Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 93/94 (1929)
Heft: 14

Artikel: Die Verwendung der Maag-Zahnradgetriebe
Autor: Ernst, D.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-43426

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

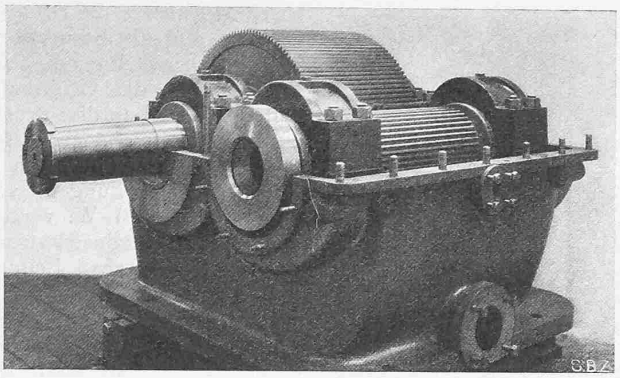


Abb. 1. Maag-Reduktionsgetriebe für einen Turbogenerator von 6400 PS, Uebersetzung von 4500 auf 1500 Um/min.

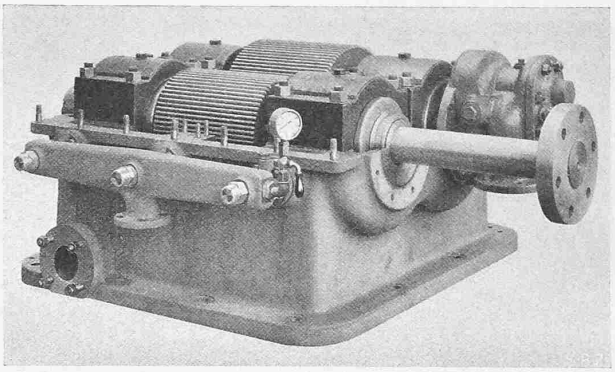


Abb. 2. Maag-Erhöhungsgetriebe für einen Turbokompressor von 2000 PS, Uebersetzung von 2980 auf 4130 Uml/min.

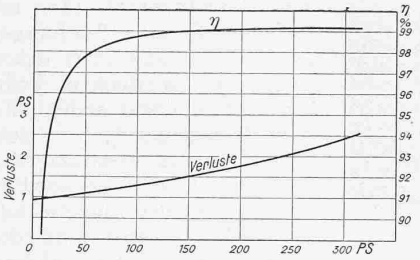


Abb. 6. Wirkungsgrad und Verluste eines Maag-Reduktionsgetriebes mit Rollenlagern 300 PS, Uebersetzung von 1000 auf 250 Uml/min.

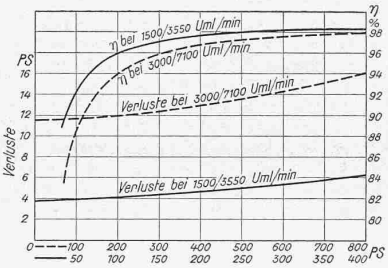


Abb. 7. Wirkungsgrad und Verluste eines Maag-Turbogetriebes mit Drucköllagern bei verschiedenen Drehzahlen.

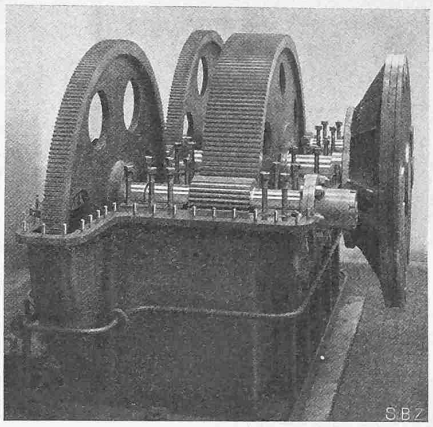


Abb. 4. Maag-Reduktionsgetriebe mit nachgiebiger Kupplung für Zentralantrieb einer Zementmühle, 450 PS, Uebersetzung von 785 auf 18 Uml/min.

lager gestellt. Bei der Tosi-Turbine ist der Aufbau ähnlich, jedoch ist die Maschinenwelle mit zwei Führungslagern gehalten und mit einem Ringspurlager Michell ausgerüstet. Diese drei Turbinen für je 14 700 PS Leistung bei 144 bis 152 m Gefälle und einem Wasserverbrauch von 9600 bis 9060 l/sec haben eine Drehzahl von 250 Uml/min bei der normalen Frequenz von $16^2/_3$ Per. und sind mit Drehstromgeneratoren (Lieferant: Comp. Generale di Elettricità) von 9000 bis 13 500 kVA Leistung mit 4000 V Betriebspannung gekuppelt. Die Uebertragung nach den Hauptunterwerken der Strecke Verona-Brenner geschieht auf zwei Leitungen mit der Spannung von 65 000 V.

Der Betrieb des Werkes ist vor kurzem aufgenommen worden; die Baukosten erreichen 300 Mill. Lire. Unsere Abbildungen zeigen den Bauzustand vom Herbst 1928. W. J.

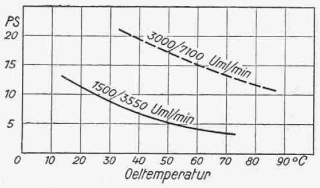


Abb. 8. Leerlaufverluste des Getriebes nach Abb. 7 bei verschiedenen Oeltemperaturen.

Die Verwendung der Maag-Zahnradgetriebe.

Seitdem es gelungen ist, Verzahnungen mit einer Präzision herzustellen, die allen Anforderungen in Bezug auf Umfangsgeschwindigkeit der Räder und spezifische Zahnpressung gewachsen ist, findet das Zahnradgetriebe in steigendem Masse Verwendung zur Kraftübertragung auf allen Gebieten der Technik. Eines seiner wichtigsten Anwendungsgebiete als Drehzahlverminderer ist wohl der raschlaufende Turbogenerator kleiner bis mittlerer Grösse, mit Turbinendrehzahlen von 4000 bis 10 000 Uml/min, während die Generatoren nur mit 1000 bis 3000 Uml/min laufen. Ein solches Getriebe zeigt Abbildung 1. Die selbe Getriebegattung wird umgekehrt zur Drehzahlerhöhung bei Turbokompressoren benützt (Abb. 2). Hier kommen Ritzeldrehzahlen bis zu 20 000 Uml/min und mehr in Betracht.

Die Uebertragung grosser Leistungen bei so hohen Geschwindigkeiten erfordert natürlich einen kinematisch vollkommen richtigen Eingriff der Verzahnungen, damit die Umfangsgeschwindigkeiten der Teilkreise in jedem Moment genau übereinstimmen. Dadurch sind den zulässigen Fehlern von Zahnteilung und Profil enge Grenzen gezogen. Das Getriebe Abb. 2 hat 97/70 Zähne und macht 2980/4130 Uml/min. Wäre hier z. B. an einem Zahn eine positive Profilabweichung von $^1/_{100}$ mm vorhanden, die sich über $^1/_3$ des aktiven Zahnprofiles erstreckte, dergestalt, dass Ritzel und Rad eine konstante Beschleunigung bezw. Verzögerung erfahren würden, so ergäbe dieser Fehler einen zusätzlichen Zahndruck von 20 300 kg, das ist das 7,8 fache der normalen Belastung. Wenn auch infolge der Elastizität der Zähne und des auf ihnen haftenden Oelfilms dieser Wert nicht voll erreicht wird, so wäre doch ein heftiger Schlag die Folge, der ausser störendem Geräusch Vibrationen von Getriebegehäuse und Wellen erzeugte. Es leuchtet ein, dass bei derartigen Getrieben die eben noch zulässigen Fehler an zwei aufeinander folgenden Zähnen nur einen geringen Bruchteil von $^1/_{100}$ mm betragen dürfen.

Jeder neu eingreifende, theoretisch genaue Zahn würde naturgemäss einen ähnlichen Stoss verursachen, weil die schon im Eingriff befindlichen Zähne infolge der Belastung etwas durchgebogen sind und die treibende Verzahnung um diesen Betrag voreilt. Damit der neue Zahn arbeitet, muss er ebenfalls durchgebogen werden. Um dies möglichst stossfrei zu erreichen, ist eine bestimmte parabelförmige Abweichung des Zahnprofils von der theoretisch gegebenen Form notwendig. Es handelt sich dabei aber um so kleine Beträge, dass deren Berücksichtigung erst einen Sinn hatte, nachdem die Erzeugung der genauen Grundform gelungen war.

Die Summation einer Anzahl positiver Teilungsfehler zulässiger Grösse, die sich über eine Reihe von Zähnen erstrecken, ergibt wohl einen grössern periodischen Fehler, ohne dass hierdurch der Massenbeschleunigungsdruck zu hoch würde. Infolge der eingetretenen Voreilung des getriebenen Rades und darauffolgender Zurückführung durch

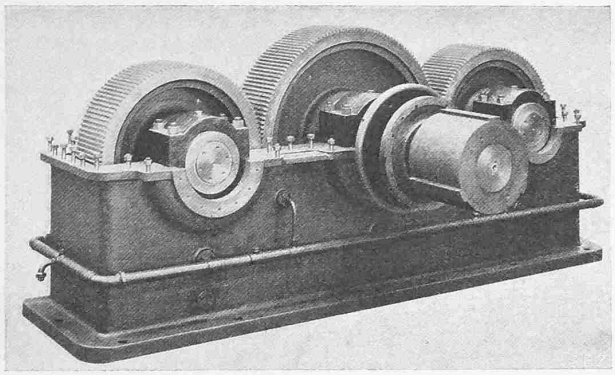


Abb. 3. Maag-Erhöhungsgetriebe für zwei Hochdruckpumpen von 13 600 PS, Uebersetzung von 750 auf 1000 Uml/min.

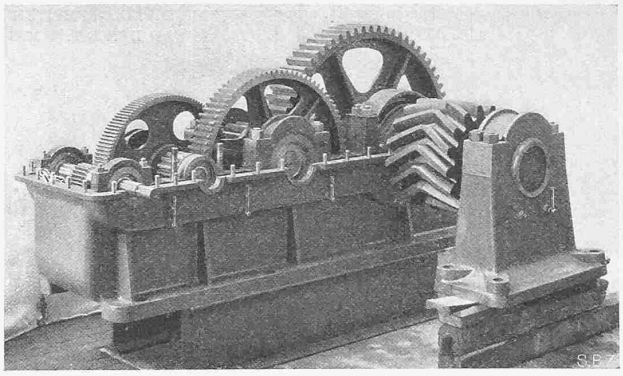


Abb. 5. Maag-Reduktionsgetriebe zum Schwenken einer Hebebrücke 41 PS, Uebersetzung von 450 auf 2,65 Uml/min.

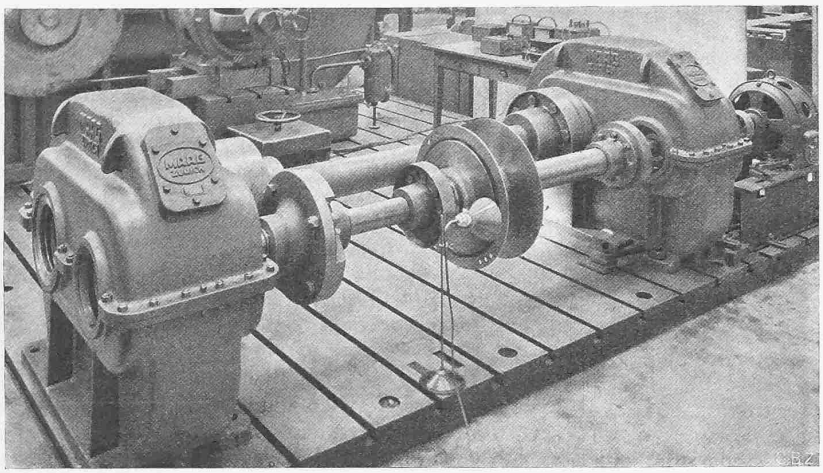


Abb. 9. Wirkungsgrad-Bestimmung von zwei gleichen Maag-Getrieben.

das Abtriebsmoment werden jedoch Vibrationen erregt, die sich bis in die Turbine oder den Generator fortpflanzen können. Bei zufällig vorhandener Resonanz mit der Eigenschwingungszahl irgend eines Teiles entstehen oft erhebliche Störungen, deren Ursache dann meist vergeblich in schlechtem Auswuchten rotierender Massen gesucht wird. Einen ähnlichen Einfluss hat die exzentrische Lage der Verzahnung zum Wellenmittel.

Raschlaufende Kraftgetriebe werden deshalb am besten mit geschliffener Verzahnung ausgeführt. Das Schleifen evolventenförmiger Zahnflanken ist so vervollkommnet worden, dass heute jeder erforderliche Grad von Genauigkeit erreicht wird. Nur dadurch wurde es möglich, Getriebe bis zu den höchsten Drehzahlen mit einfachen gehärteten Stirnrädern auszuführen. Deren hauptsächlichste Vorteile sind bekannt: Keine Abnützung der gehärteten Zahnflanken, freies Axialspiel, kein axialer Druck u. a. Die Schmierung erfolgt bei solchen Getrieben meist durch auf die Verzahnung gespritztes Oel, wobei sich im Getriebegehäuse ein dichter Oelnebel bildet, der alle Zahnflanken mit einem feinen Oelfilm überzieht. Man hat solche gehärtete Getriebe beobachtet, die nach jahrelangem Gebrauch noch die charakteristischen Schleifbilder der Verzahnung aufwiesen, während bei andern nach teilweisem Polieren des Schliffes keine Abnützung mehr eintrat. Beides sind Beweise dafür, dass metallische Berührung kaum stattfindet.

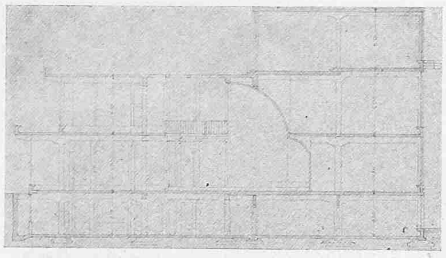
Gehärtete Verzahnungen ertragen höhere spezifische Zahndrücke, da die zulässige Belastung nach den bekannten Formeln von Hertz mit dem Quadrat der Härte des Materials steigt. Die Erfahrung hat gezeigt, dass nicht die Bruchfestigkeit der Zähne für die Bemessung massgebend ist, sondern ihre Abnützung. Es werden denn auch bei geschliffenen und daher stossfrei laufenden Getrieben sehr kleine Module angewandt, die bei gleichem Achsabstand höhere Zähnezahlen und dadurch längere Eingriffsdauer ergeben. Entsprechend der höheren spezifischen Belastung, die das Härten ermöglicht, vermindert sich die Radbreite und damit das Gewicht des Getriebes. Mit Rücksicht auf die Erhaltung des Oelfilms kann indessen der Zahndruck nicht zu hoch gewählt werden, dafür treten bei harten Zahnflanken niemals die unter dem Namen „pittings" bekannten Aushöhlungen durch Abbröckeln von Material im Gebiete des Teilkreises auf.

Wenn bei raschlaufenden Getrieben die Verzahnungen aus kinematischen Gründen geschliffen werden, so geschieht dies bei den Ritzeln langsam laufender Getriebe zu dem Zwecke, mit den harten und theoretisch exakten Flanken des Ritzels die Verzahnung des weicheren Rades günstig zu beeinflussen. Da die Ritzelzähne ihre Form dauernd behalten, werden kleine Fehler der damit kämmenden Gegenprofile ausgeglichen, die weiche Zahnflanke wird durch den Wälzprozess geglättet und verdichtet. Meist handelt es sich hier um grössere Uebersetzungen ins Langsame (Abb. 4 und 5), wobei der Ritzelzahn vielleicht zehn mal so oft zum Eingriff kommt wie der Radzahn und trotzdem, infolge seiner grössern Härte, die gleiche Lebensdauer besitzt wie dieser.

Die Verzahnungen von Turbo-Getrieben mit geraden Zähnen werden in Chromnickelstahl ausgeführt und im Einsatz gehärtet. Während Räder mittlerer Grösse aus einem geschmiedeten massiven Stahlzylinder bestehen, wird bei grössern Abmessungen ein Chromnickelstahlring auf den Radstern aus Stahlguss aufgezogen.

Können die Räder infolge ihrer Grösse nicht mehr gehärtet werden, so nimmt man hochvergüteten Stahl, in den sich die Zähne eben noch schneiden lassen; ihre genaue Form erhalten sie erst durch das nachfolgende Schleifen. In der Regel wird die Ritzelverzahnung direkt auf einen entsprechenden Ansatz der Ritzelwelle geschnitten. Diese ist bei raschlaufenden Getrieben durchbohrt zur Aufnahme einer federnden Torsionswelle, die an einem Ende mit der hohlen Ritzelwelle, am andern mit der Dampfturbine fest gekuppelt ist. Dadurch werden Vibrationen, kleine Unstimmigkeiten in der gegenseitigen Lage der Wellenmittel usw. in vollkommener Weise ausgeglichen. Getriebe für mittlere Drehzahlen und Leistungen erhalten heute gewöhnlich Rollenlager, für hohe Drehzahlen Druckölager, wobei eine von der Radwelle angetriebene Zahnradpumpe das nötige Drucköl liefert, das in seinem Kreislauf noch durch einen Oelfilter und Kühler geht. Die Gussgehäuse dürfen nicht zu dünnwandig sein, um das im Innern vorhandene Geräusch gut abzudämpfen, oft werden auch die Kupplungen eingeschalt.

Der Wirkungsgrad wird wesentlich beeinflusst durch die Höhe der Drehzahl, die Viskosität des Oeles bezw. die



DIPLOM-ARBEITEN
AN DER E.T.H. 1929

Seiten 172 bis 174
Arbeiten der Klasse
Salvisberg.

Baublock am Limmatquai.
Schnitt durch das Restaurant, 1 : 500.

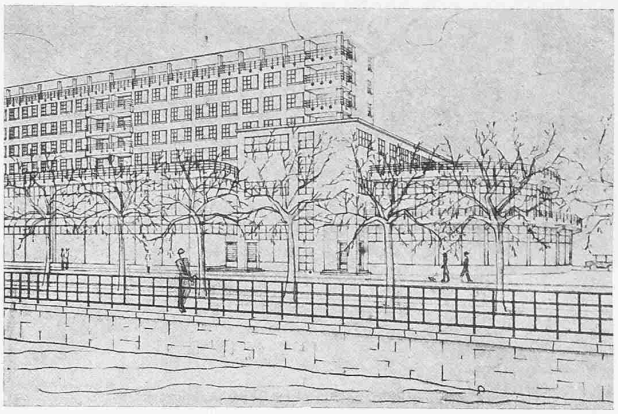
Oeltemperatur und durch die Art der Lagerung (Abb. 6, 7 u. 8). Die Zahnreibungsverluste sind verhältnismässig gering, am kleinsten natürlich bei harten, geschliffenen Zähnen. Abbildung 6 zeigt den gemessenen Wirkungsgrad eines Rollenlagergetriebes für 300 PS, 1000/250 Uml/min, der bei Vollast bis auf 99,2 % ansteigt; die Leerlaufverluste sind nur 0,94 PS. In Abbildung 6 sind die Wirkungsgrade und Verluste eines Getriebes mit Drucköllagern bei 1500/3550 bezw. 3000/7100 Uml/min wiedergegeben. Der Einfluss der höhern Drehzahl geht aus der beträchtlichen Zunahme der Leerlaufverluste deutlich hervor. Die Abhängigkeit der Verluste von der Oeltemperatur ist aus Abbildung 7 ersichtlich.

Wenn zwei gleiche Getriebe zur Verfügung stehen, lässt sich der Wirkungsgrad nach der bekannten Rückarbeitungsmethode sehr genau ermitteln. Abb. 8 zeigt die betreffende Versuchsanordnung. Die beiden Radwellen sind durch eine starre Welle fest gekuppelt, die Ritzelwellen hingegen über einen dünnen Torsionsstab, dessen einstellbare Verdrehung an einer geeichten kalibrierten Scheibe während des Laufes stroboskopisch abgelesen werden kann (Torsiometer von Amsler). Macht man nun dieses Torsionsmoment gleich dem Volllastdrehmoment und treibt die Gruppe durch einen kleinen Motor mit normaler Drehzahl an, so laufen die beiden Getriebe voll belastet, während der Motor nur die Verluste zu decken hat. Durch Messung der zugeführten elektrischen Energie ergeben sich unter Berücksichtigung des Motorwirkungsgrades, den man vorher bestimmt hat, die zugeführten Verluste für zwei Getriebe. D. Ernst, Ing.

Architektur-Diplomarbeiten an der E. T. H.

Dreizehn Studierende haben ihre Diplomarbeit in der Klasse Prof. O. Salvisberg bearbeitet, der die Erbschaft von Prof. Dr. K. Moser angetreten hat und einstweilen ambulant verwaltet, unterstützt von Mosers langjährigem Mitarbeiter und Assistenten Arch. H. Platz, wodurch die so wünschbare Kontinuität gewährleistet war. Das Thema war die gründliche Sanierung der Zürcher Altstadt rechts der Limmat, wobei supponiert war, sämtliche Liegenschaften befänden sich in öffentlicher Hand, oder diese besitze wenigstens unbeschränkte Expropriationsmöglichkeiten. Man brauchte sich also an weiter nichts, als die topographische Unterlage gebunden zu halten, und an die paar wichtigsten Fixpunkte wie Grossmünster, Fraumünster, Kunsthaus, Zentralbibliothek. Aus seinem Stadt-Neubauprojekt hatte dann jeder Diplomand einen Häuserblock auszuwählen und bis zum Konstruktionsdétail durchzuarbeiten — Miethäuser, Hotels, Warenhäuser, worüber die Abbildungen Auskunft geben.

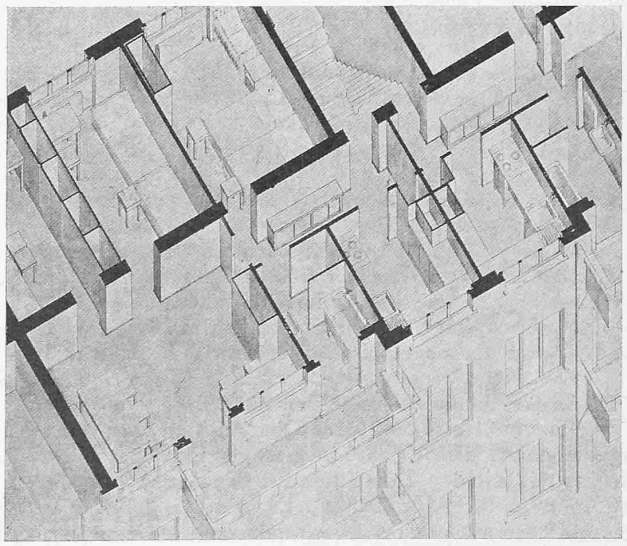
Dieser Radikal-Sanierung schwebte das Ziel vor, den Lauf der Limmat wieder zum Zentrum der Stadt zu machen, auf beiden Seiten breite Strassen anzulegen mit Alleen, Kaufhäusern, Hotels, Cafés usw., diesen Strassen also mit weit grösseren Entfaltungsmöglichkeiten die Funktionen zu übertragen, die heute von der Bahnhofstrasse erfüllt werden. Der Längsverkehr erhält durch sieben bis acht Hauptstrassen jeden erforderlichen Raum, während der Querverkehr auf die Quai- und Bahnhofbrücke konzentriert werden soll. Die topographischen Verhältnisse ergeben vorwiegend Häuserreihen in Nord-Süd-Richtung.



Entwurf Verena Witmer; Baublock am Limmatquai.

Besondere Sorgfalt war auf den Nachweis der Wirtschaftlichkeit der ganzen Sanierung gelegt, für die eine Verzinsung der Anlagekosten zu rund 7 % errechnet wurde, wobei die Stadt keine Beiträge à fond perdu zu leisten hätte. Man hat sich also bemüht, die Arbeit der Diplomanden auf den Boden der Wirklichkeit zu stellen, und die radikale Grosszügigkeit des Ganzen wird damit begründet, dass Versuche zu Einzelsanierungen, zur Verbesserung bestehender Strassenzüge usw. nicht zu einwandfreien hygienischen und verkehrstechnischen Ergebnissen führen können. Auch ist die städtebauliche Aufgabe wie die Planung der einzelnen Gebäude in einem erfreulich gründlichen, phrasenlosen Geist bearbeitet worden, der die Voraussetzung solider Lösungen ist.

Ein grundsätzliches Bedenken soll trotzdem nicht verschwiegen werden. Früher hat man als Diplomarbeiten an allen Technischen Hochschulen grossartig effektvolle Phantasie-Projekte machen lassen, die im Bodenlosen hingen. Wir sind heute stolz darauf, diese Stufe überwunden zu haben. Aber droht uns nicht von der andern Seite her die Gefahr des Utopisch-Effektvollen, wenn wir Diplomanden den Abbruch und Neubau ganzer Städte zu planen geben, unter grossartiger Ausserachtlassung der ausserordentlich komplizierten historischen und privatrechtlichen Bindungen, die letzten Endes mit den öffentlichen, ja verfassungsmässigen Verhältnissen des Staates unlösbar verknüpft sind? Auch so kann das Denken der jungen Architekten auf falsche Masstäbe eingestellt werden, und bescheidenere Aufgaben, etwa die Neuaufschliessung unbebauten Geländes, die Sanierung einer bestimmten Strasse, die eine gründ-



Entwurf Fritz Lodewig: Mietwohnhaus-Block am Letzigraben.
Isometrie 1 : 160 (Cliché-Masstab).