

# Ueber Drehung und Biegung von [-Eisen

Autor(en): **Eggenschwyler, Ad. / Maillart, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **79/80 (1922)**

Heft 18

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-38169>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

anzusetzen, und zwar wird bei gleichen Eisenbreiten die Leistung umgekehrt proportional der Umlaufzahl höher sein können, wobei dann allerdings die mit grösserem Durchmesser sich günstiger gestaltenden Ventilationsverhältnisse noch nicht berücksichtigt sind. Newbury gibt in seinem Aufsatz „Present limits of speed and output of single-shaft turbogenerators“ in den Proc. of A. I. E. E. vom November 1919, die Abhängigkeit der möglichen Maximalleistung von der Umlaufzahl in einer Kurve wieder, die hier in Abbildung 10 dargestellt ist. Sie wird, wenigstens in ihrem Verlauf unterhalb 2000 Uml/min, auch noch den heutigen Verhältnissen entsprechen. Die Kurve ist aufgezeichnet unter der Annahme eines konstanten Verhältnisses zwischen Bohrung und Eisenbreite.

Als tatsächlich erreichte Leistungen für 1500 Uml/min und darunter können folgende Ausführungen gelten:

- 50 000 kVA, 1500 Uml/min, 50 Perioden, 6000 Volt; Generatoren der Grosstation Gennevilliers bei Paris, ausgeführt durch die Société alsacienne de Constructions mécaniques in Belfort und durch C. Schneider & Cie. im Creusot.
- 35 000 kVA, 1500 Uml/min, zweipoliger Typ für 25 Per., 11 000 Volt; Generatoren in der Hellgate Station in New York, ausgeführt durch die General Electric Co.
- 50 000 kVA, 1200 Uml/min, sechspoliger Typ für 60 Per., 13 500 Volt, ebenfalls in der Hellgate Station, ausgeführt durch die Westinghouse Co.
- 60 000 kVA, 1000 Uml/min, sechspoliger Typ für 50 Per., 7000 Volt, im Goldenberg-Werk bei Köln, ausgeführt durch die A. E. G. und die Siemens-Schuckert-Werke.

Bei diesen grossen Leistungen bei 1500 Uml/min und darunter kommen in der Regel nicht mehr massive Rotoren aus einem Stahlschmiedestück in Frage, da so grosse Stücke von den Stahlwerken kaum mit genügender Sicherheit hergestellt werden könnten; die Rotoren werden vielmehr aus Stahlscheiben aufgebaut, die auf eine eigentliche durchgehende Welle aufgeschraubt werden. Die tatsächliche mechanische Sicherheit ist trotz höherer Beanspruchungen am innern Scheibenumfang auch bei grössten Leistungen eine höhere, als bei Verwendung massiver Rotoren zu erwarten wäre, wegen der Verwendungsmöglichkeit besten Stahles von vorzüglicher Homogenität für die Konstruktion dieser Scheiben.

War bislang das Streben nach möglichst hohen Leistungseinheiten bedingt durch die Bedürfnisse der Praxis, in Grossstationen mit nicht zu grosser Zahl Maschinensätze auszukommen, so scheint man hier mit den 1500 und 1000-tourigen Turbo-Aggregaten an der Grenze dieses Bedürfnisses angekommen zu sein; denn grössere Einheiten, als sich mit diesen Umlaufzahlen beherrschen lassen, d. h. Leistungen von über 100 000 kVA, werden wohl kaum ernstlich in Frage kommen. Aber auch die 3000-tourigen Einheiten finden in ihrer Anwendung über 25 000 kVA hinaus eine Begrenzung, die nicht im Aufbau der Generatoren selbst liegt, sondern bedingt ist durch die Konstruktion der Turbine, die bei 3000 Uml/min für diese Leistungen schon mit doppeltem Niederdruckteil ausgerüstet werden muss und bei einigermaßen gutem Vakuum bei obiger Leistung schon an der Grenze der Ausnützung angelangt ist.

Aus den vorstehenden Ausführungen ist ersichtlich, dass der Bau von Turbo-Generatoren insofern einen Rekord im Maschinenbau darstellt, als er in der kurzen Zeitspanne von etwa zwei Jahrzehnten von bescheidenen Anfängen bis zur Entwicklung von Maschinen so gewaltiger Abmessungen gelangt ist, wie die oben genannten.

## Ueber Drehung und Biegung von [-Eisen.

Von Dr.-Ing. Ad. Eggenschwyler, z. Z. in St. Paul, Minn.

In seinen Ausführungen über „Drehung und Biegung“ vom 20. Mai d. J. hat Herr Ing. R. Maillart sich eingehend über meine in „Bauingenieur“ Nr. 1 und 2 d. J. erschienene Veröffentlichung, soweit sich diese auf [-Eisen bezieht, ausgesprochen und dabei zwei Einwände erhoben, auf die ich nachstehendes erwidern möchte.

Die erste Beanstandung erklärt sich daraus, dass Herr Maillart über die Bedeutung des Wortes Drehung anderer Ansicht ist als ich. Ich bezeichnete als Drehungsbeanspruchungen sämtliche Beanspruchungen, die durch Drehmomente, das sind in der Querschnittebene oder parallel dazu wirkende Kräftepaare, hervorgerufen werden. Wenn ein Querschnitt durch ein beliebiges Lastsystem beansprucht wird, dann kann dieses stets zu einer Resultierenden zusammengefasst werden, die den Querschnitt in einem bestimmten Punkte  $A$  und unter bestimmter Richtung schneidet (Abbildung 1), und dort in eine Normalkraft  $R_n$  und eine Transversalkraft  $R_t$  zerlegt werden kann. Die erstgenannte kann weiter zerlegt werden in eine durch den Schwerpunkt  $S$  gehende Axialkraft und ein senkrecht zur Querschnittebene wirkendes Kräftepaar, genannt Biegemoment  $R_n \cdot \rho$ , die zweite,  $R_t$ , in eine durch den Schubmittelpunkt  $B$  gehende Querkraft  $Q = R_t$  und ein in der Querschnittebene wirkendes Kräftepaar, genannt Torsionsmoment  $Q \cdot e$ . Das sind die vier Grundbeanspruchungsarten eines Querschnittes. Weitere gibt es nicht, sofern man von lokalen Kraftangriffen und den Einflüssen plötzlicher Querschnittänderungen absieht, die in ein anderes Kapitel gehören. Dementsprechend verstehe ich unter Drehungsbeanspruchungen alle jene Spannungen, die weder durch Axialkräfte, noch Biegemomente, noch Querkraften, sondern durch Drehmomente erzeugt werden, gleichgültig wie diese über die Trägerlänge verteilt sind und gleichgültig, ob es nur Schub- oder nur Normalspannungen und beides zusammen sind. Nicht so Herr Maillart. Er findet zwar in Uebereinstimmung mit mir, dass bei exzentrischer, d. h. nicht durch den Schubmittelpunkt gehender Transversalkraft andere Normalspannungen auftreten, als wenn die Transversalkraft durch den Schubmittelpunkt geht (vergl. seine Abbildung 4 vom 30. April 1921), bezeichnet aber diese Abweichungen nicht als Drehungsbeanspruchungen, sondern spricht von biegeähnlichen Spannungsercheinungen und sagt: „Diese als normale Begleitererscheinung der Drehung zu betrachten, sei ein Irrtum, weil sie lediglich eine Folge der Nichteinhaltung der Voraussetzung seien, dass die Drehmomente auf die Stabenden wirken“, denn „die Theorie setzt voraus, dass auf die beiden Enden eines geraden Stabes von konstantem Querschnitt gleiche und entgegengesetzt wirkende Drehmomente wirken.“

Diese Voraussetzung eines bestimmten Belastungsfalles scheint Herr Maillart als Definition des Begriffes Drehung zu halten und jeder andern Verteilung der Drehmomente die Berechtigung zur Führung der Bezeichnung Drehung absprechen zu wollen. So kommt es, dass er meine Ableitungen missversteht und es als Irrtum bezeichnet, wenn ich unter der Bezeichnung Drehungsbeanspruchung Normalspannungen finde, die allerdings bei dem Belastungsfall, den er im Auge hat, zu Null werden. Letzteres geht auch aus meinen allgemeinen Ergebnissen hervor. Ich habe aber darauf nicht ausdrücklich hingewiesen, weil ich mich in der genannten Veröffentlichung möglicher Kürze bemühte und dem betreffenden Belastungsfall keine erhebliche praktische Bedeutung beimessen kann. In der Praxis tritt Drehung fast immer in Verbindung mit Biegung auf. Der Träger muss also derart unter-

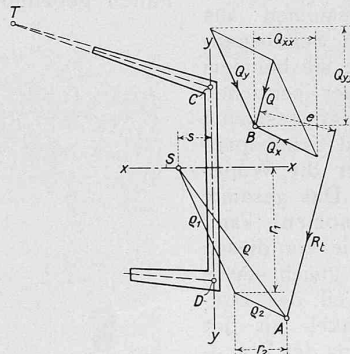


Abb. 1 (zu Drehung und Biegung).

stützt sein, dass er Biegebungsbeanspruchungen aufnehmen kann, d. h. er ist entweder in mehreren Querschnitten unterstützt oder im Auflagerquerschnitt eingespannt. Der genannte Drehungsbelastungsfall setzt aber voraus, dass ein Drehmoment an einem Ende des Trägers angreife und in den andern Endquerschnitt übertragen werde, wobei der letztgenannte nur drehungs- aber nicht biegebungsfest gelagert sei. Ein solcher Träger könnte durchaus keine Biegebungsbeanspruchungen aufnehmen. Wenn also die bisherige Drehungstheorie sich darauf beschränkt hat, diesen Belastungsfall, den ich im folgenden mit  $D_1$  bezeichnen möchte, zu untersuchen, so ist sie damit weit davon entfernt, das Problem der Drehung erschöpfend behandelt zu haben. Sie nützt dem Praktiker ungefähr gar nichts, sondern erhält praktische Bedeutung erst durch die *Annahme*, dass die für diesen Belastungsfall gefundene Spannungsverteilung allgemein auch dann gelte, wenn ein beliebiges, aus einem Träger herausgeschnitten gedachtes unendlich kurzes Stück durch zwei in den Begrenzungs-Querschnitten angreifende, gleich grosse und entgegengesetzt wirkende Torsionsmomente belastet ist. Diese Annahme ist für kreisförmige Querschnitte einwandfrei, für andere, z. B. rechteckige zulässig, versagt aber bei  $\square$ -förmigen vollkommen. Bei diesen werden so ziemlich in allen andern Belastungsfällen Normalspannungen erzeugt, die meistens praktisch wichtiger sind als die Schubspannungen. Der Fall  $D_1$  stellt also einen reinen Ausnahmefall dar, der meine Behauptung, dass Drehungsbeanspruchungen *im allgemeinen* ausser Schub- auch Normalspannungen erzeugen, durchaus nicht entkräftet.

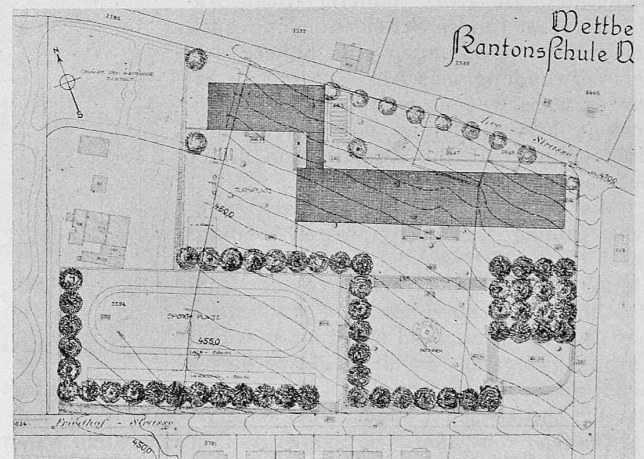
Der zweite Einwand des Herrn Maillart stützt sich darauf, dass ich den Drehungswiderstand gemäss der bisherigen Theorie, wie er bei dem Belastungsfall  $D_1$  allein auftritt, vernachlässigte. Damit greift Herr Maillart einem „Nachtrage“ vor, den ich vor Erscheinen der Maillart'schen Ausführungen vom 20. Mai d. J. der Schriftleitung des „Bauingenieur“ zusandte und in dem ich diesen Einfluss mitberücksichtigte und dadurch ebenfalls zu einer erheblich bessern Uebereinstimmung mit den Bach'schen Versuchen kam. Die Drehungsbeanspruchung  $\square$ -förmiger Querschnitte setzt sich im allgemeinen aus zwei Teilen zusammen: aus wirbelförmig über den Querschnitt verteilten Schubspannungen gemäss der bisherigen Theorie, wie sie bei dem Belastungsfall  $D_1$  allein auftreten, und einer seitlichen Verbiegung der beiden Flanschen in entgegengesetzten Richtungen, wodurch Normalspannungen und Schubspannungen entstehen, die als gleichmässig über die Wandstärke verteilt angenommen werden können. Das gesamte auf den Querschnitt einwirkende Torsionsmoment kann also in zwei Teile zerlegt gedacht werden, die von diesen beiden Einflüssen aufgenommen werden und gleich starke Verdrehungen erzeugen. Für den ersten Teil der Drehungsbeanspruchung ist der Verdrehungswinkel mit der ersten Potenz der Länge und der dritten Potenz der Wandstärke veränderlich, für den zweiten umgekehrt mit der dritten Potenz der Länge und der ersten Potenz der Wandstärke. Für ein  $\square$ -N.-P. 30 von 300 cm Stützweite hat Herr Maillart das Verhältnis der beiden Anteile des Drehmomentes zu 2 : 1 gefunden und ich zu 1,13 : 1. Durch Vernachlässigung des ersten Einflusses würde man also um 200, bzw. 113% zu grosse Längsspannungen erhalten. Es ist aber zu beachten, dass, wo es sich in der Praxis darum handelt, grössere Drehmomente durch  $\square$ -förmige Trägerquerschnitte aufzunehmen, so schlanke Träger mit einem Verhältnis der Flanschbreite zur Stützweite von 1 : 30 kaum vorkommen und dass bei verhältnismässig grössern Flanschbreiten der erste Einfluss rasch abnimmt, sodass man keine erheblichen Fehler erhält, wenn man diesen Einfluss vernachlässigt und nach der von mir im „Eisenbau“ 1921 und „Bauingenieur“ Nr. 1 und 2 1922 angegebenen Weise rechnet. Man erhält dadurch für die für die Bruchsicherheit meistens massgebenden Normalspannungen zu grosse Werte, bewegt sich also auf der sichern Seite.

*Anmerkung der Redaktion.* Da Herr Eggenschwyler die von ihm gefundenen Ergebnisse für allgemeiner, genauer und für die praktische Verwendung geeigneter hält, als die von Maillart in dieser Zeitschrift veröffentlichten, möchte er hier weitere Ausführungen anschliessen, von denen er glaubt, dass sie eine brauchbare Unterlage für die Berechnung von Biegebungs-, Schub- und Drehungsbeanspruchungen unregelmässiger eingestegter Querschnitte bilden. Er erklärt zum Schlusse, mit Maillart darin vollkommen übereinzustimmen, dass es sehr zu begrüssen wäre, wenn seine Ergebnisse durch Versuche nachgeprüft würden. (Solche Versuche sind inzwischen an der Eidg. Materialprüfungsanstalt durch die „Technische Kommission des V. S. B.“ durchgeführt worden, deren Ergebnisse wir hoffen veröffentlichen zu können.)

Wir bedauern, dem Wunsche Eggenschwylers um Veröffentlichung dieser seiner weitern Rechnungen aus Raumgründen nicht entsprechen zu können, und fügen hier gleich die Rückäusserung R. Maillarts bei, als Abschluss dieses Meinungs-austausches. Ing. Maillart schreibt:

„Herr Ing. Eggenschwyler will den Begriff der Torsionsbeanspruchung allgemeiner anwenden als es bis jetzt üblich war. Es handelt sich da um eine Frage der Definition, also keine sachliche Meinungsverschiedenheit. Unbestreitbar deckt sich meine Auffassung mit der aller Autoren, die diesen Gegenstand behandelt haben. Immer ist von zwei Kräftepaaren, die an den *Stabenden* angreifen die Rede. Beiläufig sei bemerkt, dass zwar Abb. 1 die bisherige Erkenntnis insofern berichtigt, als nun an Stelle des früher ohne jede Berechtigung bevorzugten Schwerpunktes der *Schubmittelpunkt* tritt; dagegen wird sie einer allgemeineren Auffassung in dem Sinne, dass über den Angriff der Drehmomente keine Voraussetzungen gemacht werden, insofern nicht gerecht, als die Spannungen durch sie nun nicht mehr eindeutig bestimmt sind.

Die sachliche Einwendung, die ich zu machen hatte, richtete sich dagegen, dass Herr Ing. Eggenschwyler die Torsions-Schubspannungen sozusagen ignorierte. Auch jetzt glaubt er, dass man sie in den meisten praktischen Fällen gegenüber den Längsspannungen vernachlässigen



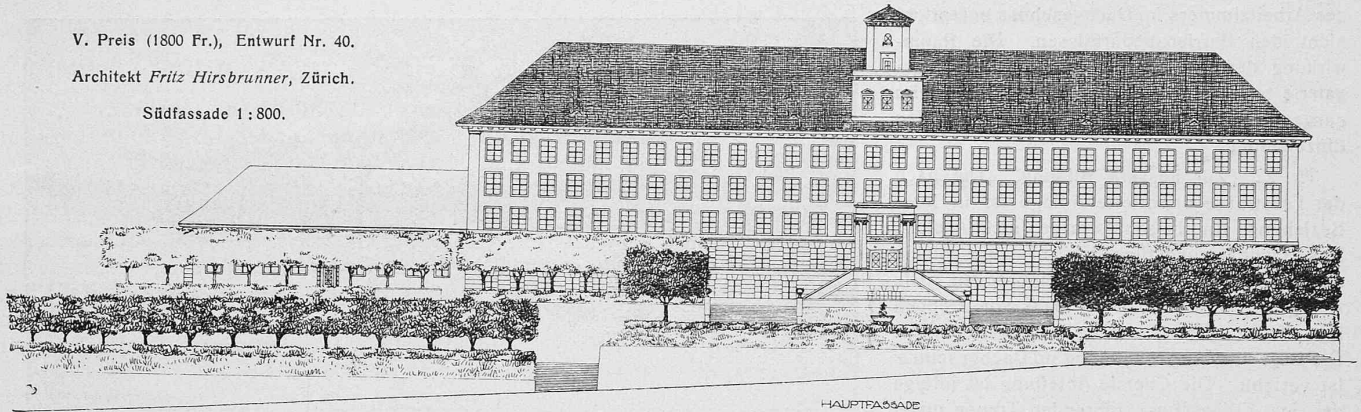
V. Preis (1800 Fr.), Entwurf Nr. 40. — Lageplan 1 : 2500.

kann, was meines Erachtens zu weit geht, wenn man mit Herrn Eggenschwyler auf eine genaue rechnerische Behandlung Gewicht legen will. Jedenfalls war es etwas misslich, dass er in seinen Ausführungen ein Beispiel heranzog, wo diese Vernachlässigung eine Differenz von 200% gegenüber einem Versuchsergebnis ergab, das mit meiner Berechnungsweise überraschend gut stimmt. Dass Herr Eggenschwyler selbst noch vor Kenntnisnahme meiner Aussetzung einen Nachtrag verfasste, der ihr gerecht wird, zeigt am besten, dass unsere Anschauungen nun im wesentlichen übereinstimmen. Dass er im übrigen das Problem allgemeiner anpackt als ich, ist nur zu begrüssen,

V. Preis (1800 Fr.), Entwurf Nr. 40.

Architekt Fritz Hirsbrunner, Zürich.

Südfassade 1:800.



HAUPTFASSADE

wenn auch sein Resultat mit obigem Versuch nicht so gut stimmt — er findet immer noch wesentlich grössere Spannungen als Bach — und obschon ich keinen Grund erkennen kann, meine einfachen Ueberlegungen als irrtümlich anzusehen. Die allgemeine Formel zur Spannungsberechnung, die sich nach meiner Anschauung ergibt, habe ich deshalb nicht gegeben, weil ich im Gegensatz zu Herrn Ing. Eggenschwyler der Meinung bin, dass die Praxis mit diesen Spannungsberechnungen kaum je zu tun haben wird. Die zahlenmässige Verfolgung eines Beispiels schien mir deshalb genügend, um einerseits das Bach'sche „Rätsel“ zu erklären und anderseits darauf hinzuweisen, dass schon ganz kleine Lastverschiebungen sowohl bei symmetrischen als unsymmetrischen Profilen genügen, um ganz bedeutende Spannungsvermehrungen zu erzeugen. Diese sind so gross, dass ihr Bestehen eine Konstruktion unwirtschaftlich gestalten müsste. Der Praktiker wird sie deshalb nicht rechnerisch zu verfolgen, sondern zu vermeiden haben. Darin,

### Wettbewerb für ein neues Kantonschulgebäude in Winterthur.

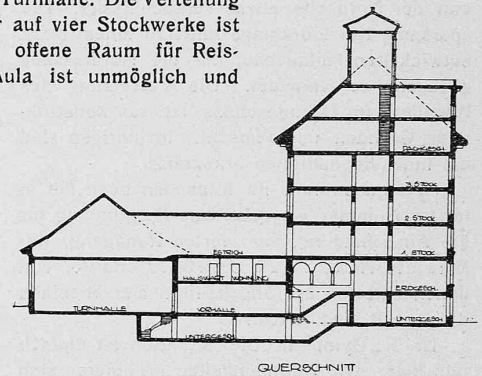
(Schluss des Berichtes des Preisgerichtes von Seite 197.)

Nr. 40 „Einfügung“. Das Projekt benützt nicht den ganzen Bauplatz. Hervorzuheben ist die zweckmässige Anlage der Turn- und Spielplätze. Der Grundriss ist gut organisiert. Die Abwartung ist praktisch angelegt zwischen Hauptgebäude und Turnhalle. Die Verteilung der Klassenzimmer auf vier Stockwerke ist unerwünscht. Der offene Raum für Reibretter vor der Aula ist unmöglich und

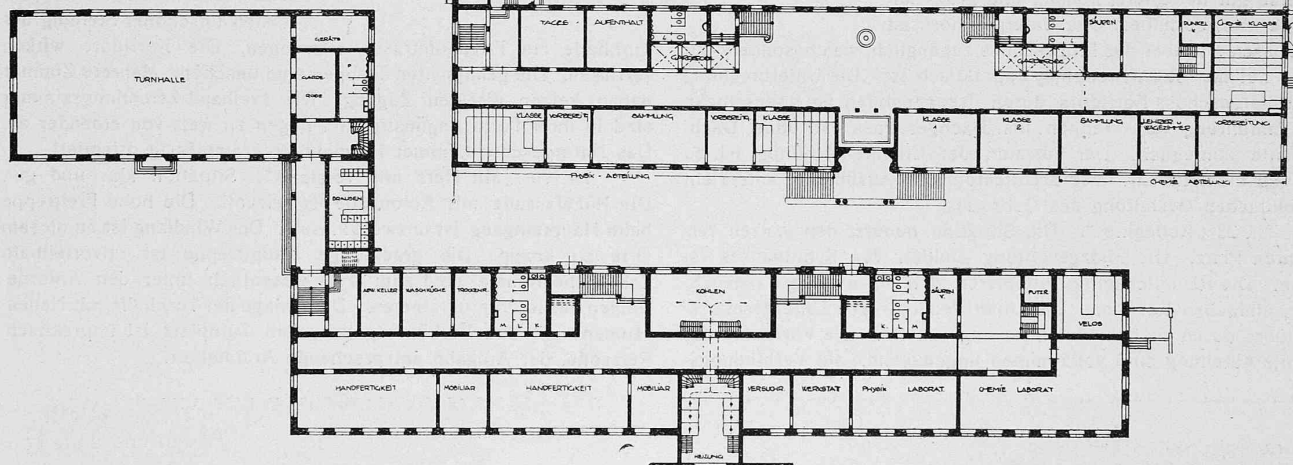
V. Preis, Entwurf Nr. 40  
Arch. F. Hirsbrunner, Zürich.

Untergeschoss,  
Erdgeschoss  
und Schnitt.

1:800.



QUERSCHNITT



dass dies keine Schwierigkeiten bietet, gehe ich mit Herrn Eggenschwyler wieder einig.

Nach wie vor erscheint mir als für die Praxis wichtigstes Resultat der Behandlung dieser Frage nicht die Gewinnung eines schönen Rechnungsverfahrens, sondern die Erkenntnis, dass erstens auch bei symmetrischen Profilen die Querversteifung nicht nur eine beiläufige — also gelegentlich nach Belieben wegzulassende — Zugabe, sondern eine Notwendigkeit für die volle Ausnutzung der Trägerstärke bedeutet, und dass zweitens der Konstrukteur ganz ruhig zu den in vielen Fällen bestgeeigneten unsymmetrischen Profilen greifen darf, deren Gebrauch durch Autoritäten und amtliche Erlasse eingeschränkt oder gar verboten werden will.

R. Maillart, Ing.

liegt zu weit ab vom Zeichensaal. Die Anlage der Aula bietet für die Möblierung erhebliche Schwierigkeiten. Die Architektur wirkt trocken; das Hauptportal ist mit dem Gebäude nicht verwachsen.

Nr. 9 „Olympia“. Das Projekt nimmt bei reichlicher Bemessung des Spielplatzes das ganze Areal in Anspruch. Die Plätze und Gebäude stehen in schönem Zusammenhang zueinander. Die Trennung von Turnhalle und Turnplatz durch Treppen von 6 m Höhe ist unzweckmässig. Die dem Hauptgebäude vorgelagerte Terrasse ist in unerwünschter Weise durch Treppenanlagen zerschnitten. Die Grundrissanlage ist klar. Die Haupttreppen sind mit schönen Vorhallen verbunden. Die Korridore im Untergeschoss sind dunkel. Die Chemieabteilung ist vom Erdgeschoss nicht genügend abgeschlossen. Die Hofanlage mit offenen Korridoren und Glasdach ist wegen hoher Heizkosten unwirtschaftlich. Die Lage