Es ist jedoch fraglich, ob die alten Vorbilder erst unmittelbar aus dem Süden geholt werden mußten. Regensburg selbst ist ja Römerstadt, und manche Trümmer einer längst verschwundenen Herrlichkeit sind wieder zutage gekommen. Dohme nimmt sogar an, das 4. Jahrhundert habe hier christliche Kirchen gesehen, „offenbar Werke jenes monumentalen Charakters, der den Römerbauten überhaupt eigen ist; aber nichts mehr ist von ihnen erhalten“¹²⁶); und von Quast meint bezüglich des Doppelportals und St. Stephans: „Es ist keineswegs die Annahme nötig, daß eines dieser Monumente speziell das andere zum Vorbild genommen habe“; „aber die Annahme (sei) nichts weniger wie ausgeschlossen, vielmehr sogar gewiß, daß ihnen andere jetzt nicht mehr vorhandene Bauwerke vorangingen, in denen jener Zusammenhang mit der antiken Kunst noch viel stärker sich zeigte“¹²⁷). Nun haben sich in Regensburg zwar antike Säulen und

125) Walderdorff S. 313 nach Veit Arenbeck bei B. Petz. tom III anecd. pars. 3, Fol. 33.

126) R. Dohme, Geschichte der deutschen Baukunst.

127) Correspondenzblatt des Gesamtvereins . . . , 18. Jahrgang, 1870, S. 26.

mancherlei andere Reste gefunden, und die Überlieferung erzählt auch von heidnischen Tempeln (Walderdorff S. 79, 85 und 95), aber irgend ein Anhalt für ein etwaiges Vorbild der Nischenbauten war bisher nicht zu gewinnen.

Wenn wir aber im Gegensatz zur Ansicht von Quasts in den Reginwardbauten nicht die Endglieder einer stetig fortgeerbten Bauweise erblicken, sondern bei ihnen ein bewußtes Zurückgreifen auf eine Formensprache annehmen, die dem 11. Jahrhundert als die der Antike galt, dann setzen wir eine Zwischenpause voraus. Dann aber entsteht die Frage, wann diese Renaissancebewegung in Regensburg eingesetzt hat. Wenn wir sie wie bisher als Spiegelbild der allgemeinen Entwicklung auffassen, dürfen wir ihren Beginn nicht viel vor das 11. Jahrhundert hinaufrücken. Wie erklärt sich aber dann die höchst altertümliche Kirche St. Stephan? Könnte dieser Bau nicht doch, wie so viele meinen¹²⁸⁾, tatsächlich sehr weit zurückgehen? Dann wäre er nicht einfach als das älteste Glied unserer Gruppe aufzufassen, wie das die jüngere Forschung will, sondern als ein Vorbild, an das sie sich anschloß. Altchristlich-römischen Ursprungs kann freilich St. Stephan nicht sein, das schließt schon die Lage hart an der römischen Stadtmauer aus. Hingegen könnte an die Zeiten der karolingischen Renaissance gedacht werden. Die Marienkapelle zu Altötting, ein Rundbau mit tiefen, ganz ähnlichen Nischen ist heute als karolingisch nachgewiesen¹²⁹⁾. Eine ähnliche Rotunde, die Marienkapelle auf der Burg von Würzburg wird noch früher, zu merovingischer Zeit (geweiht 706) angesetzt¹³⁰⁾. Sollte nicht auch das heutige St. Stephan noch größtenteils jene Uranlage sein, die Walderdorff schon zur Zeit der Agilolfinger vermutet (Walderdorff S. 95)? Vielleicht wurde St. Stephan schon gleichzeitig mit der alten Kathedrale St. Peter errichtet, an deren Kreuzgang es anschließt; vielleicht war es schon damals bischöfliche Hauskapelle. Denn wenn die Bischöfe damals auch zugleich Äbte von St. Emmeram waren, so hatten sie und die Kanoniker doch auch in unmittelbarer Nähe des Domes ganz sicher schon größere Gebäulichkeiten. Gewisses ist sehr schwer zu sagen; immerhin dürften eine eingehende technische Prüfung und namentlich weitere Forschungen in den teilweise sehr alten Nachbargebäuden noch manchen Aufschluß bringen.

128) Vgl. Correspondenzblatt des Gesamtvereins . . . , 18. Jahrg. (1870), S. 11 u. 26. — F. Jänner, Geschichte der Bischöfe von R., 1883, I, S. 44. — Schnaase, Geschichte der bildenden Künste III, S. 498. — Jakob, Die Kunst im Dienste der Kirche. Landshut 1870.

129) Hager, Die Kunstdenkmäler der K. B. I, 3, S. 2379 ff.

130) F. Mader, Die Kunstdenkmäler der K. B. III, 12, S. 402 ff.

Doch zurück zu St. Emmeram! Wir wollten die Formensprache der Reginwardbauten erklären und kamen zum Schlusse, daß wir sie einer Art Vorrenaissance zuschreiben dürfen; diese Bewegung in der Baukunst ist von einer Strömung des ganzen geistigen Lebens getragen, und erst dieser innere Zusammenhang, viel tiefer als eine äußerliche Anlehnung, berechtigt zum Gebrauche jener Bezeichnung. Da diese für Regensburg aufgedeckte Bewegung des Geisteslebens aber keineswegs auf diesen Ort beschränkt war, da ihr dortiger Verlauf vielmehr als verlässiges Bild einer mehr oder minder im ganzen Abendlande bemerkbaren Welle sich darstellt, so ist es erlaubt in ihr noch einen viel weiteren Zusammenhang zu erblicken. Sie verbindet diese Formenwelt von St. Emmeram mit jenen viel deutlicheren Spuren an Bauten der Provence und Italiens, die dort längst als Vorläufer der Renaissance betrachtet werden, als Werke einer Bewegung, von der auch Dehio sagt, daß sie den von Jakob Burckhard erst für eine spätere Zeit geprägten Namen „Protorenaissance“ sehr wohl verdienen würde. Wir müssen uns hier mit diesem Hinweis begnügen; er reicht völlig aus, erst die ganze Bedeutung dieses Abschnittes in Regensburgs Kunstgeschichte zu kennzeichnen. Noch war die Zeit nicht reif, den gewählten Weg mit bleibendem Erfolg zu beschreiten. Obgleich in den südlichen Ländern die Bedingungen für eine Fortentwicklung wesentlich günstiger gewesen wären, erstarb auch dort die Bewegung wieder, wenn auch viel langsamer und erst nach einem in der Folgezeit durch manches große und frühreife Werk schon viel versprechenden Aufstieg. In Regensburg bricht sie jäh und folgenlos¹³¹⁾ nach ihrer ersten Blüte ab. Auch dafür, wie für ihr Entstehen, lag der Grund in den tieferen treibenden Kräften der Zeit. Diese gaben nicht der geschilderten Richtung recht; es siegte vielmehr die Gegenpartei, es naht die Zeit der gregorianischen Reformbestrebung. Welch bedeutende Rolle aber auch bei deren bekanntem baugeschichtlichem Einfluß wiederum die Kirche St. Emmeram gespielt hat, das wollen wir im folgenden betrachten.

131) Die Allerheiligenkapelle im Domkreuzgang (vgl. Text-Abb. 18), das Mausoleum Bischof Hartwachs II. (1155—1165), geht in der Gesamtanlage wohl unmittelbar auf ein italienisches Vorbild zurück. (vgl. auch Hager, Mittelalterl. Bauten Regensburgs S. 9). Im einzelnen finden sich freilich starke Anklänge an die Formensprache der Reginwardbauten. So zeigt die wieder glücklich instand gesetzte Bemalung den gleichen Gedanken in Verwendung kleiner Säulchen beiderseits der Apsisnischen, den wir bei der Magdalenenkapelle in wirklicher Ausführung sehen; auch bei den Profilen findet sich Ähnlichkeit, was ja auch gar nicht verwunderlich ist. Eine besondere „Beharrungskraft der Regensburger Künstler“ hierin zu erblicken, ist jedoch sicherlich nicht berechtigt (Hildebrandt S. 30).

(Schluß folgt.)

Der Ausbau der Weser auf Niedrigwasser.

Vom Oberbaurat Muttray in Hannover und Geheimen Baurat Soldan in Berlin.

(Mit Abbildungen auf Blatt 12 bis 17 im Atlas.)

(Schluß.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

Aufnahme von Versuchsstrecken.

Durch die Festsetzung der maßgebenden Wasserstände und Gefälle ist der Längenschnitt des Flusses gegeben. Es kam nunmehr darauf an, die Gestalt und Abmessung der

Querschnitte, sowie den Zusammenhang zwischen Längenschnitt, Grundriß und Querschnitt zu erforschen. Freilich lassen sich die natürlichen Beziehungen nicht feststellen, weil sich die Weser nirgends mehr im Naturzustande befindet. Aber

der Naturzustand ist auch für die vorliegende Aufgabe von untergeordneter Bedeutung; denn die Anforderungen der Schifffahrt lassen sich nur mit so weitgehenden künstlichen Eingriffen befriedigen, daß der Vergleich des ausgebauten Stromes mit dem im Naturzustande befindlichen kaum mehr von Wert ist. Wohl aber ist es von Bedeutung zu wissen, wie sich ein Fluß gegenüber den verschiedenen Mitteln des Ausbaues verhält. Ziemlich einfach wird die Aufgabe bei einem Fluß, der schon im wesentlichen nach einheitlichen Gesichtspunkten ausgebaut ist. Bei der Weser ist dies aber nicht der Fall. Nur die oberste 44,6 km lange Strecke von Münden bis Karlshafen ist nach einem einheitlichen Entwurf ausgebaut worden. Beim Ausbau sind Bühnen mit 10facher Kopfböschung, Deckwerke, Parallelwerke und Grundschwellen angewandt worden. Vor den Deck- und Parallelwerken liegen Vorlagen mit 10facher Neigung. Die Köpfe der Bauwerke liegen 0,25 m über dem angenommenen Niedrigwasser von +2,15 m am Pegel von Karlshafen, das damals einer Abflußmenge von 20 cbm/Sek. oberhalb der Diemelmündung entsprach, und 1,15 m über der Ausbausohle. Die Bühnenrücken steigen mit 25facher Böschung nach den Ufern zu an. Die Breite zwischen den Streichlinien beträgt je nach dem Gefälle 61,0 bis 42,0 m, die Sollbreite der Sohle schwankt zwischen 38,0 und 19,0 m. Näheres vgl. Zentralblatt der Bauverwaltung, Jahrgang 1881, S. 197. In den vier unteren Bauämtern sind in neuerer Zeit bis zur Einführung der Ausbauquerschnitte folgende Abmessungen im allgemeinen eingehalten worden.

Wasserbauamt	Flußstrecke km	Breite zwischen den Streich- linien m	Kopf- böschung der Bühnen	Kopf- böschung der Deck- werke	Rücken- neigung der Bühnen	Höhenlage der Bühnen über dem angenom- menen N. W. m
Hameln	44,60—141,62	50 bis 70	1:4	—	1:20 bis 1:50	0,60 bis 0,80
Minden	141,62—236,30	50 bis 70	1:4 bis 1:6	—	1:40 bis 1:60	0,30 bis 0,70
Hoya	236,30—326,36	60	1:4	1:1 und 1:3	1:20	0,94
Verden	326,36—361,70	103 bis 112	1:4	—	1:30 bis 1:50	1,06

Diese Zahlen sind aber durchaus nicht einheitlich durchgeführt worden. Namentlich bei den älteren Bauwerken kommen große Abweichungen vor, und die Bühnenkronen liegen infolge der überall eingetretenen Spiegelsenkungen wesentlich höher über dem maßgebenden Niedrigwasser, stellenweise liegen sie jetzt sogar viel höher, als für den regelmäßigen Abfluß des Wassers erwünscht ist.

Diese große Mannigfaltigkeit im Ausbau der Weser erschwert die Aufgabe erheblich, weil es nicht ganz leicht ist, das Wesentliche in den verschiedenen Formen der Querschnitte, in der Grundrißgestalt und in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit zu erkennen. Aber gegenüber einem ganz einheitlich ausgebauten Fluß besteht doch der Vorteil, daß der Blick des Beobachters nicht durch Erscheinungen irregeleitet wird, die leicht als der Ausdruck eines allgemeinen Gesetzes aufgefaßt werden, obgleich sie nur eine Folge dieser besonderen Ausbauweise sind.

Die vorhandenen Aufnahmen reichten nicht zur Bearbeitung der Ausbauquerschnitte aus. Deshalb wurden 15 über den ganzen Flußlauf verteilte Versuchsstrecken derart ausgesucht, daß nach Möglichkeit die wichtigsten Verschiedenheiten im Ausbau, im Gefälle und in der Gestaltung

des Grundrisses erfaßt waren. Zwei Strecken wurden gleich nach der ersten Aufnahme als ungeeignet ausgeschieden, die übrigen wurden teilweise bei den späteren Aufnahmen etwas verkürzt. Um den Einfluß von Hochwässern und langandauernden Niedrigwässern auf die Gestaltung der Sohle nach Möglichkeit zu erfassen, wurden die Aufnahmen zum Teil möglichst bald nach Verlauf der hohen Winterwasserstände, zum Teil aber im Herbst vorgenommen. Die Länge und Lage der einzelnen Versuchsstrecken ergibt sich aus der folgenden Zusammenstellung.

	Flußabschnitt	Nummer der Strecke	Länge km
1	Münden — Diemelmündung .	I	9,0 — 11,4
		II	34,0 — 35,7
2	Diemel — Nethemündung .	III	50,0 — 52,0
3	Nethe — Emmermündung .	IV	74,0 — 77,3
		V	88,0 — 90,0
4	Hameln — Werremündung .	VI	150,2 — 152,0
		VII	171,4 — 175,0
5	Werremündung — Minden . .	—	—
6	Minden — Auemündung . . .	VIII	211,0 — 214,0
		IX	227,4 — 229,4
		X	238,0 — 239,5
7	Aue — Allermündung . . .	XI	303,4 — 305,6
8	Unterhalb der Allermündung	XII	332,0 — 335,0
		XIII	353,3 — 356,3

Ursprünglich war beabsichtigt, sämtliche Strecken viermal aufzunehmen. Nachdem aber die drei ersten Aufnahmen so weit bearbeitet worden waren, daß sie unter sich verglichen werden konnten, ergab sich, daß die Gestalt der Flußsohle sich im allgemeinen an der Weser fast gar nicht ändert. Die vierte Aufnahme wurde deshalb auf die wenigen Strecken beschränkt, die mit Rücksicht auf ältere oder neuere bauliche Veränderungen besonders sorgfältig untersucht werden sollten.

Die Ergebnisse der Aufnahmen sind sämtlich auf M. Kl. W. umgerechnet und in genauen Peilplänen, Querschnitten und Längenschnitten dargestellt worden. Um das M. Kl. W. für die Bearbeitung der Versuchsstrecken, bei welcher die allergrößte Sorgfalt geboten war, genauer festzulegen, als es nach dem Spiegelniveaulement des ganzen Flußlaufs geschehen konnte, ist seit dem Sommer 1904 in jeder Strecke ein Hilfspegel täglich beobachtet worden. Nachdem aus diesen Beobachtungen die Beziehungen zu den nächsten Hauptpegeln genau festgestellt waren, konnte das M. Kl. W. genau so abgeleitet werden, wie es oben für die Hauptpegel der Weser geschehen ist.

Die gepeilten Querschnitte sind nur bei der ersten Aufnahme sämtlich aufgetragen worden. Bei den späteren Peilungen wurde der hiermit verknüpfte unverhältnismäßig große Aufwand an Zeit und Arbeit vermieden, indem nur jeder zweite bis dritte Querschnitt aufgetragen wurde. Versuchsrechnungen hatten die Zulässigkeit dieser Beschränkung erwiesen. Für die Anfertigung der Peilpläne mußten dagegen alle Querschnitte benutzt werden.

Aus den Querschnittzeichnungen sind mit dem Planimeter die Flächeninhalte für M. Kl. W. und für den gemittelten Wasserstand der Aufnahme bestimmt worden. Der gemittelte

Wasserstand der Aufnahme wurde aus zwei Spiegelnivellements bestimmt, die kurz vor und nach der Peilung aufgenommen wurden. Außerdem wurden die Spiegelbreiten für M. Kl. W. und für verschiedene Wasserstände über und unter M. Kl. W. gemessen. Daraus wurden durch Mittelung für die ganze Versuchsstrecke, oder auch für Teile derselben, gemittelte Querschnitte bestimmt.

Auf Blatt 12, 13 u. 14, sowie 15 u. 16 sind Peilpläne der Strecken I, IV, VII, VIII, XII, XIII wiedergegeben. Weitere Peilpläne der Strecken X und XI sind bereits in dieser Zeitschrift, Jahrgang 1906, Bl. 30 u. 31, und 1907, Bl. 20 u. 21 veröffentlicht worden. In den Peilplänen sind die Tiefen unter M. Kl. W. dargestellt. Die Fahrwassertiefen, die nach den Aufnahmen in den Versuchsstrecken vorhanden sind oder ohne wesentliche Verschärfung des Ausbaues erreicht werden können, sind durch strichpunktierte Linien hervorgehoben worden. Die Pläne stellen aber die derzeitige Beschaffenheit des Flusses, nicht den durch weiteren Ausbau erreichbaren Zustand des Fahrwassers dar. Die Peilpläne der Strecke XIII (Abb. 1 u. 2 Bl. 13 u. 14) sind mit Rücksicht auf die starken Spiegelsenkungen in dieser Strecke nicht auf das jeweilige M. Kl. W., sondern auf den Wasserstand +0,28 a. P. Dreye, d. i. das M. Kl. W. des Sommers 1904, bezogen worden.

Zunächst zeigen die Peilpläne, daß die Sohlengestalt der Weser oberhalb der Allermündung fast gar keiner Änderung in der Form unterworfen ist. Von einem Wandern der Geschiebebänke ist nirgends eine Spur festzustellen. Vielmehr sind die verschiedenen Peilpläne derselben Strecke oft untereinander so ähnlich, daß man sie für schlechte Abzeichnungen eines und desselben Urplanes halten könnte. Die Weser könnte demnach als ein ausgesprochenes Beispiel für einen im vollständigen Gleichgewichtszustande befindlichen Fluß angesehen werden, wenn nicht bekannt wäre, daß auch noch in den letzten Jahren fast überall eine stetige Senkung der Sohle eingetreten ist, deren Größe von der Mitte des Jahrzehnts 1891/1900 bis zum Sommer 1904 zu etwa 0,1 m im Durchschnitt angenommen werden kann.

Aus dem Fehlen wandernder Geschiebebänke auf der Weser oberhalb der Allermündung kann nicht geschlossen werden, daß die Geschiebewanderung vollständig aufgehört hat. Allerdings ist nach der großen Stetigkeit in den Beziehungen benachbarter Pegel und aus der Übereinstimmung der zu Anfang und zu Ende der langen Niedrigwasserzeit des Sommers 1904 aufgenommenen Peilpläne zu vermuten, daß bei niedrigen und mittleren Wasserständen keine nennenswerte Bewegung der Geschiebe stattfindet. Vollständige Ruhe des Geschiebes tritt aber auch bei Niedrigwasser nicht überall ein; denn in den Jahren 1905 und 1906 regelmäßig ausgeführte Längspeilungen des Fahrwassers lassen erkennen, daß eine größere Anzahl von flachen Fahr-

wasserstellen sich im Laufe des Sommers zu vertiefen pflegt. Teilweise liegt dies lediglich an dem schwächeren Abfallen des Niedrigwassers auf den flachen Stellen, teilweise läßt sich die Erscheinung aber nur durch ein Vertiefen der Sohle erklären. An einer ganzen Anzahl von flachen Stellen oberhalb der Allermündung tritt die umgekehrte Erscheinung zutage, daß sie im Laufe des Sommers schärfer hervortreten. Außerdem scheint im trockenen Sommer 1904 die Zahl der flachen Fahrwasserstellen, bezogen auf einen bestimmten Vergleichswasserstand, besonders groß gewesen zu sein. Im übrigen sind diese Erscheinungen auf der Weser so wenig ausgeprägt, daß sie nur bei sehr sorgfältiger Beobachtung bemerkt werden. Alle diese Umstände weisen darauf hin, daß die Geschiebewegung bei Niedrigwasser sehr klein ist und auf einige Stellen mit besonders kleinem Querschnitt beschränkt bleibt, bei den allerniedrigsten Wasserständen aber offenbar ganz aufhört. Bei Hochwasser muß aber eine größere Geschiebewegung vorkommen; denn abgebagerte Kiesbänke erscheinen nach jedem Hochwasser wieder fast unverändert in ihrer alten Lage. — Die fortschreitende Senkung der Sohle zeigt, daß die lebendige Kraft des Stromes gegenwärtig noch größer ist, als es den ihm aus den Seitenflüssen zugeführten Geschiebemassen und der Widerstandskraft der Sohle entsprechen würde. Das endliche Gleichgewicht kann nur durch die weitere natürliche Auspanzerung der Sohle mit den größten Geschiebeteilen oder durch künstliche Befestigung erreicht werden. Um zu verhüten, daß die ohnehin vielleicht noch zu erwartende weitere Sohlensenkung in unerwünschtem Umfang verstärkt wird, ist bei dem weiteren Ausbau große Vorsicht geboten. Besonders gilt dies von Baggerungen auf den vielfach vorhandenen festgelagerten groben Schotterbänken, die seit langer Zeit unverrückbar in der Sohle anstehen. Wird an solchen Stellen durch Baggerungen die grobe Deckschicht beseitigt, so werden zunächst aus den freigelegten mehr gemischten Schichten die feinen Bestandteile ausgespült, bis eine neue Auspanzerung eingetreten ist. Wo an solchen Stellen Baggerungen unvermeidlich sind, empfiehlt es sich daher, nicht bis zu der endgültig angestrebten Tiefe zu baggern, sondern etwas darüber aufzuhören.

Die Weser unterhalb der Allermündung verhält sich in mancher Beziehung ganz anders als die obere Weser und

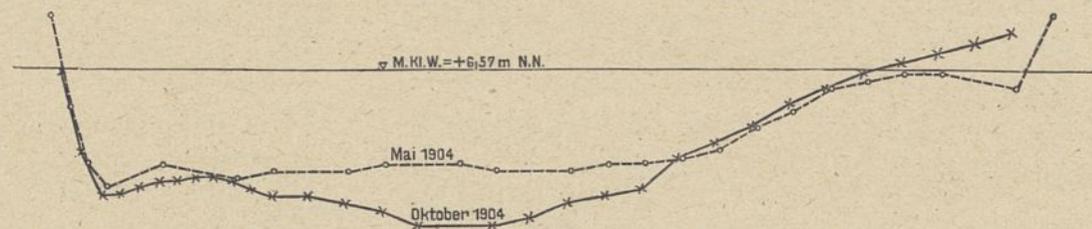


Abb. 3. Querschnitt der Weser bei Km 333,970. Aufnahmen vom Mai und Oktober 1904.

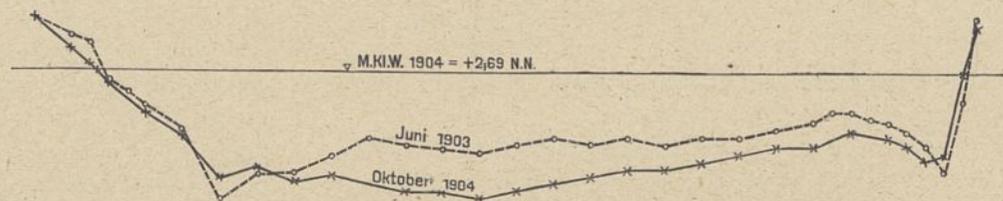


Abb. 4. Querschnitt der Weser bei Km 353,313. Aufnahmen vom Juni 1903 und Oktober 1904. Höhen 1:100, Längen 1:1000.

erfordert deshalb eine besondere Betrachtung. Das Fahrwasser liegt zwar auch hier im allgemeinen fest wie auf der oberen Strecke, und die verschiedenen Peilpläne der Versuchsstrecken XII und XIII (Abb. 1 u. 2 Bl. 12 und Abb. 1 u. 2 Bl. 13 u. 14) gleichen einander in der Form vollständig. Dagegen sind die Tiefen stellenweise stark veränderlich. So starke Schwankungen wie in den in Text-Abb. 3 u. 4 dargestellten Querschnitten Km 333,970 und Km 353,313 sind oberhalb der Allermündung nicht beobachtet worden. Ebenso ist bekannt, daß die Fallhöhen zwischen den beiden rd. 8 km voneinander entfernten Pegeln bei Intschede und Baden von Jahr zu Jahr wesentlich stärker schwanken, als dies unter ähnlichen Verhältnissen auf der oberen Weser der Fall ist. Durch die verschiedene Stärke von Seitenzuflüssen läßt sich diese Erscheinung nicht erklären, weil das Niederschlagsgebiet zwischen Intschede und Baden nur ganz wenig zunimmt. Eher scheinen die Schwankungen in der Fallhöhe mit der Größe der Hochwässer zusammen zu hängen. Während die Weser oberhalb der Allermündung in der Hauptsache Kies und in den oberen Strecken grobes Gerölle führt, besteht das Flußbett unterhalb der Allermündung aus ziemlich feinem Sand. Dieser feine Sand stammt von der Aller und wird offenbar bei Hochwasser in großen Wellen mitgeführt, die sich bei fallendem Wasser an irgendeiner Stelle ablagern. Oberhalb der Ablagerung verflacht sich das Gefälle vorübergehend. Allmählich stellt sich der regelmäßige Zustand wieder ein, indem der Sand durch die Anschwellungen des Flusses weitergeführt wird. Bei diesem Vorgang behält aber die Flußsohle in der Hauptsache ihre Form bei. Wandernde Geschiebebänke, wie sie an anderen Flüssen mit leicht beweglicher Sohle vorkommen, sind in den Versuchsstrecken nicht beobachtet worden und kommen auch sonst auf der Weser unterhalb der Allermündung nicht vor. Nur in den wenigen nahezu geraden Flußstrecken, namentlich von Km 339,5 bis 341,5, liegen die Übergänge nicht ganz fest. Tiefe Kolke und über das Niedrigwasser hervorragende Sände, die für die Flüsse mit wandernden Geschiebebänken kennzeichnend sind, treten aber auch in diesen Flußstrecken nicht auf, es handelt sich lediglich um so geringe Verlegungen des Fahrwassers, daß sie kaum für die Schifffahrt von Bedeutung sind.

Besondere Beachtung verdient das Verhalten der Versuchsstrecke XIII, Km 353,3 bis 356,3, die inmitten der Strecke liegt, in der sich bis zur Errichtung des Hemelinger Wehrs das Gefälle hauptsächlich infolge der Vertiefung der Weser unterhalb Bremens fortwährend vermehrt hat (Abb. 1 u. 2 Bl. 13 u. 14). Während die Weser vom Pegel bei Baden bis zum Pegel bei Dreye im Jahre 1861 bei Niedrigwasser eine Fallhöhe von 2,68 m hatte, war sie im Jahre 1904 auf 3,54 m gestiegen. Sie hatte sich also um 31,2 vH. vermehrt, und das Gefälle war auf der 16,6 km langen Strecke von 1,61/10000 auf 2,14/10000 gestiegen. Diese bedeutende Vermehrung des Gefälles ist an der großen Beweglichkeit der Flußsohle in der Versuchsstrecke wieder zu erkennen, wie der folgende Vergleich der mittleren Querschnittsgrößen, bezogen auf den Wasserstand von +0,28 a. P. in Dreye zeigt.

In den elf Monaten, die zwischen der ersten und der zweiten Aufnahme liegen, hat sich der mittlere Querschnitt der Versuchsstrecke um 24,5 qm vergrößert. Aus der 2,9 km langen Versuchsstrecke sind also rd. 68 000 cbm Sand aus-

Zeit der Ausführung	Mittlerer Wasserstand während der Aufnahme m	Querschnitt bezogen auf +0,28 a. P. qm	Vergrößerung (+), Verkleinerung (-) qm	Abflußmenge während der Aufnahme cbm/Sek.	Mittlere Geschwindigkeit während der Aufnahme m/Sek.
24. 5. bis 7. 6. 1903	+ 0,84	132,4	+ 24,5	159	0,82
29. 6. bis 2. 7. 1904	+ 0,71	156,9		153	0,76
22. bis 29. 9. 1904	+ 0,18	149,3	- 7,6	89	0,64

gewaschen worden. Umgekehrt hat sich der Querschnitt zwischen der zweiten und dritten Aufnahme in 87 Tagen um 7,6 qm verkleinert, daher sind rd. 22 000 cbm Sand in der Strecke abgelagert worden. Während zwischen den beiden ersten Aufnahmen das Winterhochwasser liegt, war zwischen der zweiten und dritten Aufnahme andauernd niedriges Wasser mit einem mittleren Wasserstand von 0,25 m am Pegel bei Dreye, d. i. ungefähr M. Kl. W. Die mittlere Wassergeschwindigkeit in der Zwischenzeit zwischen den beiden Aufnahmen betrug 0,67 m/Sek. Diese kleine Geschwindigkeit genügt also, um sehr beträchtliche Sandmengen zu bewegen, wenn auch aus der großen Masse des abgelagerten Sandes geschlossen werden muß, daß die vorhandene Schleppkraft nicht ausgereicht hat, um allen von oben zugeflossenen Sand weiterzuführen. Umgekehrt darf aus der Tatsache, daß zwischen Ende Mai und Ende September 1905 nach den Wassermengenmessungen am Pegel in Dreye eine Spiegelsenkung von 0,05 m eingetreten ist, geschlossen werden, daß die mittlere Geschwindigkeit von rd. 0,80 m/Sek., die in der Zwischenzeit herrschte, größer war, als zur Fortbewegung des von oben geflossenen Sandes nötig gewesen wäre. Hiernach würde die mittlere Geschwindigkeit von 0,7 bis 0,8 m/Sek. bei Niedrigwasser dem Gleichgewichtszustande entsprechen. — Trotzdem in der Versuchsstrecke ständig sehr viel Geschiebe in Bewegung war, ist aus den Peilplänen keine Spur von wandernden Geschiebebänken zu erkennen. Die Übergänge und die tiefen Stellen liegen bei den drei Aufnahmen an derselben Stelle, obwohl die Tiefen selbst recht erheblich schwanken.

Das ganze Verhalten der Weser zwischen Allermündung und Bremen ist ein schlagender Beweis dafür, daß die wandernden Geschiebebänke auf einem Fluß mit leicht beweglicher Sohle sehr wohl vermieden werden können. Wenn sie auf der Weser fehlen, so ist das wohl in erster Linie der günstigen Grundrißgestalt des Flusses zuzuschreiben. Die Weser ist vor der übermäßigen Geradestreckung, die andere Ströme im Anfang des 19. Jahrhunderts erfahren haben, bewahrt geblieben, und es ist zum Teil auf diesen Umstand zurückzuführen, daß sich mit verhältnismäßig einfachen Mitteln sehr gute Fahrwassertiefen schaffen lassen.

Aus den Peilplänen sämtlicher Strecken ist der Einfluß der Grundrißgestalt auf den Wechsel zwischen tiefen und flachen Querschnitten mit großer Deutlichkeit zu ersehen. In den geraden Strecken herrscht im allgemeinen der flache Querschnitt, dessen Form sich dem Trapez oder einer gleichmäßig gekrümmten Mulde nähert, in den Krümmungen ist der tiefe, mehr oder weniger dem schiefwinkligen Dreieck

sich nähernde Querschnitt vorherrschend. Die tiefste Stelle des Flußbettes liegt im allgemeinen etwas unterhalb des Krümmungsscheitels, wie überhaupt die ganze bezeichnende Erscheinung der Querschnittformen sich gegen die Grundrißform etwas stromabwärts verschiebt. In lang ausgedehnten Krümmungen mit großem Halbmesser ist ein stetiger Wechsel zwischen tiefen und weniger tiefen Strecken erkennbar (Abb. 3 Bl. 15 u. 16). Es hat den Anschein, als ob in flachen Krümmungen die Führung der Stromfäden nicht ausreichte und das Fahrwasser wie in langen geraden Strecken anfangs zu schlängeln. Dabei liegen aber diese flacheren Stellen an der Weser genau so fest wie die eigentlichen Übergänge.

Scharfe Knickpunkte im Grundriß haben tiefe Kolke zur Folge. Besonders deutlich ist dies am Lageplan der Versuchsstrecke IV (Abb. 4 Bl. 15 u. 16) und aus dem Plan der Weser von Km 262,6 bis 263,0 (Abb. 2 Bl. 15 u. 16) zu erkennen. Bei schroffen Übergängen von einer Krümmung zu einer Gegenkrümmung werden die Kolkbildungen besonders ungünstig und rücken bis weit in die Zwischengrade hinein (Abb. 4 Bl. 15 u. 16). Stark vorspringende Bauwerke haben namentlich auf den hohlen Ufern der Stromkrümmungen Kolke zur Folge. Besonders deutlich zeigen dies die Versuchsstrecken XI von Km 305,4 bis 305,6 und XII bei Km 334,4 (Abb. 1 u. 2 Bl. 12). Wo dagegen der Grundriß einen stetigen Verlauf der Krümmungen zeigt und zu weit vorspringende Buhnen am hohlen Ufer fehlen, kommen keine ungewöhnlich großen Tiefen zustande, auch wenn der Krümmungshalbmesser ziemlich klein ist (Abb. 1 Bl. 15 u. 16).

Diese Erscheinungen sind für die Güte des Fahrwassers von wesentlicher Bedeutung. Sie weisen darauf hin, daß beim Ausbau nicht nur auf eine gute Form der Querschnitte, sondern auch auf eine regelmäßige Gestaltung des Grundrisses gesehen werden muß.

Die Beschaffenheit des Fahrwassers in den Versuchsstrecken ist gleichfalls aus den Peilplänen am besten zu erkennen. Legt man die Fahrwassertiefen zugrunde, die in den Versuchsstrecken vorhanden sind oder ohne nennenswerte Bauarbeiten geschaffen werden können, so ist das eigentliche Fahrwasser in den Plänen durch die mit zwei oder mehr blauen Tönen überdeckten Flächen zwischen den strichpunktierten Tiefenlinien begrenzt. Alle Untiefen treten deutlich hervor, da sie nur mit einem Farbton überdeckt sind. Im allgemeinen kann die Beschaffenheit des Fahrwassers in den Versuchsstrecken als befriedigend bezeichnet werden. Wo schlechte Stellen sind, lassen sich die Ursachen unmittelbar angeben.

Neben den Peilplänen geben die gemittelten Querschnitte einen guten Überblick über die Beschaffenheit des Fahrwassers in den Versuchsstrecken. Diese Querschnitte sind dadurch entstanden, daß die Wasserspiegelbreiten für jeden einzelnen Querschnitt in gleichmäßigen Abständen unter und über M. Kl. W. bestimmt und daraus für die ganze Strecke, oder auch für einzelne Abschnitte, die mittlere Breite für jede einzelne Höhe berechnet wurde. In den Krümmungen wurde die verschiedene Neigung der beiden Ufer berücksichtigt, indem von einer durch den tiefsten Punkt des Querschnittes gehenden Senkrechten aus nach rechts und links gemessen wurde. Die wichtigsten Abmessungen der so erhaltenen gemittelten Querschnitte sind in der folgenden Tafel III dar-

gestellt, die Form einiger Querschnitte ist in Abb. 5, 6, 8 u. 9 Bl. 15 u. 16 aufgetragen worden.

In einigermaßen regelmäßigen Flußstrecken, wie es die Versuchsstrecken der Weser sind, geben derartige gemittelte Querschnitte einen guten Anhalt dafür, mit welcher Form des Querschnittes ein möglichst regelmäßiges Fahrwasser geschaffen werden kann und welche Tiefen ohne nennenswerte weitere Einschränkung zu erreichen sind. Wo die tatsächlich vorhandene Fahrwassertiefe nicht ausreicht und durch weitere Einschränkung vergrößert werden muß, geben die gemittelten Querschnitte allerdings nicht ohne weiteres einen Anhalt über die zweckmäßige Größe der Ausbauquerschnitte, aber sie können doch wesentlich zur Ermittlung der günstigsten Form der Querschnitte beitragen.

Legt man eine Fahrwasserbreite von mindestens 25 bis 30 m zugrunde, so ergeben sich in den Versuchsstrecken bei M. Kl. W. oberhalb der Diemelmündung Tiefen von 0,75 m, zwischen der Diemelmündung und Hameln 0,90 bis 0,95 m, zwischen Hameln und Minden 1 m, zwischen Minden und der Allermündung 1,25 bis 1,35 m und unterhalb der Allermündung 1,50 m. Für E. M. Kl. W. betragen die Tiefen oberhalb der Diemelmündung 1,04 m, zwischen der Diemelmündung und Hameln 1,22 bis 1,30 m, zwischen Hameln und Minden 1,24 bis 1,27 m, zwischen Minden und der Allermündung 1,40 bis 1,41 m und unterhalb der Allermündung 1,54 m. Die in der Tafel III mit f bezeichnete Größe des Querschnittsteils, der unter der das Fahrwasser begrenzenden Tiefenlinie liegt, schwankt in den schwach gekrümmten Strecken und in den scharfen Krümmungen mit ausgebaute Sohle (Km 238,0 bis 239,5) zwischen 4,0 und 10,0 qm. In den scharfen Krümmungen mit nicht ausgebaute Sohle ist sie vielfach wesentlich größer. Es sind hier für die Schifffahrt wertlose und für die Unterhaltung der Strombauwerke schädliche Übertiefen vorhanden. Die Neigungsverhältnisse der Böschungen schwanken in den geraden und schwach gekrümmten Strecken zwischen 1:13,4 und 1:2,7. Auf den vorspringenden Ufern der scharfen Krümmungen beträgt das Neigungsverhältnis 1:23,2 bis 1:4,2 und auf den hohlen Ufern, abgesehen von der künstlich hergestellten Neigung 1:5 zwischen Km 213 und 214 (Versuchsstrecke VIII), 1:3,9 bis 1:2,1. Die Neigung der Uferböschungen ist zwar stark von dem künstlichen Ausbau der Ufer abhängig, auf die endgültige Gestaltung der Ufer wirken aber noch so viele der Hand des Menschen entzogene Einflüsse ein, daß der tatsächliche Zustand in regelmäßigen Strecken sehr wohl Schlüsse über die zweckmäßige Neigung der Böschungen zuläßt. Im großen ganzen besitzen die Strecken mit besonders flachen Böschungen sehr gleichmäßig gestaltetes Fahrwasser, während in den Strecken mit steileren Böschungen größere Unregelmäßigkeiten vorkommen. Sehr deutlich tritt die flache Neigung des unbefestigten vorspringenden Ufers in den scharfen Krümmungen in Erscheinung.

Beobachtungen über die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten und über die Lagerung des Geschiebes.

In Verbindung mit den Aufnahmen der Versuchsstrecken wurden einige Geschwindigkeitsmessungen und Beobachtungen über die Lagerung des Geschiebes ausgeführt, die nicht ohne

Tafel III. Gemittelte Querschnitte der Versuchsstrecke.

Flußabschnitt	Abflußmenge		Nummer der Strecke	Streckenteil	10000 J	b	f	H ₁	Böschungsverhältnis α			M. Kl. W.				E. M. Kl. W.				Bemerkungen			
	Q ₁	Q ₂							symmetrischer Querschnitt	unsymmetrischer Querschnitt		F ₁	V ₁	B ₁	T ₁	F ₂	V ₂	B ₂	T ₂				
										hohles Ufer	vorspringendes Ufer												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
1	22	40	I	9,0 — 10,0	6,60	25,8	7,0	—	13,4	—	—	34,0	0,67	45,9	0,75	48,6	0,82	53,8	1,04	Bedeutung der Buchstaben am Kopfe der Tab. ergibt sich aus der folgenden Skizze.			
				10,0 — 11,4	3,65	31,3	5,0	0,25	7,2	—	—	39,4	0,58	55,3	0,75	56,0	0,71	60,0	1,04				
2	27	45	II	34,0 — 35,7	3,37	34,0	10,0	0,38	7,7	—	—	42,3	0,57	50,6	0,75	56,0	0,71	54,3	1,02				
				50,0 — 52,0	3,20	31,0	8,0	0,75	6,5	—	—	48,2	0,54	50,9	0,90	65,5	0,69	54,4	1,22				
3	33	51	IV	74,00 — 74,647	—	40,5	20,0	l. 1,11 r. 1,50 l. 1,00 r. 1,50	—	3,0	6,5	66,1	0,47	54,3	0,95	85,0	0,60	57,7	1,30	Q ₁ = Abflußmenge . . . bei M. Kl. W. F ₁ = Querschnittgröße „ „ Q ₂ = } desgl. für E. M. Kl. W. F ₂ = } f = Größe des Querschnitts unter der das Fahrwasser begrenzenden Tiefenlinie.			
				74,74 — 75,424	—	36,0	12,0		—	3,3	4,2	57,2	0,54	54,4		76,0	0,67	57,0					
				75,563 — 75,650	1,67	42,7	24,0		1,25	—	3,0	9,1	70,8	0,44		55,3	91,0	0,56			58,6		
				75,704 — 75,984	—	47,0	17,0		1,25	—	2,7	7,9	73,8	0,42		66,3	96,5	0,53			69,0		
				76,026 — 76,352	—	43,5	44,0		—	—	3,9	10,5	92,7	0,33		57,6	113,0	0,45			61,6		
				76,45 — 77,00	—	44,5	13,0		—	—	2,7	—	75,2	0,41		74,2	101,0	0,51			76,8		
				Ganze Strecke	—	42,4	21,7		1,27	—	3,2	7,6	72,6	0,45		60,3	93,7	0,54			63,4		
4	42	60	V	88,00 — 90,00	4,07	32,6	6,0	0,75	6,0	—	—	52,6	0,61	55,7	0,95	70,0	0,73	59,0	1,25				
				150,20 — 152,00	4,31	35,3	9,0	0,75	6,1	—	—	58,7	0,69	58,0	1,00	73,6	0,82	60,9	1,24				
6	49	60	VIII	171,50 — 171,972	5,54	29,2	18,2	—	—	2,7	16,7	57,9	0,72	50,1	1,00	71,9	0,83	53,6	1,27	Mittel aus den vier Aufnahmen vom Juli 1903, Mai 1904, Oktober 1904 u. Juli 1905. Vor dem Ausbau. Mittel der Aufnahme vom Juni 1903 und Mai 1904. Ausbau noch nicht ganz beendet. Aufnahme Oktober 1904. Nach dem Ausbau. Aufnahme Juli 1905. Ausbau im wesentlichen beendet. Aufnahme Oktober 1904. Nach dem Ausbau. Aufnahme Juli 1905.			
				172,034 — 172,247		27,0	14,2	—	—	3,2	14,5	49,2	0,85	43,5	1,00	61,6	0,97	47,3	1,27				
				172,369 — 174,048		2,19	30,5	30,2	—	—	2,1	16,2	70,9	0,59	49,1	1,00	84,7	0,71	52,5		1,27		
				174,145 — 174,424		2,19	24,6	5,0	—	—	5,0	—	47,0	0,89	53,4	1,00	61,9	0,97	57,1		1,27		
				174,496 — 174,995		5,00	26,3	23,2	—	—	2,2	17,5	60,0	0,70	41,1	1,00	73,0	0,82	46,3		1,27		
6	49	60	VIII	211,00 — 211,75	—	23,7	4,0	0,90	3,9	—	—	70,4	0,72	65,3	1,25	80,0	0,76	66,6	1,40				
				211,865 — 212,671	2,81	26,9	4,0	0,87	4,5	—	—	68,0	0,74	60,3		77,0	0,78	61,7					
				211,865 — 212,671	—	24,2	4,5	0,75	8,1	—	—	57,6	0,88	55,7		66,0	0,91	58,2					
				211,865 — 212,671	—	30,7	4,2	0,75	7,0	—	—	61,4	0,82	56,4		70,0	0,86	59,0					
6	49	60	VIII	212,833 — 214,010	—	27,7	6,5	—	—	5,1	16,6	66,8	0,76	64,0	77,0	0,79	67,0	1,40					
				212,833 — 214,010	—	23,4	6,8	—	—	5,4	16,6	64,3	0,78	63,1	74,0	0,82	65,6						
6	49	60	VIII	227,40 — 229,40	2,78	33,4	8,0	0,62	5,5	—	—	75,9	0,66	64,3	1,25	85,1	0,70	66,0	1,39				
				238,00 — 239,50	2,84	26,3	8,7	—	—	3,2	18,3	66,3	0,74	61,2	1,25	77,3	0,78	64,5	1,40				
7b	55	60	XI	303,40 — 305,60	1,54	36,0	16,0	1,00	—	—	—	93,0	0,59	67,0	1,35	97,0	0,62	67,8	1,41				
8	95	100	XII	331,95 — 332,27	1,83	74,0	18,4	0,75	4,2	—	—	152,5	0,63	96,8	1,50	156,4	0,64	97,3	1,54				
				332,45 — 333,59	—	46,6	29,9	0,88	—	—	3,6	23,2	—	—	140,7	0,68	95,0	1,50	144,3	0,69	95,7	1,54	
				333,76 — 333,97	—	44,3	15,1	0,88	6,3	—	—	—	—	—	144,2	0,66	113,0	1,50	148,7	0,67	113,8	1,54	
				334,11 — 335,00	—	52,9	39,0	0,88	—	—	—	3,7	12,1	—	—	149,0	0,64	87,9	1,50	152,5	0,66	88,7	1,54
				Ganze Strecke	—	25,2	9,1	—	—	—	—	6,0	—	—	—	132,4	0,64	107,2	1,50	—	—	—	—
8	95	100	XIII*)	—	—	56,2	21,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
				—	—	42,8	14,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

*) Sämtliche Aufnahmen der Strecke XIII sind auf +0,28 a. P. Dreye bezogen, da eine Beziehung auf das M. Kl. W. der fortschreitenden Senkung wegen unmöglich ist.

Bedeutung für die Ausbildung der Ausbaquerschnitte sind und deshalb kurz erwähnt werden sollen. Zunächst wurden in der Versuchsstrecke Km 238,0 bis 239,5 Geschwindigkeitsmessungen ausgeführt, die in erster Linie den Zweck hatten, den Einfluß der in dieser Strecke vorhandenen Grundschwellen auf die Verteilung der Geschwindigkeiten festzustellen. Es wurde zu diesem Zwecke in verschiedenen Querschnitten gemessen, die paarweise so zueinander gehören, daß der eine Querschnitt über dem Rücken einer Grundschwelle, der nächste in dem stromab liegenden Feld zwischen zwei Grundschwellen liegt. Vergleicht man in zwei auf diese Weise einander zugeordneten Querschnitten die mittleren Geschwindigkeiten, die 0,15 m unter der Oberfläche, und diejenigen, die möglichst dicht (in der Regel gleichfalls 0,15 m) über der Sohle gemessen worden sind, miteinander, so ergibt sich folgendes:

Lage des Querschnittes	Mittl. Geschwindigkeit		Verhältnis V_o/V_s
	0,15 m unter der Oberfläche V_o m/Sek.	dicht über der Sohle V_s m/Sek.	
Über der Grundschwelle	1,350	1,000	1,350
Zwischen zwei Schwellen	1,270	0,925	1,375
Über der Grundschwelle	0,955	0,625	1,529
Zwischen zwei Schwellen	0,700	0,406	1,725

Durch die Grundschwellen werden die Geschwindigkeiten vergrößert, was im übrigen selbstverständlich ist. Es zeigt sich aber weiter, daß die Geschwindigkeit in der Nähe der Sohle stärker zunimmt, als dicht unter der Oberfläche. Ähnliches wurde im Modell bei Grundschwellen von verhältnismäßig gleicher Höhe beobachtet. Wurden im Modell Grundschwellen von wesentlich größerer Höhe eingebaut, so ergab sich sogar zwischen den Grundschwellen eine stromauf gerichtete Sohlenströmung, es bildete sich also ein Wirbel mit wagerechter Drehachse. Die Grundschwellen schützen die Sohle in den Zwischenfeldern, sind aber an ihrer eigenen Oberfläche verstärktem Angriff ausgesetzt.

Um auch die Verteilung der Geschwindigkeiten in einer Flußkrümmung, die möglichst wenig durch Einbauten beeinflusst ist, kennen zu lernen, wurde eine weitere Reihe von Messungen in der Krümmung zwischen Km 6,4 und 7,2 ausgeführt. Das Ergebnis siehe S. 266 oben.

Im großen ganzen bleibt die Geschwindigkeit über der Sohle beim Übergang vom flachen Querschnitt zur Tiefe ungeändert. Dagegen nimmt das Verhältnis der Oberflächen- geschwindigkeit zur Sohlengeschwindigkeit nach den Tiefen hin zu. Es ist also auch in den Krümmungen ohne Grundschwellen die Sohlengeschwindigkeit in den Tiefen durchaus nicht größer als in den flachen Querschnitten.

Auch über die Lagerung des Geschiebes wurden in der Flußkrümmung zwischen Km 238 und 239,5 Beobachtungen angestellt. Es ergab sich dabei, daß die mittlere Korngröße des Geschiebes von der Tiefe nach dem Brink hin abnimmt. Auf dem Brink selbst nimmt das Korn in der Stromrichtung ab. Allerdings tritt letzteres bei den ausgesiebten Proben, die nicht nur an der Oberfläche, sondern durch Aufgraben aus der Tiefe entnommen worden sind, weniger stark in

Lage des Querschnitts Km	Mittl. Geschwindigkeit		Verhältnis V_o/V_s	Bemerkungen
	0,15 m unter der Oberfläche V_o m/Sek.	über der Sohle V_s m/Sek.		
6,50	0,83	0,44	1,88	Flacher Querschnitt
6,85	0,92	0,48	1,92	Tiefe
7,05	0,86	0,49	1,75	Flacher Querschnitt

Lage des Querschnitts Km	Wassertiefe m	Geschwindigkeit im Stromstrich		Verhältnis V_o/V_s	Bemerkungen
		V_o	V_s		
6,40	2,31	1,14	0,61	1,87	Tiefe
6,50	2,23	1,16	0,63	1,84	
6,65	2,45	1,28	0,72	1,78	
6,75	2,82	1,16	0,56	2,07	
6,85	3,04	1,46	0,70	2,09	
6,95	2,79	1,22	0,48	2,54	
7,05	2,58	1,09	0,56	1,95	
7,15	2,27	1,36	0,64	2,13	

Die drei obersten Zeilen enthalten die mittleren Geschwindigkeiten ganzer Querschnitte, die acht unteren die Geschwindigkeiten in einer im Stromstrich liegenden Senkrechten.

Erscheinung, als wenn man nur die Deckschicht an der Oberfläche berücksichtigt. Es tritt eine natürliche Auspanzerung der am meisten vom Strom angegriffenen Stellen ein. Vgl. die folgende Zahlenreihe:

Entnahmestelle	Mittlerer Durchmesser des Geschiebes in mm			
	am linken Ufer	in der größten Tiefe	auf den tieferen Teilen des Brinks	am rechten Ufer oben auf dem Brink
238,04	14,1 ¹⁾	17,5	17,2	12,4
238,4	—	—	12,4	13,9
238,8	9,7 ¹⁾	29,3	16,5	15,4
239,15	—	—	14,6	11,7
239,5	16,9	16,7	12,2	9,2

¹⁾ Anlandung im Bühnenfeld.

Bemerkenswerte Erfahrungen beim Ausbau der Weser vor der Feststellung der Ausbaquerschnitte.

Die Versuchsstrecken sollten in erster Linie einen Einblick in den tatsächlichen Zustand des Fahrwassers der Weser gewähren. Da aber die Aufgabe war, nicht nur den gegenwärtigen Zustand festzustellen, sondern Richtlinien für einen weiteren Ausbau der Weser zu geben, mußte auch die Wirkungsweise der verschiedenen an der Weser üblichen Ausbauweisen festgestellt werden. Auf der Weser hat von jeher die Ausbildung des Längenschnittes und der Ausbau der scharfen Krümmungen die größten Schwierigkeiten geboten. Der schroffe Wechsel im natürlichen Gefälle zwang zu umfassenden Versuchen, das Gefälle auszugleichen, und die großen Tiefen und unregelmäßigen Strömungen in den scharfen Krümmungen veranlaßten dazu, durch das Verbauen der Übertiefen den Stromstrich vom Ufer abzulenken und dadurch nicht nur das Ufer vor weiterem Abbruch zu schützen, sondern auch das Fahrwasser zu verbreitern und

das Steuern in der ruhigeren Strömung zu erleichtern. Die Übergänge, die an vielen anderen Strömen die größten Schwierigkeiten beim Ausbau bieten, waren dagegen bei der Weser wesentlich leichter zu verbessern, was in erster Linie auf die geringe Geschiebebewegung zurückzuführen ist.

Die Erfolge der älteren Ausbauarbeiten lassen sich nicht überall einwandfrei feststellen, weil der Zustand vor dem Ausbau nicht genau bekannt ist. Es gelang aber doch, einige bezeichnende Strecken aufzufinden, in denen ein Vergleich zwischen dem alten und neuen Zustand möglich war und vor allem boten die Ausbauarbeiten, die in einigen Versuchsstrecken während der Zeit der Beobachtung ausgeführt worden sind, gute Unterlagen für den Vergleich.

Die Weserstrecke von Münden bis Karlshafen. Von den wenigen älteren Eutwürfen, die einen genaueren Vergleich mit der Gegenwart zulassen, verdienen die Entwürfe, die auf Grund des allgemeinen Schattauerschen Planes für die Weser zwischen Karlshafen und Münden aufgestellt worden sind, als Beispiele für einen beabsichtigten und in der Hauptsache auch erreichten Ausgleich des Gefälles um so mehr Beachtung, weil durch ihre Ausführung die obere Weser auf eine Höhe der Schifffahrt gebracht worden ist, die in Anbetracht des kleinen Niederschlagsgebietes sehr bemerkenswert ist. In Abb. 1 bis 3 Bl. 17 sind die Längenschnitte von drei bezeichnenden Einzelstrecken wiedergegeben worden. Wie ein Vergleich der vor dem Ausbau aufgenommenen Spiegellinien mit den Ausgleichslinien des Entwurfs zeigt, war nirgends eine größere Hebung der Wasserstände beabsichtigt, obgleich die Verbauung der tieferen Kolke durch Grundschwellen in größerem Umfang vorgesehen war und auch durchgeführt worden ist. Der beabsichtigte Ausgleich des Gefälles ist im wesentlichen durch Abbagern der Köpfe angestrebt worden. Die Linie des M.Kl.W. von 1904 läßt erkennen, daß der beabsichtigte Ausgleich des Gefälles durchweg erreicht worden ist. Allerdings sind die Köpfe vielfach tiefer abgesunken, als im Entwurf angenommen worden war, und es ist stellenweise eine recht erhebliche Senkung des Wasserstandes eingetreten. Anscheinend sind die Köpfe, nachdem die obere grobe Deckschicht weggebagert war, solange durch Auswaschen der feineren Bestandteile des Geschiebes weiter vertieft worden, bis das zurückgebliebene grobe Geschiebe wieder einen ausreichenden Sohlenpanzer gebildet hatte. Ähnliches ergibt sich aus den übrigen hier nicht wiedergegebenen Ausbauentwürfen für die ganze Weserstrecke von Münden bis zur Diemelmündung. Auch die Tatsache, daß die Bühnenkronen nach dem Strominventar 0,35 bis 0,57 m über dem M.Kl.W. liegen, während sie entwurfsmäßig nur 0,25 m darüber liegen sollten, läßt auf eine Senkung des Wasserspiegels schließen. Jedenfalls mahnt dieser Vorgang dazu, daß bei Baggerungen auf den mit grobem Geschiebe ausgepanzten Köpfen mit großer Vorsicht verfahren werden muß.

Weserstrecke im Mascherhöpen, Km 238,0—239,5. In den Jahren 1894 bis 1897 ist die scharfe Krümmung des Stroms zwischen Km 238,0 und 239,5 ausgebaut worden. Die Strecke ist als Versuchsstrecke benutzt worden und hat auch als Vorbild für Modellversuche gedient. Lagepläne mit Tiefenlinien vor und nach dem Ausbau sind in der Zeitschrift für Bauwesen 1907, Bl. 20 u. 21, veröffentlicht worden.

Die Strecke im Mascherhöpen hat von jeher zu den schlechtesten an der Weser gehört. Das linke hohle Ufer lag sehr stark im Abbruch, das Fahrwasser war sehr schmal und das Steuern durch unregelmäßige Strömung erschwert. Das Ufer war allmählich durch Bühnen geschützt worden, aber zur Erleichterung der Schifffahrt mußte die Fahrrinne verbreitert und die Strömung von den Bühnenköpfen nach der Mitte des Bettes hin abgelenkt werden. Zu diesem Zwecke wurden die großen Kolke vor den Bühnenköpfen mit Grundschwellen verbaut und der Querschnitt durch Baggerungen auf dem rechtsuferigen Brink entsprechend vergrößert. Ein Längenschnitt und zwei bezeichnende Querschnitte sind in Text-Abb. 5 bis 7 wiedergegeben.

Wie aus dem Längenschnitt zu ersehen ist, war beabsichtigt, den außerordentlich scharfen Knick im Längsgefälle

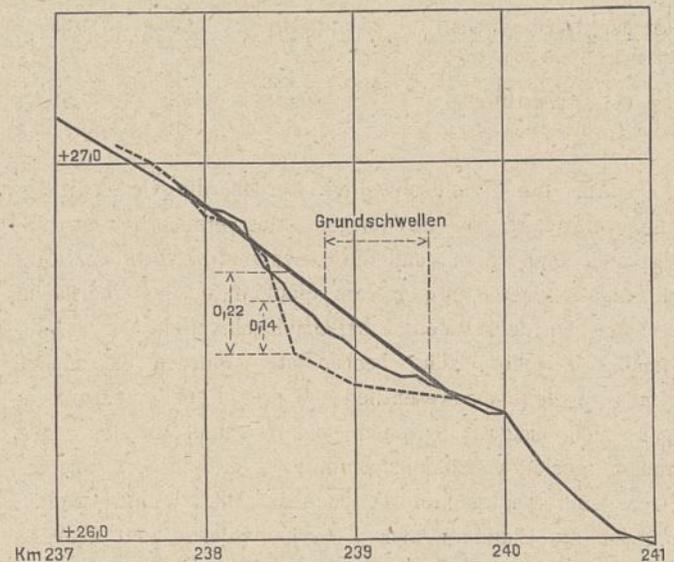


Abb. 5. Wasserstrecke Km 237 bis 241. Hebung des Wasserspiegels durch Grundschwellen. Aufnahmen von 1894 und 1904.
 - - - - - +1,66 a. P. Stolzenau 1894.
 ——— M. Kl. W. = +1,73 a. P. Stolzenau 1904.
 ——— angestrebte Spiegelinie bei +1,66 a. P. Stolzenau.
 Längen 1:50000, Höhen 1:20.

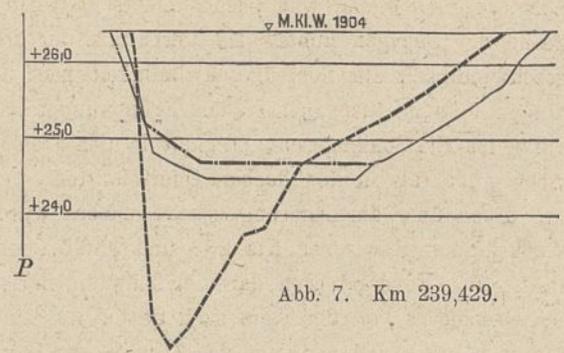
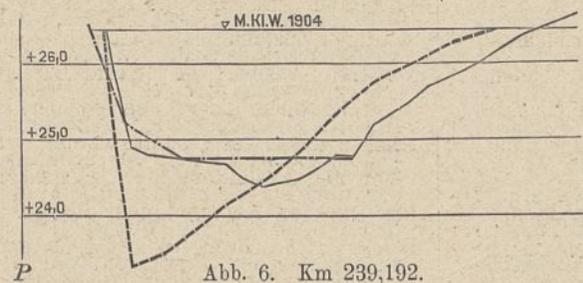


Abb. 6. Km 239,192.

Abb. 7. Km 239,429.

Abb. 6 u. 7. Querschnitte der Weser im Mascherhöpen.

Längen 1:1000. Höhen 1:100.
 - - - - - Zustand 1894 vor dem Ausbau,
 ——— „ 1904 nach „ „
 ——— Ausbauquerschnitt nach dem Entwurf von 1894.

zwischen Km 238,4 und 238,6 zu beseitigen. Dies ist auch gelungen, wenn auch der Spiegel nicht ganz bis zur beabsichtigten Höhe gehoben worden ist. Beim damals maßgebenden „Korrektionswasserstand“ + 1,66 m am Pegel Stolzenau sollte die Hebung bei Km 238,6 0,22 m betragen, während tatsächlich die Wasserspiegellinie bei M.Kl.W. 1904 noch rd. 0,08 m unter der die Köpfe bei Km 238 und 240 verbindenden Geraden bleibt. Auf diesen Köpfen selbst scheint aber eine Senkung eingetreten zu sein. Es läßt sich daher nicht mit Bestimmtheit sagen, inwieweit der eingetretene Gefällausgleich einer Hebung des Spiegels entspricht.

Im übrigen ist durch den Einbau der Grundswellen das Fahrwasser erheblich verbreitert worden. Vgl. Text-Abb. 6 u. 7 und die Lagepläne im Jahrgang 1907, Bl. 20 u. 21 dieser Zeitschrift. Nach Tafel III auf S. 263 hat der gemittelte Querschnitt in einer Tiefe von 1,40 m unter E.M.Kl.W. eine Breite von 26,3 m. Da die Breite nach den neuen Ausbauquerschnitten in einer Tiefe von 1,50 m mindestens 30 m betragen soll, ist das Ausbauziel noch nicht erreicht.

Oberhalb der mit Grundswellen ausgebauten Strecke liegt bei Km 238,4 eine verhältnismäßig flache Fahrwasserstelle, die nach dem Einbau der Grundswellen ziemlich ungeändert geblieben ist. In diesem Falle haben sie also lediglich eine rein örtliche Wirkung gehabt, die sich in der Verbreiterung des Fahrwassers und im Abdrängen des Stromstrichs vom einbuchtenden Ufer äußert.

Endlich ist noch zu erwähnen, daß die Sohle zwischen den Grundswellen nicht aufgelandet ist. Im allgemeinen liegt die gepellte Sohle 5 m oberhalb der Grundswellen etwas höher als unterhalb, aber die größten Tiefen sind nicht kleiner als vor dem Ausbau.

Weserstrecke am Lahder Damm, Km 212,8—214,0. Ähnlich ungünstige Verhältnisse wie im Mascherhöpen lagen in der scharfen Krümmung am Lahder Damm, Km 212,8 bis 214,0 vor. Auch hier hatten sich große Übertiefen gebildet, während das Fahrwasser so schmal und die Strömung so unregelmäßig war, daß die Schifffahrt ernstlich gefährdet wurde.

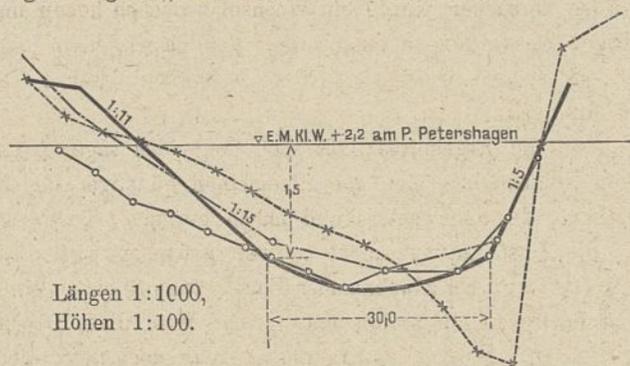


Abb. 8. Querschnitt bei Km 213,350.

—*—*— Aufnahme von 1902 vor dem Ausbau,
—○— Aufnahme von 1912 nach „ „ „ „
— — — ursprünglich angenommener Ausbauquerschnitt,
— — — neuer Ausbauquerschnitt.

Ein bezeichnender Querschnitt ist in Text-Abb. 8 dargestellt worden. Hier wurde gleichzeitig mit der Aufnahme der Versuchsstrecken ein Ausbau durchgeführt, bei dem versuchsweise ein neuer Ausbauquerschnitt angewandt wurde. Während im Mascherhöpen nur Grundswellen vor die Bühnen gelegt wurden, ist am Lahder Damm das hohle Ufer mit einem fünffüßigen Deckwerk abgedeckt worden. Wo vor dem

Fuße des Deckwerks noch größere Übertiefen blieben, sind sie durch Grundswellen verbaut worden. Der Ausbauquerschnitt hat in einer Tiefe von 1,25 m unter dem Wasserstand von + 2,15 m am Pegel Petershagen eine Sohlenbreite von 30 m, und das vorspringende linke Ufer ist 15fach abgebösch. Soweit erforderlich, wurde diese Böschung durch Baggerung hergestellt. Der Erfolg war durchaus befriedigend. Die großen Tiefen sind verschwunden, und das Fahrwasser ist wesentlich breiter geworden. Vgl. den Lageplan Abb. 1 Bl. 15 u. 16 und den gemittelten Querschnitt Abb. 7 Bl. 15 u. 16. Das fünffüßige Deckwerk ist aber sehr teuer geworden und war nur mit der äußersten Mühe in der gewünschten Neigung herzustellen.

Weserstrecke oberhalb des Lahder Dammes. Die oberhalb des neuen Deckwerks liegende Flußstrecke war mit Bühnen von vierfacher Kopfböschung ausgebaut und hatte sehr geringe Fahrwassertiefen. Man entschloß sich, den Ausbauversuch auf eine Strecke von etwas über 1 km oberhalb des Deckwerks am Lahder Damm auszudehnen und die Strecke nach einem Querschnitt auszubauen, der beiderseits zehnfüßige Böschungen besitzt und im übrigen dieselben Abmessungen hat wie der Querschnitt am Lahder Damm. Stromabwärts gehen die Böschungen allmählich in die unsymmetrische Neigung am Lahder Damm über, stromaufwärts ist ein allmählicher Übergang nach dem alten Querschnitt mit vierfacher Kopfnegung der Bühnen ausgebaut worden. Der Erfolg war auch hier gut. Vgl. den gemittelten Querschnitt in Abb. 5 Bl. 15 u. 16. Die Sohlenbreite in 1,25 m Tiefe unter M.Kl.W. ist von 26,9 m vor dem Ausbau auf 30,7 m nach dem Ausbau gestiegen, der Querschnitt von 68,0 auf 61,4 qm heruntergegangen. Die Sohlenform ist gleichmäßiger als vor dem Ausbau.

Weserstrecke von Km 332 bis 335. In der Versuchsstrecke XII, Km 332 bis 335, hatten sich in der scharfen Krümmung von Km 334,4 bis 334,5 zwischen den Bühnen tiefe Kolke gebildet, die durch Wirbelbildung der Schifffahrt lästig wurden und den Bestand des Ufers und der Bauwerke bedrohten. Zur Abhilfe wurden die Bühnenfelder mit Kies verfüllt und die Verfüllung mit Matten abgedeckt. Der Erfolg ist aus Abb. 1 u. 2 Bl. 12 zu erkennen.

Kolk zwischen Km 262,6 und 262,8. Da die Verbauung von übermäßigen Tiefen für den weiteren Ausbau der Weser von besonderer Bedeutung ist, verdient die Zuschüttung eines Kolks zwischen Km 262,6 und 262,8 der Weser besondere Erwähnung, weil hier ein bisher an der Weser noch nicht angewandtes Verfahren versucht wurde. An Stelle des Einbaues von Grundswellen hat man den Kolk mit Baggerkies zugeschüttet und die Schüttung mit Steinschotter abgedeckt. Durch die Verfüllung des Kolks sollte, abgesehen von der rein örtlichen Wirkung, auch eine kurz unterhalb bei Km 262,9 liegende schlechte Fahrwasserstelle beseitigt werden. Der Erfolg war durchaus befriedigend.

Weserstrecke von Km 303,4 bis 305,6. Als Beispiel für den erfolgreichen Ausbau eines schlechten Übergangs ist endlich die Versuchsstrecke XI, Km 303,4 bis 305,6, zu erwähnen. Diese Strecke enthielt zwischen Km 303,8 und 304,2 einen schlechten Übergang von bezeichnender Art. Die jährlich wiederholten Baggerungen hatten keinen dauernden Erfolg, weil nach jedem Hochwasser der alte Zustand wieder

eintrat. In den Jahren 1898 bis 1900 wurden auf dem rechten Ufer sechs und auf dem linken acht Bühnen gebaut, die den schlechten Übergang dauernd in gute Verfassung gebracht haben. Vgl. die Lagepläne im Jahrgang 1906 dieser Zeitschrift, Bl. 30 u. 31.

Modellversuche.

Außer den bisher erwähnten Unterlagen für die Ausbauquerschnitte, die durch unmittelbare Beobachtung der Natur gefunden worden sind, stehen noch die Ergebnisse einer großen Anzahl von Flußmodellversuchen zur Verfügung, die in der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin stattgefunden haben. Wenn auch die anfänglichen Erwartungen insofern nicht ganz erfüllt worden sind, als der erhoffte zahlenmäßige Aufschluß über die Fahrwassertiefen, die bei bestimmten Einbauten zu erwarten sind, nur in sehr beschränktem Umfange gefunden wurde, haben doch die Modellversuche eine so reiche Fülle von Aufklärungen über manche grundsätzliche Frage gegeben, daß sie als ein äußerst wertvoller Beitrag zur Bestimmung der Ausbauquerschnitte gelten können.

Der Ausbauversuch in der Natur kann nur darüber Aufschluß geben, welche Wirkung eine gewisse Bauweise hat, er läßt aber nur in seltenen Fällen erkennen, wie gewisse Abänderungen wirken. Es besteht sogar die Gefahr, daß man die schlechteste unter allen möglichen Lösungen findet, die gerade noch den erwünschten Erfolg schafft. Das Modell bietet dagegen die Möglichkeit, durch folgerichtige Abänderung die günstigste unter einer größeren Anzahl von Lösungen zu finden und verspricht dadurch auch dann wertvolle Ergebnisse, wenn es nicht gelingt, genau zahlenmäßig festzulegen, welche Fahrwassertiefe und Breite durch einen bestimmten Ausbau in der Natur erreicht werden kann. Es sind für die Modellversuche die beiden oben bereits näher beschriebenen Versuchsstrecken X, Km 238,0 bis 239,5, und XI, Km 303,4 bis 305,6, ausgesucht worden, deren Zustand vor der Ausführung eines mittlerweile vollendeten Ausbaues noch genau festgestellt werden kann. Wenn es gelang, im Modell sowohl den alten Zustand, als auch den Erfolg der Regulierung einigermaßen in Übereinstimmung mit der Natur nachzuahmen, so war damit gezeigt, daß das Modell tatsächlich der Wirklichkeit angepaßt werden kann, und man durfte hoffen, bei weiterer Änderung der Einbauten im Modell ähnliche Wirkungen zu erzielen, wie sie auf dem Flusse eintreten würden.

Auf die Einzelheiten der sehr umfangreichen Versuche kann hier nicht eingegangen werden. Die Veröffentlichungen in der Zeitschrift für Bauwesen 1906 S. 123 und 1907 S. 67 geben hierüber vollkommenen Aufschluß. Es sollen deshalb nur die wichtigsten Ergebnisse kurz besprochen werden.

Weserstrecke Km 303,4 bis 305,6. Der Zustand der Strecke XI ist oben bereits geschildert worden. Nachdem eine größere Anzahl von Versuchen vorausgegangen war, die hauptsächlich über das zu wählende Gefälle, über die zweckmäßige Geschiebemischung und über den Maßstab der Wassermengen Aufschluß geben sollten, gelang es zunächst, den unausgebauten Zustand in befriedigende Übereinstimmung mit der Natur darzustellen. Danach wurden Bühnen genau wie in der Natur eingebaut, deren Wirkung ähnlich war wie auf der Weser. Ein weiterer Satz von Versuchen wurde mit Bühnen

von verschiedener Kopfneigung und Höhenlage der Rücken ausgeführt. Sodann wurden vor das Deckwerk am oberen Ende der Strecke auf dem rechten Ufer Grundschwelen eingebaut und endlich die Böschung des Deckwerks abgeflacht. Nunmehr folgte ein weiterer Satz von Versuchen, bei denen auf eine Länge von 11 Bühnenfeldern auf jedem Ufer Bühnen lagen, während in der Natur nur ein Bühnenfeld auf beiden Seiten vollständig ausgebaut ist. Durch diesen letzten Versuchssatz sollte festgestellt werden, wie eine längere, nach einem einheitlichen Querschnitt ausgebaute Strecké sich verhält. Diese Versuche sind deshalb von besonderer Bedeutung für die Bestimmung der Ausbauquerschnitte. Die Bedingungen, unter denen die einzelnen Versuche dieses letzten Satzes durchgeführt worden sind, ergeben sich aus der folgenden Zusammenstellung:

Nummer des Versuchs	Kopfneigung	Höhe des Bühnenkopfes über M. N. W. 1891/1900	Spiegelbreite bei M. N. W. 1891/1900 cm
60	1:8	0,45	60
65	1:8	0,95	60
66	1:8	0,45	55
67	1:8	0,95	55
68	1:4	0,45	60
69	1:4	0,95	60
70	1:4	0,45	55
71	1:4	0,95	55
72	1:4	0,45	50
73	1:4	0,95	50
74	1:4	0,45	oben und unten 62,5, in der Mitte auf 55 abnehmend

Im Modell waren folgende Maßstäbe eingehalten worden: Längen, Breiten und Tiefen 1:100, Abflusmengen 1:40000. Das Gefälle war 1:500, der mittlere Korndurchmesser des Sandes betrug 1,2 mm (Natur 8 mm). Die Mischung aus groberem und feinerem Sand entsprach ungefähr der Natur. Bei allen Versuchen wurde ein Wechsel zwischen hohen und niedrigen Wasserständen eingehalten, ähnlich wie er im Jahre 1897 beobachtet worden ist. Der Zeitmaßstab war 1 Tag = 4 Minuten.

Über die Ergebnisse läßt sich folgendes sagen. Die flachen Bühnenköpfe sind im allgemeinen günstiger für die Ausbildung des Fahrwassers und haben geringere Kolke, solange die Einschränkung nicht zu weit getrieben wird. Das Fahrwasser wird bei zunehmender Einschränkung bis zu einer gewissen Grenze hin breiter und tiefer. Wird diese Grenze überschritten, so wird das Fahrwasser zwar noch tiefer, aber die Breite in einer bestimmten Tiefe nimmt nicht mehr zu und die Sohle verwildert durch die Ausbildung übermäßiger Kopfkolke vollständig. Nach dem ersten Versuchssatz war die Grenze der zulässigen Einschränkung für die flachen Bühnen bei der Spiegelbreite von 50 cm schon überschritten. Deswegen sind die Versuche mit flachen Bühnen nur für Spiegelbreiten von 60 und 55 cm ausgeführt worden.

Die Wirkung der verschiedenen Höhenlage der Bühnenrücken ist nicht sehr ausgeprägt. Im allgemeinen war das Fahrwasser bei tiefliegenden Bühnen vielleicht etwas günstiger. Bei den größeren Spiegelbreiten schienen die tiefliegenden Bühnen leichter auf eine unregelmäßige Sohlenform hinzu-

arbeiten als die hohen Buhnen. Bei den kleinen Spiegelbreiten war, wohl infolge der vorher erwähnten Wirkung der stärkeren Einengung des Querschnitts, das Umgekehrte der Fall. Die eigenartige Erscheinung, daß tiefliegende Buhnen unter Umständen stärkere Kolke ergeben können als hochliegende, läßt sich vielleicht so erklären, daß der Wirbel mit waggerchter Achse, der beim Überströmen des Rückens im Buhnenfeld eintritt, zu häufig zustande kommt und eine ungünstige örtliche Umlagerung der Geschiebe bewirkt. Vielleicht war aber auch bei den Versuchen mit niedrigen Buhnen das Verhältnis zwischen ihrer Höhe und der Länge der Buhnenfelder zufällig sehr ungünstig.

Die Streichlinien der Versuche mit größeren Spiegelbreiten schlossen sich ziemlich gut an die Uferlinien der unausgebauten oberen und unteren Modellstrecken an, während bei den Versuchen mit geringerer Breite die Buhnen am oberen und unteren Ende der ausgebauten Strecke scharf vor die Uferlinien vorsprangen. Die Folge dieser Unregelmäßigkeiten im Grundriß waren Sandablagerungen oberhalb und übermäßige Vertiefungen der Sohle am unteren Ende und unterhalb der regulierten Strecke. Die oberste und die unterste Buhne hatten bei diesen Versuchen besonders große Kopfkolke. Die gleichmäßigste Ausbildung des Fahrwassers ist bei Versuch 74 beobachtet worden, bei dem die Streichlinien durch Veränderung der Spiegelbreiten ohne nennenswerten Knick in die Uferlinie der unausgebauten Strecken übergeführt worden waren. Es ist hieraus die große Bedeutung einer guten Linienführung für den Erfolg einer Regulierung zu erkennen.

Weserstrecke im Mascherhöpen, Km 238,0—239,5. Für die Auswahl der Strecke Km 238,0 bis 239,5, im Mascherhöpen, zur zweiten Versuchsreihe, war entscheidend, daß der Ausbau scharfer Krümmungen an der Weser zu den wichtigsten und schwierigsten Aufgaben gehört. Da die kleine Rinne der Versuchsanstalt für Wasserbau nur 2 m breit ist, während das Modell im Maßstab 1:100 rd. 10 m Breite erhalten mußte, wurde zunächst eine Hilfsrinne aus Holz hergestellt, die sich der Grundrißform der Flußstrecke anpaßte. Da sich bei den früheren Versuchen gezeigt hatte, daß das Gefälle 1:500 noch etwas zu groß, das bei wenigen Versuchen angewandte Gefälle 1:800 aber schon etwas zu klein ist, wurde für die zweite Versuchsreihe das Gefälle 1:650 gewählt. Der Wassermengenmaßstab mußte dementsprechend auf 1:50 000 festgesetzt werden. Das Geschiebe wurde durch Aussieben auf 1 mm mittleren Korndurchmesser gebracht. Zunächst wurde wieder der unausgebaute Zustand vom Jahre 1894 und der Zustand nach dem Ausbau vom Jahre 1904 nachgeahmt. Das Modell stimmte nur im mittleren Teil befriedigend mit der Natur zusammen. Offenbar war die Modellrinne nicht lang genug, um beim Einlauf am oberen und beim Auslauf am unteren Ende des Modells die der Natur entsprechende Wasserführung zu sichern. Sodann folgte eine Reihe von Versuchen, in denen die Buhnenfelder im unteren Teil der Krümmung mit verschieden geneigten Deckwerken abgeschlossen waren und Grundschwellen in Entfernungen von 50, 25 und 12,5 cm Entfernung eingebaut waren. Endlich wurden auch die Felder zwischen den Grundschwellen mit Sand verfüllt. Diese Versuche waren nicht ganz übersichtlich, weil der Einfluß der

natürlichen Unregelmäßigkeiten in der Grundrißform das Bild verwischte. Es folgte deshalb eine weitere Anzahl von Versuchen, bei denen die in der Natur vorhandene unregelmäßige Krümmung durch einen Kreisbogen von 450 cm ersetzt worden war, der allmählich in die anschließenden Gegenkrümmungen überging. Bei diesen Versuchen wurden Deckwerke mit fünffacher, dreifacher, zweifacher und einfacher Böschung, sowie eine senkrechte Ufermauer vor dem hohlen Ufer, sowohl ohne als auch mit vorgelagerten Grundschwellen in 12,5 cm Entfernung voneinander versucht. Endlich folgten Versuche mit Buhnen von verschiedener Länge auf dem linken Ufer, ohne und mit Abgrabung an dem gegenüberliegenden Brink und Versuche mit Buhnen auf dem rechten Ufer. Zum Schluß folgten Versuche mit einer abgeänderten Krümmung, die im Scheitel einen Krümmungshalbmesser von 250 cm hatte und von da an allmählich in die schwächere Krümmung übergeleitet war. Die Grundschwellen wurden bei diesen Versuchen 0,5 cm höher gelegt, als vorher.

Aus der ganzen Versuchsreihe lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Die Grundschwellen wirken um so besser, je enger sie liegen. Die größte Zunahme der Wirkung scheint bei der Verringerung ihres Abstandes von 25 auf 12,5 cm einzutreten. Die vollständige Abdeckung der Grundschwellenfelder verbessert das Fahrwasser nicht mehr. Die Geschwindigkeiten werden größer, als in dem Grundschwellenquerschnitt von gleicher Größe. Es tritt also dasselbe ein, was in der Natur festgestellt worden ist, daß der regelmäßige Ausbau den Abfluß erleichtert. Die Tiefen zwischen den Grundschwellen scheinen nur sehr wenig zu verlanden. Unmittelbar unterhalb der Grundschwellen ist die Verlandung am stärksten. In der Natur scheint das Umgekehrte der Fall zu sein. Die Verbesserung des Fahrwassers durch den Einbau der Grundschwellen entspricht im Modell anscheinend hauptsächlich einer Hebung des Wasserspiegels, während in der Natur offenbar die Abtreibung des gegenüberliegenden Brinks stärker ist. Man hat den Eindruck, als ob im Modell das Geschiebe zu fest gelagert sei.

Der Einfluß verschiedener Deckwerksneigungen auf die Fahrwasserbreite ist nicht sehr deutlich. Große Unterschiede konnten nicht festgestellt werden. Dagegen hat die Deckwerksneigung großen Einfluß auf die Ausbildung der größten Tiefen. Je flacher das Deckwerk ist, um so geringer werden die Übertiefen und um so gleichmäßiger wird die Sohlenlage im Längenschnitt. Die deutlichste Wirkung tritt beim Übergang von der zweifachen zur dreifachen Böschung ein.

Die Versuche mit Buhnen hatten den Zweck, festzustellen, ob im Modell ähnlich ungünstige Zustände wie in der Natur eintreten (übermäßige Kolke, schmales Fahrwasser), wenn vor dem einbuchtenden Ufer Buhnen angelegt werden, ohne die hierdurch hervorgerufene Querschnittseinschränkung durch entsprechende Abgrabung auf dem ausbuchtenden Ufer zu ersetzen. Der Erfolg war im Modell nicht sehr deutlich. Übermäßige Kolke traten nicht auf. Vielleicht war auch hier die unverhältnismäßig feste Lagerung des Geschiebes störend. Zweifellos war nur, daß die spätere Abgrabung des Brinks dauernd günstig auf das Fahrwasser wirkte. Die Buhnen auf dem ausbuchtenden Ufer verlandeten sehr rasch.

Auch bei diesen Versuchen ergab sich die große Bedeutung einer guten Grundrißanordnung. Namentlich die letzten Versuche mit der scharfen Scheitelkrümmung zeigten dies in großer Deutlichkeit. Diese Versuche waren zum Schluß noch angeordnet worden, weil man im Anschluß an den oben erwähnten Ausbau bei Km 262,6 bis 262,8 die Wirkung von Grundswellen in einem sehr tiefen Kolk, sowie die Verfüllung eines solchen Kolks beobachten wollte. Tatsächlich bildete sich aber bei diesen Versuchen kein auffallend großer Kolk aus. Dies ist zweifellos eine Folge davon, daß der Übergang zur scharfen Scheitelkrümmung ein ganz allmählicher war; denn bei früheren Versuchen, die im Grundriß scharfe Knicke zeigten, lag stets kurz unterhalb des Knicks ein tiefer Kolk. Besonders bezeichnend hierfür sind die oben erwähnten Beobachtungen in den Versuchsstrecken und in der Weserstrecke Km 262,6 bis 262,8.

Ableitung einer Geschwindigkeitsformel.

Die Weser besitzt im allgemeinen recht gut ausgebildete Querschnitte. Bei einem Flusse, der in der Hauptsache so weit ausgebaut ist, daß die Tiefe und Breite des Fahrwassers, abgesehen von einigen schlechten Stellen, den Ansprüchen der Schifffahrt genügt und dessen Gefälle nur wenig schwankt, ist es wohl möglich, aus den Aufnahmen guter Strecken ohne weitere Umrechnung die zweckmäßigen Ausbauquerschnitte für die noch vorhandenen schlechten Strecken abzuleiten. Der Ausbau der Weser genügte in den ersten Jahren dieses Jahrhunderts den Ansprüchen der Schifffahrt, wie sie tatsächlich bestand. Es war aber damit zu rechnen, daß nach der Fertigstellung des Kanals vom Rhein nach Hannover der Verkehr erheblich zunehmen und daß infolgedessen die vorhandenen Querschnitte nicht mehr ausreichen würden. Tatsächlich hat sich auch diese Annahme als richtig erwiesen, nachdem die Schifffahrt zwischen dem Kanal und der Weser im Laufe des Krieges aufgenommen worden ist. Es war deshalb nicht möglich, die in den Versuchsstrecken beobachteten guten Querschnitte ohne weiteres für den Ausbau der noch vorhandenen schlechten Stellen des Fahrwassers anzuwenden. Auch die oben beschriebenen starken Sprünge im Gefälle, die nicht ganz beseitigt werden können, machten es unmöglich, die vorhandenen bewährten Querschnitte ohne Umrechnung auf andere Strecken zu übertragen. Die endgültigen Ausbauquerschnitte mußten deshalb berechnet werden. Die Berechnung mußte mit einer Geschwindigkeitsformel durchgeführt werden, über deren Bestimmung hier einige Worte folgen mögen.

Solange sich die Untersuchungen nur auf einen geringen Spielraum der Wassertiefen erstrecken, ist es ziemlich gleichgültig, welche von den üblichen Geschwindigkeitsformeln zur Berechnung benutzt wird, wenn nur die in der Formel enthaltenen veränderlichen Beiwerte dem tatsächlichen Verhalten des Flusses angepaßt werden. Sehr bequem für den Gebrauch ist die von Hagen angegebene Formel $v = k \cdot t^m \cdot J^n$, die sich bei Benutzung logarithmisch geteilten Papiers als eine Schaar gleichlaufender gerader Linien darstellen läßt. t bedeutet die mittlere Tiefe, die unbedenklich an Stelle des hydraulischen Radius eingeführt werden kann, und J das Gefälle. Diese Formel wurde bei der Berechnung der Ausbauquerschnitte für die Weser benutzt. Die Beiwerte k , m

und n wurden im wesentlichen auf zeichnerischem Wege aus 46 sorgfältig durchgeführten Messungen ermittelt. Entsprechend der vorliegenden Aufgabe wurden in erster Linie Messungen bei niedrigem Wasser verwendet. Es wurde $v = 0,400 \cdot t^{0,744} \cdot (10\,000 J)^{0,450}$ gefunden.

Diese Formel ist in den allgemeinen Entwürfen für den erweiterten Ausbau der Weser von Münden bis Bremen der Berechnung der Ausbauquerschnitte zugrunde gelegt, später aber bei Aufstellung der Sonderentwürfe wieder verlassen und durch die bekannte Formel von Ganguillet und Kutter ersetzt worden. Die „Rauhigkeitsziffer“ n wurde für den in drei Strecken geteilten Fluß wie folgt festgesetzt:

Flußstrecke	n
Km. 0 bis Km 45,5	0,0272
„ 45,5 „ „ 264,1	0,0264
„ 264,1 „ „ 351,7	0,0254

Innerhalb des Spielraums der Wassertiefen und Gefälle, der bei der Berechnung der Ausbauquerschnitte für die Weser zu berücksichtigen ist, weichen die beiden Formeln nur so wenig voneinander ab, daß es gleichgültig ist, welche Formel benutzt wird.

Bei der Ableitung der mitgeteilten Geschwindigkeitsformel nach dem Muster Hagens wurde in Übereinstimmung mit der gestellten Aufgabe in erster Linie darauf gesehen, daß bei Niedrigwasser eine gute Übereinstimmung mit den Messungen bestand. Bei Hochwasser gibt sie dagegen weniger befriedigende Ergebnisse. Dasselbe gilt aber für die Formel von Ganguillet und Kutter, in der an der Weser bei Hochwasser in der Gegend der Ausuferungshöhe $n = 0,030$ gesetzt werden muß.

Bei der großen Bedeutung, die die Wasserwirtschaft in unseren Flußtälern erlangt hat, lohnt es sich der Mühe, Formeln aufzustellen, die möglichst vom niedrigsten bis zum höchsten Wasserstand brauchbar sind. Der Versuch, eine einheitliche Formel zu finden, die für alle Flußläufe gilt, ist allerdings nicht aussichtsvoll. Die verschiedenen Einflüsse des Ausbaustandes und des Grades der Geschiebewegung sind hierfür viel zu groß. Flüsse mit unregelmäßiger und leicht beweglicher Sohle zehren einen viel größeren Teil der lebendigen Kraft des fließenden Wassers auf, als solche mit nahezu unveränderlicher Sohle. Z. B. muß an der preußischen Weichsel, deren Geschiebe wesentlich feiner ist als das der Weser, bei Verwendung der Formel von Ganguillet und Kutter die Rauhigkeitsziffer $n = 0,029$ bis $0,031$, also wesentlich größer angenommen werden als auf der Weser. Ebenso haben Unregelmäßigkeiten im Ausbau, z. B. schlecht verlandete Buhnen und Grundswellen so großen Einfluß auf die Bewegungswiderstände, daß dagegen die Verschiedenheiten im Geschiebekorn ziemlich zurücktreten. Tatsächlich geben auch die Formeln, die Anspruch auf allgemeine Gültigkeit erheben, im Einzelfall viel größere Fehler, als bei den ständig wachsenden Anforderungen der Wasserwirtschaft zulässig ist. Auch solche Formeln, die wie diejenige von Ganguillet und Kutter nur einen veränderlichen Beiwert enthalten, können nur ausnahmsweise befriedigende Ergebnisse liefern, weil man in der Regel in einer und derselben Flußstrecke für verschiedene Wassertiefen

nicht dieselben Beiwerte anwenden darf. Dagegen hat sich wiederholt gezeigt, daß die Hagense Formel vermöge ihrer drei veränderlichen Beiwerte schmiegsam genug ist, um für ganz verschiedene Wassertiefen brauchbar zu sein, ohne daß man verschiedene Beiwerte einsetzen müßte (vgl. Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands, Besondere Mitteilungen, Bd. 1, Nr. 7 und Bd. 3, Nr. 1). Ein Überschlagn hat auch ergeben, daß sich auf der Weser für den ganzen Spielraum zwischen Niedrigwasser und Hochwasser befriedigende Ergebnisse erzielen lassen.

Da die allgemeine Hagense Formel sehr bequem zu handhaben ist und sich den verschiedenen Verhältnissen besser anpaßt als die meisten anderen gebräuchlichen Formeln, empfiehlt es sich, sie bei den weiteren Versuchen, für die Weser eine einheitliche, von Niedrigwasser bis Hochwasser brauchbare Formel zu finden, ebenso wie bei gleichartigen Versuchen auf anderen Strömen, in erster Linie zu berücksichtigen. Wenn für eine genügend große Anzahl von Strömen zuverlässige Formeln abgeleitet sind, gelingt dann vielleicht eine Gruppierung nach der Art und Masse des bewegten Geschiebes, sowie nach der Art und dem Grade des Ausbaues, die es ermöglicht, für andere Ströme die Beiwerte ungefähr richtig einzuschätzen.

Bedingungen für die Ausbauquerschnitte und deren Berechnung.

Mit den vorstehenden Ausführungen sind die Tatsachen, die für die Ausbildung der Ausbauquerschnitte beigebracht werden können, in der Hauptsache erschöpft, und es können nunmehr die Bedingungen, denen sie zu entsprechen haben, zusammengestellt werden.

Die Querschnitte sind für Niedrigwasser zu berechnen, und es ist die Wirkung der Talsperren im Quellgebiet der Weser zu berücksichtigen. Die maßgebenden Abflusmengen ergeben sich daher aus Spalte 12 der oben mitgeteilten Tafel I (S. 129). Auch die Gefälle sind oben in Tafel II bereits mitgeteilt worden. Die Größe der Querschnittsfläche liegt danach fest, sobald über die mittlere Geschwindigkeit entschieden worden ist. Hierbei sind Rücksichten auf die Ausbildung der Flußsohle und auf die Schifffahrt maßgebend. Die größten mittleren Geschwindigkeiten sind in den Strecken mit starkem Gefälle, also auf den Köpfen vorhanden, die in der Regel besonders widerstandsfähigen Untergrund haben. An diesen Stellen darf die jetzt vorhandene mittlere Geschwindigkeit unbedenklich beibehalten werden, ohne daß eine unbeabsichtigte Auswaschung der Flußsohle zu erwarten wäre, auch wenn das Gefälle verändert wird.

Wo eine Abschwächung der großen Gefälle beabsichtigt ist, soll sie in der Hauptsache durch zwei Mittel erreicht werden, nämlich durch Senkung des Wasserstandes oben auf dem Kopf und durch Heben unten im Pfuhl. Dadurch wird in den Anschlußstrecken das Gefälle und die Geschwindigkeit des Wassers erhöht und es findet ein vermehrter Angriff auf die Sohle statt, die hier in der Regel weniger widerstandsfähig ist als innerhalb der natürlichen Steilstrecke selbst. Die Hebung am unteren Ende ist unbedenklich, weil sie in den meisten Fällen durch den Einbau von Grundschwelen erfolgt, die Sohle also künstlich befestigt wird. Am oberen Ende auf dem Kopf muß dagegen entsprechend

der beabsichtigten Senkung des Wasserspiegels die Sohle vertieft werden, wodurch der schützende Sohlenpanzer aus grobem Geschiebe beseitigt wird. Hier liegt die Gefahr vor, daß der Wasserspiegel weiter absinkt, als beabsichtigt war. Tatsächlich ist auch bei dem oben erwähnten Schattauerschen Ausbau der Weser oberhalb der Diemelmündung vielfach mit dem gelungenen Ausgleich des Gefälles eine recht erhebliche Spiegelsenkung verbunden gewesen. Dies mahnt zur Vorsicht bei den Baggerungen auf den Köpfen und nötigenfalls muß die Sohle nachträglich künstlich befestigt werden. Wenn aber diese Rücksichten gewahrt werden, so ist es unbedenklich, in den Strecken mit dem größten für die einzelnen Flußabschnitte zugelassenen Gefälle die vorhandenen mittleren Geschwindigkeiten beizubehalten.

Sieht man von einigen besonders ungünstigen Strecken ab, so ergibt sich aus einer besonderen Zusammenstellung der Geschwindigkeiten oberhalb der Diemelmündung als zulässige Grenze bei M. Kl. W. 0,74 m/Sek. und zwischen der Diemel- und der Allermündung 0,80 m/Sek. Bei E. M. Kl. W. entspricht diesen Werten oberhalb der Diemelmündung 0,85 m/Sek. und bis zur Allermündung 0,90 m/Sek. Wie durch Rückfragen bei den Schifffahrtsgesellschaften festgestellt worden ist, sind diese Geschwindigkeiten bei Niedrigwasser noch für die Schifffahrt erträglich, während einige Flußstrecken, die bei Niedrigwasser größere Geschwindigkeiten haben, schwer zu befahren sind. Unterhalb der Allermündung empfiehlt es sich, die oben angegebene Geschwindigkeit von 0,70 bis 0,80 m/Sek., bei der anscheinend zur Niedrigwasserzeit der Gleichgewichtszustand in der Geschiebebewegung erreicht wird, nicht zu überschreiten.

Über die Form des Querschnittes läßt sich sagen, daß in den Übergängen und schwachen Krümmungen ein muldenförmiger Querschnitt mit beiderseits gleicher Böschungneigung am natürlichsten ist. In den scharfen Krümmungen ist dagegen auf dem hohlen Ufer die steile und auf dem vorspringenden Ufer die flache Böschung am Platze. In den Ausläufen der Krümmungen muß man allmählich in den symmetrischen Querschnitt übergehen. Die Summe der beiderseitigen Böschungszahlen ist in den geraden Strecken und Krümmungen gleich anzunehmen, sofern das Gefälle gleich ist. Der Teil der Mulde, der unter der Ausbausohle liegt, kann als Parabel angenommen werden, da es sowohl bei der Berechnung des Querschnittes, als auch bei der Beurteilung der Fahrwasserverhältnisse nicht auf die genaue Form, sondern nur auf die Größe dieses Querschnittsteils ankommt. Oberhalb von Minden entspricht eine Parabel von 0,30 m und unterhalb von Minden eine von 0,45 m Pfeilhöhe ungefähr den Beobachtungen in den regelmäßigen Teilen der Versuchsstrecken.

Die Beobachtungen in den Versuchsstrecken sowohl wie die Modellversuche haben gezeigt, daß Bühnen mit flachen Kopfböschungen sehr gleichmäßiges Fahrwasser ergeben und deshalb von Vorteil sind. Allerdings darf man mit Rücksicht auf die Schwierigkeit der Ausführung nicht allzu weit mit der Abflachung gehen. Den Verhältnissen an der Weser entspricht im symmetrischen Querschnitt die flachste Neigung der Bühnenköpfe von 1:10 am besten. Umgekehrt wird man gut tun, die Bühnenköpfe nicht steiler als 1:4 bis 1:5 zu machen, um die Bildung von Kolken nicht allzu sehr zu begünstigen.

Auf den hohlen Ufern der scharfen Krümmungen haben sich die Deckwerke besser bewährt als die Buhnen. Auch beim Deckwerk hat sich die flache Böschung als günstig erwiesen. Allerdings haben die Erfahrungen am Lahder Damme gezeigt, daß sehr flache Deckwerke sehr teuer werden. Nach den Modellversuchen scheint auch die Abflachung über die Neigung 1:3 hinaus das Fahrwasser nicht mehr nennenswert zu beeinflussen. Da diese Neigung nach besonderen Untersuchungen für die Weser auch wirtschaftlich am vorteilhaftesten ist, empfiehlt es sich, sie in der Regel durchzuführen. Auf Übergangsstrecken zum symmetrischen Querschnitt kann es zweckmäßig sein, die Deckwerke bis zur Neigung 1:5, nötigenfalls auch noch mehr, abzuflachen. Steilere Neigungen als 1:3 sind nicht zu empfehlen. Für Parallelwerke gilt dasselbe wie für Deckwerke.

Die Rücken der Buhnen steigen zweckmäßig mit der bisher an der Weser üblichen und oben bereits mitgeteilten Neigung von 1:20 bis 1:60 nach dem Ufer hin an.

Über die zweckmäßigste Höhenlage der Bauwerkskronen haben weder die Beobachtungen in den Versuchsstrecken noch die Modellversuche klaren Aufschluß gegeben. Im allgemeinen läßt sich sagen, daß hohe Einschränkungswerke die Spülkraft des Stromes erhöhen und deshalb unter Umständen für den Bestand der Sohle von Nachteil sein, außerdem auch das Hochwasser in unzulässiger Weise anheben können. Umgekehrt weisen aber einige im Modell beobachtete Tatsachen darauf hin, daß zu niedrige Buhnen eine Verwilderung der Sohle zur Folge haben können. Die Rücksichten auf den Bauvorgang und auf die Schifffahrt lassen gleichfalls zu tief liegende Buhnen als unerwünscht erscheinen. Umgekehrt sind die hoch liegenden Buhnen unter Umständen bei Eisgang stärkerer Zerstörung ausgesetzt.

Bei so vielen einander widerstreitenden Anforderungen gewinnt die Rücksicht auf die gegenwärtig wirklich vorhandene Höhenlage der Bauwerke, auf die Schifffahrt und auf den Bauvorgang entscheidenden Einfluß. Nach dem was oben ausgeführt worden ist, sind die Buhnen bei den älteren Regulierungen etwa 0,25 bis 1 m über das zur Zeit der Ausführung maßgebende Niedrigwasser gelegt worden. Jedoch sind diese Maße keineswegs immer eingehalten worden. Außerdem sind mittlerweile beträchtliche Senkungen des Wasserspiegels eingetreten. Die Folge ist, daß die Buhnen tatsächlich sehr verschieden hoch und in der Mehrzahl höher liegen, als zur Zeit des Baues beabsichtigt war. Nach dem Strominventar liegen sie zwischen 0,26 und 1,9 m über M.Kl.W. Die Hälfte der Buhnen liegt 0,78 m oder weniger über M.Kl.W. In der Höhe von 0,70 bis 1 m drängt sich die Zahl der Buhnen besonders stark zusammen. Höher als 1 m liegen nur 1542 Buhnen = 19,8 vH., tiefer als 0,70 m 2894 Buhnen = 37,2 vH. Zwischen 0,70 und 1 m liegen 43 vH. aller Buhnen. Die tieferen Buhnen gehören zum überwiegenden Teil dem Wasserbauamt Cassel, die höheren den Wasserbauämtern Minden, Hoya und Verden und dem Wasserbauamtbezirk Höxter an. Will man den gegenwärtigen Zustand des Ausbaues als entscheidend ansehen, so liegt demnach die richtige Buhnenhöhe zwischen 0,70 und 1 m. Mit Rücksicht auf die Schifffahrt und auf die Bauausführung ist innerhalb dieses Höhenabschnittes die Lage so zu wählen, daß die Buhnenkronen auf der ganzen Weser während der

Schifffahrt- und Bauzeiten im langjährigen Durchschnitt eine gleiche Zahl von Tagen frei liegen. Wenn auch die Bauzeit häufig bis in den November hinein andauert, können die Wasserstandsdauerzahlen für den Sommer des Abflußjahres für einen allgemeinen Überblick als maßgebend gelten. Setzt man voraus, daß im langjährigen Durchschnitt unter 1000 Sommertagen mindestens 700, d. i. in einem Sommer 129 Bautage sein sollen, an denen die Kronen der Bauwerke über Wasser bleiben, so muß man die Kronen oberhalb Minden rd. 0,8 m, zwischen Minden und der Allermündung 0,9 m und unterhalb der Allermündung 1 m über M.Kl.W. legen. Dem E.M.Kl.W. entsprechen die Höhenzahlen:

Flußabschnitt	I	0,45 m,
"	II	0,45 "
"	III	0,50 "
"	IV	0,55 "
"	V	0,55 "
"	VI	0,75 "
"	VII	0,75 "
"	VIII	0,95 "

Wollte man die Zahl der Bautage nennenswert vergrößern, so müßte man die Kronen mindestens um 0,25 bis 0,5 m höher annehmen. Das würde aber eine beträchtliche Hebung gegen den jetzigen Zustand bedeuten, die nicht empfohlen werden kann.

Die Sohlenbreite des Fahrwassers schwankt in den Versuchsstrecken mit dem Gefälle und mit dem mehr oder minder guten Zustande des Ausbaues. Die geringsten Breiten liegen, abgesehen von einigen sehr ungünstigen Strecken, nach Tafel III (S. 263) im allgemeinen etwa zwischen 25 und 30 m. Den Ansprüchen der Schifffahrt wird genügt, wenn oberhalb Minden eine Breite von mindestens 25 m und unterhalb Minden von mindestens 30 m angenommen wird.

Die Leistungsfähigkeit der Fahrrinne hängt vom Zustand der ungünstigsten Strecke ab. In der Regel wird diese da zu suchen sein, wo das größte Gefälle herrscht. Läßt sich das angestrebte Ziel wie bei der Weser nur dadurch erreichen, daß man bis an die Grenze der Leistungsfähigkeit des Flusses geht, so ist es nötig, bei der Berechnung in jedem Flußabschnitt von der Strecke mit dem größten Gefälle auszugehen. Um in dieser Strecke eine möglichst große Tiefe zu erreichen, muß man die mittlere Geschwindigkeit so groß wählen, wie es mit Rücksicht auf den Bestand der Sohle und auf die Schleppwiderstände bei der Schifffahrt eben noch zulässig ist. Die mittlere Geschwindigkeit ist also gegeben, und ebenso ist die Grenze bekannt, bis zu der die Breite der Sohle eingeschränkt werden darf. Da außerdem die Abflußmenge, das Gefälle und die Beziehung zwischen mittlerer Tiefe, Gefälle und mittlerer Geschwindigkeit bekannt sind, so kann man die Größe des Querschnittes und die mittlere Tiefe berechnen. Damit ist auch die Spiegelbreite festgelegt. Es kommt nunmehr darauf an, unter allen möglichen Querschnitten mit gegebenem Flächeninhalt und gegebener Spiegelbreite denjenigen zu finden, der für die Schifffahrt am günstigsten ist. Querschnitte, bei denen die Böschungen nach der Sohle zu steiler werden, scheiden aus, weil durch die steilen Böschungen die Angriffe am Fuß der Bauwerke vermehrt werden. Eine einfache Überlegung zeigt, daß unter diesen Umständen ein Querschnitt mit geraden, möglichst flachen Seitenböschungen, der gerade noch die zulässige

Sohlenbreite b_0 besitzt, die größte Fahrwassertiefe ergibt. Jeder Querschnitt mit steileren Böschungen liefert zwar größere Sohlenbreite, aber geringere Tiefe, jeder Querschnitt mit flacheren Böschungen dagegen zwar größere Tiefe, aber geringere Sohlenbreite. Solange die Böschungen nicht zu flach werden, ist daher die geradlinige Seitenbegrenzung am Platze. Erhält man aber auf diesem Wege so flache Kopfböschungen, daß die Bühnen sehr teuer würden, so kann es vorteilhafter sein, etwas steilere Köpfe mit ganz flachen Vorlagen unter Wasser zu wählen.

Die Querschnitte für die Strecken mit schwächerem Gefälle lassen sich aus den Querschnitten für die steileren Strecken auf zwei grundsätzlich verschiedenen Wegen ableiten, und zwar entweder durch Vergrößerung der Breite unter Beibehaltung der Böschungen, oder durch steilere Ausbildung der Böschungen unter Beibehaltung der Sohlenbreite. Auch der Mittelweg zwischen diesen beiden Grenzfällen ist gangbar. Auf dem ersten Wege erhält man bei verschiedenen Gefällen gleiche Kopfböschungen, es ergeben sich aber sehr stark schwankende Spiegelbreiten, die stellenweise wesentlich größer ausfallen, als sie jetzt an der Weser sind. Es würden also vielfach Bauwerke und Uferländereien abgetragen werden müssen. Außerdem würde die gleiche Kopfböschung, die für den Bau und die Unterhaltung zweifellos Vorteile bietet, nur in sehr beschränktem Umfang durchgeführt werden können, weil bei dem Übergang zu den steilen Deckwerken in den Krümmungen ein Wechsel in der Kopfneigung unvermeidlich ist. Behält man dagegen die Breite zwischen den Streichlinien bei und macht die Böschungen in den Strecken mit schwachem Gefälle steiler, so lassen sich die neuen Querschnitte den bestehenden Verhältnissen an der Weser im allgemeinen gut anpassen. Bei der Berechnung der Ausbauquerschnitte ist deshalb in den einzelnen Flußabschnitten gleiche Breite zwischen den Streichlinien angenommen worden. Geht man hiervon aus, so kann man entweder in den Strecken mit schwachem Gefälle dieselben Fahrwassertiefen annehmen, oder größere als in den steilsten Strecken. Auf dem ersten Weg schränkt man weniger ein und bekommt etwas geringere Geschwindigkeiten als auf dem zweiten. Dagegen haben bei diesem die Schiffe in den flachen Strecken mehr Wasser unter dem Boden. Bei der endgültigen Berechnung der Ausbauquerschnitte wurde der erste Weg so lange eingeschlagen, als sich Sohlenbreiten unter 30 m ergaben, bei schwächeren Gefällen aber wurde die Vergrößerung des Ausbauquerschnittes sowohl durch Verbreiterung der Sohle als auch durch Vergrößerung der Tiefe vorgenommen, es sei denn, daß örtliche Verhältnisse eine Ausnahme erforderten (vgl. Spalte 9 Tafel IV, S. 283).

Nach den in Taf. III, S. 263 mitgeteilten Abmessungen und Abbildungen der gemittelten Querschnitte in den Versuchstrecken kann angenommen werden, daß ohne erhebliche Verschärfung des bestehenden Ausbaues die nachstehenden Fahrwassertiefen bei E.M.Kl.W. in genügender Breite erreicht werden können:

Oberhalb der Diemelmündung	1,10 m,
zwischen der Diemelmündung und Minden	1,25 "
zwischen Minden und der Auemündung	1,41 "
zwischen der Auemündung und der Allermündung	1,52 "
unterhalb der Allermündung	1,55 "

Diese Tiefen wurden der ersten Berechnung zugrunde gelegt. Jedoch war hiermit den wirtschaftlichen Anforderungen, wie sie nach Fertigstellung des Rhein-Hannover-Kanals zu erwarten waren, nicht in vollem Maße entsprochen worden. Vor allen Dingen war es erwünscht, bis zur Abzweigung des Kanals bei Minden eine Mindesttiefe von 1,50 m zu schaffen. Nächste der Abzweigung des Kanals bei Minden ist Hameln der wichtigste Verkehrspunkt an der oberen Weser. Vom wirtschaftlichen Standpunkte war es erwünscht, auch bis zu dieser Stadt die Fahrtiefe möglichst zu erhöhen. Daß das erstrebte Ziel bis Minden aufwärts unter Anwendung besonderer Ausbaumittel zu erreichen sei, war bereits in der ursprünglichen Ausarbeitung gezeigt worden. Der endgültigen Berechnung der Ausbauquerschnitte sind die folgenden Mindesttiefen des Fahrwassers zugrunde gelegt worden:

Oberhalb der Diemelmündung	1,10 m,
Diemelmündung — Hameln	1,25 "
Hameln — Werremündung	1,35 "
Werremündung — Minden	1,50 "
bei Minden, Km 201,25 bis 207,20	1,40 "
Minden — Auemündung	1,50 "
Auemündung — Allermündung	1,60 "
unterhalb der Allermündung	1,60 "

Im wesentlichen sind diese größeren Tiefen durch die oben bereits erwähnte stärkere Ausgleichung des Gefälles erreicht worden. Die oben bezeichneten Grenzgesehwindigkeiten werden nur auf der Strecke von Hameln bis zur Werremündung überschritten, wo sie bis auf 0,98 m/Sek. bei E.M.Kl.W. steigen, und bei Minden, wo 1,01 m/Sek. erreicht wird. Nötigenfalls wird man die Sohle künstlich befestigen müssen. Allerdings handelt es sich hier um Strecken, in denen auch jetzt schon die Grenzgesehwindigkeiten überschritten werden.

Ungewöhnliche Verhältnisse liegen auf der Weserstrecke bei Minden von Km 201,25 bis 207,20 vor. Wie die oben S. 132 mitgeteilten Gefällzahlen erkennen lassen, ist innerhalb dieser Strecke ein kurzes Stück mit außerordentlich starkem Gefälle, ferner liegt bei Km 204,55 die Entnahmestelle für den Mittellandkanal und außerdem befinden sich in der Strecke zwei Hafeneinfahrten, der Aufstieg zum Kanal und Ladeufer am freien Strom. Es häufen sich also an dieser Stelle drei verschiedene ungünstige Umstände, großes Gefälle, Verringerung der Abflußmenge und starker Andrang der Schiffe. Ein Ausgleich ist nur durch ungewöhnliche Mittel zu schaffen, die aus dem Rahmen der regelmäßigen Ausbauquerschnitte heraustreten. Bei durchweg großem Gefälle mußte ausreichende Fahrtiefe in einer dem starken Andrang der Schiffe entsprechend vergrößerten Sohlenbreite geschaffen werden. Das Ziel wurde durch Einschränkung der Breite zwischen den Streichlinien von 66 auf 60 m und oberhalb der Abzweigung des Kanals durch Verringerung der Tiefe bis auf 1,40 m und durch Erhöhung der Geschwindigkeit in der Steilstrecke bis auf 1,01 m/Sek. erreicht. Die Verringerung der Tiefe ist unbedenklich, weil bis zum nächsten wichtigen Verkehrspunkt Hameln doch nur eine Tiefe von 1,35 m erreicht wird.

Um die Bearbeitung der Einzelentwürfe zu vereinfachen sind für jeden Flußabschnitt Hilfstafeln aufgestellt worden, aus denen für jedes beliebige Gefälle die für die Bauausführung wichtigen Abmessungen der Ausbauquerschnitte ent-

Tafel IV. Hilfstafeln für die Bestimmung der Ausbauquerschnitte der Weser von Münden bis Bremen.

Num- mer	Flußabschnitt nähere Bezeichnung	Abfluß- menge bei E. M. Kl. W. (Q_2) cm/Sek.	Breite zwischen den Streich- linien (B_0) m	Höhe der Kronen über E. M. Kl. W. (H_2) m	Kopf- neigung der Bauwerke (1:x)	Fallhöhe auf 10000 m		Wasser- tiefe (T_2) m	Sohlen- breite (b) m
						von einschl. m	bis ausschl. m		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	Münden — Diemel­mündung Km 0 — 44,75	40	56,0	0,45	1:9	5,0	4,7	1,10	28,10
					1:8,5	4,7	4,4	1,10	29,65
					1:8	4,4	4,0	1,10	31,20
					1:8	4,0	3,6	1,15	30,40
					1:7,5	3,6	3,3	1,15	32,00
					1:7	3,3	3,0	1,15	33,60
					1:6,5	3,0	2,7	1,15	35,20
					1:6	2,7	2,5	1,20	36,20
II	Diemel­mündung — Nethem­mündung Km 44,75 — 63,86	45	52,5	0,45	1:5,5	2,5	2,2	1,20	37,85
					1:8	5,0	4,7	1,25	25,30
					1:7,5	4,7	4,4	1,25	27,00
					1:7	4,4	4,0	1,25	28,70
					1:6,5	4,0	3,6	1,25	29,75
					1:6	3,6	3,3	1,25	32,10
					1:6	3,3	3,0	1,30	31,50
					1:5,5	3,0	2,7	1,30	33,25
					1:5	2,7	2,5	1,30	35,00
					1:4,5	2,5	2,2	1,30	36,75
					1:5	2,5	2,2	1,35	34,50
					1:5	2,2	2,0	1,40	34,00
III	Nethem­mündung — Emmer­mündung Km 63,86 — 128,00	51	63,5	0,50	1:4,5	2,2	2,0	1,35	36,30
					1:5	2,0	1,8	1,45	33,50
					1:10	5,0	4,7	1,25	28,50
					1:9,5	4,7	4,4	1,25	30,25
					1:9	4,4	4,0	1,25	32,00
					1:8,5	4,0	3,6	1,25	33,75
					1:8	3,6	3,3	1,25	35,50
					1:8	3,3	3,0	1,30	34,70
					1:8	3,0	2,8	1,35	33,90
					1:7,5	2,8	2,6	1,35	35,75
					1:7	2,6	2,3	1,35	37,60
					1:6,5	2,3	2,2	1,35	39,45
IV	Von Hameln bis zur Werrem­mündung Km 135,33 — 190,15	60	60,0	0,55	1:6,5	2,2	2,0	1,40	38,80
					1:6	2,2	2,0	1,35	41,30
					1:6,5	2,0	1,8	1,45	38,15
					1:7,5	5,0	4,5	1,35	31,50
					1:7	4,5	4,1	1,35	33,40
					1:6,5	4,1	3,75	1,35	35,30
					1:6,5	3,75	3,3	1,40	34,65
					1:6	3,3	3,1	1,40	36,60
					1:5,5	3,1	2,85	1,40	38,55
					1:5	2,85	2,65	1,40	40,50
					1:5	2,65	2,4	1,45	40,00
					1:5	2,4	2,2	1,50	39,50
V	Werrem­mündung bis oberhalb Minden Km 190,15 — 201,25	67	66,0	0,55	1:5	2,2	2,05	1,55	39,00
					1:8	3,9	3,65	1,50	38,20
					1:8	3,65	3,25	1,55	32,40
					1:7,5	3,25	3,0	1,55	34,50
Va	bei Minden Km 201,25 — 203,8 " 203,8 — 205,95 " 295,95 — 207,2	67 60 60	60,0 60,0 60,0	0,55 0,55 0,55	1:7	3,0	2,8	1,55	36,60
					1:7	2,8	2,5	1,60	35,90
					1:7	4,784	—	1,45	32,00
VI	Minden — Auem­mündung Km 207,2 — 264,1	60	66,0	0,75	1:5,5	3,0	—	1,50	31,87
					1:8	3,3	2,9	1,50	30,00
					1:7,5	2,9	2,7	1,50	32,25
VIIa	Auem­mündung — Hoya Km 264,1 — 298,0	66	66,0	0,75	1:7,5	2,7	2,4	1,55	31,50
					1:7,5	2,7	2,4	1,55	31,50
					1:7	2,4	2,1	1,55	33,80
					1:6,5	2,1	2,0	1,55	36,10
					1:6,5	2,0	1,7	1,60	35,45
					1:7	2,5	2,35	1,60	33,10
					1:7	2,35	2,15	1,65	32,40
					1:6,5	2,15	1,85	1,65	34,80
VIIb	Hoya — Allerm­mündung Km 298,0 — 326,3	60	66,0	0,75	1:6	1,85	1,75	1,65	37,20
					1:6	1,75	1,60	1,70	36,60
					1:5,5	1,60	1,45	1,70	39,05
					1:5	1,45	1,30	1,70	41,50
					1:7,5	2,35	2,0	1,60	30,75
VIII	Allerm­mündung bis Stau des Heme- linger Wehres Km 326,3 — 351,7	100	100,0	0,95	1:7	2,0	1,8	1,65	32,40
					1:7	1,8	1,6	1,70	31,70
					1:8	1,9	1,8	1,60	59,20
					1:7,5	1,8	1,7	1,60	61,75

nommen werden können. Die Hilfstafeln werden in der nebenstehenden Zusammenstellung IV mitgeteilt. Die Kopfnegungen gelten für den symmetrischen Querschnitt. In den unsymmetrischen Querschnitten ist die Summe der beiderseitigen Kopfböschungen die gleiche wie im symmetrischen Querschnitt.

Die allgemeinen Entwürfe für den erweiterten Ausbau der Weser.

Als die Denkschrift über die Normalprofile der Weser abgeschlossen war, hatten die Arbeiten am Kanal vom Rhein nach Hannover schon begonnen. Es war daher mit Sicherheit darauf zu rechnen, daß die Ansprüche der Schifffahrt an das Fahrwasser der Weser in kurzer Zeit erheblich wachsen würden. Aber schon lange vor der Fertigstellung des Kanals machte sich eine erhebliche Zunahme der Größe der Weserkähne bemerkbar, die einerseits in der steten Verbesserung des Fahrwassers der Weser infolge der Nachregulierungen und andererseits in dem scharfen Wettbewerb ihren Grund hatte. Während um 1900 die größten Schleppkähne nicht mehr als 450 t faßten, bestand die Oberweserflotte 1911 aus

96	Fahrzeugen	von 250 bis 450 t,
106	„	„ 450 „ 650 „
und 15	„	„ über 650 „

Tragfähigkeit. Von den letzteren waren allein im Jahre 1909 11 Stück gebaut worden. Um diesen steigenden Ansprüchen der Schifffahrt gerecht zu werden, mußte der erweiterte Ausbau der Weser ungesäumt eingeleitet werden. Die zweckmäßigen Abmessungen der Querschnitte und die Gestaltung des Längenschnittes waren durch die Denkschrift der Weserstrombauverwaltung im wesentlichen festgelegt worden. Die nächste Aufgabe war, durch allgemeine Entwürfe die Kosten des erweiterten Ausbaues festzustellen. Gleichzeitig, teilweise auch noch vor Fertigstellung der Denkschrift, wurden aber schon Versuchsbauten eingeleitet.

Im Verlaufe der Bearbeitung der Vorentwürfe wurden verschiedene Änderungen an den Ausbauquerschnitten und am Längenschnitt als nötig befunden, bis endlich die oben beschriebenen Ergebnisse erzielt wurden. Daneben waren noch verschiedene andere grundsätzliche Fragen zu lösen, namentlich über die Ausbildung des Grundrisses, die Art der Bauwerke und die anzuwendende Bauweise.

Der Lauf der Weser ist sehr stark gewunden. Krümmungen von 300 m Halbmesser sind nicht selten, und stellenweise geht der Halbmesser sogar unter 200 m herunter. Derart scharfe Krümmungen sind für die Schifffahrt nicht gerade günstig. Trotzdem wäre es ein schwerer Fehler, wenn man die scharfen Windungen durch Durchstiche abschneiden wollte. Die Schifffahrt würde hierdurch nur Nachteile erleiden, nicht nur, weil in dem übergroßen Gefälle kein ausreichendes Fahrwasser zu gewinnen wäre, sondern auch, weil mindestens auf der unteren Weser die Gefahr bestünde, daß wandernde Geschiebepänke auftreten, die auf den Unterläufen anderer norddeutscher Ströme nicht nur die Schifffahrt belästigen, sondern auch den Eisgang erschweren. Durchstiche sind an der Weser nur in Verbindung mit Wehren und Schleusen anwendbar, wie z. B. bei Dörverden. Ob im Laufe späterer Zeiten noch weitere Durchstiche angelegt werden, etwa bei Lüchtringen zwischen Km 74 und 79, mag dahin-

gestellt bleiben. Jedenfalls wird man aber zu derartigen Lösungen nur dann kommen, wenn neben der Schifffahrt überwiegende andere Bedürfnisse zu befriedigen sind, wie es auch bei Dörverden der Fall war. Der geschlängelte Lauf der Weser, wie er auf Abb. 3 Bl. 12 dargestellt ist, ist also im wesentlichen als gegeben hinzunehmen. Dagegen ist es zweckmäßig, wenn allzu scharfe Krümmungen abgeflacht werden. Bei der Bearbeitung der allgemeinen Entwürfe wurde der Halbkreis von 200 m als schärfste Krümmung durchgeführt. Sehr wesentlich ist es, daß nirgends ein plötzlicher Übergang von einem Krümmungshalbmesser zum anderen stattfindet. In sehr einfacher Weise wird das erreicht, wenn man die Streichlinien mit Hilfe von Schwungrutten in die Baupläne einträgt, ein Verfahren, das im Bezirk des Wasserbauamts Hoya, in dem besonders viele scharfe Krümmungen vorkommen, schon lange angewandt worden ist. Bei den allgemeinen Entwürfen ist es allerdings vorteilhaft, mit Kreisbögen zu arbeiten, um die Linien leichter in andere Pläne übertragen zu können.

Damit sich in den scharfen Krümmungen die Schiffe besser begegnen können, ist eine Verbreiterung der Sohle auf den Strecken der Wasserbauämter Cassel-Hannover und Hameln (Km 0 bis 141,60) vorgesehen, die bei

250 m Halbmesser	4 m
300 „	„	3 „
350 „	„	2 „
400 „	„	1 „
450 „ und darüber	0 „

beträgt. Ob und inwieweit Verbreiterungen der Sohle auch in den unteren Strecken angezeigt sind, wird bei Aufstellung der Sonderentwürfe von Fall zu Fall besonders geprüft. An geeigneten Orten werden Wendestellen mit 65 m Sohlenbreite und dreifachen Uferböschungen angelegt.

Die Ausbauquerschnitte haben für die einzelnen Flußabschnitte unveränderliche Breiten zwischen den Streichlinien. Sollte ausnahmsweise auf Übergängen die nötige Fahrtiefe in der geringsten zulässigen Breite nicht erreicht werden, so besteht noch die Möglichkeit, durch Verringerung der Spiegelbreite in Strecken mit schwachem Gefälle, oder durch die Wahl von steileren Kopfböschungen in Strecken mit starkem Gefälle die Spülkraft des Stromes zu erhöhen. Freilich wird dann die früher angegebene Geschwindigkeitsgrenze überschritten. Ob dies tatsächlich an irgendeiner Stelle nötig ist, wird der Erfolg lehren. Im übrigen wird man an solchen Stellen, die infolge günstiger Umstände das erforderliche Fahrwasser bei größerer Breite zwischen den Streichlinien als der rechnermäßigen besitzen, zunächst nur das eine Ufer ausbauen. Grundsätzlich wird so in den scharfen Krümmungen vorgegangen, in denen vorerst nur das hohle Ufer ausgebaut wird.

In schwach gekrümmten Strecken und auf den Übergängen ist in der Regel die Buhne vorgesehen. In den scharfen Krümmungen ist das Deckwerk günstiger und soll auch vorwiegend angewandt werden. Außer dem Deckwerk sind aber auch Buhnen vorhanden und können in geeigneten Fällen beibehalten werden. Wo es an Boden zur Hinterfüllung fehlt, sollen an Stelle der Deckwerke Parallelwerke angewandt werden. Auch hat man in scharfen Krümmungen mit großen Übertiefen den Versuch gemacht, die Bühnenfelder

statt durch Deck- oder Parallelwerke durch Unterwasserleitwerke zu schließen, um an Kosten und bei etwaigem Kiesmangel an Kiesmassen zu sparen. Die Krone dieser ganz aus Schüttsteinen herzustellenden Leitwerke liegt in Höhe der Ausbausohle. Große Tiefen im Ausbaquerschnitt werden durch Grundswellen verbaut, nur selten verfüllt. Die Grundswellen werden sehr eng gelegt, im allgemeinen 12,5 m von Mitte zu Mitte.

Die Böschungen der Bauwerke sind oben bereits mitgeteilt worden. Die wichtigsten sonstigen Abmessungen ergeben sich aus Text-Abb. 9 bis 11. Über die richtige Höhenlage der Grundswellen bestanden anfangs erhebliche Zweifel. Ursprünglich war vorgesehen, sie oberhalb Minden 0,20 m und

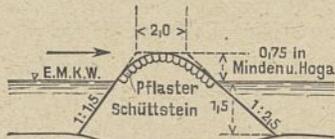


Abb. 9. Querschnitt einer Buhne.

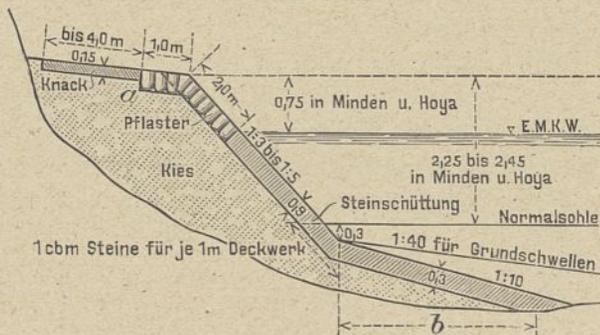


Abb. 10. Deckwerk.

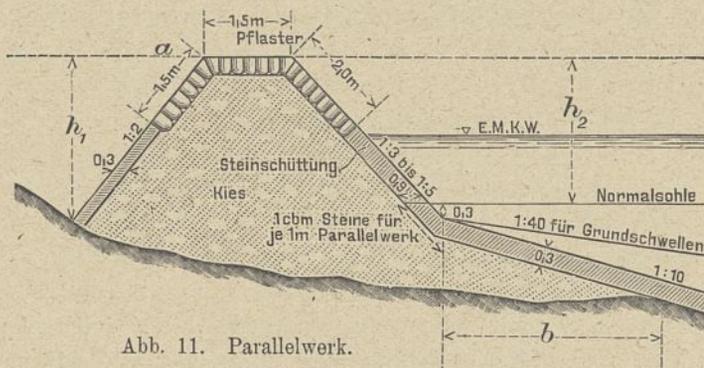


Abb. 11. Parallelwerk.

unterhalb Minden 0,30 m tief unter der Ausbausohle mit wagerechtem Rücken zu verlegen. Da man aber befürchtete, daß bei dieser Anordnung einzelne losgerissene Steine ins Fahrwasser hereinragen könnten, sah man vor, den Rücken der Grundswellen mit einer Neigung 1:40 nach der Mitte des Stromes abfallen zu lassen. Durch die Neigung sollte gleichzeitig in den Krümmungen der Stromstrich mit größerer Sicherheit vom Ufer abgedrängt werden. Wo es auf eine Hebung des Wasserspiegels ankommt, ist man bei der Ausarbeitung von Sonderentwürfen zu einer flacheren Neigung der Rücken übergegangen, wie aus Abb. 5 Bl. 17 zu ersehen ist. Damit dürfte wohl eine zweckmäßige Lösung gefunden worden sein. Der Fuß der Deckwerke wird durch eine zehnfüßige Vorschüttung gesichert.

Auf der oberen Weser herrschte schon seit langer Zeit der Steinbau vor. In den unteren Wasserbauämtern Hoya und Verden war aber vielfach noch der Packwerk- und Faschinenbau üblich. Seit 1904 ist man auf Grund ein-

gehender Untersuchungen, durch die die Wirtschaftlichkeit des Steinbaues nachgewiesen worden war, auch in den unteren Bezirken zu diesem übergegangen. Vor allen Dingen hat man angefangen, die Deckwerke aus Packwerk, die im Wasserbauamt Hoya in großem Umfang vorhanden waren und regelmäßig im Verlaufe von 12 Jahren vollständig erneuert werden mußten, auf dem Wege der Unterhaltung allmählich durch Deckwerke der in Abb. 10 dargestellten Art zu ersetzen. In den allgemeinen Entwürfen für den erweiterten Ausbau sind nur noch Bauwerke aus Kies und Steinen vorgesehen. Für die Deckwerke ist die vorgenannte bewährte Bauweise beibehalten. Die Bauart der Parallelwerke ist eine ähnliche wie die der Deckwerke. Die Buhnen und Grundswellen bestehen, da nach Erbauung der Deck- und Parallelwerke für den Kern geeigneter Kies nur selten zur Verfügung steht, fast durchweg aus Schüttsteinen. Die Kronen und die über Wasser liegenden Teile der Böschungen aller Bauwerke werden abgepflastert. Die Oberflächen der Grundswellen werden in den Strecken, in welchen eine Hebung des Wasserspiegels erzielt werden soll und deshalb eine hohe und feste Lage ihrer Rücken erforderlich ist, unter Zuhilfenahme eines Taucherschachts sorgfältig gepackt. Nur im Wasserbauamt Verden ist man mit Rücksicht auf die große Beweglichkeit des sandigen Untergrundes bei den Einzelentwürfen wieder dazu übergegangen, teilweise Packwerk und Faschinen zu verwenden. Hier besteht der Kern der Buhnen aus Packwerk mit einer 0,3 m starken Steinschüttung. Die Köpfe werden aus Senkfaschinen hergestellt, die mit einer mindestens 0,4 m starken Steinschicht überdeckt werden. Die Kronen und Böschungen über Wasser werden wie in den anderen Bezirken gepflastert. Bei den Deckwerken wird die Kiesschüttung zum Schutz gegen Ausspülung mit einer 0,15 m starken Strauchmatte abgedeckt. Darüber kommen Schüttsteine und Pflaster wie in den anderen Bezirken.

Die Kosten des erweiterten Ausbaues.

Die Kosten, die der erweiterte Ausbau verursachen wird, sind in den Jahren 1910 bis 1913 veranschlagt worden. Die Preise entsprechen daher nicht mehr der Gegenwart. Trotzdem dürfte der nachstehende Überblick über die Gesamtkosten nicht ohne Wert sein.

Stromstrecke	Länge km	Kosten				für 1 km Strom- länge
		Preußen M	Braun- schweig M	Lippe M	Gesamt M	
0 — 44,86	44,86	625 000	—	—	625 000	14 000
44,86—141,62	96,76	2 400 000	455 000	—	2 855 000	29 500
141,62—201,00	59,98*)	2 350 000	—	200 000	2 550 000	42 500
201,00—326,30	125,30	3 160 000	—	—	3 160 000	25 200
326,30—351,70	25,40	1 070 000	625 000	—	1 695 000	66 700
	351,70	9 605 000	1 080 000	200 000	10 885 000	30 900

*) einschl. einer Fehlstation von 600 m Länge.

Die Verschiedenheit der Kosten für 1 km auf den einzelnen Strecken ist hauptsächlich in der geringeren oder größeren Länge der geplanten Deckwerke begründet, da der Ausbau durch Deckwerke weit höhere Kosten verursacht als durch Buhnen.

Der Ausbau der Latferder Klippen.

Die allgemeinen Entwürfe für den erweiterten Ausbau der Weser sind die Unterlage für die genauen Einzelentwürfe, nach denen die Strombauten auszuführen sind. Ein Einzelentwurf, der die Eigenart der Aufgaben, die an der Weser vorliegen, gut erkennen läßt, ist der auf Abb. 4 bis 7 Bl. 17 dargestellte Entwurf für den Ausbau der Latferder Klippen. Die Latferder Klippen werden durch eine Bank aus Kalkfelsen gebildet, die zwischen Km 123,25 und 123,82 das Weserbett durchquert. Sie haben von jeher die an der Weser tätigen Wasserbauer beschäftigt. Näheres über die früheren Ausbauprobungen ist im Weserwerk Bd. 3, S. 213 bis 215 enthalten. Der erreichte Zustand genügt aber keineswegs den stets wachsenden Anforderungen der Schifffahrt. Es wirkt eine ganze Reihe verschiedener Umstände ungünstig zusammen. Vor allen Dingen ist das Gefälle auf den Klippen außerordentlich groß. Bei dem Niedrigwasser vom Sommer 1911 wurden 15,6/10 000 beobachtet. Dementsprechend groß sind die Strömungsgeschwindigkeiten. Am 10. Oktober 1912 wurden bei einem Wasserstande von + 1,60 m a. P. Grohnde, d. i. 0,32 m über dem E.M. Kl. W., 1,34 m/Sek. gemessen, während in den Nachbarstrecken nur 0,94 m/Sek. festgestellt wurden. Die Folge ist, daß die Schleppdampfer nur mit einem Anhang zu Berg fahren können und die Schleppzüge zerlegt werden müssen. Außerdem ist die Sohle wesentlich flacher, als in den Nachbarstrecken. Ferner liegt das Fahrwasser zu scharf am rechten Ufer und ist so schmal, daß schon bei mittlerem Sommerwasser sich zwei Schleppzüge nicht begegnen können. Zu allen diesen Umständen kommt noch hinzu, daß die Latferder Klippen zu den wenigen Strecken an der Weser gehören, in

denen der Stromstrich bei Hochwasser stark von dem bei Niedrigwasser abweicht. Infolgedessen verliert das Fahrwasser auf dem linken ausbuchtenden Ufer nach jedem Hochwasser. Diese Verschiedenheit in der Strömungsrichtung kommt dadurch zustande, daß das linke vorspringende Ufer sehr hoch, das rechte hohle Ufer dagegen außergewöhnlich niedrig liegt.

Durch Verbanen der großen Tiefen und Einschränkung der Überbreiten unterhalb der Klippen, durch Felssprengungen und Abgrabung des linken Ufers auf den Klippen selbst und durch entsprechenden Ausbau oberhalb soll das Gefälle auf 5/10 000 ermäßigt und das Fahrwasser vertieft und verbreitert werden. Die wichtigsten Einzelheiten sind aus den Abb. 4 bis 7 auf Bl. 17 zu ersehen. Im Entwurf sind noch die Ausbauperschnitte der Denkschrift vom 20. August 1907 vorgesehen, während die endgültig angenommenen und oben mitgeteilten Querschnitte eine etwas größere Einschränkung ergeben.

Die Kosten sind im Jahre 1912 mit 347 000 Mark veranschlagt worden. Der Ausbau ist vor dem Kriege angefangen und im Kriege weitergeführt worden, soweit es die Verhältnisse zuließen.

Erfahrungen beim erweiterten Ausbau der Weser.

Schon vor Abschluß der Denkschrift vom August 1907 waren verschiedene Versuchsbauten, bei denen die neuen Grundsätze zum Teil schon beachtet worden sind, angefangen worden. Soweit diese Bauten in die Versuchsstrecken fielen, ist oben bereits über die Erfolge berichtet worden. Einige kurze Angaben über neuere Versuchsbauten, die für das Vorgehen an der Weser von besonderer Bedeutung sind, mögen hier folgen. Allerdings liegt bisher noch kein abgeschlossener

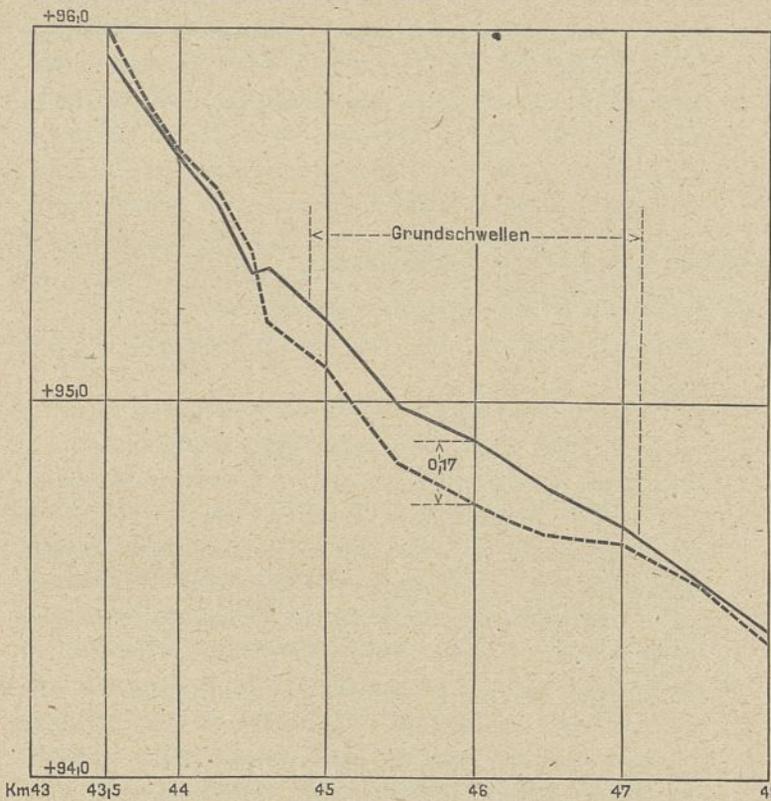


Abb. 12. Weserstrecke von Km 43,5 bis 48,0.

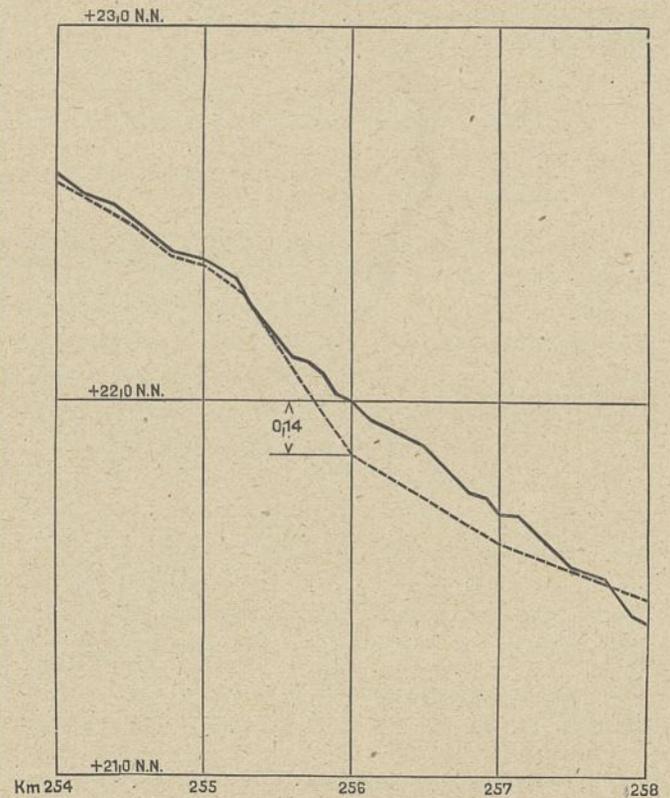


Abb. 13. Weserstrecke von Km 254 bis 258.

Hebung des Niedrigwassers durch Grundswellen.

----- E.M. Kl. W. 1904 vor dem Bau,
 ————— E.M. Kl. W. 1913 nach „ „

----- E.M. Kl. W. 1904 vor dem Bau,
 ————— E.M. Kl. W. 1917 nach „ „

Bau vor, bei dem die endgültig angenommenen Ausbauquerschnitte vollkommen durchgeführt worden sind.

Eine besonders wichtige und schwierige Aufgabe ist an der Weser der Ausbau der scharfen Krümmungen. Durch Beseitigung jedes plötzlichen Wechsels in der Krümmung und durch Verbauen von Bühnenfeldern ist in den letzten Jahren manche früher schlechte Krümmung ausgebaut worden. Der Erfolg ist dem aufmerksamen Beobachter schon bei einer einfachen Strombefahrung erkennbar. Während früher an vielen Stellen die der Schifffahrt gefährlichen Wirbel in den Bühnenkolken an starken Wallungen der Wasseroberfläche zu erkennen waren, ist hiervon jetzt nicht mehr viel zu sehen.

Ausbau unterhalb Karlshafens, Km 43,5 bis 48, und bei den Liebenauer Steinen, Km 254 bis 258. Als Beispiel dafür, daß sich der Wasserspiegel durch zweckmäßig angelegte Grundschwelen heben läßt, sind in Text-Abb. 12 u. 13 die Längenschnitte von zwei Strecken angeführt, die in den letzten Jahren ausgebaut worden sind. In der einen Strecke, die die zwischen Km 255 und 256 liegenden Liebenauer Steine enthält, ist das E.M.Kl.W. um 0,14 m, in der anderen um 0,17 m gehoben worden. Bei den Liebenauer Steinen liegen zwischen der Beendigung des Ausbaues und der neuen Spiegelaufnahme 7 Jahre. Man darf daher sagen, daß die Hebung tatsächlich dauernd gelungen ist.

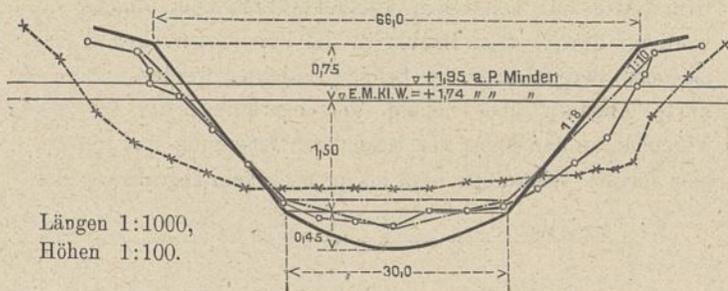


Abb. 14. Querschnitt bei Km 208,212.

- x--- Aufnahme von 1904 vor dem Ausbau.
- o--- „ „ 1908 nach „ „
- ursprüngl. angenommener Ausbauquerschnitt.
- neuer Ausbauquerschnitt.

Ausbau zwischen Km 207,7 und 213,6. Über den Ausbau einer nahezu geraden Strecke durch einfache Einschränkung geben die Bauten Aufschluß, die oberhalb der Versuchsstrecke VIII, Km 211 bis 214, im Anschluß an die oben bereits beschriebenen Arbeiten durchgeführt worden sind. Man hat allmählich die ganze Strecke von Km 207,7 bis 213,6, also nahezu 6 km, nach einem einheitlichen Querschnitt ausgebaut. Wie die Text-Abb. 14 zeigt, würde die Einschränkung nach dem endgültig angenommenen Ausbauquerschnitt noch etwas schärfer ausfallen. Es ist wohl in erster Linie hierauf zurückzuführen, daß das beabsichtigte Ziel, 30 m Sohlenbreite bei 1,50 m Tiefe unter E.M.Kl.W., noch nicht ganz erreicht ist. Wenn man den Fluß bis ans äußerste Ende seiner Leistungsfähigkeit beansprucht, muß man offenbar auch im Ausbau die größte Schärfe walten lassen.

Richtlinien für den Ausbau der Ströme auf Niedrigwasser.

Die Weser ist oberhalb der Allermündung ein noch mitten in der geologischen Ausbildung begriffener Fluß und besitzt infolgedessen manche Eigenart, die in so ausgeprägter Weise

an den anderen norddeutschen Strömen nicht vorkommt. Gerade infolge dieser Eigenart sind aber die Aufgaben, die bei dem Ausbau auf Niedrigwasser zu lösen sind, so mannigfaltig, daß es verlockend ist, aus ihnen allgemeine Richtlinien für den feineren Ausbau unserer Ströme abzuleiten. Vielleicht können sie dazu dienen, den Ausbau der anderen norddeutschen Ströme, der durch die Erfahrungen des Weltkrieges erhöhte Bedeutung erlangt hat, zu erleichtern. Die folgenden Regeln beziehen sich nicht auf den rohen Ausbau für Hochwasser und Mittelwasser, der jedem feineren Ausbau vorangehen sollte. Es wird vielmehr ausdrücklich angenommen, daß es sich nur um Flüsse handelt, bei denen dieser rohe Ausbau in der Hauptsache vollendet ist, und bei denen besonders keine großen Strecken vorhanden sind, in denen der Stromstrich bei den häufiger vorkommenden Hochwässern andere Bahnen einschlägt als bei Mittel- und Niedrigwasser.

Die erste Bedingung für einen erfolgreichen Ausbau auf Niedrigwasser ist eine gute Grundrißgestalt des Stromes. Gerade Strecken von längerer Ausdehnung müssen unbedingt vermieden werden. Sie fördern das Auftreten von wandernden Geschiebebänken in hohem Maße. Wo sie vorhanden sind, soll man mit allen Mitteln dahin streben, wenigstens für Niedrigwasser einen geschlängelten Lauf zu schaffen. Selbst vor dem Abbrechen von Strombauwerken soll man nicht zurückschrecken, um diesen Zweck zu erreichen. Mindestens muß man aber durch Wechsel der Kopfneigungen der Bauwerke künstlich Krümmungen einschalten. Der Weserlauf von der Allermündung bis Bremen ist ein lehrreiches Beispiel dafür, daß die wandernden Geschiebebänke auch bei Flüssen mit leicht beweglicher Sohle und verhältnismäßig starkem Gefälle durchaus kein notwendiges Übel sind, sondern sehr wohl vermieden werden können. Großer Wert ist ferner darauf zu legen, daß schroffe Wechsel der Krümmungen oder gar Knicke im Grundriß vermieden werden. Jeder unvermittelte Richtungswechsel schafft Kolke, die nicht nur die Ufer angreifen, sondern auch durch unregelmäßige Strömung die Schifffahrt gefährden. In einem gut geschwungenen Flußlauf können recht scharfe Krümmungen zugelassen werden, ohne daß störende Wirbel im Wasser und lästige Uferangriffe zu befürchten wären. Die untere Grenze für die Krümmungshalbmesser wird durch die Forderung gegeben, daß sich zwei Schleppzüge begegnen können.

Wo schroffe Wechsel im Gefälle vorkommen, empfiehlt es sich in der Regel nicht, das Gefälle vollkommen auszugleichen. Es besteht die Gefahr, daß hierbei eine wesentlich stärkere Senkung als beabsichtigt eintritt, weil durch die Baggerungen auf den Köpfen der schützende Sohlenpanzer beseitigt und weniger widerstandsfähige Sandschichten dem verstärkten Angriff preisgegeben werden. Die Geschiebezufuhr nimmt ohnedies durch allmähliches Ausbauen der Nebenflüsse und durch fortschreitende Festlegung der Ufer ab, und dadurch wird die Räumungskraft des fließenden Wassers erhöht, so daß die großen Ströme immer mehr dahin streben werden, ihr Bett weiter auszunagen. Man sollte daher einen Gefällausgleich im allgemeinen mehr durch Hebung des Wasserspiegels als durch Senkung anstreben, wenn nicht aus örtlichen Rücksichten eine Senkung für die Landeskultur erwünscht ist.

Das maßgebende Niedrigwasser, auf das die Ausbauquerschnitte zu beziehen sind, wird zweckmäßig nicht auf bestimmte Wasserstände, sondern auf Abflußmengen bezogen. Hierdurch wird man unabhängig von den unvermeidlichen Änderungen der Flußsohle. Wo nicht besondere Gründe dafür sprechen, die kleinste bekannte Abflußmenge zu nehmen, ist es richtig, die Abflußmengen so festzusetzen, daß sie am ganzen Flußlauf im langjährigen Durchschnitt an einer gleichen Anzahl von Tagen unterschritten werden. Im allgemeinen werden wohl 10 bis 15 Tage Unterschreitungsdauer zulässig sein. Wo regelmäßig Unterbrechungen der Schifffahrt durch Eis vorkommen, können die Eismonate ausgeschaltet werden.

Wo damit zu rechnen ist, daß das Niedrigwasser durch Zuschuß aus Sammelbecken erhöht wird, sollte man bei der Berechnung der Ausbauquerschnitte diesen Zuschuß stets berücksichtigen, auch wenn die Ausführung der Sammelbecken noch nicht gesichert ist. Die Vergrößerung der Wassertiefen durch das Zuschußwasser nimmt stromabwärts stets ab. Werden für eine längere Verkehrsstrecke die Querschnitte für das natürliche Niedrigwasser so berechnet, daß man in ihr eine bestimmte Fahrwassertiefe erhält, so wird nach Ausführung der Sammelbecken die Wassertiefe am oberen Ende dieser Strecke größer als am unteren. Entweder hat man am oberen Ende zu viel eingeschränkt und die vorhandene Fahrtiefe ist unnötig groß, oder man hat am unteren Ende zu wenig eingeschränkt und muß nachträglich die Bauwerke abändern. Bei der empfohlenen Berechnungsweise erhält man dagegen für die Zwischenzeit bis zur Ausführung der Sammelbecken oben kleinere Tiefen als unten, aber der endgültige Zustand ist der wirtschaftlich richtige, ohne daß weitere Bauarbeiten nötig wären. — Wo die Breite zwischen den Streichlinien beim Ausbau auf Mittelwasser einigermaßen richtig gewählt worden ist, wird es sich vielfach empfehlen lediglich durch Abflachen der Köpfe der Bauwerke eine Um-

formung der zu seichten und zu breiten Niedrigwasserquerschnitte vorzunehmen. Man wird häufig ohne nennenswerte Verkleinerung des Mittelwasserquerschnittes auskommen und vermeidet so jede Hebung des Hochwassers.

Bei der Berechnung des Querschnitts ist von der Strecke mit dem stärksten Gefälle auszugehen. Wie oben näher begründet worden ist, wird man in den Fällen, in denen man an die Grenze der Leistungsfähigkeit des Flusses gehen muß, in der steilsten Strecke möglichst flache Kopfböschungen wählen. In den Strecken mit geringerem Gefälle empfiehlt es sich, unter Beibehaltung der Breite zwischen den Streichlinien, die Kopfböschungen steiler zu wählen. Hierbei kann es zweckmäßig sein, auch die Fahrtiefe etwas gegen diejenige der Steilstrecke zu vergrößern. Wo bei Flüssen mit starker Geschiebebewegung zu befürchten ist, daß sich Kies auf den Übergängen ablagert, kann man auf ihnen etwas kleinere Querschnitte als die rechnermäßigen ausbauen, um die Spülkraft des Stromes zu erhöhen. Entweder kann man das erreichen, indem man die Kopfböschungen unter Beibehaltung der Breite zwischen den Streichlinien weiter abflacht, also die Sohle einschränkt, oder wenn die Sohle rechnermäßig bereits die geringste zulässige Breite besitzt, indem man die Böschungen steiler macht, also die Kronenbreite einschränkt.

In schwachen Krümmungen und auf den Übergängen ist die Mulde mit beiderseits gleichen Böschungen am Platze, in den scharfen Krümmungen dagegen ein Querschnitt mit steiler Böschung auf dem hohlen und flacher Böschung auf dem ausbuchtenden Ufer. Der Übergang von einem Querschnitt zum andern wird durch allmähliches Ändern der Kopfböschungen erreicht. In Strecken mit einheitlichem Gefälle ist dabei die Summe der beiderseitigen Böschungszahlen gleich zu machen. In Strecken mit übermäßig gerade gestrecktem Mittelwasserbett wird hierdurch zugleich eine stärkere Schlingelung des Niedrigwassers erreicht.

Schnellfilteranlage des städtischen Wasserwerks Altona, ein Beispiel technischen Zusammenwirkens.

Vom Dipl.-Ing. Jürgensen in Altona.

(Mit Abbildungen auf Blatt 18 im Atlas.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

Fruchtbringender Zusammenarbeit des Architekten, des Bauingenieurs und des Betriebsleiters oder Maschineningenieurs ist in neuerer Zeit bei Anlage von Zweckbauten in erhöhtem Maße Rechnung getragen worden. Die frühere Gepflogenheit, dem Architekten Grundriß- und Raumgestaltung nach gegebenen nackten Zahlen des Raumbedarfs allein zu überlassen, weitergehend sogar in den Bau einzutreten und diesen auszuführen, bevor noch über die Inneneinrichtung und den Betrieb völlig Klarheit geschaffen ist, darf heute wohl als verlassen bezeichnet werden.

Als Ziel inniger Zusammenarbeit sind anzustreben: 1. höchste und zweckmäßigste Raumaussnutzung, 2. zweckmäßige Wahl der Baustoffe, 3. Prägung der äußeren architektonischen Form nach dem inneren Zweck der Anlage.

Im folgenden soll an einem Beispiel, das den Bauten des städtischen Wasserwerks Altona entnommen ist, gezeigt

werden, in welcher Weise innige Zusammenarbeit der verschiedenen technischen Fachrichtungen fruchtbringend wirken kann.

Die in früheren Jahren übliche Neigung, Baukörper anderer Fachrichtungen nach den herrschenden Grundsätzen der bildenden Baukunst architektonisch auszugestalten, ist als Mißgriff erkannt, sie wird heute kaum mehr vorkommen. Nur eine solche falsche Übertragungssucht konnte Formen zeitigen, wie sie z. B. in den aus dem Jahre 1859 stammenden Eisenkonstruktionen zur Aufnahme der Galerien im alten Maschinenhaus des Wasserwerks zutage treten (Text-Abb. 1). Die gewählten Konstruktionen zeigen enge Anlehnung an bestehende Formen der Baukunst, es fehlt ihnen indes eigener Charakter, der durch eine Prägung nach den Kraftlinien und entsprechende Ausgestaltung der Formen, wie sie heute bei neuzeitlichen Konstruktionen angestrebt

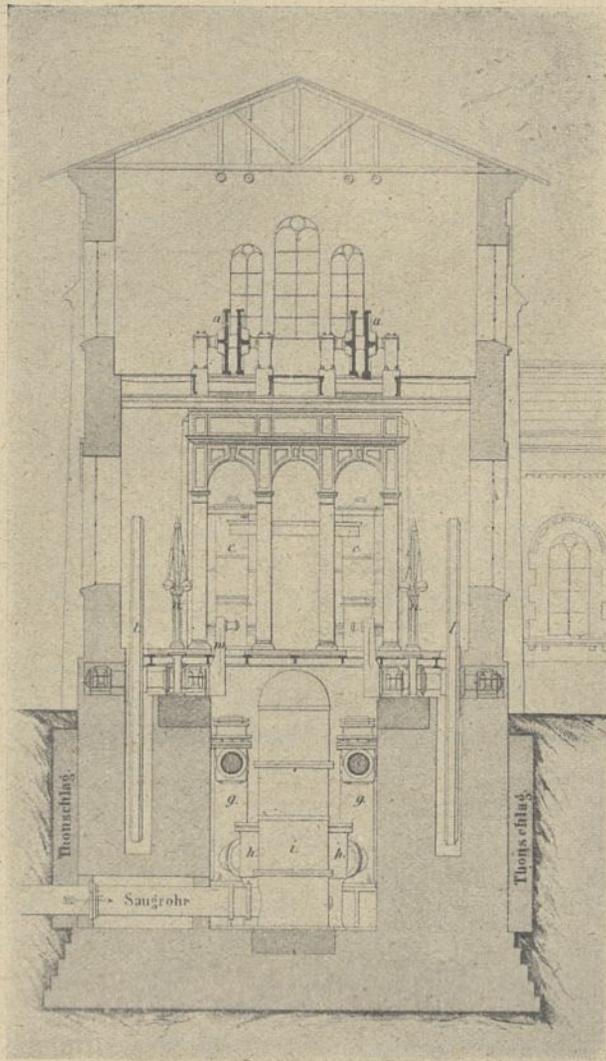


Abb. 1. Eiserner Unterbau der Galerien des alten Maschinenhauses von 1859.

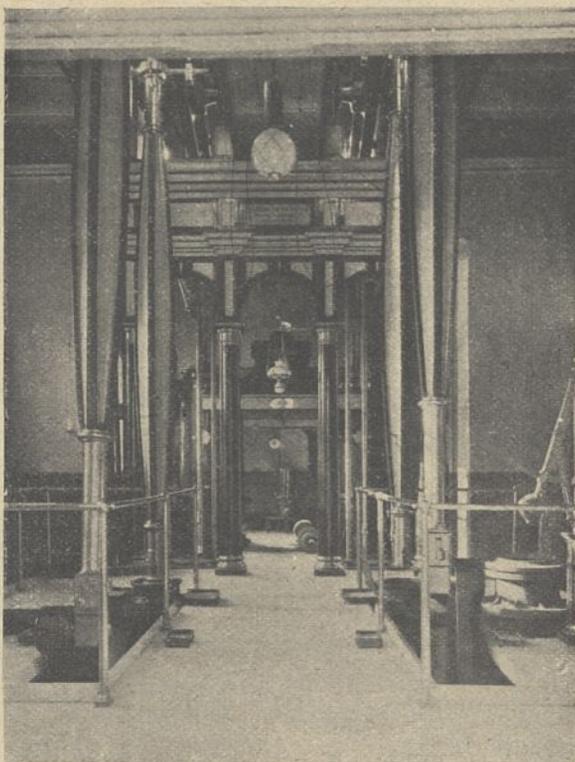


Abb. 2. Gestänge der Maschine mit Schwinghebel aus dem Jahre 1859.

wird, zu erzielen gewesen wäre. Auch an den Konstruktionsteilen der gleichartigen Maschinen mit ihren vielen schweren Gestängeteilen erkennt man noch deutlich die Ableitung von Formen der Baukunst, auch hier fehlt freie Formgestaltung nach dem Zweck (Text-Abb. 2). Ebensovienig läßt das Äußere des Maschinenhauses (Text-Abb. 3), das vielleicht eher an einen Speicher erinnert, auf seine Bestimmung Rückschlüsse zu. Im Maschinenbau und im Bauingenieurwesen hat sich inzwischen die Loslösung von dem Althergebrachten vollzogen. Die Furcht, dem Auge nicht wohlgefällige Formen zu schaffen, ist überwunden. Durch eine dem Wesen entsprechende Gestaltung der einzelnen Teile, die den Zweck und die Kraftübertragung widerspiegeln, haben sich Formen von eigenem Gepräge gebildet, die heute wohl niemand als unschön ansprechen wird. Bei größeren gewerblichen Anlagen wird nur selten eine Fachrichtung allein maßgebend sein, zumeist werden vielmehr mehrere zusammenwirken müssen. Dabei wird das Bauingenieurwesen, z. B. beim Brückenbau, mit der Baukunst leichter Annäherungsformen finden, als der reine Maschinenbau.

In dem der weiteren Betrachtung zugrunde gelegten Beispiel, der Schnellfilteranlage des städtischen Wasserwerks Altona, handelt es sich um die Schaffung einer Vorfiltration des gesamten geförderten Gebrauchswassers der Werke. Auf Grund der eingehend durchgeführten Versuche konnte für die Neuanlage die Aufgabe etwa wie folgt gestellt werden:

In einem Gebäude sind zwölf kreisrunde Filterbottiche von rund 7 m Durchmesser und 2,5 m Höhe derart aufzustellen, daß 4 m unter Filteroberkante ein freier Wasserabfluß gewährleistet ist, und auf einer etwa 80 cm unter Oberkante Filter anzulegenden Bühne für die Bedienung der Filter genügend Raum verbleibt. Für den Antrieb der Rührwerke in jedem einzelnen Filter ist ein Getriebe, für die Aufstellung ein Laufkran vorzusehen. Das den Filtern zuzuführende Wasser soll einem 500 bis 1000 cbm fassenden Rohwasserbehälter, in den die am Strande der Elbe (Text-Abb. 5) stehenden Pumpmaschinen das Wasser hineinpumpen, entnommen werden und aus die-



Abb. 3. Maschinenhaus des Wasserwerks aus dem Jahre 1859.

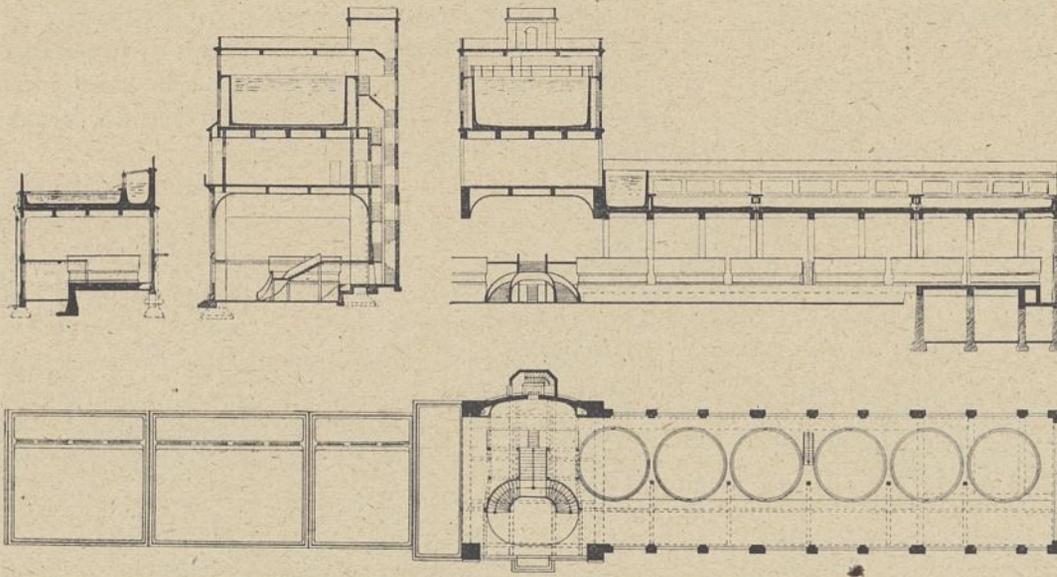


Abb. 4. Vorentwurf für das Schnellfiltergebäude. 1:700.

sem den Filtern durch Rohrleitungen frei zufließen, während für die Spülung der Filter noch ein Spülwasserbehälter von rund 360 cbm Inhalt in solcher Höhenlage vorzusehen ist, daß das Wasser mit einem Druck von etwa $1\frac{1}{4}$ atm. in die Böden der Filter einströmt. Für Anordnung der Spül- und Rohwasserverteilungsleitungen ist genügend Platz zu lassen. Die Möglichkeit der Beheizung des Gebäudes bis zu 20° C ist vorzusehen. An Maschinen sind unterzubringen: zwei Elektromotoren für das Getriebe, zwei mit Elektromotor unmittelbar gekuppelte Kreiselpumpen zur Förderung des Spülwassers. Auf gute Übersichtlichkeit ist bei der Anlage besonderer Wert zu legen.

Als Baugelände für die Anlage kam nur das am Baurberg in Blankenese gelegene ausgedehnte Filterwerkgrundstück der Altonaer Wasserwerke in Frage, das noch genügend freies Bauland aufwies (Text-Abb. 5 u. Abb. 2 Bl. 18). Die betriebstechnisch gestellte Forderung, die Schnellfilterung

unter Vermeidung schwieriger und kostspieliger Rohrumlegungen in die bestehende Anlage so einzufügen, daß sie der Langsamsandfilterung vorgeschaltet werden konnte, sowie die Einhaltung einer Höhenlage, die nach Durchfluß der Schnellfilterung ein nochmaliges Heben des Wassers erübrigte, luden unmittelbar dazu ein, das hoch gelegene Gelände des Baurberges selbst oder seine Abhänge als Bauplatz zu wählen.

Im ersten Entwurf waren denn auch das Gebäude mit den Filterbottichen am Ostabhang des Baurberges, die zu

einem Bauwerk vereinten Wasserbehälter auf der Kuppe des Berges geplant. Damit konnte zwar der zweiten Forderung richtiger Höhenlage ohne weiteres genügt werden, nicht aber der ersten, nach der bei der Einfügung des neuen Werkes in die bestehende Filteranlage umfangreiche und betriebstörende Rohrverlegungen zu vermeiden waren. Beide Bedingungen zu erfüllen erschien nur möglich bei Vereinigung aller Teile in einem einheitlichen Bauwerke. Für die Aufstellung des hoch anzulegenden Spülwasserbehälters mußte ein turmartiger Aufbau geschaffen werden, der keine Schwierigkeiten bereiten konnte, wenn er besonders gegründet und von den übrigen Teilen des Gebäudes losgelöst aufgeführt wurde.

Weiter Spielraum war indes für die Anordnung der Rohwasserbehälter gelassen. Für diese war betriebstechnisch nur eine Überhöhung von 1,5 m über Oberkante Filter nötig. Anzustreben war aus wassertechnischen Gründen, sie mit möglichst großer Grundfläche und kleiner Höhe zu bauen. Daher verbot sich eine Angliederung an das Filtergebäude, weil dabei die Gesamtgrundfläche zu sehr gewachsen wäre. Es erschien vielmehr zweckmäßig, sie unmittelbar über die Filter zu legen, um damit auch die Wasserzufuhr aus den Behältern zu den Filtern möglichst zu vereinfachen. Um nun aber die freie Zugänglichkeit zu den Filtern, die Anlage der Kraftübertragung von dem Triebwerke zu den Rührwerken und die Übersichtlichkeit nicht zu beeinträchtigen, mußte eine über das unbedingt erforderliche Maß hinausgehende Überhöhung in den Kauf genommen werden. Mit Rücksicht auf die anzustrebende Belüftung des Rohwassers entschloß man sich, die Behälter

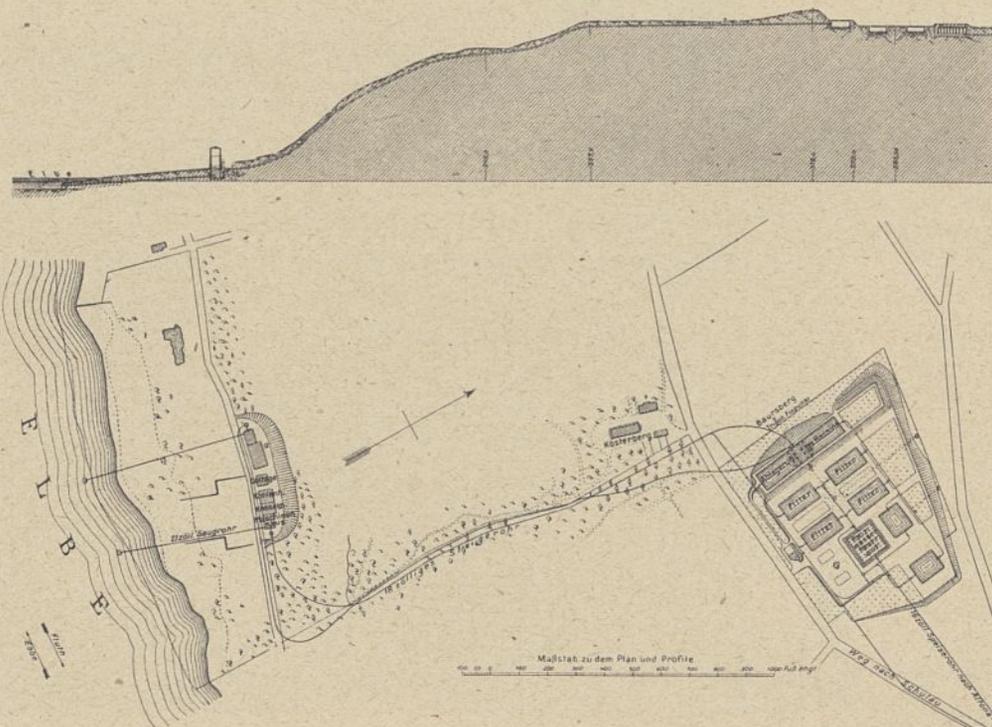


Abb. 5. Wasserwerk Altona. Lageplan.

unmittelbar auf die Decke des Filtergebäudes aufzusetzen, wo sie zugleich das Dach ersetzen.

Für die Grundrißgestaltung des Gebäudes war rein baulich wohl eine Anordnung der Filter in zwei Reihen zu je sechs Filtern mit einer gemeinsamen breiten Bedienungsbühne zwischen den beiden Reihen das Nächstliegende. Diese Anordnung hätte auch die Gesamtgrundfläche in geringen Grenzen gehalten. Die Entscheidung über diese Frage konnte indes dem Architekten nicht allein überlassen werden, da einerseits für die Führung der vielen Rohrleitungen zu viele betriebstechnische und damit auch wirtschaftliche Fragen ausschlaggebend waren, andererseits die Spannweite des Gebäudes mit Rücksicht auf die aufzunehmenden Lasten der Wasserbehälter eine eingehende Prüfung durch den Bauingenieur erforderte.

Anlehnung an die bestehende Anlage der Langsamsandfilter mit dem in erhöhter Lage an der Ostseite des Bausberges vorgelagerten Wasserverteilungsbehälter, möglichste Einfachheit in der Führung der vielen starken Rohrleitungen für Rohwasser, Spülwasser und gefiltertes Wasser, die bis zu 800 mm lichten Durchmesser aufwiesen, ließen von der Bauleitung der Wasserwerke schließlich einen Entwurf (Text-Abb. 4) für ein langes schmales Gebäude entstehen, das in der Mitte durch einen turmartigen Bau zur Aufnahme des Spülwasserbehälters unterbrochen war, während in den beiden so entstandenen Seitenflügeln die Filterbottiche zu je sechs in einer Reihe untergebracht waren und die Eindeckung durch freien Aufbau der Rohwasserbehälter ersetzt wurde. Die dadurch erzielte geringe Spannweite war dem Bauingenieur für das Traggerüst zur Aufnahme der Rohwasserbehälter über den beiden Seitenflügeln sehr willkommen, der Betriebsleitung gleichzeitig erwünscht, da nunmehr Aussicht bestand, zur Erzielung bester Übersichtlichkeit das Gebäude ohne innere Stützen aufzuführen. Durch den geplanten Einbau dieses Gebäudes in den Osthang des Bausberges konnte die Symmetrie der gesamten Filterwerkanlage östlich des Bausberges gewahrt bleiben, vor allem aber wurde die geforderte erhöhte Aufstellung der Filterbottiche durch die Geländegestaltung wesentlich begünstigt, so daß sie ohne besondere Unterbauten ausgeführt werden konnte. Die durch die lange schmale Grundrißform bedingte Vergrößerung der bebauten Fläche um rund 10 vH. gegenüber einer Ausführung bei zweireihiger Aufstellung der Filter fand durch den Umstand einen Ausgleich, daß durch die

in früheren Jahren erfolgte Abtragung des Bausberges am Nordflügel eine teilweise Unterkellerung des Gebäudes notwendig wurde, die in erwünschter Weise nun zugleich den erforderlichen Raum schuf für die Aufstellung der Kreiselpumpen und der Heizanlage des Gebäudes.

Wenn damit unter ständiger Föhlung mit dem Bauingenieur auch Form und Hauptabmessungen des Gebäudes festgelegt waren, so erschien es doch noch verfrüht, den Entwurf in dieser Form zur endgültigen Durchbildung dem Architekten und Bauingenieur zu übergeben. Die vielen im Inneren des Gebäudes zu föhrenden Rohrleitungen, die übersichtliche Anordnung von über 100 Schiebern und Ventilen mit Abmessungen bis zu 600 mm lichtigem Durchmesser, die Wahrung guter Zugänglichkeit, die Anbringung der Ein- und Ausflußregler bei jedem Filter ließen es angesichts der Verwendung vieler Gußformstücke, die möglichst nicht von den Normalien der Gießereien abweichen sollten, zweckmäßig erscheinen, zunächst durch eine vom Maschineningenieur oder Wasserfachmann durchzuföhlende genaue Konstruktion über den unbedingt erforderlichen Raum volle Klarheit zu schaffen. So entstand für die ganze Anlage gewissermaßen eine Konstruktion von innen heraus, der sich die bautechnische Seite in den Einzelheiten unterordnen mußte.

Zunächst mußte zur Klärung der Platzfrage der äußere Durchmesser der Filterbottiche genau bestimmt werden. Schon diese Frage war nur zu lösen unter gleichzeitigem Anschnitt der zweiten, die den Baustoff behandelte. Durch die von den

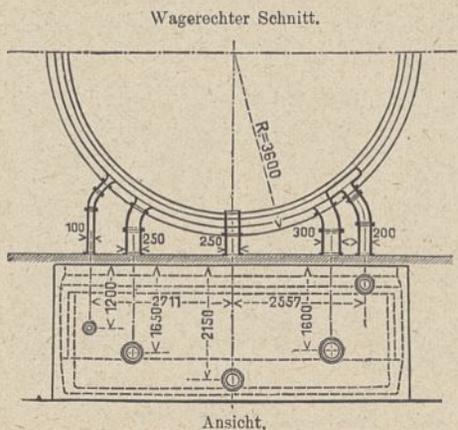


Abb. 6. Hilfsrüstplatte zum Einsetzen der Stützen in die Filterbottiche beim Betonieren.

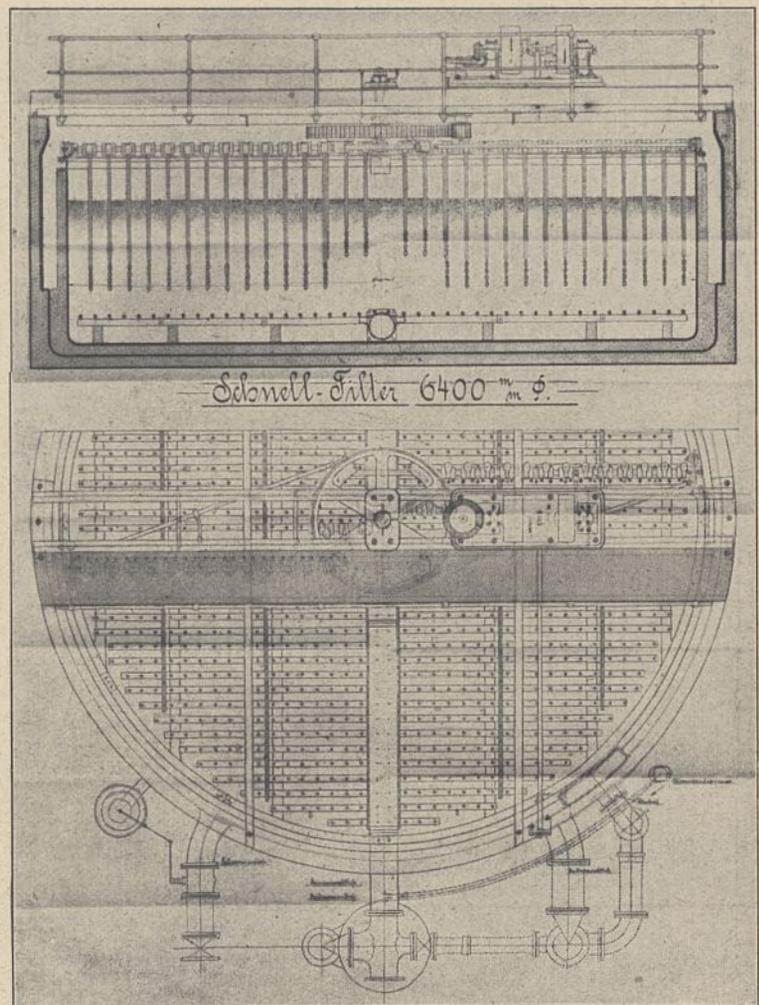


Abb. 7. Filterbottich. Schnitt und Grundriß.

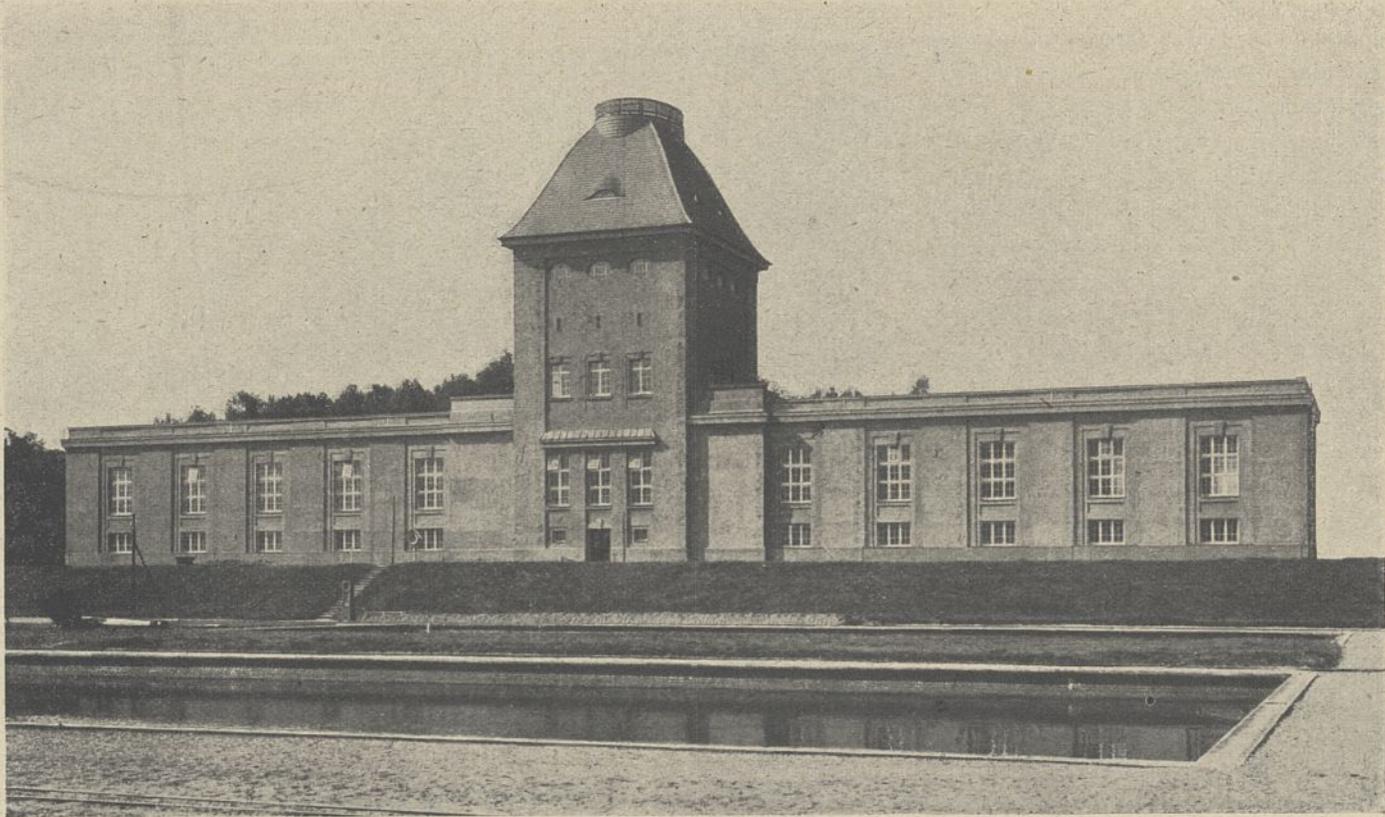


Abb. 8. Hauptansicht (Ostseite) des Schnellfiltergebäudes.

Wasserwerken vorgenommenen Versuche war festgestellt, daß sich genietete Schmiedeeisenbottiche für den Zweck nicht eigneten. Auch bei geschweißten Bottichen mußten ähnliche Übel befürchtet werden. Man griff daher zu Eisenbeton. Durch geschickte Konstruktion konnten die Wandungen gering und damit der äußere Durchmesser verhältnismäßig klein gehalten werden. Er ergab sich zu 7,2 m bei einem lichten inneren Durchmesser von 6,4 m und einem freien Ringraum von 15 cm Breite, sodaß für die vier Wandungen des Doppelmantels einschl. Putz nur 50 cm verbraucht wurden (Text-

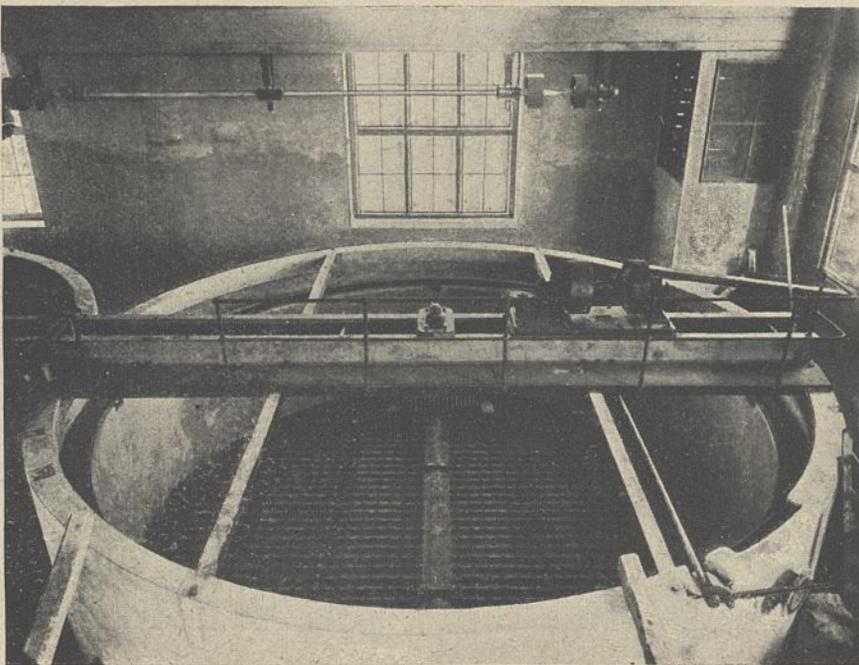


Abb. 9. Filterbottich. Ansicht von oben.

Abb. 7 u. 8). Da ein Zwischenraum zwischen den einzelnen Bottichen nicht erforderlich schien, war damit die Raumeinteilung für die beiden Flügel gegeben. Der Querschnitt ergab sich dann aus der Anordnung der Rohrleitungen und der Zubehöerteile, und damit auch die lichte Breite von 12,5 m.

Von wesentlichem Einfluß auf die Führung der Rohrleitungen, den Platzbedarf und gute Übersichtlichkeit war die Anordnung der Rohrstützen am Filterbottich. Ihrem Einbau in die Wandungen der Bottiche mußte größte Sorgfalt zugewandt werden, er bedurfte besonderen Zusammenwirkens des Bau- und Maschineningenieurs. Da die Bottiche mit doppeltem wasserdichten Putz hergestellt wurden (Text-Abb. 7 u. Abb. 1 Bl. 18), verbot sich ein nachträgliches Einsetzen, weil abgesehen von dem Durchschlagen der Eiseninlagen auch der Putz unterbrochen worden wäre. Man setzte die gußeisernen, mit besonderen Halteflanschen ausgestatteten Stützen schon beim Betonieren ein und sicherte ihre richtige Lage durch vorherige Befestigung auf einer Hilfsrüstplatte, die nach Maß aufgestellt wurde (Text-Abb. 6).

So konnte ein fast bis in die Einzelheiten durchgeführter Rohrplan (Abb. 9 Bl. 18) und ein mit allen innehaltenden Abmessungen für die Innenräume und die Aufstellung der Bottiche versehener Bauentwurf dem Bauingenieur und dem Architekten überliefert werden, die nunmehr an die Durcharbeitung herantraten. Zunächst bedurfte die Frage des Baustoffes der Klärung. Das Gebäude als gewöhnlichen Backsteinbau aufzuführen, schien

am wenigsten geeignet, da dies bei der Spannweite und den aufzunehmenden Lasten durch die Wasserbehälter ohne störende Innenstützen überhaupt kaum, mit diesen wahrscheinlich auch nur unter Verwendung von Eisenkonstruktionen für die Deckenträger möglich gewesen wäre. Dieser Baustoff schied also gleich aus. Konstruktiv leichter zu lösen war die Aufgabe durch Verwendung einer Eisenkonstruktion, der man nach außen hin das Aussehen eines Fachwerkaues hätte geben können. Auch hierbei mußte immerhin, namentlich für die Deckenträger, mit erheblichen Abmessungen gerechnet werden. Zudem war die Verwendung offener Eisenkonstruktion wegen der im Gebäude stetig herrschenden Feuchtigkeit nicht erwünscht. Man griff daher zu Eisenbeton und wählte sowohl für die Seitenflügel als auch für den Turmbau den ganzen Innenraum überspannende Rahmenbinder.

Da das Maß von 7,2 m von Mitte zu Mitte Filterbottich, das der Einteilung der Seitenflügel zugrunde gelegt war, für die Entfernung der einzelnen Rahmenbinder zu groß war, eine andere Gliederung indes für den Einbau der Rohrleitungen Unbequemlichkeiten bereitet hätte, wurde als Rahmenbinderentfernung $\frac{1}{2} \cdot 7,2 = 3,6$ m gewählt und damit zugleich das Gerippe auch für die äußere Einteilung der Fassade festgelegt.

Damit war dem Architekten nunmehr zwar die Bewegungsfreiheit sehr gehemmt, dennoch hat er auch unter dieser Einschränkung die Aufgabe harmonischer Gliederung und zweckentsprechender Ausbildung des Aufrisses aufs glücklichste gelöst. Durch geschickte Verbindung je zweier Rahmenbinder und entsprechende Ausprägung zu einem breiten Pfeiler, durch Ausnutzung der etwas zurücktretenden Zwischenfelder für die Schaffung der Fensterflächen ist nicht allein eine gefällige Gliederung geschaffen, es ist dem Ganzen auch das Gepräge der Tragkonstruktion geblieben für die den oberen Abschluß bildenden schweren Rohwasserbehälter. Diese äußere Prägung macht sich in noch höherem Maße bei der Turmkonstruktion bemerkbar (Abb. 3 bis 10 Bl. 18 und Text-Abb. 8).

Für den Betrieb des Schnellfilterwerks war die Ausführung des Turmes nur so weit erforderlich, als es die Aufstellung des Spülwasserbehälters in der richtigen Höhe verlangte. In dem Vorentwurf — siehe Text-Abb. 4 — war der Turm daher auch unmittelbar über dem Behälter mit einer Plattform abgeschlossen, um dem Architekten für weitere Ausgestaltung freie Hand zu lassen. Die günstige Lage des Gebäudes auf dem höchsten Punkte am Nordufer der Unterelbe lud dazu ein, den Turm zugleich als Aussichtsturm auszugestalten. Ein hohes, dem Gepräge des Ganzen angepaßtes, steiles Dach krönt den massigen Turm und endet in einer Plattform, die einen herrlichen Rundblick auf die holsteinische Tiefebene und den Lauf

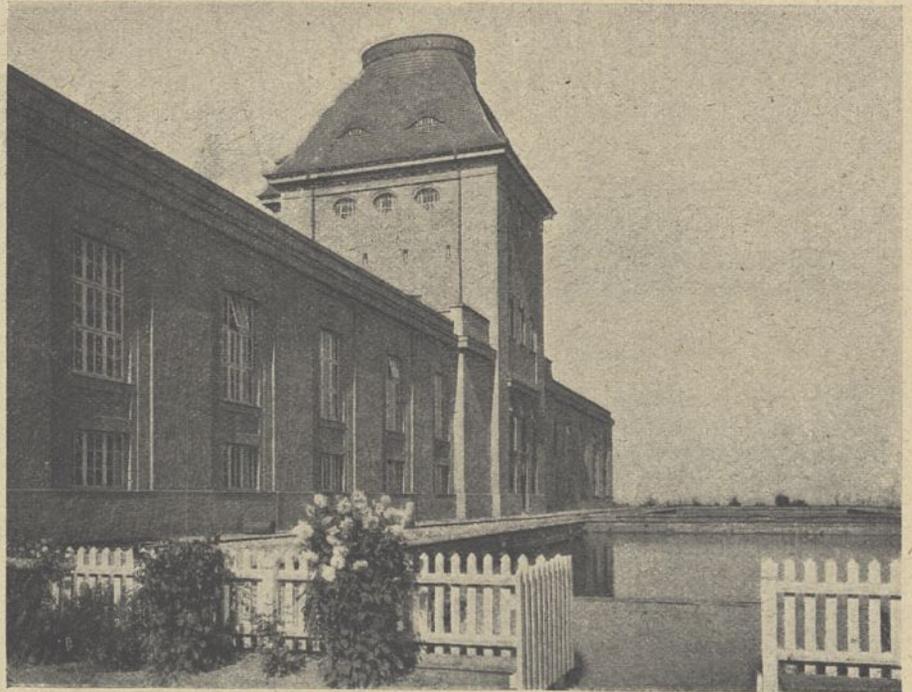


Abb. 10. Blick gegen das Filtergebäude von Südost.

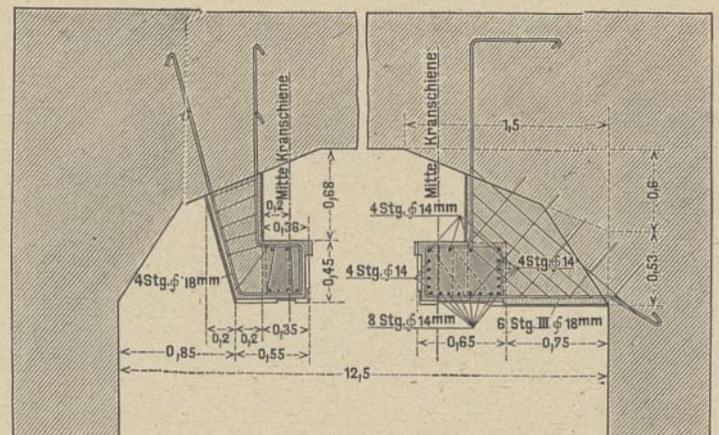


Abb. 11.

Kranbahnträger und Auskragungen in Eisenbeton an den Eckpunkten der Rahmenbinder.

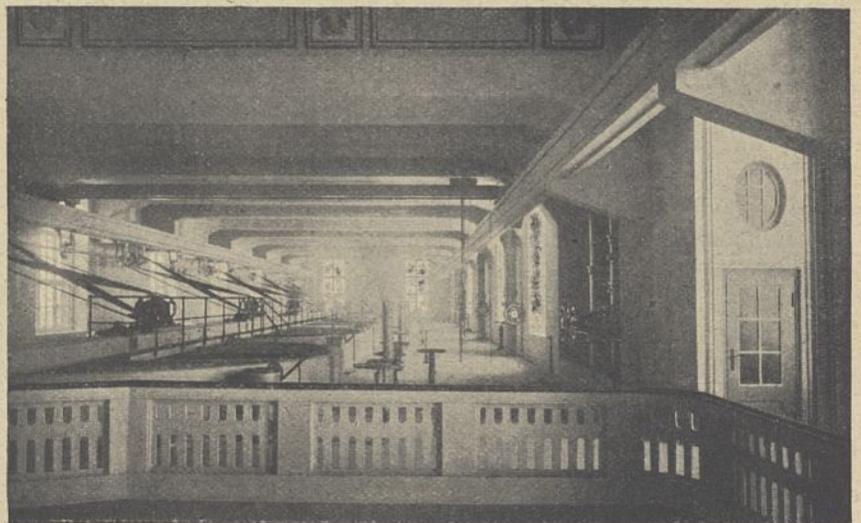


Abb. 12. Filterhalle, nördlicher Flügel, von der Mittelhalle aus gesehen.

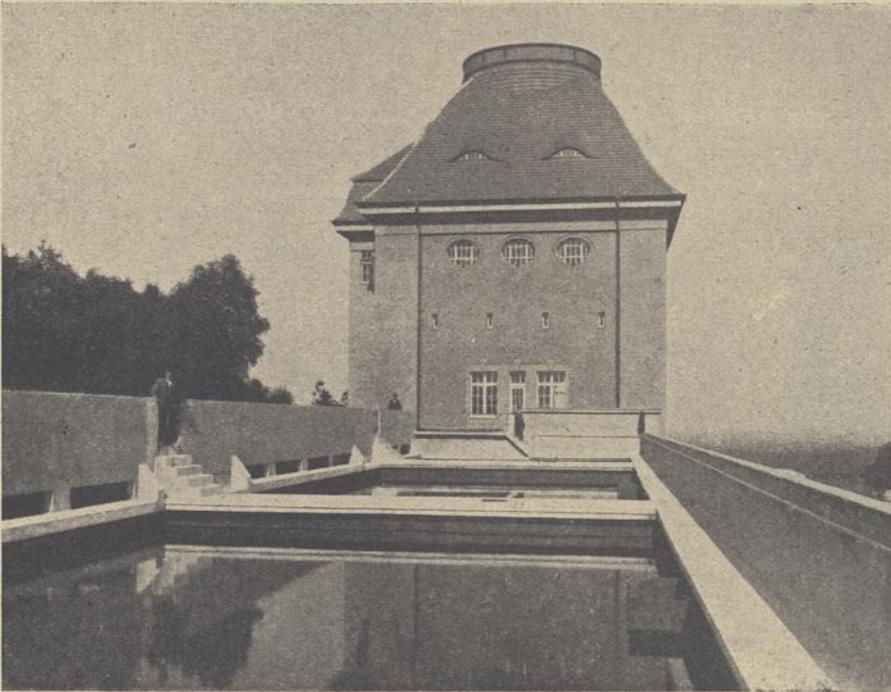


Abb. 13. Blick auf die südlichen Rohwasserbehälter.

der Unterelbe gestattet. Der bisher auf dem Baurberg gelegene, für die Landesmessung wichtige trigonometrische Punkt I. Ordnung ist zugleich auch auf die Plattform verlegt und damit nicht unwesentlich erhöht worden; die versenkbare Flaggenstange gilt als Richtlinie und trägt an Stelle des Flaggenknopfes eine Platte zur Aufnahme der Meßinstrumente.

Um bei der später geplanten Freigabe des Aussichtsturmes für die Öffentlichkeit durch den Besuch keine Störung im Wasserwerkbetriebe zu haben, wurde das Treppenhaus so angelegt, daß es sowohl vom Innern des Gebäudes als auch von

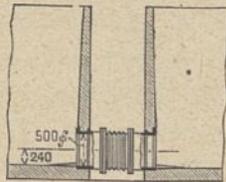


Abb. 14. Kupfernes Ausgleichstück zwischen den Stützen der Rohwasserbehälter.

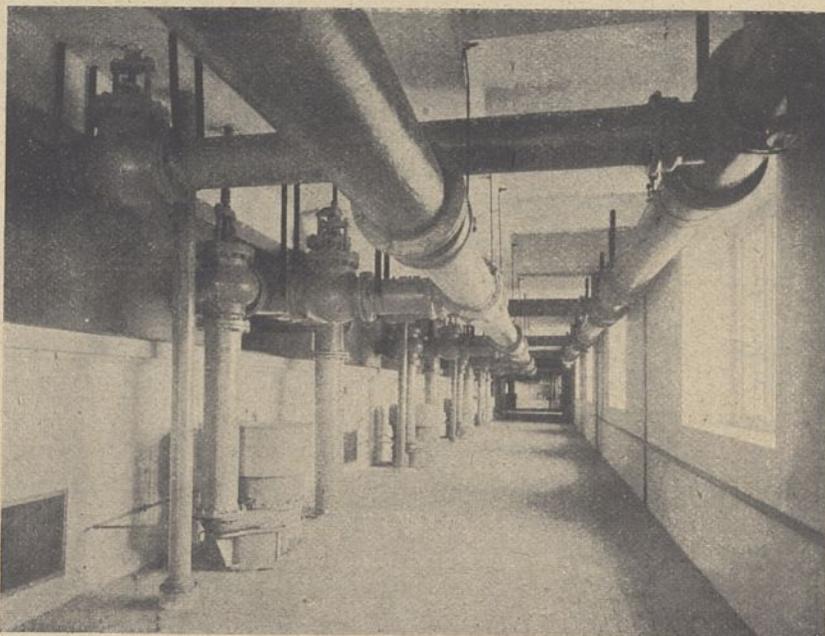


Abb. 15. Rohrgang im Erdgeschoß unter der Bedienungsbühne.

außen erreicht werden kann, und die Besteigung der Turmplattform ohne Betreten der Betriebsräume möglich ist.

Besonderer Prüfung bedurfte die Ausführung der offenen Rohwasserbehälter, die auch in Eisenbeton hergestellt wurden. Sie für jede Flügelseite des Gebäudes in einem Teile auszuführen, erschien mit Rücksicht auf die zu erwartenden Spannungen nicht ratsam. Bautechnisch war daher eine Unterteilung anzustreben, eine Forderung, bei welcher der Wasserfachmann aus der Not eine Tugend machte, indem er durch weitere Ausgestaltung und die Art der Unterteilung zugleich die Möglichkeit schuf, einzelne Teile beliebig auszuschalten, im Winter den Betrieb auf diejenigen Teile einzuschränken, die gegen Frost geschützt werden konnten, und durch Anlage von freien Überfällen die Belüftung des Wassers förderte. Die Unterteilung wurde dann so vorgegenommen, daß sie der inneren Einteilung des Gebäudes entsprach und sich den durch den ganzen

Gebäudequerschnitt hindurchgehenden Dehnungsfugen anpaßte (Abb. 5 Bl. 18). Für die Verbindung der einzelnen Behälter unter sich und für alle abgehenden Rohrleitungen wurden die Stützen mit gleicher Sorgfalt eingesetzt, wie bei den Bottichen für die Schnellfilter, und mit Rücksicht auf die zu erwartenden Dehnungen des Eisenbetons mit Ausgleichstücken in Gestalt von kupfernen Wellrohren versehen, die eine Dehnung bis zu 10 mm zulassen (Text-Abb. 14).

Zur Erwärmung des Raumes wurde eine Druckluftheizung gewählt, die im Sommer zur Verhütung des Schwitzwassers bei plötzlichen Wärmeschwankungen zugleich als Drucklüftungsanlage benutzt werden kann. Diese Heizungsart erforderte einen durch die ganze Länge des Gebäudes laufenden Warmluftkanal, der konstruktiv mit der Stützwand vor dem Absatz, auf dem die Schnellfilter ruhen, verbunden wurde (Abb. 1 u. 10 Bl. 18). Auf diese Weise wurde jede Raumbeschränkung vermieden und durch die vorgesehenen Öffnungen zugleich die Möglichkeit guter Warmluftverteilung geschaffen. Auch wurde die Verlegung weiterer Rohrleitungen, die dem Architekten wenig erwünscht waren, vermieden.

Während bisher bei allen Lösungen eine Einigung auch mit dem Architekten erzielt worden war, erschien diese bei Ausführung der Kranbahn und Anlage des Triebwerks nicht erreichbar. Von der üblichen Ausführung durch Vorziehen besonderer Kranbahnstützen mußte Abstand genommen werden, da diese tote Nischen geschaffen hätten, die ihrerseits wieder zu einer Verbreiterung des Gebäudes geführt hätten. Die Kranbahn auf eiserne, weit auskragende Wandkonsole zu legen, war wegen der Luftfeuchtigkeit im Gebäude nicht erwünscht, hätte wahrscheinlich auch die Einheitlichkeit des reinen Eisenbetonbaues gestört. Im Einvernehmen mit dem Bauingenieur wurde daher

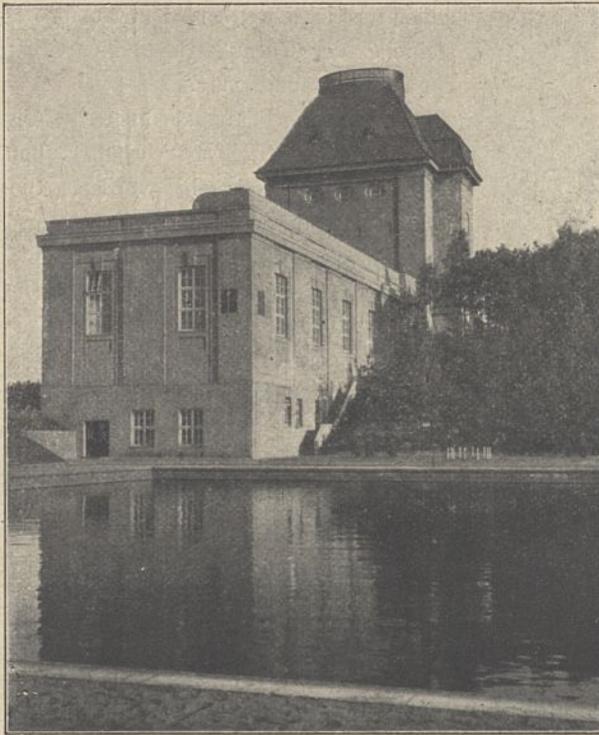


Abb. 16. Blick gegen das Filtergebäude von Nordwesten.

die Kranbahn auch als Eisenbetonbalken ausgeführt und durch Auskragungen in Eisenbeton an den Eckpunkten der Rahmenbinder aufgehängt (Text-Abb. 11). Der Kranbalken an der Hinterseite des Gebäudes erhielt verstärkte Bauart, da er zugleich die Hängelager für die Triebwelle aufnehmen mußte.

Auf diese Weise war die Einheitlichkeit in der Ausführung auch der Inneneinrichtung zwar streng gewahrt, dem Architekten aber die Ausbildung der Innenarchitektur nicht erleichtert, da Kranbahn und Triebwelle auch durch den Mittelbau durchgeführt werden mußten.

Wenn auch dieser eine Punkt niemals ganz die Billigung des auf gute Raumwirkung bedachten Architekten fand, so war doch andererseits durch Vereinigung der vielen Rohrleitungen unterhalb der Bedienungsbühne, die sie unter Wahrung der Zugänglichkeit doch der Sicht in gewissem Sinne entzog, sowie durch die einheitliche Anordnung der vielen Absperrvorrichtungen seinem Bestreben Rechnung getragen (Text-Abb. 15). Während die freie Höhe der Seitenflügel mit Rücksicht auf die Aufstellung der Rohwasserbehälter so gering gehalten wurde, als es für die Anbringung der Kranbahn, die freie Hubhöhe des Kranes, die Kraftübertragung von dem Triebwerk zu den Rührwerken und eine gute Raumwirkung in dem langgestreckten Gebäude zugänglich erschien, war für die Ausgestaltung der Mittelhalle im Turm größerer Spielraum gelassen. Die Erzielung ausreichender Höhe für das zwischen der Halle und dem Tragwerk für den Spülwasserbehälter anzulegende Bureaugeschoß war leicht, da genügend Höhe zur Verfügung stand. Anzustreben war nur ein freier Austritt von dem Bureaugeschoß auf die Umgänge um die Rohwasserbehälter. Dieser ist dann auch erzielt worden und dabei eine Raumgestaltung der Mittelhalle ermöglicht, deren ruhige Formen ein harmonisches Verbindungsglied zwischen den langgestreckten Seitenhallen bilden. Text-Abb. 12 zeigt einen Blick in das Innere des Gebäudes.

Wie nutzbringend die genaue Durcharbeitung aller Maschinenteile und Einrichtungen, Rohrleitungen usw. schon vor Beginn des Baues war, zeigte sich sofort bei der Ausführung. Namentlich der Einbau der vielen Rohrleitungen erforderte viele Wand- und Grundmauerdurchbrüche. Bereits bei der Gestaltung der Grundmauern mußte hierauf Rücksicht genommen werden. Alle diese Durchbrüche nachträglich herzustellen, wäre zeitraubend und kostspielig gewesen, sie hätten sich an den meisten Stellen ohne ernstliche Beschädigung des Eisenbetons, namentlich des Eisengeflechtes, überhaupt nicht ermöglichen lassen. Nun aber konnte dem Bauingenieur schon vor der Ausführung ein genauer Plan der Durchbrüche mit allen erforderlichen Abmessungen gegeben werden; die Öffnungen wurden dann beim Einschalen und Betonieren gleich vorgesehen, so daß sich alle Nacharbeiten erübrigten.

Zusammenfassend darf gesagt werden, daß die innige Zusammenarbeit zwischen Architekt, Bauingenieur und Maschineningenieur ein erfreuliches Ergebnis gezeitigt hat, wovon einige Ansichten der Anlage weiteres Zeugnis ablegen mögen (Text-Abb. 8, 10, 13 u. 16).

Zugleich geht aus der obigen Betrachtung hervor, daß die Ziele der verschiedenen Fachrichtungen häufig auseinandergehen. In solchen Fällen gilt es, den goldenen Mittelweg zu finden und, soweit es der Hauptzweck gestattet, Entgegenkommen zu zeigen und Zugeständnisse zu machen. Der gute Wille hierzu muß alle Beteiligten beseelen. Nun wird sich allerdings eine endgültige Einigung nicht immer erzielen lassen. Dann muß eine Fachrichtung schließlich ausschlaggebend sein. Mit anderen Worten: Einer muß die Führerrolle übernehmen. Wem diese zufällt, hängt von dem Wesen der Anlage ab. Für Hochbauten, wie Kirchen, Schulen, Wohn- und Geschäftsgebäude, Markthallen, Rathäuser usw. wird stets der Architekt der leitende Fachmann sein, während sich der Maschineningenieur mit der Anlage der Heiz- und Lüftungseinrichtungen, der Aufzüge, der Wasserversorgung, der Entstaubungsanlagen usw. letzten Endes, wenn seine Wünsche nicht alle berücksichtigt werden können, dem Gebot der Baukunst unterordnen muß. Beim Bau von Brücken, Talsperren, Kanälen, Schleusen usw. wird dagegen der Bauingenieur der leitende Fachmann bleiben müssen, während bei der Einrichtung gewerblicher Werke der Maschineningenieur der einschlägigen Fachrichtung die Führung behalten muß. Gerade auf diesem letzten Gebiete ist in früherer Zeit häufig gefehlt worden; wohl weniger, weil sich Architekt und Bauingenieur für die Ausarbeitung des grundlegenden Entwurfs für zuständig hielten, als vielmehr weil dem Maschineningenieur die Fragen der Baukunst zu fern lagen, und er daher geneigt war, alle auch mit der Raumgestaltung zusammenhängenden Fragen des Entwurfs ohne weiteres ganz dem betreffenden Fachmann zu überlassen, sich selber aber in allen Maschinen- und Einrichtungsfragen der Baukunst unterzuordnen. Die Erkenntnis daß, wer Gesamtanlagen schaffen will, sich auch in den verwandten Fachrichtungen so weit umsehen muß, als es die Entwurfsbearbeitung erfordert, dürfte ein wichtiger Schritt sein auf dem Wege, der zur fruchtbaren Zusammenarbeit führt.

Berechnung der Biegemomente infolge der Eisenbahnverkehrslast für durchlaufende Träger auf drei Stützen.

Vom Regierungs- und Baurat Dr.-Ing. Kommerell in Berlin.

(Alle Rechte vorbehalten.)

Einleitung.

Voraussetzung für die Verwendung durchlaufender Träger ist bekanntlich die Bedingung, daß nennenswerte Stützensenkungen nicht zu erwarten sind. Ist diese Voraussetzung erfüllt, so ist die Anordnung durchlaufender Träger in vielen Fällen — namentlich zur Überbrückung von Wasserläufen, Straßen und bei Bahnsteigunterführungen — erwünscht, zumal da sich neben einer erheblichen Gewichtsersparnis auch meist eine Verminderung der Bauhöhe ergibt.

Häufig wird von der Anordnung durchlaufender Träger trotz der Möglichkeit ihrer Verwendung nur aus dem Grunde Abstand genommen, weil die Entwurfbearbeitung umständlicher ist als bei einfachen Trägern. Um die Berechnung für häufig vorkommende Fälle zu vereinfachen, sollen für Träger auf drei Stützen mit gleicher Stützweite l beider Öffnungen (bis zu $l = 40$ m) die größten Biegemomente — herrührend von der Verkehrslast (Abb. 1) — in beliebigem Querschnitt ein für allemal berechnet werden.

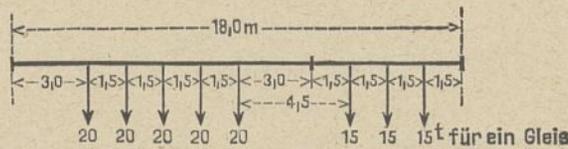


Abb. 1. Lastenzug B bestehend aus einer beliebigen Zahl von Lokomotiven vorstehender Anordnung.¹⁾

Im Abschnitt I werden die größten Biegemomente in einem Querschnitt zwischen zwei Stützen, im Abschnitt II die größten Biegemomente über der Mittelstütze (auch

1) Die Belastung durch Lokomotivzüge entspricht den bei den Reichseisenbahnen gültigen Vorschriften. Die Beförderung von Lokomotivzügen kommt, wie die Erfahrung des Weltkrieges zeigt, tatsächlich vor; es hat diese Art der Berechnung zugleich den Vorteil, daß man sich unabhängig von der stetig steigenden Achslast der Wagen macht. Bei einfachen Trägern ist der Unterschied gegenüber der Verwendung eines aus zwei Lokomotiven mit angehängten Wagen bestehenden Lastenzuges bei Stützweiten bis zu 40 m, bei durchlaufenden Trägern auf drei Stützen bei Einzelstützweiten bis zu 20 m unbedeutend.

der Beitrag von P_2 zum Stützenmoment $\mathfrak{M}_{P_2}^1 = -\frac{P_2}{4l^2} (x + b_2) [l^2 - (x + b_2)^2]$, also

$$(4) \quad \mathfrak{M}_{P_2}^1 = +\frac{P_2}{4l^2} [x^3 + 3b_2x^2 - (l^2 - 3b_2^2)x - b_2l^2 + b_2^3], \text{ somit}$$

„ „ „ P_2 „ Auflagerdruck $A_0^{P_2} = \frac{P_2}{4l^3} [x^3 + 3b_2x^2 - (l^2 - 3b_2^2)x - b_2l^2 + b_2^3 + 4l^2(l - x - b_2)]$, also

$$(5) \quad A_0^{P_2} = \frac{P_2}{4l^3} [x^3 + 3b_2x^2 - (5l^2 - 3b_2^2)x + 4l^3 - 5b_2l^2 + b_2^3]$$

„ „ „ P_2 „ Feldmoment $M_x^{P_2} = \frac{P_2}{4l^3} [x^4 + 3b_2x^3 - (5l^2 - 3b_2^2)x^2 + (4l^3 - 5b_2l^2 + b_2^3)x]$.

Insbesondere wird

für $P_2 = 20$ t rechts vom Schnitt x

$$(7) \quad M_x^{P_2=20t} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 3b_2x^3 - (5l^2 - 3b_2^2)x^2 + (4l^3 - 5b_2l^2 + b_2^3)x] \text{ und}$$

für $P_2 = 15$ t rechts vom Schnitt x

$$(8) \quad M_x^{P_2=15t} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 2,25b_2x^3 - (3,75l^2 - 2,25b_2^2)x^2 + (3l^3 - 3,75b_2l^2 + 0,75b_2^3)x].$$

für ungleiche Stützweiten) ermittelt. Im Abschnitt III werden die Schaulinien der größten Biegemomente infolge der Verkehrslast dargestellt, so daß aus den größten vorkommenden Biegemomenten die maßgebenden Biegemomente an jeder Stelle des Trägers leicht abgeleitet werden können. Die Gesamtbiegemomente ergeben sich, indem man zu den Biegemomenten infolge der Verkehrslast noch diejenigen für Eigengewicht zuzählt.

I. Größte Biegemomente in einem Querschnitt zwischen zwei Stützen (Feldmomente) infolge des Lastenzuges B (Abb. 1).

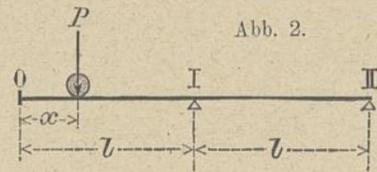


Abb. 2.

1. Allgemeines.

Das Rad, unter dem das größte Biegemoment auftritt, wird durch \odot bezeichnet. Bei der Belastung der Abb. 2 wird das Stützenmoment

$$(1) \quad \mathfrak{M}^1 = -\frac{P}{4l^2} x(l^2 - x^2)$$

und der Auflagerdruck A_0

$$(2) \quad A_0 = \frac{1}{l} [\mathfrak{M}^1 + P(l - x)],$$

somit das Biegemoment M_x^1 bei x und der Stützweite l

$$(3) \quad M_x^1 = A_0 \cdot x.$$

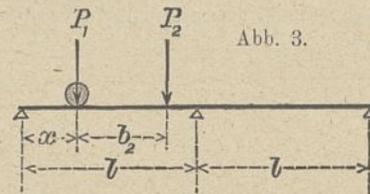


Abb. 3.

Tritt noch eine Last P_2 rechts vom Schnitt x (Abb. 3) hinzu, so wird

Liegt die zu P_1 hinzutretende Last P_3 links vom Schnitt x (Abb. 4), so ist statt b_2 zu setzen $-b_3$, außerdem ist zum Moment M_x der Betrag $-P_3 b_3$ hinzuzufügen. Damit wird für $P_3 = 20 \text{ t}$ links vom Schnitt x

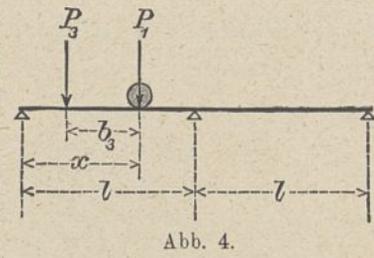


Abb. 4.

$$(9) M_x^{P_3=20 \text{ t}} = \frac{10}{2 l^3} [x^4 - 3 b_3 x^3 - (5 l^2 - 3 b_3^2) x^2 + (4 l^3 + 5 b_3 l^2 - b_3^3) x] - 20 b_3$$

und für $P_3 = 15 \text{ t}$ links vom Schnitt x

$$(10) M_x^{P_3=15 \text{ t}} = \frac{10}{2 l^3} [0,75 x^4 - 2,25 b_3 x^3 - (3,75 l^2 - 2,25 b_3^2) x^2 + (3 l^3 + 3,75 b_3 l^2 - 0,75 b_3^3) x] - 15 b_3.$$

Bei allen Belastungsfällen lassen sich also die Feldmomente M_x auf eine Gleichung vierten Grades derselben Form zurückführen, aus welcher die ungünstigste Laststellung dadurch berechnet werden kann, daß man

$$(11) \dots \frac{dM_x}{dx} = 0 = f(x) \text{ setzt.}$$

Die Gleichung (11) ist dritten Grades. Die maßgebende Wurzel dieser Gleichung wird am schnellsten mit Hilfe des Newtonschen Näherungsverfahrens berechnet, indem man mit Hilfe eines Näherungswertes x_1 den Wert $f(x_1)$ berechnet. Ist nun $f'(x_1)$ die Ableitung der Gleichung $f(x)$ nach x und berechnet man noch den Wert $f'(x_1)$, den $f'(x)$ durch Einsetzen von x_1 erfährt, so erhält man die Verbesserung

$$(12) \dots \delta = - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)}$$

und der verbesserte Näherungswert $x_2 = x_1 - \frac{f(x_1)}{f'(x_1)}$ ist meist schon mit genügender Genauigkeit der Ort des größten Biegemomentes. (Da es sich um einen mathematischen Größtwert handelt, so genügt es, wenn x in cm richtig gefunden ist.)

3. Belastungsfall II (Abb. 6).

Es ist der Beitrag von P_1 nach Formel (13)

$$M_x^{P_1=20} = \frac{10}{2 l^3} [x^4 - 5 l^2 x^2 + 4 l^3 x] \text{ hierzu mit } b_2 = 1,5 \text{ m}$$

von P_2 nach Formel (9) $M_x^{P_2=20} = \frac{10}{2 l^3} [x^4 - 4,5 x^3 - (5 l^2 - 6,75) x^2 + (4 l^3 + 7,5 l^2 - 3,375) x] - 30$

gibt (16) $M_x^I = \frac{10}{2 l^3} [2x^4 - 4,5 x^3 - (10 l^2 - 6,75) x^2 + (8 l^3 + 7,5 l^2 - 3,375) x] - 30.$

Für $l = 2,5 \text{ m}$ wird

$$M_x^{l=2,5} = \frac{10}{31,25} [2x^4 - 4,5 x^3 - 55,75 x^2 + 168,5 x] - 30$$

$$\frac{dM_x}{dx} = 0 = f(x) = 8x^3 - 13,5x^2 - 111,5x + 168,5$$

$$f'(x) = 24x^2 - 27x - 111,5$$

mit $x_1 = 0,432 \cdot 2,5 = \approx 1,0$ wird

$$f(1,0) = + 51,5$$

$$f'(1,0) = - 114,5$$

$$\text{also } \delta_{x_1} = + \frac{51,5}{114,5} = 0,45,$$

$$\text{also } x_2 = 1,45 \text{ m; } x_2^2 = 2,1025; \quad x_2^3 = 3,04863$$

$$f(1,45) = + 2,83$$

$$f'(1,45) = - 100,19$$

$$\delta_{x_2} = + \frac{2,83}{100} = 0,03,$$

2. Belastungsfall I.

Mit $P_1 = 20 \text{ t}$ (Abb. 5) wird nach Formel (1)

$$M_x^I = - \frac{10}{2 l^2} x (l^2 - x^2) = \frac{10}{2 l^2} (x^3 - l^2 x),$$

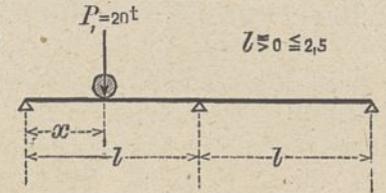


Abb. 5.

$$A_0 = \frac{10}{2 l^3} [x^3 - l^2 x] + \frac{1}{l} \cdot 20 (l - x) = \frac{10}{2 l^3} [x^3 - 5 l^2 x + 4 l^3].$$

Daher

$$(13) M_x^{P_1=20 \text{ t}} = A_0 \cdot x = \frac{10}{2 l^3} [x^4 - 5 l^2 x^2 + 4 l^3 x].$$

M_x erreicht seinen Größtwert für

$$\frac{dM_x}{dx} = 0 = f(x) = 4x^3 - 10 l^2 x + 4 l^3.$$

Nochmals abgeleitet gibt

$$f'(x) = 12x^2 - 10 l^2.$$

Mit dem Näherungswert $x_1 = 0,4 l$ wird

$$f(x_1) = 0,256 l^3 - 4 l^3 + 4 l^3 = 0,256 l^3,$$

$$f'(x_1) = 1,92 l^2 - 10 l^2 = - 8,08 l^2,$$

also $\delta = - \frac{0,256 l^3}{- 8,08 l^2} = + 0,032 l,$

also $x_2 = 0,4 l + 0,032 l = 0,432 l.$

Der Ort des größten Beitrages ist also bei

$$(14) \dots x_m = 0,432 l.$$

Setzt man diesen Wert in Gl. (13) ein, so wird

$$(15) M_m^I = \frac{10}{2 l^3} [(0,432 l)^4 - (0,432 l)^2 \cdot 5 l^2 + (0,432 l) \cdot 4 l^3] = 4,15 l \text{ in mt.}$$

Die in Betracht kommenden Werte sind in die Zusammenstellung I S. 336 aufgenommen.

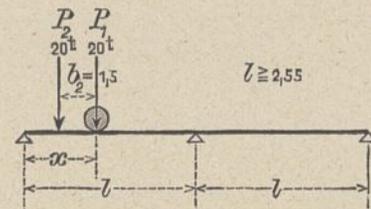


Abb. 6.

also $x = 1,48 \text{ m} = \frac{1,48}{2,5} l = 0,59 l,$

es muß aber sein $0,59 l \geq 1,5$

$l \geq 2,55$, da sonst P_2 nicht mehr auf der Brücke ist.

Für $l = 3,0 \text{ m}$ wird

$$M_x^{3,0} = \frac{10}{54} [2x^4 - 4,5 x^3 - 83,25 x^2 + 280,125 x] - 30,$$

und es ergab sich unter Fortlassen der in ähnlicher Weise ausgeführten Berechnungen als Ort des größten Biegemomentes $x = 1,68 = 0,56 l$ und das größte Biegemoment

$$M_{\text{Größtw.}}^{3,0} = 12,64 \text{ mt.}$$

Für $l = 3,5 \text{ m}$ wird $x = 1,89 \text{ m}, M_{\text{Größtw.}}^{3,5} = 16,32 \text{ mt.}$

4. Belastungsfall III.

Liegt P_2 rechts vom Querschnitt x (Abb. 7), so ergibt sich

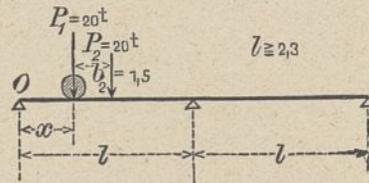


Abb. 7.

der Beitrag von P_1 nach Formel (13) $M_x^{P_1} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 5l^2x^2 + 4l^3x]$
 „ „ „ P_2 „ „ (7) $M_x^{P_2} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 4,5x^3 - (5l^2 - 6,75)x^2 + (4l^3 - 7,5l^2 + 3,375)x]$
 (17) $M_x^l = \frac{10}{2l^3} [2x^4 + 4,5x^3 - (10l^2 - 6,75)x^2 + (8l^3 - 7,5l^2 + 3,375)x]$.

Für $l = 3,0$ m wird

$M_x^3 = \frac{10}{54} [2x^4 + 4,5x^3 - 83,25x^2 + 151,875x]$ und
 $x = 1,06$ m = $0,353$ l
 $M_{\text{Größtw.}}^3 = 13,94$ mt.

Der Belastungsfall III ist also ungünstiger als der Belastungsfall II, was in Anbetracht des Umstandes erklärlich ist, daß der Ort des größten Beitrages näher bei der Stütze 0 ist, infolgedessen nimmt das Biegemoment rechts vom Schnitt x langsamer ab als links vom Schnitt.

Bei $l = 3,0$ m ist $l - x = 3 - 1,06 = 1,94 = \frac{1,94}{3}l = 0,65l$.

Damit P_2 noch in der ersten Öffnung liegt, muß $0,65l \geq 1,5$ oder $l \geq \frac{1,5}{0,65} \geq 2,3$ m sein.

Für $l = 2,5$ m wird

$M_x^{2,5} = \frac{10}{31,25} [2x^4 + 4,5x^3 - 55,75x^2 + 81,5x]$ und
 $x = 0,87 = 0,348$ l
 $M_{\text{Größtw.}}^{2,5} = 10,50$ mt.

Für $l = 2,4$ m wird

$M_x^{2,4} = \frac{10}{27,648} [2x^4 + 4,5x^3 - 50,85x^2 + 70,767x]$
 und $x = 0,835$ m,
 $M_{\text{Größtw.}}^{2,4} = 9,85$ mt.

Für $l = 3,5$ m wird

$M_x^{3,5} = \frac{10}{85,75} [2x^4 + 4,5x^3 - 115,75x^2 + 254,5x]$ und
 $x = 1,26$ m = $0,360$ l
 $M_{\text{Größtw.}}^{3,5} = 17,60$ mt.

Für $l = 4,0$ m wird

$M_x^4 = \frac{10}{128} [2x^4 + 4,5x^3 - 153,25x^2 + 395,375x]$
 und $x = 1,47$ m = $0,368$ l
 $M_{\text{Größtw.}}^4 = 21,38$ mt.

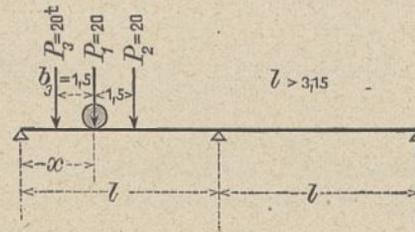


Abb. 8.

5. Belastungsfall IV.

Nach Belastungsfall III Formel (17) ist der Beitrag von P_1 und P_2 (Abb. 8)

$M_x^{P_1+P_2} = \frac{10}{2l^3} [2x^4 + 4,5x^3 - (10l^2 - 6,75)x^2 + (8l^3 - 7,5l^2 + 3,375)x]$

hierzu von P_3 $M_x^{P_3=20} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 4,5x^3 - (5l^2 - 6,75)x^2 + (4l^3 + 7,5l^2 - 3,375)x] - 30$, also

(18) $M_x^l = \frac{10}{2l^3} [3x^4 - (15l^2 - 13,5)x^2 + 12l^3x] - 30$.

Für $l = 3,5$ m wird

$M_x^{3,5} = \frac{10}{85,75} [3x^4 - 170,25x^2 + 514,5x] - 30$ und
 $x = 1,67$ m = $0,477$ l und
 $M_{\text{Größtw.}}^{3,5} = 17,6$ mt.

Für $l = 4,0$ m wird

$M_x^4 = \frac{10}{128} [3x^4 - 226,5x^2 - 768x] - 30$ und
 $x = 1,87$ m = $0,467$ l,
 $M_{\text{Größtw.}}^4 = 23,2$ mt.

Für $l = 4,5$ m wird

$M_x^{4,5} = \frac{10}{182,25} [3x^4 - 290,25x^2 + 1093,5x] - 30$ und
 $x = 2,06$ m = $0,458$ l,
 $M_{\text{Größtw.}}^{4,5} = 29,0$ mt.

Für $l = 5,0$ m wird

$M_x^5 = \frac{10}{250} [3x^4 - 361,5x^2 + 1500x] - 30$ und
 $x = 2,27$ m = $0,454$ l,
 $M_{\text{Größtw.}}^5 = 34,9$ mt.

Für $l = 5,5$ m wird

$M_x^{5,5} = \frac{10}{332,75} [3x^4 - 440,25x^2 + 1996,5x]$ und $x = 2,47$ m = $0,45$ l,
 $M_{\text{Größtw.}}^{5,5} = 40,8$ mt.

6. Belastungsfall V.

Nach Belastungsfall IV, Formel (18) ist der Beitrag von P_1, P_2 und P_3 (Abb. 9)

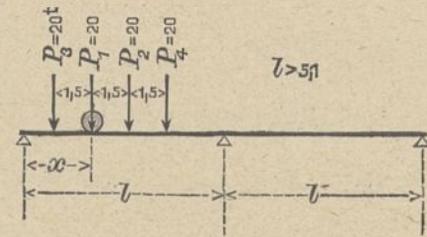


Abb. 9.

$$M_x^{P_1-P_3} = \frac{10}{2l^3} \left[3x^4 - (15l^2 - 13,5)x^2 + 12l^3x \right] - 30,$$

hierzu von P_4 nach Gl. (7) $M_x^{P_4} = \frac{10}{2l^3} \left[x^4 + 9x^3 - (5l^2 - 27)x^2 + (4l^3 - 15l^2 + 27)x \right]$

gibt (19) $M_x^l = \frac{10}{2l^3} \left[4x^4 + 9x^3 - (20l^2 - 40,5)x^2 + (16l^3 - 15l^2 + 27)x \right] - 30.$

Für $l = 5,5$ m wird

$$M_x^{5,5} = \frac{10}{332,75} \left[4x^4 + 9x^3 - 564,5x^2 + 2235,25x \right] - 30 \text{ und}$$

$$x = 2,26 \text{ m} = 0,41 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{5,5} = 41,51 \text{ mt.}$$

Es muß sein $l - x = 0,59 l > 3$, also $l > 5,1$ m.

Für $l = 6,0$ m wird

$$M_x^6 = \frac{10}{432} \left[4x^4 + 9x^3 - 679,5x^2 + 2943x \right] - 30 \text{ und}$$

$$x = 2,46 \text{ m} = 0,41 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^6 = 48,90 \text{ mt.}$$

Für $l = 6,5$ m wird

$$M_x^{6,5} = \frac{10}{549,25} \left[4x^4 + 9x^3 - 804,5x^2 + 3787,25x \right] - 30 \text{ und}$$

$$x = 2,65 \text{ m} = 0,41 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{6,5} = 56,51 \text{ mt.}$$

Für $l = 7,0$ m wird

$$M_x^{7,0} = \frac{10}{686} \left[4x^4 + 9x^3 - 939,5x^2 + 4780x \right] - 30 \text{ und}$$

$$x = 2,86 \text{ m},$$

$$M_{\text{Größtw.}}^7 = 64,23 \text{ mt.}$$

7. Belastungsfall VI.

Nach Belastungsfall V, Formel (19) ist der Beitrag von P_1 bis P_4 (Abb. 10) zum Feldmoment

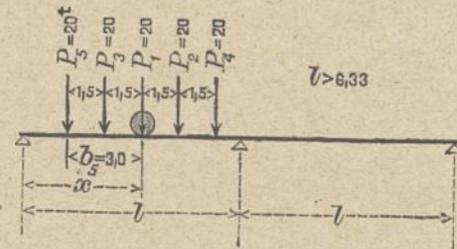


Abb. 10.

$$M_x^{P_1-P_4} = \frac{10}{2l^3} \left[4x^4 + 9x^3 - (20l^2 - 40,5)x^2 + (16l^3 - 15l^2 + 27)x \right] - 30,$$

hierzu von P_5 von Gl. (9) $M_x^{P_5} = \frac{10}{2l^3} \left[x^4 - 9x^3 - (5l^2 - 27)x^2 + (4l^3 + 15l^2 - 27)x \right] - 60$

gibt (20) $M_x^l = \frac{10}{2l^3} \left[5x^4 - (25l^2 - 67,5)x^2 + 20l^3x \right] - 90.$

Für $l = 6,5$ wird

$$M_x^{6,5} = \frac{10}{549,25} \left[5x^4 - 988,75x^2 + 5492,5x \right] - 90 \text{ und}$$

$$x = 3,07 \text{ m} = 0,473 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{6,5} = 55,42 \text{ mt.}$$

Damit alle fünf Räder auf der Brücke sind, muß $0,473 l > 3,0$, also $l > 6,33$ sein.

Für $l = 7,0$ m wird

$$M_x^7 = \frac{10}{686} \left[5x^4 - 1157,5x^2 + 6860x \right] - 90 \text{ und}$$

$$x = 3,26 \text{ m} = 0,466 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^7 = 64,91 \text{ mt.}$$

Für $l = 7,5$ m wird

$$M_x^{7,5} = \frac{10}{843,75} \left[5x^4 - 1338,75x^2 + 8437,5x \right] - 90 \text{ und}$$

$$x = 3,46 \text{ m} = 0,463 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{7,5} = 74,54 \text{ mt.}$$

Für $l = 8,0$ m wird

$$M_x^8 = \frac{10}{1024} \left[5x^4 - 1532,5x^2 + 10240x \right] - 90 \text{ und}$$

$$x = 3,66 \text{ m} = 0,457 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^8 = 84,29 \text{ mt.}$$

Für $l = 8,5$ m wird

$$M_x^{8,5} = \frac{10}{1228,25} \left[5x^4 - 1738,75x^2 + 12282,5x \right] - 90 \text{ und}$$

$$x = 3,86 \text{ m} = 0,455 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{8,5} = 94,11 \text{ mt.}$$

Für $l = 9,0$ m wird

$$M_x^9 = \frac{10}{1458} [5x^4 - 1957,5x^2 + 14580x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 4,07 \text{ m} = 0,452 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^9 = 104,0 \text{ mt.}$$

Für $l = 10,0$ m wird

$$M_x^{10} = \frac{10}{2000} [5x^4 - 2432,5x^2 + 20000x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 4,48 \text{ m} = 0,448 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{10} = 123,96 \text{ mt.}$$

Für $l = 11,0$ m wird

$$M_x^{11} = \frac{10}{2662} [5x^4 - 2957,5x^2 + 26620x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 4,90 \text{ m} = 0,446 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{11} = 144,07 \text{ mt.}$$

Für $l = 12,0$ m wird

$$M_x^{12} = \frac{10}{3456} [5x^4 - 3532,5x^2 + 34560x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 5,32 \text{ m} = 0,443 l, \text{ damit}$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{12} = 164,3 \text{ mt.}$$

Für $l = 13,0$ m wird

$$M_x^{13} = \frac{10}{4394} [5x^4 - 4157,5x^2 + 43940x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 5,74 \text{ m} = 0,440 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{13} = 184,6 \text{ mt.}$$

Für $l = 14,0$ m wird

$$M_x^{14} = \frac{10}{5488} [5x^4 - 4832,5x^2 + 54880x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 6,16 \text{ m} = 0,440 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{14} = 205,0 \text{ mt.}$$

8. Belastungsfall VII.²⁾

Nach Belastungsfall VI, Formel (20) ist der Beitrag von P_1 bis P_5 zum Feldmoment

$$M_x^{P_1-P_5} = \frac{10}{2l^3} [5x^4 - (25l^2 - 67,5)x^2 + 20l^3x] - 90 \text{ und von } P_6 \text{ nach Gl. (8)}$$

$$M_x^{P_6} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 16,875x^3 - (3,75l^2 - 126,5625)x^2 + (3l^3 - 28,125l^2 + 316,40625)x]$$

$$(21) M_x^l = \frac{10}{2l^3} [5,75x^4 + 16,875x^3 - (28,75l^2 - 194,0625)x^2 + (23l^3 - 28,125l^2 + 316,40625)x] - 90.$$

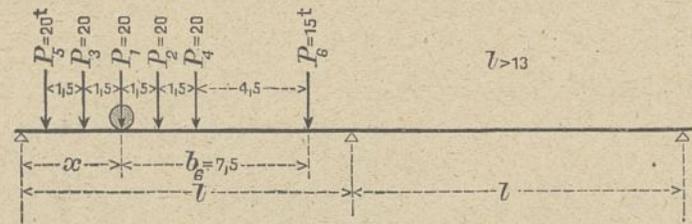


Abb. 11.

Für $l = 14,0$ m wird

$$M_x^{14} = \frac{10}{5488} [5,75x^4 + 16,875x^3 - 5440,9375x^2 + 57915,90625x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 5,92 \text{ m} = 0,423 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{14} = 206,5 \text{ mt.}$$

Damit alle Räder auf der Brücke sind, muß $0,577l > 7,5$ oder $l > 13$ m sein.

Für $l = 15,0$ m wird

$$M_x^{15} = \frac{10}{6750} [5,75x^4 + 16,875x^3 - 6274,6875x^2 + 71613,18125x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 6,33 \text{ m} = 0,422 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{15} = 229,1 \text{ mt.}$$

Für $l = 16,0$ m wird nach Gl. (21)

$$M_x^{16} = \frac{10}{8192} [5,75x^4 + 16,875x^3 - 7165,9375x^2 + 87324,40625x] - 90$$

und $x = 6,74 \text{ m} = 0,422 l,$

$$M_{\text{Größtw.}}^{16} = 251,9 \text{ mt.}$$

2) $P_6 = 15$ t ist ein Tenderrad. Bei dieser Laststellung und bei Belastungsfall VII würden die übrigen Tenderräder in die zweite Öffnung fallen. Man rechnet etwas zu ungünstig, wenn man diese Beiträge dieser Lasten vernachlässigt (vgl. Belastungsfall IX).

Belastungsfall VII.

Steht die Lokomotive wie in Abb. 12 auf der Brücke, so ergibt eine Berechnung

$$M_x^l = \frac{10}{2l^3} [5,75x^4 + 9x^3 - (28,75l^2 - 182,25)x^2 + (23l^3 - 15l^2 - 43,875)x] - 120.$$

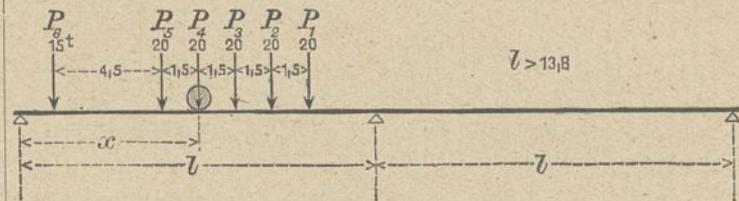


Abb. 12.

Für $l = 15,0$ m wird

$$(21') M_x^{15} = \frac{10}{6750} [5,75x^4 + 9x^3 - 6286,5x^2 + 74206,125x] - 120.$$

M_x^{15} erreicht seinen Größtwert für $x = 6,52 \text{ m} = 0,435 l,$

(damit alle Räder auf der Brücke sind, muß $0,435l > 6$ oder $l > 13,8$ m sein) und es wird

$$M_{\text{Größtw.}}^{15} = 219,95 \text{ mt,}$$

also erheblich kleiner als beim Belastungsfall VII.

9. Belastungsfall VIII.

Nach Belastungsfall VII, Gl. (21) ist der Beitrag von P_1 bis P_6

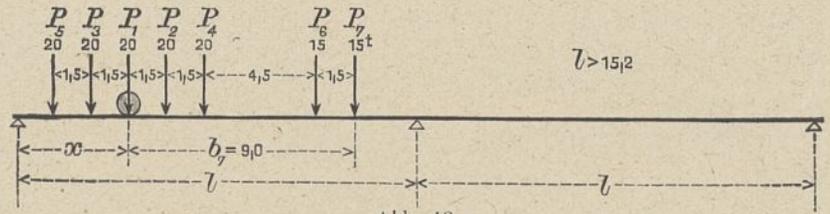


Abb. 13.

$$M_x^{P_1-P_6} = \frac{10}{2l^3} [5,75x^4 + 16,875x^3 - (28,75l^2 - 194,0625)x^2 + (23l^3 - 28,125l^2 + 316,40625)x] - 90$$

hierzu von P_7 nach Gl. (8)

$$M_x^{P_7} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 20,25x^3 - (3,75l^2 - 182,25)x^2 + (3l^3 - 33,75l^2 + 546,75)x]$$

gibt (22) $M_x^I = \frac{10}{2l^3} [6,50x^4 + 37,125x^3 - (32,50l^2 - 376,3125)x^2 + (26l^3 - 61,875l^2 + 863,15625)x] - 90.$

Für $l = 16,0$ m wird

$$M_x^{16} = \frac{10}{8192} [6,5x^4 + 37,125x^3 - 7943,6875x^2 + 91519,15625x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 6,51 \text{ m} = 0,407l,$$

damit alle Räder in der ersten Öffnung sind, muß $0,593l > 9$ oder $l > 15,2$ sein. Es wird

$$M_{\text{Größtw.}}^{16} = 253,1 \text{ mt.}$$

Für $l = 17,0$ m wird

$$M_x^{17} = \frac{10}{9826} [6,5x^4 + 37,125x^3 - 9016,1875x^2 + 110719,28125x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 6,93 \text{ m} = 0,4076l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{17} = 278,0 \text{ mt.}$$

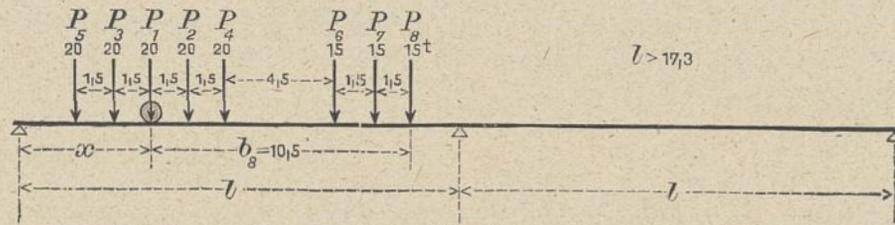


Abb. 14.

10. Belastungsfall IX.

Gemäß Gl. (22) ist der Einfluß von P_1 bis P_7

$$M_x^{P_1-P_7} = \frac{10}{2l^3} [6,50x^4 + 37,125x^3 - (32,50l^2 - 376,3125)x^2 + (26l^3 - 61,875l^2 + 863,15625)x] - 90$$

hierzu von P_8 gemäß Gl. (8) mit $b_8 = 10,5$

$$M_x^{P_8} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 23,625x^3 - (3,75l^2 - 248,0625)x^2 + (3l^3 - 39,375l^2 + 868,21875)x]$$

gibt (23) $M_x^I = \frac{10}{2l^3} [7,25x^4 + 60,75x^3 - (36,25l^2 - 624,375)x^2 + (29l^3 - 101,250l^2 + 1731,375)x] - 90$

Für $l = 18,0$ m wird

$$M_x^{18} = \frac{10}{11664} [7,25x^4 + 60,75x^3 - 11120,625x^2 + 138054,375x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 7,08 \text{ m} = 0,393l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{18} = 304,2 \text{ mt.}$$

Damit alle Räder P_1 bis P_8 in der ersten Öffnung Platz finden, muß $0,607l > 10,5$ oder $l > 17,3$ m sein.

Für $l = 17,3$ kommt das letzte Rad P_8 gerade über die Mittelstütze, und es wird $x = 17,3 - 10,5 = 6,80$. Damit wird

$$M_{\text{Größtw.}}^{17,3} = \frac{6,8}{1035,544} \cdot 57141,6195 - 90 = 285,2 \text{ mt,}$$

während man durch Einschalten zwischen

$$M^{17} = 278,0 \text{ (Belastungsfall VIII) und}$$

$$M^{18} = 304,2 \text{ (" IX)}$$

$M^{17,3} = 285,9$ mt, also einen etwas größeren Wert erhält.

Für $l = 19,0$ m wird

$$M_x^{19} = \frac{10}{13718} [7,25x^4 + 60,75x^3 - 12461,875x^2 + 164091,125x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 7,48 \text{ m} = 0,3937l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{19} = 331,5 \text{ mt.}$$

Für $l = 20,0$ m wird

$$M_x^{20} = \frac{10}{16000} [7,25x^4 + 60,75x^3 - 13875,625x^2 + 193231,375x] - 90 \text{ und}$$

$$x = 7,88 \text{ m} = 0,3940l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{20} = 359,2 \text{ mt.}$$

Für $l = 22,0$ m wird

$$M_x^{22} = \frac{1}{2129,6} [7,25x^4 + 60,75x^3 - 16920,625x^2 + 261518,375x] - 90$$

$$\text{und } x = 8,70 \text{ m} = 0,3955l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{22} = 414,7 \text{ mt.}$$

Durch Einschalten erhält man

$$M_{\text{Größtw.}}^{21} = \frac{359,2 + 414,7}{2} = 386,9 \text{ mt,}$$

$$x = \frac{0,3940 + 0,3955}{2} l = 0,3947l = 0,3947 \cdot 21 = 8,29 \text{ m,}$$

wird $x > 9$ m, also von $l > \frac{9}{0,396} = 22,7$ m ab, so tritt links noch eine neue Last hinzu.

Belastungsfall IX'.

Nach Belastungsfall IV, Formel (17) ist

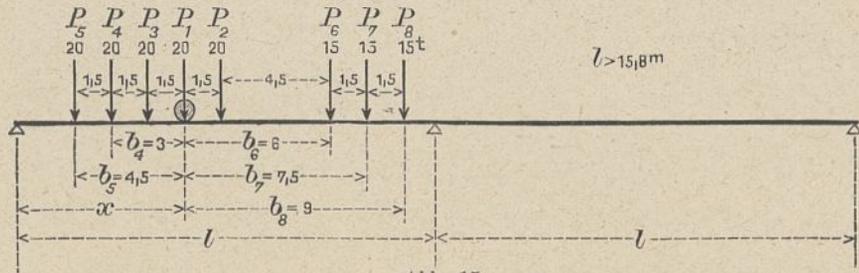


Abb. 15.

der Beitrag von $P_1 - P_3$ —: $M_x^{P_1-P_3} = \frac{10}{2l^3} [3x^4 - (15l^2 - 13,5)x + 12l^3x] - 30$

hierzu nach Formel (9) mit $b_4 = 3,0$ von P_4 —: $M_x^{P_4} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 9x^3 - (5l^2 - 27)x^2 + (4l^3 + 15l^2 - 27)x] - 60$

ferner " " (9) " $b_5 = 4,5$ " P_5 —: $M_x^{P_5} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 13,5x^3 - (5l^2 - 60,75)x^2 + (4l^3 + 22,5l^2 - 91,125)x] - 90$

" " " (8) " $b_6 = 6,0$ " P_6 —: $M_x^{P_6} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 13,5x^3 - (3,75l^2 - 81)x^2 + (3l^3 - 22,5l^2 + 162)x]$

" " " (8) " $b_7 = 7,5$ " P_7 —: $M_x^{P_7} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 16,875x^3 - (3,75l^2 - 126,5625)x^2 + (3l^3 - 28,125l^2 + 316,40625)x]$

" " " (8) " $b_8 = 9,0$ " P_8 —: $M_x^{P_8} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 20,25x^3 - (3,75l^2 - 182,25)x^2 + (3l^3 - 33,75l^2 + 546,75)x]$

gibt (24) $M_x^{P_1-P_8} = \frac{10}{2l^3} [7,25x^4 + 28,125x^3 - (36,25l^2 - 491,0625)x^2 + (29l^3 - 46,875l^2 + 907,03125)x] - 180$

Für $l = 16,0$ m wird

$M_x^{16} = \frac{10}{8192} [7,25x^4 + 28,125x^3 - 8788,9375x^2 + 107691,03125x] - 180$

und $x = 6,89$ m = $0,43$ l,

$M_{Größtw.}^{16} = 247,6$ mt.

Damit alle Räder in der ersten Öffnung sind, muß $0,57l > 9$ oder $l > 15,8$ sein.

Das Moment im Belastungsfall VIII bei $l = 16,0$ m ist

$M_{Größtw.}^{16} = 253,1$ mt, also etwas ungünstiger.

Für $l = 20,0$ m wird

$M_x^{20} = \frac{1}{1600} [7,25x^4 + 28,125x^3 - 14008,9375x^2 + 214157,03125x] - 180$

und $x = 8,01$ m,

$M_{Größtw.}^{20} = 358,1$ mt.

Die Laststellung IX ist also noch etwas ungünstiger, der Unterschied ist allerdings gering.

Dreht man den Zug um, so daß die 20 t-Räder näher an der Mittelstütze sind, dann sind die Momente kleiner.

(Vgl. auch Belastungsfall VII')

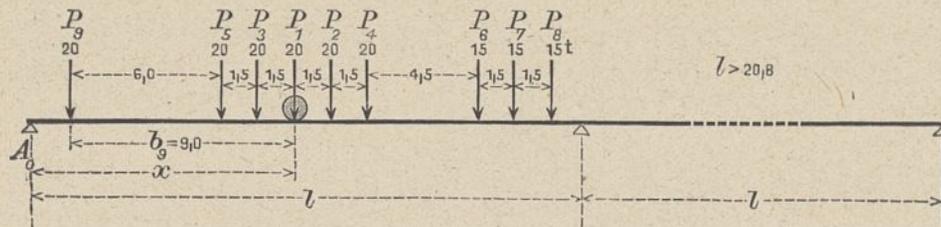


Abb. 16.

11. Belastungsfall X.

Nach Formel (23) ist der Beitrag von P_1 bis P_8

$M_x^{P_1-P_8} = \frac{10}{2l^3} [7,25x^4 + 60,75x^3 - (36,25l^2 - 624,375)x^2 + (29l^3 - 101,250l^2 + 1731,375)x] - 90$

hierzu nach Formel (9) der Beitrag von P_9 mit $b_9 = 9$

$M_x^{P_9} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 27x^3 - (5l^2 - 243)x^2 + (4l^3 + 45l^2 - 729)x] - 180$

gibt (25) $M_x^{P_1-P_9} = \frac{10}{2l^3} [8,25x^4 + 33,75x^3 - (41,25l^2 - 867,375)x^2 + (33l^3 - 56,25l^2 + 1002,375)x] - 270.$

Für $l = 21,0$ m wird

$M_x^{21} = \frac{1}{1852,2} [8,25x^4 + 33,75x^3 - 17323,875x^2 + 281809,125x] - 270$

und $x = 9,09$ m = $0,4329$ l,

$M_{Größtw.}^{21} = 384,3$ mt.

Damit alle Räder in der ersten Öffnung sind, muß $0,4329l > 9$ oder $l > 20,8$ m sein.

Für $l = 22,0$ m wird

$M_x^{22} = \frac{1}{2129,6} [8,25x^4 + 33,75x^3 - 19097,625x^2 + 325161,375x] - 270$ und

$x = 9,49$ m = $0,4314$ l,

$M_{Größtw.}^{22} = 416,3$ mt.

Für $l = 23,0$ m wird

$M_x^{23} = \frac{1}{2433,4} [8,25x^4 + 33,75x^3 - 20953,875x^2 + 372757,125x] - 270$ und

$x = 9,89$ m = $0,4300$ l,

$M_{Größtw.}^{23} = 448,6$ mt.

Für $l = 24,0$ wird

$M_x^{24} = \frac{1}{2764,8} [8,25x^4 + 33,75x^3 - 22892,625x^2 + 424794,375x] - 270$

und $x = 10,30$ m = $0,4292$ l,

$M_{Größtw.}^{24} = 481,0$ mt.

Übertrag: $\frac{10}{2l^3} [5x^4 - 22,5 x^3 - (25l^2 - 371,25)x^2 + (20l^3 + 37,5l^2 - 1130,625)x] - 240$

hierzu gemäß Gl. (9) ist $\frac{\text{der Einfluß von } P_{10}}{P_{10}} - : M_x^{P_{10}} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 27 x^3 - (5l^2 - 243)x^2 + (4l^3 + 45l^2 - 729)x] - 180$

" " " (9) " $P_9 - : M_x^{P_9} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 22,5 x^3 - (5l^2 - 168,75)x^2 + (4l^3 + 37,5l^2 - 421,875)x] - 150$

" " " (7) " $P_4 - : M_x^{P_4} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 13,5 x^3 - (5l^2 - 60,75)x^2 + (4l^3 - 22,5l^2 + 91,125)x]$

" " " (8) " $P_{11} - : M_x^{P_{11}} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 20,25 x^3 - (3,75l^2 - 182,25)x^2 + (3l^3 - 33,75l^2 + 546,75)x]$

" " " (8) " $P_2 - : M_x^{P_2} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 23,625x^3 - (3,75l^2 - 248,0625)x^2 + (3l^3 - 39,375l^2 + 868,21875)x]$

" " " (8) " $P_1 - : M_x^{P_1} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 27 x^3 - (3,75l^2 - 324)x^2 + (3l^3 - 45l^2 + 1296)x]$

gibt (28) $M_x^{P_1-P_{11}} = \frac{10}{2l^3} [10,25x^4 + 12,375x^3 - (51,25l^2 - 1598,0625)x^2 + (41l^3 - 20,625l^2 + 520,59375)x] - 570.$

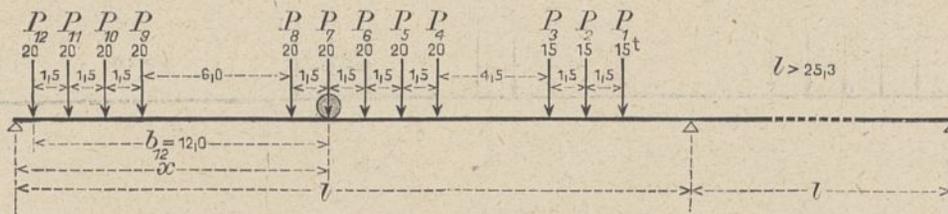
Für $l = 24,0$ m wird
 $M_x^{24} = \frac{1}{2764,8} [10,25x^4 + 12,375x^3 - 27921,9375x^2 + 555424,59x] - 570$
 und $x = 11,0$ m = $0,4585l$,
 $M_{\text{Größtw.}}^{24} = 478,0$ mt.

Für $l = 26,0$ m wird
 $M_x^{26} = \frac{1}{3515,2} [10,25x^4 + 12,375x^3 - 33046,9375x^2 + 707194,09x] - 570$
 und $x = 11,80$ m = $0,4538l$,
 $M_{\text{Größtw.}}^{26} = 557,2$ mt.

Belastungsfall XI ist also ungünstiger.

Belastungsfall XIV ist also etwas ungünstiger.

Durch Einschalten ergibt sich $M_{\text{Größtw.}}^{25} = 517,6$ mt, also kleiner als bei Belastungsfall XI.



15. Belastungsfall XIV.

Abb. 20.

Nach Formel (28) ist der Einfluß von $P_1 - P_{11}$

$$M_x^{P_1-P_{11}} = \frac{10}{2l^3} [10,25x^4 + 12,375x^3 - (51,25l^2 - 1598,0625)x^2 + (41l^3 - 20,625l^2 + 520,59375)x] - 570$$

hierzu von P_{12} gemäß Gl. (9)

$$M_x^{P_{12}} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 36x^3 - (5l^2 - 432)x^2 + (4l^3 + 60l^2 - 1728)x] - 240$$

gibt (29) $M_x^{P_1-P_{12}} = \frac{10}{2l^3} [11,25x^4 - 23,625x^3 - (56,25l^2 - 2030,0625)x^2 + (45l^3 + 39,375l^2 - 1207,40625)x] - 810$

Für $l = 26,0$ m wird

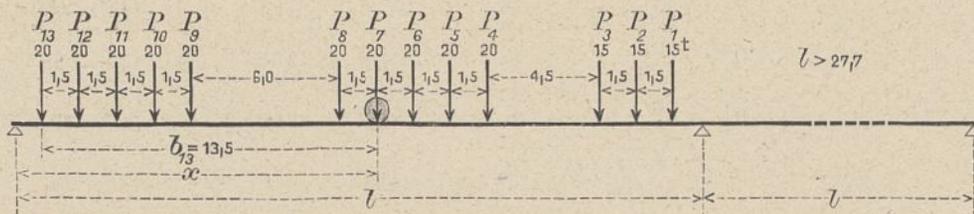
$$M_x^{26} = \frac{1}{3515,2} [11,25x^4 - 23,625x^3 - 35994,9375x^2 + 816330,09375x] - 810$$

und $x = 12,37$ m = $0,4758l$,
 $M_{\text{Größtw.}}^{26} = 558,0$ mt.

Für $l = 28,0$ m wird

$$M_x^{28} = \frac{1}{4390,4} [11,25x^4 - 23,625x^3 - 42069,9375x^2 + 1017502,59375x] - 810$$

und $x = 13,17$ m = $0,4704l$, damit
 $M_{\text{Größtw.}}^{28} = 645,0$ mt.



16. Belastungsfall XV.

Abb. 21.

Nach Formel (29) ist der Einfluß von $P_1 - P_{12}$

$$M_x^{P_1-P_{12}} = \frac{10}{2l^3} [11,25x^4 - 23,625x^3 - (56,25l^2 - 2030,0625)x^2 + (45l^3 + 39,375l^2 - 1207,40625)x] - 810$$

hierzu von P_{13} nach Gl. (9)

$$M_x^{P_{13}} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 40,50x^3 - (5l^2 - 546,75)x^2 + (4l^3 + 67,5l^2 - 2460,375)x] - 270$$

gibt (30) $M_x^{P_1-P_{13}} = \frac{10}{2l^3} [12,25x^4 - 64,125x^3 - (61,25l^2 - 2576,8125)x^2 + (49l^3 + 106,875l^2 - 3667,78125)x] - 1080$

Für $l = 28,0$ wird
 $M_x^{28} = \frac{1}{4390,4} [12,25x^4 - 64,125x^3 - 45443,1875x^2 + 1155770,2x] - 1080$

und $x = 13,71 \text{ m} = 0,4896 l$, damit
 $M_{\text{Größtw.}}^{28} = 644,6 \text{ mt}$,

somit kleiner als bei Belastungsfall XIV.

Für $l = 29,0$ m wird durch Einschalten

$$M_x^{29} = 691,8 \text{ mt.}$$

Für $l = 30,0$ m wird

$$M_x^{30} = \frac{1}{5400} [12,25x^4 - 64,125x^3 - 52548,1875x^2 + 1415519,72x] - 1080 \text{ und}$$

$x = 14,51 \text{ m} = 0,4837 l$,

$$M_{\text{Größtw.}}^{30} = 739,0 \text{ mt.}$$

Für $l = 32,0$ m wird

$$M_x^{32} = \frac{1}{6553,6} [12,25x^4 - 64,125x^3 - 60143,1875x^2 + 1711404,22x] - 1080 \text{ und}$$

$x = 15,31 \text{ m} = 0,4784 l$,

$$M_{\text{Größtw.}}^{32} = 834,6 \text{ mt.}$$

Für $l = 34,0$ m wird

$$M_x^{34} = \frac{1}{7860,8} [12,25x^4 - 64,125x^3 - 68228,1875x^2 + 2045775,7x] - 1080$$

und $x = 16,13 \text{ m}$,

$$M_{\text{Größtw.}}^{34} = 930,86 \text{ mt,}$$

also kleiner als bei Belastungsfall XX.

Für $l = 36,0$ m wird

$$M_x^{36} = \frac{1}{9331,2} [12,25x^4 - 64,125x^3 - 76803,1875x^2 + 2420986,2x] - 1080$$

und $x = 16,95 \text{ m} = 0,4708 l$,

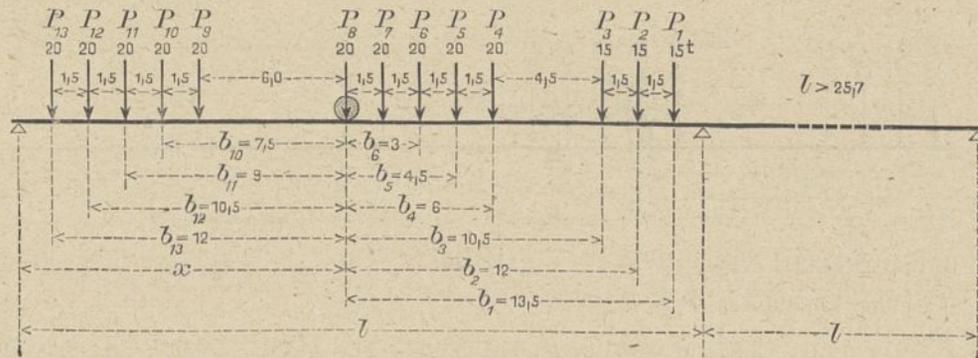
$$M_{\text{Größtw.}}^{36} = 1027,9 \text{ mt.}$$

Belastungsfall XXI ist also ungünstiger.

Durch Einschalten ergibt sich

$$M_{\text{Größtw.}}^{38} = 1027,9 + 97,0 = 1124,9 \text{ mt,}$$

also kleiner als bei Belastungsfall XVII.



17. Belastungsfall XVI.

Abb. 22.

Nach Gl. (17) ist der Beitrag von P_s u. P_7 -:	$M_x^{P_s+P_7} = \frac{10}{2l^3} [$	$2x^4 - 4,5x^3 - (10l^2 - 6,75)x^2 + (8l^3 - 7,5l^2 + 3,375)x]$
" " (9) " " " " P_{13} -:	$M_x^{P_{13}} = \frac{10}{2l^3} [$	$x^4 - 36x^3 - (5l^2 - 432)x^2 + (4l^3 + 60l^2 - 1728)x] - 240$
" " (9) " " " " P_{12} -:	$M_x^{P_{12}} = \frac{10}{2l^3} [$	$x^4 - 31,5x^3 - (5l^2 - 330,75)x^2 + (4l^3 + 52,5l^2 - 1157,625)x] - 210$
" " (9) " " " " P_{11} -:	$M_x^{P_{11}} = \frac{10}{2l^3} [$	$x^4 - 27x^3 - (5l^2 - 243)x^2 + (4l^3 + 45l^2 - 729)x] - 180$
" " (9) " " " " P_{10} -:	$M_x^{P_{10}} = \frac{10}{2l^3} [$	$x^4 - 22,5x^3 - (5l^2 - 168,75)x^2 + (4l^3 + 37,5l^2 - 421,875)x] - 150$
" " (9) " " " " P_9 -:	$M_x^{P_9} = \frac{10}{2l^3} [$	$x^4 - 18x^3 - (5l^2 - 108)x^2 + (4l^3 + 30l^2 - 216)x] - 120$
" " (7) " " " " P_6 -:	$M_x^{P_6} = \frac{10}{2l^3} [$	$x^4 + 9x^3 - (5l^2 - 27)x^2 + (4l^3 - 15l^2 + 27)x]$
" " (7) " " " " P_5 -:	$M_x^{P_5} = \frac{10}{2l^3} [$	$x^4 + 13,5x^3 - (5l^2 - 60,75)x^2 + (4l^3 - 22,5l^2 + 91,125)x]$
" " (7) " " " " P_4 -:	$M_x^{P_4} = \frac{10}{2l^3} [$	$x^4 + 18x^3 - (5l^2 - 108)x^2 + (4l^3 - 30l^2 + 216)x]$
" " (8) " " " " P_3 -:	$M_x^{P_3} = \frac{10}{2l^3} [$	$0,75x^4 + 23,625x^3 - (3,75l^2 - 248,0625)x^2 + (3l^3 - 39,375l^2 + 868,21875)x]$
" " (8) " " " " P_2 -:	$M_x^{P_2} = \frac{10}{2l^3} [$	$0,75x^4 + 27x^3 - (3,75l^2 - 324)x^2 + (3l^3 - 45l^2 + 1296)x]$
" " (8) " " " " P_1 -:	$M_x^{P_1} = \frac{10}{2l^3} [$	$0,75x^4 + 30,375x^3 - (3,75l^2 - 410,0625)x^2 + (3l^3 - 50,625l^2 + 1845,28125)x]$

zusammen somit (31) $M_x^{P_1-P_{13}} = \frac{10}{2l^3} [12,25x^4 - 9,000x^3 - (61,25l^2 - 2467,125)x^2 + (49l^3 + 15l^2 + 94,5)x] - 900.$

Für $l = 28,0$ m wird

$$M_x^{28} = \frac{1}{4390,4} [12,25x^4 - 9x^3 - 45552,875x^2 + 1087502,5x] - 900$$

und $x = 13,09 \text{ m} = 0,4675 l$,

$$M_{\text{Größtw.}}^{28} = 641,9 \text{ mt,}$$

somit kleiner als bei Belastungsfall XIV.

Für $l = 30,0$ m wird

$$M_x^{30} = \frac{1}{5400} [12,25x^4 - 9x^3 - 52657,875x^2 + 1336594,5x] - 900$$

und $x = 13,59 \text{ m} = 0,4630 l$,

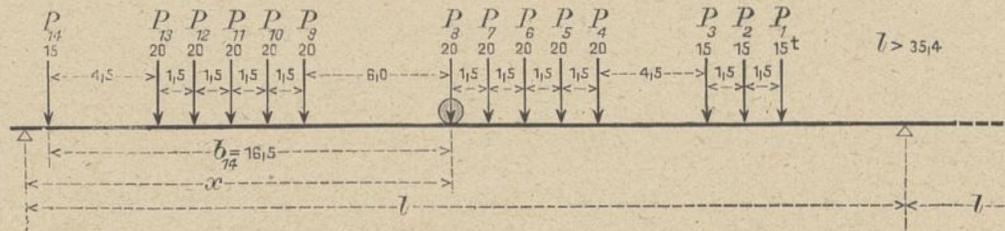
$$M_{\text{Größtw.}}^{30} = 736,4 \text{ mt,}$$

also kleiner als bei Belastungsfall XV.

Für $l = 32,0$ m wird
 $M_x^{32} = \frac{1}{6553,6} [12,25 x^4 - 9 x^3 - 60252,875 x^2 + 1621086,5 x] - 900$
 und $x = 14,69$ m = 0,4591 l , damit
 $M_{Größtw.}^{32} = 832,4$ mt,
 also kleiner als bei Belastungsfall XV.

Für $l = 34,0$ m wird
 $M_x^{34} = \frac{1}{7860,8} [12,25 x^4 - 9 x^3 - 68337,875 x^2 + 1943370,5 x] - 900$

und $x = 15,51$ m = 0,4562 l , damit
 $M_{Größtw.}^{34} = 929,0$ mt,
 also kleiner als bei Belastungsfall XV.
 Für $l = 36,0$ m wird
 $M_x^{36} = \frac{1}{9331,2} [12,25 x^4 - 9 x^3 - 76912,875 x^2 + 2305678,5 x] - 900$
 und $x = 16,33$ m = 0,4536 l , damit
 $M_{Größtw.}^{36} = 1026,2$ mt.
 Belastungsfall XVII ist also etwas ungünstiger.



18. Belastungsfall XVII.

Abb. 23.

Nach Formel (31) ist der Einfluß von P_1 bis P_{14} :

$$M_x^{P_1-P_{14}} = \frac{10}{2 l^3} [12,25 x^4 - 9 x^3 - (61,25 l^2 - 2467,125) x^2 + (49 l^3 + 15 l^2 + 94,5) x] - 900,0$$

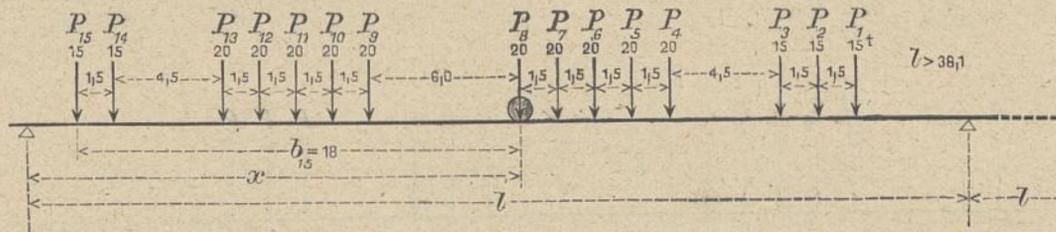
hierzu von P_{14} nach Gl. (10) $M_x^{P_{14}} = \frac{10}{2 l^3} [0,75 x^4 - 37,125 x^3 - (3,75 l^2 - 612,5625) x^2 + (3 l^3 + 61,875 l^2 - 3360,09375) x] - 217,5$

gibt (32) $M_x^{P_1-P_{14}} = \frac{10}{2 l^3} [13 x^4 - 46,125 x^3 - (65 l^2 - 3079,6875) x^2 + (52 l^3 + 76,875 l^2 - 3274,59375) x] - 1147,5$

Für $l = 36,0$ m wird
 $M_x^{36} = \frac{1}{9331,2} [13 x^4 - 46,125 x^3 - 81160,3125 x^2 + 2522467,4 x] - 1147,5$
 und $x = 16,82$ m = 0,4672 l ,
 $M_{Größtw.}^{36} = 1026,55$ mt.
 Belastungsfall XV ist also ungünstiger.

Für $l = 38,0$ m wird
 $M_x^{38} = \frac{1}{10974,4} [13 x^4 - 46,125 x^3 - 90780,3125 x^2 + 2961076,9 x] - 1147,5$
 und $x = 17,64$ m = 0,4642 l ,
 $M_{Größtw.}^{38} = 1129,2$ mt,
 also wesentlich kleiner als im Belastungsfall XXI.

Durch Einschalten erhält man $M_{Größtw.}^{40} = 1129,2 + 102,6 = 1231,8$. Belastungsfall XVIII ist also ungünstiger.



19. Belastungsfall XVIII.

Abb. 24.

Nach Formel (32) ist der Einfluß von P_1 bis P_{14} :

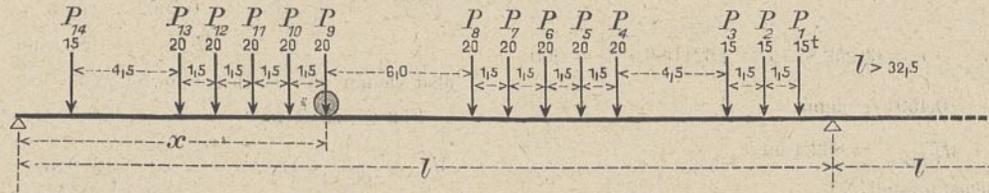
$$M_x^{P_1-P_{14}} = \frac{10}{2 l^3} [13 x^4 - 46,125 x^3 - (65 l^2 - 3079,6875) x^2 + (52 l^3 + 76,875 l^2 - 3274,59375) x] - 1147,5$$

hierzu von P_{15} nach Gl. (10) $M_x^{P_{15}} = \frac{10}{2 l^3} [0,75 x^4 - 40,500 x^3 - (3,75 l^2 - 729) x^2 + (3 l^3 + 67,5 l^2 - 4374) x] - 270$

gibt (33) $M_x^{P_1-P_{15}} = \frac{10}{2 l^3} [13,75 x^4 - 86,625 x^3 - (68,75 l^2 - 3808,6875) x^2 + (55 l^3 + 144,375 l^2 - 7648,59375) x] - 1417,5$

Für $l = 40,0$ m wird
 $M_x^{40} = \frac{1}{12800} [13,75 x^4 - 86,625 x^3 - 106191,3125 x^2 + 3743351,4 x] - 1417,5$

und $x = 18,95$ m = 0,4737 l ,
 $M_{Größtw.}^{40} = 1237,7$ mt.
 Belastungsfall XXI ist also ungünstiger.



20. Belastungsfall XIX.

Abb. 25.

Nach Gl. (10) ist mit $b_{14} = 10,5$ P_{14} - der Einfluß von $M_x^{P_{14}} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 - 23,625x^3 - (3,75l^2 - 248,0625)x^2 + (3l^3 + 39,575l^2 - 868,21875)x] - 157,5$

" " (9) " " $b_{13} = 6$ P_{13} - $M_x^{P_{13}} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 18x^3 - (5l^2 - 108)x^2 + (4l^3 + 30l^2 - 216)x] - 120$

" " (9) " " $b_{12} = 4,5$ P_{12} - $M_x^{P_{12}} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 13,5x^3 - (5l^2 - 60,75)x^2 + (4l^3 + 22,5l^2 - 91,125)x] - 90$

" " (9) " " $b_{11} = 3$ P_{11} - $M_x^{P_{11}} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 9x^3 - (5l^2 - 27)x^2 + (4l^3 + 15l^2 - 27)x] - 60$

" " (13) " " $b_{10} = 1,5$ P_{10} - $M_x^{P_{10}} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - 4,5x^3 - (5l^2 - 6,75)x^2 + (4l^3 + 7,5l^2 - 3,375)x] - 30$

" " (7) " " $b_9 = 0$ P_9 - $M_x^{P_9} = \frac{10}{2l^3} [x^4 - (5l^2)x^2 + (4l^3)x]$

" " (7) " " $b_8 = 6$ P_8 - $M_x^{P_8} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 18x^3 - (5l^2 - 108)x^2 + (4l^3 - 30l^2 + 216)x]$

" " (7) " " $b_7 = 7,5$ P_7 - $M_x^{P_7} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 22,5x^3 - (5l^2 - 168,75)x^2 + (4l^3 - 37,5l^2 + 421,875)x]$

" " (7) " " $b_6 = 9$ P_6 - $M_x^{P_6} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 27x^3 - (5l^2 - 243)x^2 + (4l^3 - 45l^2 + 729)x]$

" " (7) " " $b_5 = 10,5$ P_5 - $M_x^{P_5} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 31,5x^3 - (5l^2 - 330,75)x^2 + (4l^3 - 52,5l^2 + 1157,625)x]$

" " (7) " " $b_4 = 12$ P_4 - $M_x^{P_4} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 36x^3 - (5l^2 - 432)x^2 + (4l^3 - 60l^2 + 1728)x]$

" " (8) " " $b_3 = 16,5$ P_3 - $M_x^{P_3} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 37,125x^3 - (3,75l^2 - 612,5625)x^2 + (3l^3 - 61,875l^2 + 3369,09375)x]$

" " (8) " " $b_2 = 18$ P_2 - $M_x^{P_2} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 40,5x^3 - (3,75l^2 - 729)x^2 + (3l^3 - 67,5l^2 + 4374)x]$

" " (8) " " $b_1 = 19,5$ P_1 - $M_x^{P_1} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 43,875x^3 - (3,75l^2 - 855,5625)x^2 + (3l^3 - 73,125l^2 + 5561,15625)x]$

gibt (34) $M_x^{P_1-P_{14}} = \frac{10}{2l^3} [13x^4 - 187,875x^3 - (65l^2 - 3930,1875)x^2 + (52l^3 - 313,125l^2 + 16351,03125)x] - 437,5$

Für $l = 30,0$ m wird

$$M_x^{30} = \frac{1}{5400} [13x^4 + 187,875x^3 - 54569,8125x^2 + 1138538,5x] - 457,5$$

und $x = 11,97$ m = $0,3990l$; damit $M_{Größtw.}^{30} = 667,8$ mt.

Damit alle Räder in der ersten Öffnung sind, muß

$$l > \frac{19,5}{0,6010} > 32,5 \text{ sein.}$$

Für $l = 33,0$ m wird

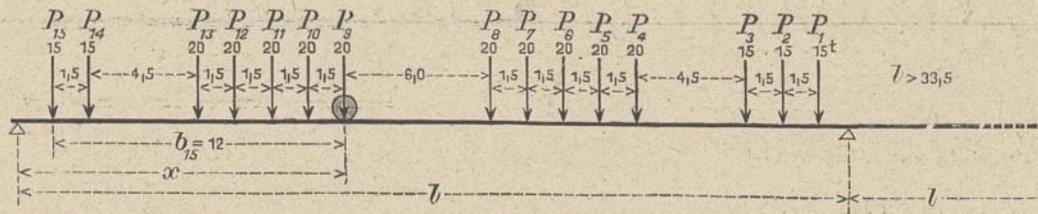
$$M_x^{33} = \frac{1}{7187,4} [13x^4 + 187,875x^3 - 66854,8125x^2 + 1544081,9x] - 457,5$$

und $x = 13,14$ m = $0,3982l$,

$$M_{Größtw.}^{33} = 872,6 \text{ mt.}$$

Bei Belastungsfall XV wird durch Einschalten

$$M_{Größtw.}^{83} = 882,7 \text{ mt.}$$



21. Belastungsfall XX.

Abb. 26.

Nach Formel (34) ist der Einfluß von P_1 bis P_{14} :

$$M_x^{P_1-P_{14}} = \frac{10}{2l^3} [13x^4 + 187,875x^3 - (65l^2 - 3930,1875)x^2 + (52l^3 - 313,125l^2 + 16351,03125)x] - 457,5$$

hierzu nach Gl. (10) mit $P_{15} = 12$ v. P_{15} : $M_x^{P_{15}} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 - 27x^3 - (3,75l^2 - 324)x^2 + (3l^3 + 45l^2 - 1296)x] - 180$

gibt (35) $M_x^{P_1-P_{15}} = \frac{10}{2l^3} [13,75x^4 + 160,875x^3 - (68,75l^2 - 4254,1875)x^2 + (55l^3 - 268,125l^2 + 15055,03125)x] - 637,5$

Für $l = 34,0$ m wird

$$M_x^{34} = \frac{1}{7860,8} [13,75x^4 + 160,875x^3 - 75220,8125x^2 + 1866822,53125x] - 637,5$$

$x = 14,06$ m = $0,4135l$,

Damit alle Räder in der ersten Öffnung Platz finden, muß $0,5865l > 19,5$ oder $l > 33,5$ m sein; es wird

$$M_{Größtw.}^{34} = 934,9 \text{ mt,}$$

also kleiner als bei Belastungsfall XXI.

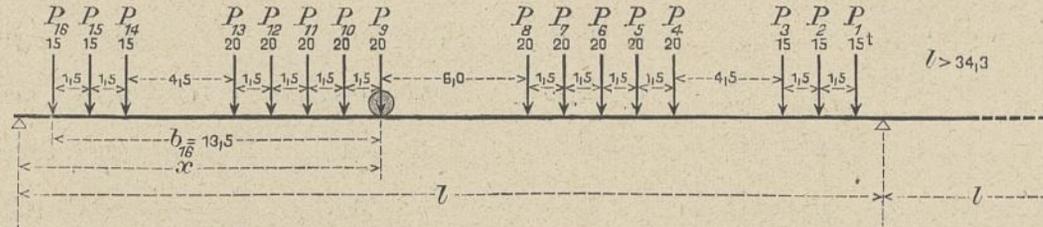
Würde man P_1 über die Mittelstütze stellen, so ergäbe sich für $l = 32,0$ m

$$M_x^{32} = \frac{1}{6553,6} \left[13,75 x^4 + 160,875 x^3 - 66145,8125 x^2 + 1542735,03 x \right] - 637,5$$

in diesem Falle wird $x = 32 - 19,5 = 12,5$ m, also

$$M_{12,5}^{32} = 827,2 \text{ mt,}$$

also kleiner als bei Belastungsfall XV.



22. Belastungsfall XXI.

Abb. 27.

Nach Formel (35) ist der Einfluß von $P_1 - P_{15}$

$$M_x^{P_1-P_{15}} = \frac{10}{2 l^3} \left[13,75 x^4 + 160,875 x^3 - (68,75 l^2 - 4254,1875) x^2 + (55 l^3 - 268,125 l^2 + 15055,03125) x \right] - 637,5$$

hierzu mit $b_{16} = 13,5$ der Einfluß von P_{16} :

$$M_x^{P_{16}} = \frac{10}{2 l^3} \left[0,75 x^4 - 30,375 x^3 - (3,75 l^2 - 410,0625) x^2 + (3 l^3 + 50,625 l^2 - 1845,28125) x \right] - 202,5$$

gibt (36) $M_x^{P_1-P_{16}} = \frac{10}{2 l^3} \left[14,5 x^4 + 130,5 x^3 - (72,5 l^2 - 4664,25) x^2 + (58 l^3 - 217,5 l^2 + 13209,75) x \right] - 840$

Für $l = 34,0$ m wird

$$M_x^{34} = \frac{1}{7860,8} \left[14,5 x^4 + 130,5 x^3 - 79145,75 x^2 + 2041411,75 x \right] - 840 \text{ und}$$

$$x = 14,55 \text{ m} = 0,4279 l,$$

damit alle Räder in der ersten Öffnung sind, muß $0,5721 l > 19,5$ oder $l > 34,3$ sein.

Bei $x = 14,5$ stünde P_1 gerade noch über der Stütze, denn es ist $14,5 + 19,5 = 34,0$. Für diesen Fall würde

$$M_{x=14,5}^{34} = 940,8 \text{ mt.}$$

Für $l = 36,0$ m wird

$$M_x^{36} = \frac{1}{9331,2} \left[14,5 x^4 + 130,5 x^3 - 89295,75 x^2 + 2437377,75 x \right] - 840 \text{ und}$$

$$x = 15,34 \text{ m} = 0,4261 l,$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{36} = 1051,6 \text{ mt.}$$

Für $l = 38,0$ m wird

$$M_x^{38} = \frac{1}{10974,4} \left[14,5 x^4 + 130,5 x^3 - 100025,75 x^2 + 2881715,75 x \right] - 840 \text{ und}$$

$$x = 16,13 \text{ m} = 0,4245 l,$$

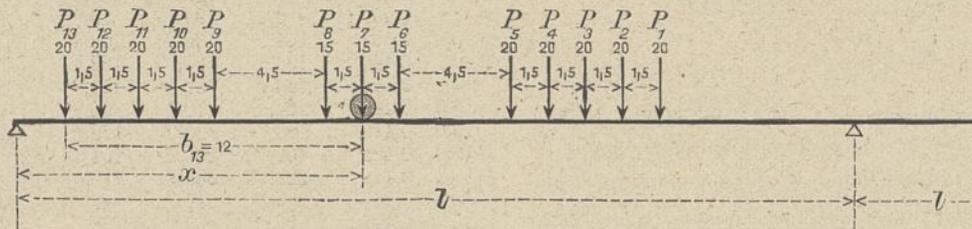
$$M_{\text{Größtw.}}^{38} = 1163,6 \text{ mt.}$$

Für $l = 40,0$ m wird

$$M_x^{40} = \frac{1}{12800} \left[14,5 x^4 + 130,5 x^3 - 111335,75 x^2 + 3377209,75 x \right] - 840 \text{ und}$$

$$x = 16,93 \text{ m} = 0,4233 l, \text{ damit}$$

$$M_{\text{Größtw.}}^{40} = 1276,30 \text{ mt.}$$



23. Belastungsfall XXII.

Abb. 28.

Nach Gl. (9) ist mit $b_{13} = 12$	P_{13}	$M_x^{P_{13}} = \frac{10}{2 l^3} \left[x^4 - 36 x^3 - (5 l^2 - 432) x^2 + (4 l^3 + 60 l^2 - 1728) x \right] - 240$
" " (9) " "	$b_{12} = 10,5$ P_{12}	$M_x^{P_{12}} = \frac{10}{2 l^3} \left[x^4 - 31,5 x^3 - (5 l^2 - 330,75) x^2 + (4 l^3 + 52,5 l^2 - 1157,625) x \right] - 210$
" " (9) " "	$b_{11} = 9$ P_{11}	$M_x^{P_{11}} = \frac{10}{2 l^3} \left[x^4 - 27 x^3 - (5 l^2 - 243) x^2 + (4 l^3 + 45 l^2 - 729) x \right] - 180$
" " (9) " "	$b_{10} = 7,5$ P_{10}	$M_x^{P_{10}} = \frac{10}{2 l^3} \left[x^4 - 22,5 x^3 - (5 l^2 - 168,75) x^2 + (4 l^3 + 37,5 l^2 - 421,875) x \right] - 150$
" " (9) " "	$b_9 = 6$ P_9	$M_x^{P_9} = \frac{10}{2 l^3} \left[x^4 - 18 x^3 - (5 l^2 - 108) x^2 + (4 l^3 + 30 l^2 - 216) x \right] - 120$
Seitenbetrag:		$\frac{10}{2 l^3} \left[5 x^4 - 135,0 x^3 - (25 l^2 - 1282,50) x^2 + (20 l^3 + 225,0) l^2 - 4252,5 x \right] - 900$

Übertrag: $\frac{10}{2l^3} [5x^4 - 135,0x^3 - (25l^2 - 1282,50)x^2 - (20l^3 + 225,0l^2 - 4252,5)x] - 900$

Nach Gl. (10) ist mit $b_8 = 1,5$ P_8 —: $M_x^{P_8} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 - 3,375x^3 - (3,75l^2 - 5,0625)x^2 + (3l^3 + 5,625l^2 - 2,53125)x] - 22,5$

„ „ (1) bis (3) ist P_7 —: $M_x^{P_7} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 - (3,75l^2)x^2 + (3l^3 -)x]$

„ „ (8) ist mit $b_6 = 1,5$ P_6 —: $M_x^{P_6} = \frac{10}{2l^3} [0,75x^4 + 3,375x^3 - (3,75l^2 - 5,0625)x^2 + (3l^3 - 5,625l^2 + 2,53125)x]$

„ „ (7) „ „ $b_5 = 6$ P_5 —: $M_x^{P_5} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 18x^3 - (5l^2 - 108)x^2 + (4l^3 - 30l^2 + 216)x]$

„ „ (7) „ „ $b_4 = 7,5$ P_4 —: $M_x^{P_4} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 22,5x^3 - (5l^2 - 168,75)x^2 + (4l^3 - 37,5l^2 + 421,875)x]$

„ „ (7) „ „ $b_3 = 9$ P_3 —: $M_x^{P_3} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 27x^3 - (5l^2 - 243)x^2 + (4l^3 - 45l^2 + 729)x]$

„ „ (7) „ „ $b_2 = 10,5$ P_2 —: $M_x^{P_2} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 31,5x^3 - (5l^2 - 330,75)x^2 + (4l^3 - 52,5l^2 + 1157,625)x]$

„ „ (7) „ „ $b_1 = 12$ P_1 —: $M_x^{P_1} = \frac{10}{2l^3} [x^4 + 36x^3 - (5l^2 - 432)x^2 + (4l^3 - 60l^2 + 1728)x]$

gibt (37) $M_x^{P_1-P_8} = \frac{10}{2l^3} [12,25x^4 - (61,25l^2 - 2575,125)x^2 + (49l^3 -)x] - 922,5$

Für $l = 30,0$ m wird

$M_x^{30} = \frac{10}{54000} [12,25x^4 - 52549,875x^2 + 1323000x] - 922,5$

$x = 13,82$ m = 0,4607 l , damit

$M_{Größtw.}^{30} = 687,5$ mt,

also wesentlich kleiner als im Belastungsfall XV.

In nebenstehender Zusammenstellung I sind in Spalte 3 die berechneten ungünstigsten Feldmomente $M_{Größtw.}^l$ für symmetrische Träger auf drei Stützen für Stützweiten bis zu 40 m eingetragen.

24. Vergleich mit dem größten Biegemoment \mathfrak{M}_m , berechnet mit der gleichmäßig verteilten Last p , die beim einfachen Balken ein gleich großes Biegemoment M hervorruft wie der Lastenzug B.

Es ist beim einfachen Balken

(38) $M = \frac{pl^2}{8}$, hieraus

(39) $p = \frac{8M}{l^2}$

Der Größtwert \mathfrak{M}_m des Feldmoments bei der gleichmäßig verteilten Last p (Abb. 29) ist

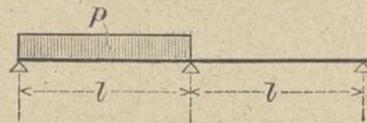


Abb. 29.

(40) $\mathfrak{M}_m = \frac{49pl^2}{512}$

setzt man den Wert von p ein, so ergibt sich

(41) $\mathfrak{M}_m = \frac{49}{64} M$,

wo M das größte Biegemoment beim einfachen Balken infolge des Lastenzuges B ist. Die größten Biegemomente M sind in Spalte 4 der vorstehenden Zusammenstellung I angegeben. Spalte 5 enthält die hiermit berechneten Werte \mathfrak{M}_m . Aus Spalte 6 und 7 sind die Unterschiede der genauen Werte und der mit gleichmäßig verteilter Last berechneten Werte ersichtlich. Das — Zeichen deutet an, daß die Werte zu klein wären, wenn mit gleichmäßig verteilter Last gerechnet würde.

Man erkennt, daß die Unterschiede namentlich bei Stützweiten über 3 m gering sind und in Anbetracht der willkürlichen Festsetzung der höchsten Beanspruchung innerhalb der zulässigen Grenzen liegen.

Den weiteren Berechnungen sollen die in Spalte 8 angegebenen jeweils größten der beiden Werte zugrunde gelegt werden.

Zusammenstellung I
der größten Feldmomente infolge des Lastenzuges B bei durchlaufenden symmetrischen Trägern auf drei Stützen.
(Bei Zwischenwerten ist geradlinig einzuschalten.)

1	2	3	4	5	6	7	8
Stützweite l	Ort des größten Feldmomentes x_m	Größtes Feldmoment $M_{Größtw.}^l$ infolge des Lastenzuges B	Größtes Biegemoment M beim einfachen Balken derselben Stützweite l	Größtes Feldmoment \mathfrak{M}_m^l berechnet aus $\mathfrak{M}_m = \frac{49}{64} M$	Unterschied zwischen Spalte 5 und Spalte 3	Unterschied zwischen Spalte 5 und Spalte 3 in vH.	Größtes Feldmoment für die weiteren Berechnungen $M_{Größtw.}^l$
m	m	mt	mt	mt	mt	mt	mt
1,0	0,432 l	4,15	5,0	3,83	- 0,32	- 8,4 vH.	4,15
1,5	0,432 l	6,23	7,5	5,74	- 0,49	- 8,5 "	6,23
2,0	0,432 l	8,3	10,0	7,66	- 0,64	- 8,4 "	8,3
2,5	0,348 l	10,5	12,5	9,57	- 0,93	- 9,7 "	10,5
3,0	0,353 l	13,9	16,9	12,9	- 1,0	- 7,7 "	13,9
3,5	0,360 l	17,6	22,5	17,2	- 0,4	- 2,2 "	17,6
4,0	0,467 l	23,2	30,0	23,0	- 0,2	- 0,9 "	23,2
4,5	0,458 l	29,0	37,5	28,7	- 0,3	- 1,0 "	29,0
5,0	0,454 l	34,9	45,0	34,5	- 0,4	- 1,2 "	34,9
5,5	0,410 l	41,5	53,45	40,9	- 0,6	- 1,5 "	41,5
6,0	0,410 l	48,9	61,9	47,4	- 1,5	- 3,2 "	48,9
6,5	0,410 l	56,5	73,45	56,2	- 0,3	- 0,5 "	56,5
7,0	0,466 l	64,9	85,0	65,1	+ 0,2	+ 0,3 "	65,1
7,5	0,463 l	74,5	97,5	74,7	+ 0,2	+ 0,3 "	74,7
8,0	0,457 l	84,3	110,0	84,2	- 0,1	- 0,1 "	84,3
8,5	0,455 l	94,1	122,5	93,8	- 0,3	- 0,3 "	94,1
9,0	0,452 l	104,0	135,0	103,4	- 0,6	- 0,6 "	104,0
10,0	0,448 l	124,0	160,0	122,5	- 1,5	- 1,2 "	124,0
11,0	0,446 l	144,1	185,0	141,8	- 2,3	- 1,6 "	144,1
12,0	0,443 l	164,3	210,0	160,8	- 3,5	- 2,2 "	164,3
13,0	0,440 l	184,6	235,0	179,9	- 4,7	- 2,6 "	184,6
14,0	0,423 l	206,5	260,0	199,1	- 7,4	- 3,7 "	206,5
15,0	0,422 l	229,1	286,8	219,6	- 9,5	- 4,3 "	229,1
16,0	0,407 l	253,1	317,5	243,1	- 10,0	- 4,1 "	253,1
17,0	0,4076 l	278,0	350,0	268,0	- 10,0	- 3,7 "	278,0
18,0	0,3933 l	304,2	384,3	294,2	- 10,0	- 3,4 "	304,2
19,0	0,3937 l	331,5	422,5	323,5	- 8,0	- 2,5 "	331,5
20,0	0,3940 l	359,2	462,5	354,1	- 5,1	- 1,4 "	359,2
21,0	0,3947 l	386,9	506,3	387,6	+ 0,7	+ 0,2 "	387,6
22,0	0,4314 l	416,3	550,0	421,1	+ 4,8	+ 1,1 "	421,1
23,0	0,4300 l	448,6	597,5	457,4	+ 8,8	+ 1,9 "	457,4
24,0	0,4579 l	482,4	645,0	493,8	+ 11,4	+ 2,3 "	493,8
25,0	0,4556 l	518,7	692,5	530,2	+ 11,5	+ 2,2 "	530,2
26,0	0,4758 l	558,0	740,0	566,6	+ 8,6	+ 1,5 "	566,6
27,0	0,4731 l	601,5	797,7	610,7	+ 9,2	+ 1,5 "	610,7
28,0	0,4704 l	645,0	855,4	654,9	+ 9,9	+ 1,5 "	654,9
29,0	0,4866 l	691,8	916,4	701,6	+ 9,8	+ 1,4 "	701,6
30,0	0,4837 l	739,0	977,5	748,4	+ 9,4	+ 1,3 "	748,4
32,0	0,4784 l	834,6	1102,0	843,7	+ 9,1	+ 1,1 "	843,7
34,0	0,4279 l	940,8	1232,0	943,2	+ 2,4	+ 0,3 "	943,2
36,0	0,4261 l	1051,6	1367,0	1046,5	- 5,1	- 0,5 "	1051,6
38,0	0,4245 l	1163,6	1508,0	1154,5	- 9,1	- 0,8 "	1163,6
40,0	0,4233 l	1276,3	1663,0	1273,2	- 3,1	- 0,2 "	1276,3

II. Größte Biegemomente über der Mittelstütze durchlaufender Träger auf drei Stützen infolge des Lastenzuges B (Abb. 1).

1. Allgemeines.

Die Stützen seien gleich hoch. Die größten Momente erhält man, indem man die für sich berechneten Einflüsse der ruhenden Last und der bewegten Last zusammenzählt. Dabei rechnet man eher etwas zu ungünstig. Es soll im

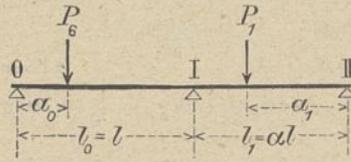


Abb. 30.

folgenden nur der Einfluß der bewegten Last festgestellt werden und zwar derart, daß für jede der beiden Öffnungen die ungünstigste Belastung einzeln ermittelt wird und ihre Einflüsse auf das Stützenmoment zusammengezählt werden.³⁾

Die Öffnungen seien zunächst beliebig. Die erste Öffnung $l_0 = l$, die zweite Öffnung $l_1 = \alpha \cdot l$.

Das größte Biegemoment M^I über der Mittelstütze I erhält man bei Vollbelastung beider Öffnungen. Es ist allgemein

$$(42) \quad M^I = -\frac{1}{2(l_0 + l_1)} \left[\frac{1}{l_0} \sum P_0 a_0 (l_0^2 - a_0^2) + \frac{1}{l_1} \sum P_1 (l_1^2 - a_1^2) \right]$$

2. Allgemeine Formeln für das Stützenmoment M^I .

Wir betrachten symmetrische Träger mit zwei Öffnungen. Es sei nur die Öffnung l_0 belastet, alsdann ist das Stützenmoment $\mathfrak{M}_{l_1}^I$, herrührend von dieser Belastung nach Formel (42).

$$(43) \quad (*) \quad \mathfrak{M}_{l_1}^I = -\frac{1}{4l_1^2} \sum P_0 \cdot a_0 (l_1^2 - a_0^2).$$

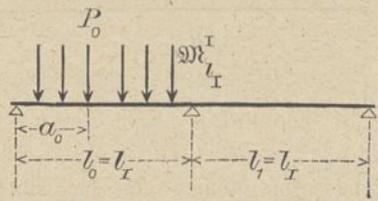


Abb. 31. Einseitige Belastung von l_0 .

3) Würde man gleichzeitig beide Öffnungen mit einer Lokomotive oder mit einem Lokomotivzug belastet betrachten, so würde man in vielen Fällen zu kleine Werte für das Stützenmoment M^I bekommen, da sich bei größerem Radstand größere Momente ergeben können, und da namentlich bei größeren Stützweiten unter Umständen die ungünstigsten Laststellungen eintreten, wenn zwei über beide Öffnungen reichende Lokomotiven einen größeren Abstand haben, als durch den Radstand und die Pufferlänge der Abb. 1 bedingt ist (Wagen zwischen den Lokomotiven). Auf diese Weise wird zugleich die Prüfung der Frage erleichtert, ob eine Lokomotive mit anderen Radlasten und anderem Radstand ungünstigere Beanspruchung hervorruft. Wie später gezeigt werden wird, genügt es, diese Frage für einfache Balken zu entscheiden. Werden die Biegemomente für einfache Balken unter Zugrundelegung einer anderen Lokomotivgattung nicht größer als beim Lastenzug B, so werden sie auch nicht größer beim durchlaufenden Balken, wenn bei letzterem die Biegemomente infolge des Lastenzuges aus den Biegemomenten bei Belastung der einzelnen Öffnungen abgeleitet werden. Bei Feststellung der ungünstigsten Laststellung soll bezüglich der Stellung der Räder nur die eine Bedingung erfüllt sein, daß alle in Frage kommenden Räder in der behandelten Öffnung Platz finden, gleichgültig wie die Stellung der Räder in der Nachbaröffnung ist. Es wird also vorausgesetzt, daß die für die Einzelöffnung gefundenen ungünstigsten Laststellungen gleichzeitig in beiden Öffnungen stattfinden können. (Da es sich um einen mathematischen Größtwert handelt, so können die Lastzüge eine ziemlich große Verschiebung erfahren, ohne daß sich die Biegemomente wesentlich ändern.)

4) Deutsche Buchstaben bedeuten, daß es sich nur um Belastung einer Öffnung handelt.

In gleicher Weise wird das Stützenmoment $\mathfrak{M}_{l_{II}}^I$ infolge der Belastung der Öffnung l_1 rechts

$$(44) \quad \mathfrak{M}_{l_{II}}^I = -\frac{1}{4l_{II}^2} \sum P_1 \cdot a_1 (l_{II}^2 - a_1^2).$$

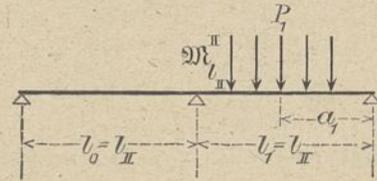


Abb. 32. Einseitige Belastung von l_1 .

Das Gesamtstützenmoment M^I bei einem Träger auf drei Stützen mit ungleichen Feldern l_I und l_{II} wird dann nach Formel (42)

$$M^I = -\frac{1}{2(l_I + l_{II})} \left(\frac{1}{l_I} \sum P_0 \cdot a_0 (l_I^2 - a_0^2) + \frac{1}{l_{II}} \sum P_1 \cdot a_1 (l_{II}^2 - a_1^2) \right)$$

oder

$$(45) \quad M^I = -\frac{2}{l_I + l_{II}} \left[l_I \mathfrak{M}_{l_I}^I + l_{II} \mathfrak{M}_{l_{II}}^I \right].$$

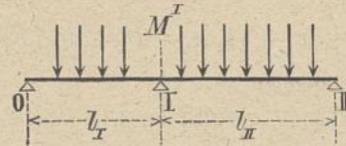


Abb. 33. Vollbelastung beider Öffnungen.

Auf diese Weise lassen sich die Berechnungen in einfacher Weise auf symmetrische Träger mit zwei Öffnungen zurückführen. Wir brauchen nur die größten Stützenmomente \mathfrak{M}_l^I für die verschiedenen Stützweiten l bei einseitiger Belastung einer Öffnung zu ermitteln und die Werte in die Formel (45) einzusetzen.

Ist $l_I = l_{II} = l$, so wird $\mathfrak{M}_{l_I}^I = \mathfrak{M}_{l_{II}}^I = \mathfrak{M}_l^I$ also

$$(46) \quad M^I = \frac{1}{l} \left(l \mathfrak{M}_l^I + l \mathfrak{M}_l^I \right) = 2 \mathfrak{M}_l^I.$$

3. Berechnung der Stützenmomente \mathfrak{M}_l^I für symmetrische Träger auf drei Stützen.

Belastungsfall I.

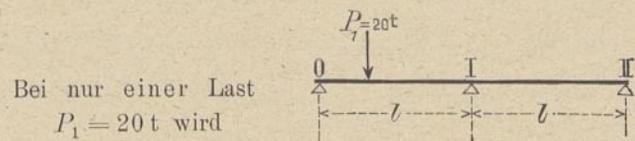


Abb. 34.

$$(47) \quad \mathfrak{M}_l^I = -\frac{P_1}{4l^2} \cdot a (l^2 - a^2).$$

Dieser Wert wird am größten, wenn $\frac{d \mathfrak{M}_l^I}{d a} = 0$ oder $l^2 - 3a^2 = 0$, also wenn

$$(48) \quad a_m = \frac{l}{\sqrt{3}} = 0,5774 l \text{ ist.}$$

Der Ort des größten Beitrags liegt also zwischen der Mitte und der Stütze 0. Setzt man a_m in Gl. (47) ein, so wird der Größtwert von \mathfrak{M}_l^I

$$(49) \quad \mathfrak{M}_l^I = -\frac{P_1}{4l^2} \cdot \frac{l}{\sqrt{3}} \left(l^2 - \frac{l^2}{3} \right) = -\frac{P_1 l}{6\sqrt{3}} = -0,096225 l \cdot P_1.$$

Für $P_1 = 20 \text{ t}$ wird

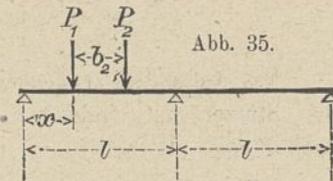
$$(50) \quad \mathfrak{M}_l^I = -1,9245 l \text{ mt } (l \text{ in m}).$$

Die Werte von \mathfrak{M}_l^I für verschiedene Stützweiten werden:

Stützweite l in m	\mathfrak{M}_l^I mt
1,0	- 1,92
1,5	- 2,89
2,0	- 3,85
2,5 ^{b)}	- 4,81

Belastungsfall II.

a) Last P_2 rechts vom Querschnitt x .



Es ist der Beitrag von P_1 zu \mathfrak{M}_l^I

$$(51) \quad \mathfrak{M}_{P_1}^I = -\frac{P_1}{4l^2} \cdot x(l^2 - x^2) = \frac{P_1}{4l^2} [x^3 - l^2 x]$$

und von P_2

$$\mathfrak{M}_{P_2}^I = -\frac{P_2}{4l^2} (x + b_2)(l^2 - x^2 - b_2^2 - 2b_2 x)$$

$$(52) \quad \mathfrak{M}_{P_2}^I = \frac{P_2}{4l^2} [x^3 + 3b_2 x^2 - (l^2 - 3b_2^2)x - b_2 l^2 + b_2^3],$$

und es wird allgemein

für eine Last $P_2 = 20$ t rechts vom Schnitt x

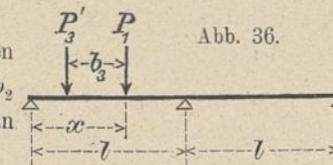
$$(53) \quad \mathfrak{M}_{P_2=20t}^I = \frac{10}{2l^2} [x^3 + 3b_2 x^2 - (l^2 - 3b_2^2)x - b_2 l^2 + b_2^3]$$

und für eine Last $P_2 = 15$ t rechts vom Schnitt x

$$(54) \quad \mathfrak{M}_{P_2=15t}^I = \frac{10}{2l^2} [0,75x^3 + 2,25b_2 x^2 - (0,75l^2 - 2,25b_2^2)x - 0,75b_2 l^2 + 0,75b_2^3].$$

b) Last P_3' links vom Querschnitt x .

Für diesen Fall ist in den Formeln (52) und (54) statt b_2 zu setzen $-b_3$ und man erhält

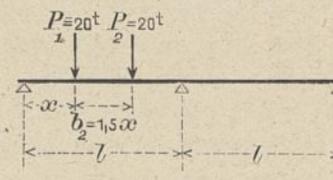


für eine Last $P_3' = 20$ t links vom Schnitt x

$$(55) \quad \mathfrak{M}_{P_3'=20}^I = \frac{10}{2l^2} [x^3 - 3b_3 x^2 - (l^2 - 3b_3^2)x + b_3 l^2 - b_3^3]$$

und für eine Last $P_3' = 15$ t links vom Schnitt x

$$(56) \quad \mathfrak{M}_{P_3'=15}^I = \frac{10}{2l^2} [0,75x^3 - 2,25b_3 x^2 - (0,75l^2 - 2,25b_3^2)x + 0,75b_3 l^2 - 0,75b_3^3].$$



Für den Belastungsfall der Abb. 37 wird

der Beitrag von P_1 : $\mathfrak{M}_{P_1}^I = \frac{10}{2l^2} [x^3 - l^2 x]$

und P_2 : $\mathfrak{M}_{P_2}^I = \frac{10}{2l^2} [x^3 + 4,5x^2 - (l^2 - 6,75)x - 1,5l^2 + 3,375]$

zusammen also

$$(57) \quad \mathfrak{M}_{P_1+P_2}^I = \frac{10}{2l^2} [2x^3 + 4,5x^2 - (2l^2 - 6,75)x - 1,5l^2 + 3,375]$$

5) Die nicht in Betracht kommenden Werte sind in kleiner Schrift angegeben.

Für den Größtwert von \mathfrak{M}_l^I muß sein

$$\frac{d\mathfrak{M}_l^I}{dx} = 0 = 6x^2 + 9x - (2l^2 - 6,75), \text{ also}$$

$$x = \frac{-9 + \sqrt{81 + 24(2l^2 - 6,75)}}{12}$$

Es wird für

$$l = 2,0 \text{ m} \quad x = \sim 0,13 \text{ m,}$$

$$\mathfrak{M}_{2,0}^I = - 3,38 \text{ mt.}$$

$$l = 2,5 \text{ m}$$

$$l = 3,0 \text{ m}$$

$$l = 3,5 \text{ m}$$

$$x = 0,48 \text{ m}$$

$$x = 0,81 \text{ m}$$

$$x = \sim 1,13 \text{ m}$$

$$\mathfrak{M}_{2,5}^I = - 6,00 \text{ mt.}$$

$$\mathfrak{M}_{3,0}^I = - 8,46 \text{ mt.}$$

$$\mathfrak{M}_{3,5}^I = - 10,79 \text{ mt.}$$

Belastungsfall III.

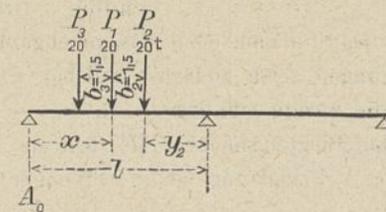


Abb. 38.

Nach Formel (18) ist das Moment M_x im Querschnitt x

$$(58) \quad M_x = \frac{10}{2l^3} [3x^4 - (15l^2 - 13,5)x^2 + 12l^3 x] - 30.$$

Das Stützenmoment \mathfrak{M}_l^I kann nun wie folgt aus dem Moment M_x abgeleitet werden:

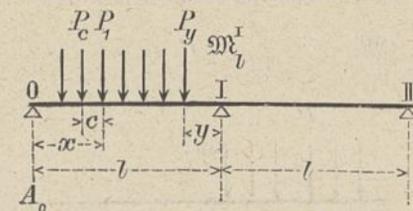


Abb. 39.

Ist allgemein das Moment M_x bei beliebiger Belastung (Abb. 39) gegeben, so ist der Auflagerdruck

$$A_0 = \frac{1}{l} [\mathfrak{M}_l^I + \Sigma P \cdot y],$$

also

$$\mathfrak{M}_l^I = A_0 l - \Sigma P \cdot y;$$

nun ist ferner

$$M_x = A_0 x - \Sigma P c, \text{ also}$$

$$A_0 = \frac{M_x + \Sigma P c}{x}; \text{ damit wird allgemein}$$

$$(59) \quad \mathfrak{M}_l^I = \frac{l}{x} (M_x + \Sigma P c) - \Sigma P y.$$

Im Fall der Abb. 38 ist $\Sigma P c = 20 \cdot 1,5 = 30$, also aus (58)

$$A_0 \cdot l = \frac{10}{2l^2} [3x^3 - (15l^2 - 13,5)x + 12l^3], \text{ hierzu}$$

$$-\Sigma P y = - 60(l - x) = \frac{10}{2l^2} [- 12l^3 + 12l^2 x], \text{ gibt}$$

$$(60) \quad \mathfrak{M}_l^I = \frac{10}{2l^2} [3x^3 - (3l^2 - 13,5)x],$$

mit $\frac{d\mathfrak{M}_l^I}{dx} = 0 = 9x^2 - (3l^2 - 13,5)$ wird

$$x = \frac{1}{3} \sqrt{3l^2 - 13,5}.$$

Für $l = 3,5$ m

$$\text{wird } x = \frac{1}{3} \sqrt{23,25} = 1,61 \text{ m, also}$$

$$\mathfrak{M}_{3,5}^I = \frac{10}{24,5} [12,51984 = 37,4325] = - 10,17 \text{ mt,}$$

demnach kleiner als im Belastungsfall II.

Für $l = 4,0$ m wird $x = 1,96$ m
 $\mathfrak{M}_{4,0}^I = -14,07$ mt.
 Für $l = 4,5$ m wird $x = 2,29$ m
 $\mathfrak{M}_{4,5}^I = -17,82$ mt.

Für $l = 5,0$ m wird $x = 2,61$ m, $\mathfrak{M}_{5,0}^I = -21,44$ mt.

Für $l = 5,5$ m würde genähert $\mathfrak{M}_{5,5}^I = -25,06$ mt,
 also kleiner als im folgenden Fall.

Belastungsfall IV.

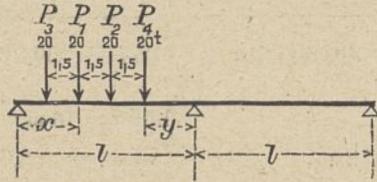


Abb. 40.

Aus Gl. (19) wird

$$A_0 \cdot l = \frac{10}{2l^2} [4x^3 + 9x^2 - (20l^2 - 40,5)x + (16l^3 - 15l^2 + 27)],$$

ferner ist

$$-\Sigma P_y = 80(-l + x + 0,75) = \frac{10}{2l^2} [-16l^3 + 16l^2x + 12l^2],$$

also

$$(61) \mathfrak{M}_l^I = \frac{10}{2l^2} [4x^3 + 9x^2 - (4l^2 - 40,5)x - 3l^2 + 27].$$

$$\frac{d\mathfrak{M}^I}{dx} = 0 = 12x^2 + 18x - (4l^2 - 40,5) \text{ gibt}$$

$$x = \frac{-9 + \sqrt{81 + 12(4l^2 - 40,5)}}{12}$$

Für $l = 5,0$ m

wird $x = 1,60$ m und $\mathfrak{M}_{5,0}^I = -20,76$ mt,
 also kleiner als im Belastungsfall III.

Für $l = 5,5$ m wird $x = 1,94$ m, $\mathfrak{M}_{5,5}^I = -25,93$ mt.
 Für $l = 6,0$ m wird $x = 2,28$ m, $\mathfrak{M}_{6,0}^I = -30,94$ mt.

Für $l = 6,5$ m wird $x = 2,61$ m, $\mathfrak{M}_{6,5}^I = -35,83$ mt.

Belastungsfall V.

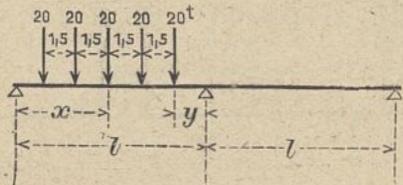


Abb. 41.

Aus Gl. (20) wird

$$A_0 \cdot l = \frac{10}{2l^2} [5x^3 - (25l^2 - 67,5)x + 20l^3], \text{ ferner ist}$$

$$-\Sigma P_y = -100(l - x) = \frac{10}{2l^2} [20l^2x - 20l^3], \text{ also}$$

$$(62) \mathfrak{M}_l^I = \frac{10}{2l^2} [5x^3 - (5l^2 - 67,5)x]$$

$$\frac{d\mathfrak{M}^I}{dx} = 0 = 15x^2 - (5l^2 - 67,5), \text{ ergibt}$$

$$x = \sqrt{\frac{5l^2 - 67,5}{15}}$$

Für $l = 6,5$ m wird $x = 3,10$ m,
 $\mathfrak{M}_{6,5}^I = -35,1$ mt,
 also kleiner als im Belastungsfall IV.

Für $l = 7,0$ m wird $x = 3,44$ m, $\mathfrak{M}_{7,0}^I = -41,54$ mt.
 Für $l = 7,5$ m wird $x = 3,77$ m, $\mathfrak{M}_{7,5}^I = -47,82$ mt.

Für $l = 8,0$ m wird $x = 4,10$ m, $\mathfrak{M}_{8,0}^I = -54,0$ mt.
 Für $l = 8,5$ m wird $x = 4,43$ m, $\mathfrak{M}_{8,5}^I = -60,0$ mt.

Für $l = 9,0$ m wird $x = 4,74$ m, $\mathfrak{M}_{9,0}^I = -65,9$ mt.
 Für $l = 10$ m wird $x = 5,37$ m, $\mathfrak{M}_{10}^I = -77,41$ mt.

Für $l = 11$ m wird $x = 5,99$ m, $\mathfrak{M}_{11}^I = -88,64$ mt.
 Für $l = 12$ m wird $x = 6,60$ m, $\mathfrak{M}_{12}^I = -99,62$ mt.

Für $l = 13$ m wird $x = 7,20$ m, $\mathfrak{M}_{13}^I = -110,41$ mt.

Für $l = 14$ m wird $x = 7,80$ m, $\mathfrak{M}_{14}^I = -121,0$ mt,
 also kleiner als im folgenden Belastungsfall.

Belastungsfall VI.

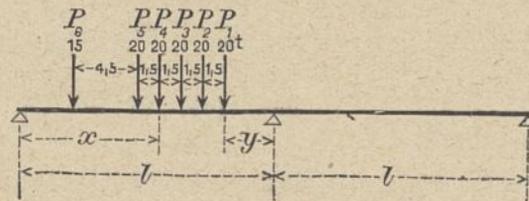


Abb. 42.

Aus Gl. (21') ergibt sich

$$A_0 \cdot l = \frac{10}{2l^2} [5,75x^3 + 9x^2 - (28,75l^2 - 182,25)x + (23l^3 - 15l^2 - 43,875)]$$

ferner ist

$$-\Sigma P_y = -100(l - x - 1,5) - 15(l - x + 6) = \frac{10}{2l^2} [-23l^3 + 23l^2x + 12l^2], \text{ also}$$

$$(63) \mathfrak{M}_l^I = \frac{10}{2l^2} [5,75x^3 + 9x^2 - (5,75l^2 - 182,25)x - 3l^2 - 43,875].$$

$$\frac{d\mathfrak{M}^I}{dx} = 0 = 17,25x^2 + 18x - (5,75l^2 - 182,25) \text{ gibt}$$

$$x = \frac{-18 + \sqrt{324 + 69(5,75l^2 - 182,25)}}{34,5}$$

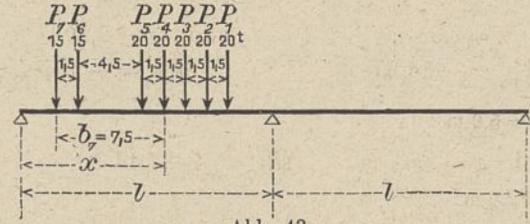
Für $l = 13$ m wird $x = 6,26$ m, $\mathfrak{M}_{13}^I = -110,26$ mt,

also kleiner als im Belastungsfall V.

Für $l = 14$ m wird $x = 6,90$ m, $\mathfrak{M}_{14}^I = -123,3$ mt.

Für $l = 15$ m wird $x = 7,52$ m, $\mathfrak{M}_{15}^I = -136,07$ mt,
 also kleiner als im folgenden Belastungsfall.

Belastungsfall VII.



Nach Gl. (63) ist

$$\text{der Beitrag von } P_1 - P_6: \mathfrak{M}_{P_1 - P_6}^I = \frac{10}{2l^2} \left[5,75x^3 + 9x^2 - (5,75l^2 - 182,25)x - 3l^2 - 43,875 \right]$$

hierzu mit $b_7 = 7,5$ m nach Gl. (56)

$$\text{der Beitrag von } P_7: \mathfrak{M}_{P_7}^I = \frac{10}{2l^2} \left[0,75x^3 - 16,875x^2 - (0,75l^2 - 126,5625)x + 5,625l^2 - 316,40625 \right]$$

$$\text{gibt (64) } \mathfrak{M}_l^I = \frac{10}{2l^2} \left[6,5x^3 - 7,875x^2 - (6,5l^2 - 308,8125)x + 2,625l^2 - 360,28125 \right]$$

$$\text{Aus } \frac{d\mathfrak{M}^I}{dx} = 0 = 19,5x^2 - 15,75x - (6,5l^2 - 308,8125)$$

$$\text{wird } x = \frac{15,75 + \sqrt{248,06 + 78(6,5l^2 - 308,8125)}}{39}$$

Für $l = 15$ m

wird $x = 8,12$ m,

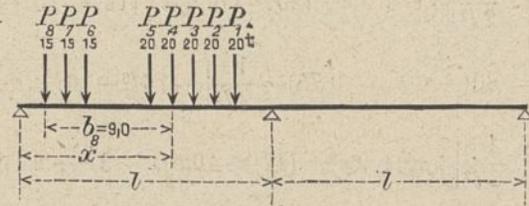
$$\mathfrak{M}_{15}^I = -137,3 \text{ mt.}$$

Für $l = 16$ m

wird $x = 8,75$ m,

$$\mathfrak{M}_{16}^I = -152,2 \text{ mt.}$$

Belastungsfall VIII.



Nach Gl. (64) ist

$$\text{der Beitrag von } P_1 - P_7: \mathfrak{M}_{P_1 - P_7}^I = \frac{10}{2l^2} \left[6,5x^3 - 7,875x^2 - (6,5l^2 - 308,8125)x + 2,625l^2 - 360,28125 \right],$$

$$\text{hierzu " " " } P_8: \mathfrak{M}_{P_8}^I = \frac{10}{2l^2} \left[0,75x^3 - 20,250x^2 - (0,75l^2 - 182,25)x + 6,75l^2 - 546,75 \right]$$

$$\text{gibt (65) } \mathfrak{M}_l^I = \frac{10}{2l^2} \left[7,25x^3 - 28,125x^2 - (7,25l^2 - 491,0625)x + 9,375l^2 - 907,03125 \right]$$

$$\frac{d\mathfrak{M}^I}{dx} = 0 = 21,75x^2 - 56,25x - (7,25l^2 - 491,0625) \text{ liefert } x = \frac{56,25 + \sqrt{3164,06 + 87(7,25l^2 - 491,0625)}}{43,5}$$

Für $l = 17$ m

wird $x = 9,98$ m,

$$\mathfrak{M}_{17}^I = -169,6 \text{ mt.}$$

Für $l = 18$ m

wird $x = 10,625$ m,

$$\mathfrak{M}_{18}^I = -186,6 \text{ mt.}$$

Für $l = 19$ m

wird $x = 11,26$ m,

$$\mathfrak{M}_{19}^I = -203,3 \text{ mt.}$$

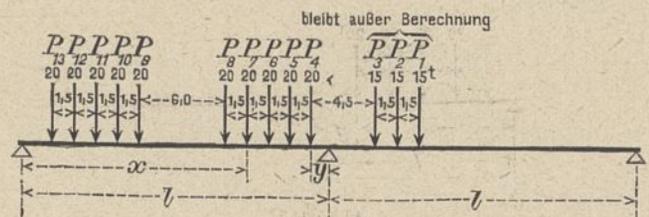
Für $l = 20$ m

wird $x = 11,89$ m,

$$\mathfrak{M}_{20}^I = -219,8 \text{ mt, also}$$

kleiner als im Belastungsfall IX.

Belastungsfall IX.



Nach Gl. (30) ist

$$M_x^{P_1 - P_3} = \frac{10}{2l^3} \left[12,25x^4 - 64,125x^3 - (61,25l^2 - 2576,8125)x^2 + (49l^3 + 106,875l^2 - 3667,78125)x \right] - 1080,$$

hiervon ab gemäß Belastungsfall XIII des Abschnitts I

$$M_x^{P_1 - P_3} = \frac{10}{2l^3} \left[2,25x^4 + 70,875x^3 - (11,25l^2 - 754,3125)x^2 + (9l^3 - 118,125l^2 + 2710,96875)x \right]$$

$$\text{gibt } M_x^{P_1 - P_3} = \frac{10}{2l^3} \left[10x^4 - 135x^3 - (50l^2 - 1822,5)x^2 + (40l^3 + 225l^2 - 6378,75)x \right] - 1080,$$

$$\text{also } A_0 \cdot l = \frac{10}{2l^2} \left[10x^3 - 135x^2 - (50l^2 - 1822,5)x + (40l^3 + 225l^2 - 6378,75) \right],$$

6) Da immer eine Gleichung aus der anderen entwickelt wird, so werden die Werte genau angegeben und beibehalten.

ferner ist

$$-\Sigma P_y = -200(l-x+4,5) = \frac{10}{2l^2}[-40l^3 + 40l^2x - 180l^2],$$

also wird (66) $\mathfrak{M}_l^I = \frac{10}{2l^2}[10x^3 - 135x^2 - (10l^2 - 1822,5)x + 45l^2 - 6378,75].$

Aus $\frac{d\mathfrak{M}^I}{dx} = 0 = 30x^2 - 270x - (10l^2 - 1822,5),$

wird $x = \frac{270 + \sqrt{72900 + 120(10l^2 - 1822,5)}}{60}$

Für $l = 20$ m

wird $x = 14,135$ m,
 $\mathfrak{M}_{20}^I = -223,6$ mt.

Für $l = 21$ m

wird $x = 14,82$ m,
 $\mathfrak{M}_{21}^I = -249,2$ mt.

Für $l = 24$ m

wird $x = 16,808$ m,
 $\mathfrak{M}_{24}^I = -323,8$ mt.

Für $l = 25$ m

wird $x = 17,455$ m,
 $\mathfrak{M}_{25}^I = -347,9$ mt.

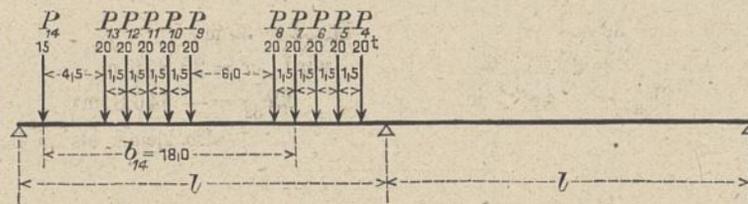
Für $l = 22$ m

wird $x = 15,492$ m,
 $\mathfrak{M}_{22}^I = -274,4$ mt.

Für $l = 23$ m

wird $x = 16,15$ m,
 $\mathfrak{M}_{23}^I = -299,3$ mt.

Eine Berechnung hat für $l = 19$ m ergeben, daß, wenn das Rad P_{13} links von 0 liegt, das Moment kleiner als im Belastungsfall IX wird.



Belastungsfall X.

Abb. 46.

Nach Gl. (66) ist

der Beitrag von $P_4 - P_{13}$: $\mathfrak{M}_{P_4 - P_{13}}^I = \frac{10}{2l^2}[10x^3 - 135x^2 - (10l^2 - 1822,5)x + 45l^2 - 6378,75],$

hierzu mit $b_{14} = 18,0$ m nach Gl. (56)

der Beitrag von P_{14} : $\mathfrak{M}_{P_{14}}^I = \frac{10}{2l^2}[0,75x^3 - 40,5x^2 - (0,75l^2 - 729)x + 13,5l^2 - 4374]$

gibt (67) $\mathfrak{M}_l^I = \frac{10}{2l^2}[10,75x^3 - 175,5x^2 - (10,75l^2 - 2551,5)x + 58,5l^2 - 10752,75].$

Aus $\frac{d\mathfrak{M}^I}{dx} = 0 = 32,25x^2 - 351x - (10,75l^2 - 2551,5)$

wird $x = \frac{351 + \sqrt{123201 + 129(10,75l^2 - 2551,5)}}{64,5}$

Für $l = 26$ m

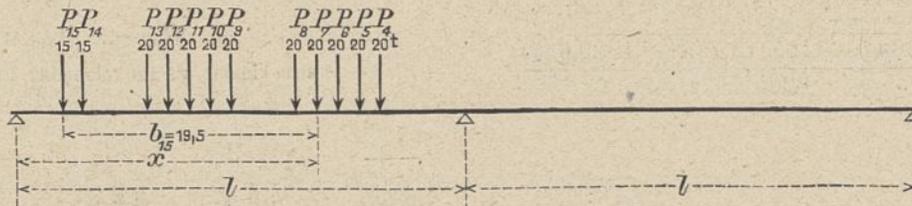
wird $x = 18,702$ m,

$\mathfrak{M}_{26}^I = -373,2$ mt.

Für $l = 27$ m

wird $x = 19,352$ m,

$\mathfrak{M}_{27}^I = -399,2$ mt.



Belastungsfall XI.

Abb. 47.

Nach Gl. (67) ist

der Beitrag von $P_4 - P_{14}$: $\mathfrak{M}_{P_4 - P_{14}}^I = \frac{10}{2l^2}[10,75x^3 - 175,5x^2 - (10,75l^2 - 2551,5)x + 58,5l^2 - 10752,75],$

hierzu mit $b_{15} = 19,5$ m nach Gl. (56)

der Beitrag von P_{15} : $\mathfrak{M}_{P_{15}}^I = \frac{10}{2l^2}[0,75x^3 - 43,875x^2 - (0,75l^2 - 855,5625)x + 14,625l^2 - 5561,15625]$

gibt (68) $\mathfrak{M}_{P_4 - P_{15}}^I = \frac{10}{2l^2}[11,50x^3 - 219,375x^2 - (11,50l^2 - 3407,0625)x + 73,125l^2 - 16313,90625].$

Aus $\frac{d\mathfrak{M}^I}{dx} = 0 = 34,5x^2 - 438,75x - (11,5l^2 - 3407,0625)$

wird $x = \frac{438,75 + \sqrt{192501,5 + 138(11,5l^2 - 3407,0625)}}{69}$

Für $l = 28$ m

wird $x = 20,607$ m,

$\mathfrak{M}_{28}^I = -427,8$ mt.

Für $l = 29$ m

wird $x = 21,259$ m,

$\mathfrak{M}_{29}^I = -455,7$ mt, also kleiner als im Belastungsfall XII.

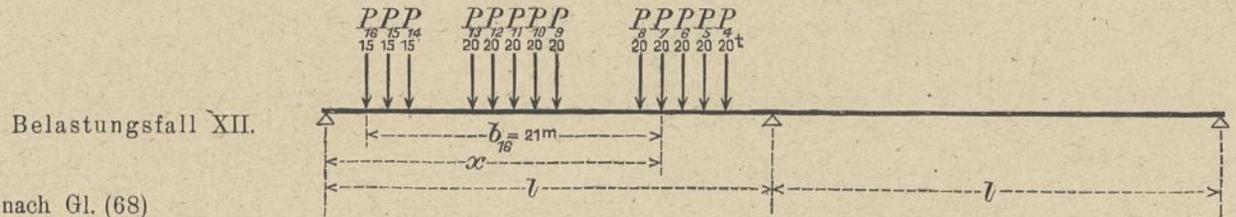


Abb. 48.

Es ist nach Gl. (68)

der Beitrag von $P_4 - P_{15}$: $\mathfrak{M}_{P_4 - P_{15}}^I = \frac{10}{2l^2} [11,50x^3 - 219,375x^2 - (11,50l^2 - 3407,0625)x + 73,125l^2 - 16313,90625]$,

hierzu mit $b_{16} = 21$ m nach Gl. (56)

der Beitrag von P_{16} : $\mathfrak{M}_{P_{16}}^I = \frac{10}{2l^2} [0,75x^3 - 47,25x^2 - (0,75l^2 - 929,25)x + 15,75l^2 - 6945,75]$

gibt (69) $\mathfrak{M}_{P_4 - P_{16}}^I = \frac{10}{2l^2} [12,25x^3 - 266,625x^2 - (12,25l^2 - 4399,3125)x + 88,875l^2 - 23259,65625]$.

Aus $\frac{d\mathfrak{M}^I}{dx} = 0 = 36,75x^2 - 533,25x - (12,25l^2 - 4399,3125)$ wird $x = \frac{533,25 + \sqrt{284355,5 + 147(12,25l^2 - 4399,3125)}}{73,5}$

Für $l = 29$ m

wird $x = 21,859$ m,
 $\mathfrak{M}_{29}^I = -457,8$ mt,

Für $l = 30$ m

wird $x = 22,517$ m,
 $\mathfrak{M}_{30}^I = -487,7$ mt.

Für $l = 32$ m

wird $x = 23,816$ m,
 $\mathfrak{M}_{32}^I = -546,8$ mt.

Für $l = 34$ m

wird $x = 25,095$ m,
 $\mathfrak{M}_{34}^I = -604,7$ mt,

also kleiner als im Belastungsfall XIV.

Belastungsfall XIII.

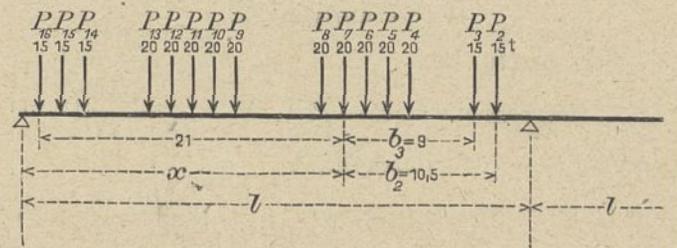


Abb. 49.

Es ist nach Gl. (69)

der Beitrag von $P_4 - P_{16}$: $\mathfrak{M}_{P_4 - P_{16}}^I = \frac{10}{2l^2} [12,25x^3 - 266,625x^2 - (12,25l^2 - 4399,3125)x + 88,875l^2 - 23259,65625]$

hierzu mit $b_3 = 9,0$ nach Gl. (54) P_3 : $\mathfrak{M}_{P_3}^I = \frac{10}{2l^2} [0,75x^3 + 20,25x^2 - (0,75l^2 - 182,25)x - 6,75l^2 + 546,75]$

und mit $b_2 = 10,5$ " " (54) P_2 : $\mathfrak{M}_{P_2}^I = \frac{10}{2l^2} [0,75x^3 + 23,625x^2 - (0,75l^2 - 248,0625)x - 7,875l^2 + 868,21875]$

gibt (70) $\mathfrak{M}_{P_2 - P_{16}}^I = \frac{10}{2l^2} [13,75x^3 - 222,75x^2 - (13,75l^2 - 4829,625)x + 74,25l^2 - 21844,6875]$.

Aus $\frac{d\mathfrak{M}^I}{dx} = 0 = 41,52x^2 - 445,5x - (13,75l^2 - 4829,625)$

wird $x = \frac{445,5 + \sqrt{198470 + 165(13,75l^2 - 4829,625)}}{82,5}$

Für $l = 34$ m wird $x = 22,646$ m,

$\mathfrak{M}_{34}^I = -610,5$ mt,

also kleiner als im folgenden Belastungsfall.

Belastungsfall XIV.

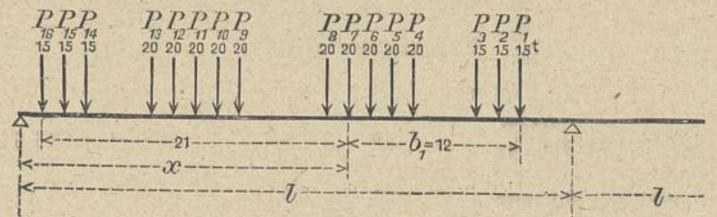


Abb. 50.

Es wird nach Gl. (70)

der Beitrag von $P_2 - P_{16}$: $\mathfrak{M}_{P_2 - P_{16}}^I = \frac{10}{2l^2} [13,75x^3 - 222,75x^2 - (13,75l^2 - 4829,625)x + 74,25l^2 - 21844,6875]$,

hierzu mit $b_1 = 12$ nach Gl. (54) P_1 : $\mathfrak{M}_{P_1}^I = \frac{10}{2l^2} [0,75x^3 + 27x^2 - (0,75l^2 - 324)x - 9l^2 + 1296]$

gibt (71) $\mathfrak{M}_{P_1 - P_{16}}^I = \frac{10}{2l^2} [14,50x^3 - 195,75x^2 - (14,50l^2 - 5153,625)x + 65,25l^2 - 20548,6875]$.

Aus $\frac{d\mathfrak{M}^I}{dx} = 0 = 43,5x^2 - 391,5x - (14,5l^2 - 5153,625)$ wird $x = \frac{391,5 + \sqrt{153272 + 174(14,5l^2 - 5153,625)}}{87}$.

Für $l = 34$ m wird $x = 21,444$ m)
 $M_{34}^I = -610,6$ mt.
 Für $l = 38$ m wird $x = 24,072$ m
 $M_{38}^I = -753,0$ mt,
 Für $l = 36$ m wird $x = 22,770$ m,
 $M_{36}^I = -682,3$ mt.
 Für $l = 40$ m wird $x = 25,359$ m,
 $M_{40}^I = -822,5$ mt.

Belastungsfall XV.

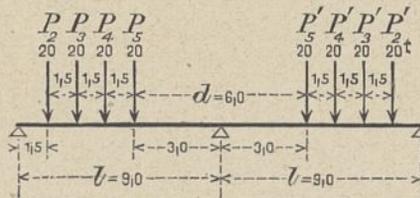


Abb. 51.

Zum Vergleich soll das größte Stützenmoment infolge zweier zusammengeschlossener Lokomotiven, welche über beide Öffnungen reichen, ermittelt werden. Das größte Moment M^I tritt auf bei symmetrischer Belastung. Es wird

$$M_9^I = -\frac{20}{4 \cdot 9^2} \left[1,5 \cdot (81 - 2,25) + 3,0 \cdot (81 - 9,00) + 4,5 \cdot (81 - 20,25) + 6,0 \cdot (81 - 36,00) \right] \cdot 2 = -108,3 \text{ mt.}$$

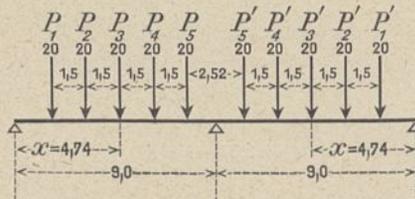


Abb. 52.

Beim Belastungsfall V hat sich für $9,0$ m $x = 4,74$ m und $M_9^I = -65,88$ mt ergeben. Das größte Stützenmoment im Belastungsfall V ist also

$$M_9^I = 2 \cdot M_9^I = -131,76 \text{ mt,}$$

also erheblich größer. Der Abstand der beiden der Stütze am nächsten liegenden Räder ist dabei allerdings nur $2,52$ m. Es ließe sich aber denken, daß eine dieser Lokomotiven mit Laufrädern gebaut würde, die eine ähnliche Radstellung zuließe und doch bei einfachen Balken keine größeren Momente hervorrufen würde (Tenderlokomotiven). Es ist also, wie schon unter II, 1 Fußnote 3 hervorgehoben wurde, gerechtfertigt, die größten Stützenmomente M^I aus den größten Stützenmomenten M^I bei einseitiger Belastung abzuleiten.

Die berechneten Werte der M^I der Belastungsfälle I bis XIV sind nun in nebenstehende Zusammenstellung II in Spalte 2 eingetragen.

4. Vergleich mit den Biegemomenten einfacher Balken.

Ist p diejenige gleichmäßig verteilt gedachte Belastung eines einfachen Balkens von der Stützweite l in Tonnen für

7) Eine kleinere Stützweite kommt für diesen Belastungsfall nicht in Frage.

Zusammenstellung II

der größten Stützenmomente infolge des Lastenzuges B bei durchlaufenden symmetrischen Trägern auf drei Stützen. (Bei Zwischenwerten ist geradlinig einzuschalten.)

1	2	3	4	5	6
Stützweite l m	Stützenmoment M^I bei einseitiger Belastung infolge des Lastenzuges B mt	Halbes Biegemoment $\frac{M}{2}$ beim einfachen Balken infolge des Lastenzuges B $\frac{M}{2} = \frac{pl^2}{16}$ mt	Unterschied der Absolutwerte Sp. 3 - Sp. 2 mt	Größtes, den weiteren Berechnungen zugrunde zu legendes Stützenmoment bei Vollbelastung	
				nur einer Öffnung. mt	beider Öffnungen mt
1,0	- 1,92	2,50	+ 0,58	- 2,50	- 5,0
1,5	- 2,89	3,75	+ 0,86	- 3,75	- 7,5
2,0	- 3,85	5,00	+ 1,15	- 5,00	- 10,0
2,5	- 6,00	6,25	+ 0,25	- 6,25	- 12,5
3,0	- 8,46	8,45	- 0,01	- 8,46	- 16,9
3,5	- 10,80	11,25	+ 0,45	- 11,25	- 22,5
4,0	- 14,07	15,00	+ 0,93	- 15,00	- 30,0
4,5	- 17,82	18,75	+ 0,93	- 18,75	- 37,5
5,0	- 21,44	22,50	+ 1,06	- 22,50	- 45,0
5,5	- 25,93	26,73	+ 0,80	- 26,73	- 53,5
6,0	- 30,94	30,95	+ 0,01	- 30,95	- 61,9
6,5	- 35,83	36,73	+ 0,90	- 36,73	- 73,5
7,0	- 41,54	42,50	+ 0,96	- 42,50	- 85,0
7,5	- 47,82	48,75	+ 0,93	- 48,75	- 97,5
8,0	- 54,0	55,0	+ 1,0	- 55,00	- 110,0
8,5	- 60,0	61,3	+ 1,3	- 61,25	- 122,5
9,0	- 65,9	67,5	+ 1,6	- 67,5	- 135,0
10	- 77,4	80,0	+ 2,6	- 80,0	- 160,0
11	- 88,6	92,5	+ 3,9	- 92,5	- 185,0
12	- 99,6	105,0	+ 5,4	- 105,0	- 210,0
13	- 110,4	117,5	+ 7,1	- 117,5	- 235,0
14	- 123,3	130,0	+ 6,7	- 130,0	- 260,0
15	- 137,3	143,4	+ 6,1	- 143,4	- 286,8
16	- 152,2	158,8	+ 6,6	- 158,8	- 317,6
17	- 169,6	175,0	+ 5,4	- 175,0	- 350,0
18	- 186,6	192,2	+ 5,6	- 192,2	- 384,4
19	- 203,3	211,3	+ 8,0	- 211,3	- 422,6
20	- 223,6	231,3	+ 7,7	- 231,3	- 462,6
21	- 249,2	253,2	+ 4,0	- 253,2	- 506,4
22	- 274,4	275,0	+ 0,6	- 275,0	- 550,0
23	- 299,3	298,8	- 0,5	- 299,3	- 598,6
24	- 323,8	322,5	- 1,3	- 323,8	- 647,6
25	- 347,9	346,3	- 1,6	- 347,9	- 698,8
26	- 373,3	370,0	- 3,3	- 373,3	- 746,6
27	- 399,2	398,9	- 0,3	- 399,2	- 798,4
28	- 427,8	427,7	- 0,1	- 427,8	- 855,6
29	- 457,8	458,2	+ 0,4	- 458,2	- 916,4
30	- 487,7	488,8	+ 1,1	- 488,8	- 977,6
32	- 546,8	551,0	+ 4,2	- 551,0	- 1102,0
34	- 610,6	616,0	+ 5,4	- 616,0	- 1232,0
36	- 682,3	683,5	+ 1,2	- 683,5	- 1367,0
38	- 753,0	754,0	+ 1,0	- 754,0	- 1508,0
40	- 822,5	831,5	+ 9,0	- 831,5	- 1663,0

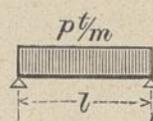


Abb. 53.

1 m, welche ein gleich großes Biegemoment M wie der Lastenzug B hervorruft, so ist $M = \frac{pl^2}{8}$.

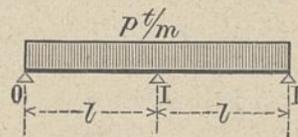


Abb. 54.

Die Belastung p würde bei einem symmetrischen Träger auf drei Stützen von derselben Stützweite l (Abb. 54) ein Stützenmoment $M^I = \frac{pl^2}{8}$ hervorrufen.

Beide Momente sind also rechnerisch gleich groß. Bei einseitiger Belastung nur einer Öffnung wäre das Stützenmoment die Hälfte $= \frac{M}{2} = \frac{pl^2}{16}$.

In der Spalte 3 sind nun die halben Momente $\frac{M}{2}$ infolge des Lastenzuges beim einfachen Balken zum Vergleich eingetragen.

Spalte 4 ergibt den Unterschied beider Werte, der so geringfügig ist,⁸⁾ daß man bei einem symmetrischen Träger auf drei Stützen mit ausreichender Genauigkeit das Stützenmoment \mathfrak{M}^I , herrührend von der Verkehrslast bei Belastung nur einer Öffnung $= \frac{pl^2}{16}$ setzen darf, wo $\frac{pl^2}{8}$ dasjenige Biegemoment bei einem einfachen Balken derselben Stützweite l ist, das durch den Lastenzug B hervorgerufen wird.

Dies ist sehr wichtig für die Beurteilung der Frage, ob bei einem anderen Lastenzug, bei dem die Biegemomente beim einfachen Balken nicht größer werden, die Stützenmomente der durchlaufenden Balken auf drei Stützen ungünstiger werden.

Den weiteren Berechnungen soll jeweils der größere der beiden Werte zugrunde gelegt werden. Er ist in Spalte 5 für Vollbelastung nur einer Öffnung angegeben, während der Spalte 6 das größte Stützenmoment symmetrischer Träger

8) Bemerkung: Das + Zeichen in Spalte 4 deutet an, daß der Betrag zu groß ausgefallen wäre, wenn durchweg mit der gleichmäßig verteilten Verkehrslast gerechnet worden wäre.

bei Vollbelastung beider Öffnungen entnommen werden kann. — Hat man es mit einem unsymmetrischen Träger auf

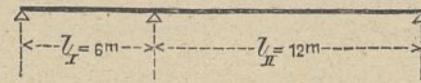


Abb. 55.

drei Stützen mit den Stützweiten l_I und l_{II} (Abb. 55) zu tun und ist $\mathfrak{M}_{l_I}^I$ das größte Stützenmoment bei Vollbelastung einer Öffnung eines symmetrischen Trägers der Stützweite l_I (Sp. 5), so ergibt sich nach Formel (45)

$$M^I = \frac{2}{l_I + l_{II}} (l_I \mathfrak{M}_{l_I}^I + l_{II} \mathfrak{M}_{l_{II}}^I),$$

z. B. ist für $l_I = 6,0 \text{ m}; \quad \mathfrak{M}_{l_I}^I = -30,95 \text{ mt},$

$$l_{II} = 12,0 \text{ m}; \quad \mathfrak{M}_{l_{II}}^I = -105,0 \text{ mt},$$

also das Stützenmoment

$$\text{infolge Vollbelastung von } l_I: \frac{2 \cdot 16}{6 + 12} \cdot (-30,95) = -20,63 \text{ mt},$$

$$\text{„ „ „ } l_{II}: \frac{2 \cdot 12}{6 + 12} \cdot (-105,0) = -140,00 \text{ „}$$

$$\text{zusammen } M^I = -160,63 \text{ mt.}$$

(Schluß folgt.)