Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 59/60 (1912)
Heft: 3

Artikel: Hydraulische Druckregulatoren
Autor: Dubs, R. / Utard, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-29920

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: 15.07.2025

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

podium ausgehenden Fernbetätigungs- und Signalleitungen werden von einer Akkumulatorenbatterie gespeist, deren Lade-Umformergruppe unter dem Podium Aufstellung fand. Beleuchtungs- und Kleinmotorenstrom für Ladegruppe, Kran und Werkstätte liefern je ein Transformator.

Die Apparate der Blitzschutz-Sicherungen lieferte die *Société Générale des Condensateurs électriques Fribourg*, die Generatoren *Brown, Boveri & Cie.* in Baden, von denen auch in der Hauptsache die übrigen elektrischen Apparate bezogen worden sind.

Das erste Anlassen der Maschinen erfolgte am 23. Dezember 1910, die Inbetriebsetzung des Werkes am 9. Januar 1911.

Das Elektrizitätswerk Kandergrund.

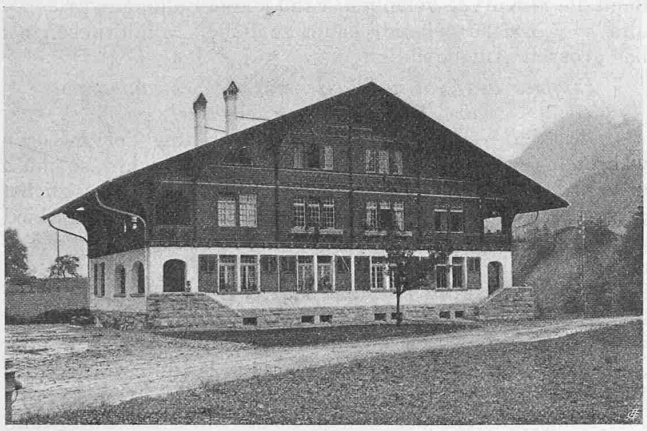


Abb. 31. Maschinisten-Wohnhaus bei der Zentrale Kandergrund.

Das Elektrizitätswerk Kandergrund wurde in seinem baulichen Teil entworfen vom Oberingenieur der Bernischen Kraftwerke, Ingenieur *Alex. Schafir,* unter dessen persönlicher Leitung auch die Ausführung in Regie stattfand. Als Mitarbeiter verdienen genannt zu werden für die Projektierung Ingenieur H. Stoll und für die Ausführung Ingenieur T. Liechti (obere Sektion mit Wehranlage), Bauführer Rufener (Wehranlage) und Ingenieur A. Keller (untere Sektion mit Maschinenhaus). Die Gesamt-Baukosten werden sich belaufen auf rund 3780000 Fr., wovon etwa 450000 Fr. auf die maschinelle und elektrische Ausrüstung entfallen.

Hydraulische Druckregulatoren.

Von Dipl. Ing. *R. Dubs* und Dr. Ing. *A. Utard.*

(Schluss.)

γ. Verschiedene Möglichkeiten der f_1'- und f-Linie zur Erzielung einer bestimmt vorgeschriebenen L-Kurve.

Nach dem oben angegebenen Rechnungsgang ergibt sich die Konstruktion der f-Linie für ein bestimmtes L_1' und f_1'; wobei uns aber die Wahl der beiden letztgenannten Grössen noch völlig frei steht. Es entsteht somit die Frage, welche L_1'-Kurve am vorteilhaftesten ist, und welche f_1'- und f-Linien sich besonders empfehlen.

Damit die Wirkung der Wasserträgheit auf den Reguliervorgang völlig ausgeschaltet wird, muss die L_1'-Kurve den der Schliess-f_1'-Linie entsprechenden Verlauf nehmen. Denn bei Wegfall der Druckschwankungen würde die Leistungskurve den Eröffnungen f_1' des Leitapparates direkt proportional sein. Dann ist es vor allem interessant, den Grenzfall festzustellen, der selbstredend ohne Vergrösserung von h_{max}, am wenigsten Wasser verloren gehen lässt. Es werde bei dieser Untersuchung die Elastizität vernachlässigt.

Wir gehen hierzu von dem in Abschnitt Ia, (Seite 4) betrachteten Falle aus, der bereits ohne Zuhülfenahme eines Seitenauslasses, bloss infolge einer bestimmten Form der Schlusslinie eine Herabminderung des maximalen Druckes (allerdings nur bei Vernachlässigung der Elastizitäten) in Aussicht stellte und auch eine im gesamten günstigere L-Kurve ergab. Die Voraussetzung war damals eine gleichmässige Abnahme der Fliessgeschwindigkeit im Zuleitungsrohre, also $\frac{dc}{dt}$ = konstant (nach Gleichung 11); auch die Druckhöhe stellte sich dann während des ganzen Schliessvorganges konstant ein, nämlich $h = \mathfrak{h} = H_o\,(1 + m)$ (vergl. Gleichung 9).

Das in Abschnitt Ia beobachtete plötzliche Anheben der L-Kurve können wir nun dadurch vermeiden, dass wir zwar die f-Linie an der Stelle a um das dort berechnete Stück Δf herunter springen lassen (siehe Gleichung 16). Dabei vermindern wir aber den Wert von f_1' noch um ein grösseres Stück derart, dass nach dem Sprung der Oeffnungsgrösse der Wert von L_1' derselbe bleibt (Abbildung 10).

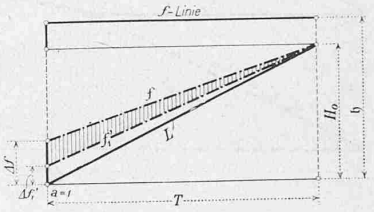


Abbildung 10.

Die L_1'-Werte nehmen dann bei weitergehendem Schluss linear ab, da h = konstant = $\mathfrak{h}$ und $\frac{df_1'}{dt}$ = konstant nach Annahme. Die Differenz von f_1' und f gibt den Wert der momentanen Eröffnung des Nebenauslasses und auch einen Anhaltspunkt über die Menge des ausströmenden Wassers. Die Grösse von $\Delta f_1'$ erhält man durch Gleichsetzen der beiden Ausdrücke für L_1' an der Stelle a vor und nach dem ruckweisen Schliessen. Im Augenblick vor dem teilweisen Schliessen der Leitschaufeln ist:

$$L_1' = f_1\,\gamma\,\frac{v_o^3}{2\,g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (42)$$

Nach dem plötzlichen Ruck der f_1- und f-Querschnitte lässt sich L_1' ausdrücken durch:

$$L_1' = f_1'\,\gamma\,\frac{v_1^3}{2\,g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (43)$$

Beide Werte von L_1' müssen nun einander gleich sein, da eine lineare Abnahme der L_1'-Werte gefordert ist. Somit folgt nach den Gleichungen 42 und 43:

$$\frac{f_1'}{f_1} = \frac{v_o^3}{v_1^3} = \sqrt{\left(\frac{H_o}{\mathfrak{h}}\right)^3}$$

Hierin den Wert von $\mathfrak{h}$ nach Gleichung 9 eingesetzt, ergibt:

$$\frac{f_1'}{f_1} = \frac{1}{\sqrt{(1+m)^3}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (44)$$

Nun ist nach Gleichung 15: $\frac{f}{f_1} = \frac{1}{\sqrt{1+m}}$

$$\text{Somit folgt: } f_1' = f\,\frac{1}{1+m} \quad . \quad . \quad . \quad (45)$$

Der Seitenauslass würde hiernach an Wasser ungefähr die in Abbildung 10 schraffierte Fläche beanspruchen, also eine geringe Wassermenge verloren gehen lassen.

Will man auch die Grösse von $\mathfrak{h}$ herunterdrücken auf einen Wert $\mathfrak{h}_1'$, so berechnet man sich für dieses $\mathfrak{h}_1'$ das entsprechende T aus Gleichung 9. Die zugehörigen Werte von f_1' und f liessen sich auf ähnliche Weise ermitteln wie im vorhergehenden. Die neuen Verhältnisse sind durch Abbildung 11 charakterisiert.

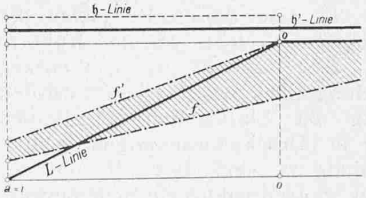


Abbildung 11.

Es braucht wohl kaum eines Hinweises darauf, dass in der gezeichneten Form diese Schliesskurve kaum praktisch verwirklicht werden kann, da ein momentaner Sprung schlechterdings nicht erzielt werden kann. Aber selbst bei einer abgerundeten Form der f_1'- und f-Linien bleiben bei Berücksichtigung der Elastizität die schon früher in

Abschnitt Ia angeführten Misstände einer grössern Druckerhöhung bestehen. Dieses Verfahren des ruckweisen Schliessens liesse sich, seiner günstigen L-Kurve wegen, beim Oeffnungsvorgang eher rechtfertigen, wo die grössere momentane Druckerniedrigung nur dann lästig wird, wenn sie sich dem athmosphären Druck bedenklich nähert, oder wenn sie bedeutende Drucksteigerungen in der zweiten Druckphase im Gefolge hat.

Eine andere Möglichkeit zur Erzielung linear abnehmender L_1'-Kurven wäre in einer völlig synchronen Wirkungsweise des Seitenauslasses geboten, mit nachherigem langsamem Schluss desselben (Abbildung 12). Während der ganzen Dauer der Schliessperiode wäre dann hierdurch ein Ansteigen von h vermieden; der Druck geht erst nachher in die Höhe. Doch wird, wie Abbildung 12 zeigt, hierdurch unnötigerweise viel Wasser verschwendet.

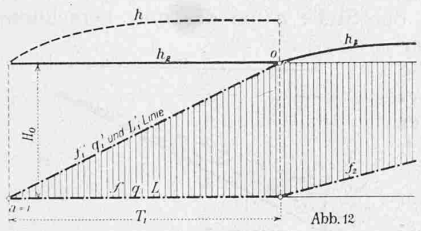


Abb. 12

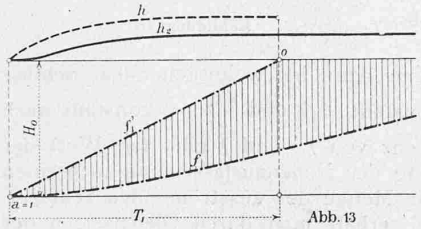


Abb. 13

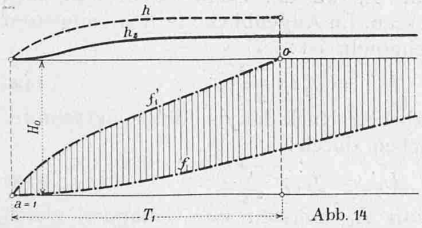


Abb. 14

Wenn wir nun die unter dem Winkel α_2 abfallende f-Kurve bis nach dem Punkt a verschieben, so erhalten wir den schon früher betrachteten Fall einer Herabsetzung des Ueberdruckes (Abb. 6). Der für die Praxis empfehlenswerteste Verlauf des Gesamtquerschnittes, also der f-Kurve, dürfte wohl durch eine allmählich zunehmende Neigung dieser f-Kurve charakterisiert werden. Mag nun die f_1'-Linie linear verlaufen (Abbildung 13), oder was noch besser ist, mit abnehmender Schliessgeschwindigkeit, wie durch Abbildung 14 charakterisiert, die h_2-Kurve wird dadurch keineswegs beeinflusst und die L-Kurve garantiert durch ihr schnelles Abfallen bezw. Ansteigen eine grosse Stabilität des Reglers.

Eine nachträgliche Kontrolle nach der Methode von Allièvi bestätigt dieses voll und ganz. Es zeigt sich, dass selbst eine verhältnismässig gering konvexe Form der f-Linie die Arbeitsverhältnisse ungemein verbessert; dies ist auch dann der Fall, wenn die Endrichtung von f zur f_1'-Linie parallel ist.

Einige zur Erläuterung berechnete Fälle sind in Abbildung 15 dargestellt. Es sind diesen Beispielen die gleichen Betriebsdaten zugrunde gelegt, wie den frühern. Nämlich: $H_0 = 100\ m$, $L = 200\ m$; $c_1 = 2\ m/sek.$, $T_1 = 2\ sek.$ Ohne Anwendung eines Seitenauslasses würden die, mit Berücksichtigung der Elastizitäten berechneten Kurven der Abbildung 13 in „Druckschwankungen" gelten. In nebenstehender Abbildung 15 sind diese H- und L-Kurven dünn eingezeichnet. Sobald jedoch ein Seitenauslass entsprechend den aus der Abbildung zu entnehmenden $f - f_1' = f_1''$ Werten funktioniert, tritt eine völlig neue H-Kurve in Geltung, nämlich H_2. Obwohl nun der Auslass, wie aus den f_1''-Werten sofort hervorgeht, von Anfang an nur wenig öffnet, und gegen Ende einer längern Schliessperiode des Leitapparates seinen Querschnitt überhaupt nicht verändert (z. B. beim Schliessvorgang von $a = 1{,}0$ aus, wäre der Auslass von $\beta = 0{,}4$ ab in Ruhe, solange noch das Schliessen andauert), so ist trotzdem ein sehr grosser Unterschied zwischen der neuen, durch den Seitenauslass bedingten Leistungskurve der Turbine (L_1'-Kurve), und der ursprünglichen (ohne Seitenauslass) L-Kurve zu konstatieren.

Was die ratsamste Grösse der Verschiebung ξ des Endpunktes der f-Linie vom Endpunkt der f_1'-Linie anbelangt, so möge als empfehlenswerte Regel gelten, dass hierfür die Grösse von ein bis zwei Druckperioden vollauf genügt, also:

$$\xi = \infty \frac{2L}{iT} \text{ bis } 2\frac{2L}{iT} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (46)$$

Wir erzielen ausserdem noch einen andern Vorteil bei dieser f-Linie. Der bei kleinem Wert von a so ungünstige Einfluss der Elastizität ist fast völlig beseitigt, sodass statt des Wertes $H = z\,H_0 = H_0\,(1 + 2\,m)$ (siehe Gleichung 17), der aus Gleichung 15 „die Beeinflussung des Reguliervorganges" sich ergebende Betrag von h_{max} in Frage kommt. Dieses ist aus Abbildung 15 ebenfalls sofort ersichtlich, denn die H-Kurven gelangen, von kleinen Füllungen ($a = 0{,}5$ und $a = 0{,}3$) ausgehend, kaum zu höhern Enddrucken als bei grossen Anfangsfüllungen.

Einfluss des Seitenauslasses auf die Schwankungen der Tourenzahl der Turbine.

Da der Nebenauslass eine Erniedrigung der L-Kurve während des Schliessvorganges nach sich zieht, so muss er logischer Weise auch die Tourenzahl-Erhöhung möglichst gering halten. In welchem Masse sich hiebei ein Unterschied geltend macht gegenüber dem Betrieb ohne Seitenauslass, darüber erhalten wir Aufschluss durch einen Vergleich der jeweiligen L_1'-Kurve mit derjenigen L-Kurve, die bei unbeeinträchtigter Wirkung der Wasserträgheit eintreten würde. Berechnen lässt sich diese n-Kurve nach der im „Abschnitt II_3, die Beeinflussung des Reguliervorganges" angegebenen Methode.

Obgleich nun der Seitenauslass bloss bei Entlastung der Turbine sofort zur Geltung kommt, so wirkt er indirekt doch auch wesentlich günstig bei der Erhöhung der Belastung, insofern er sofort beim Rückschliessen in Funktion tritt.

Doch auch die direkte Wirkung des Seitenauslasses beschränkt sich nicht nur auf das Schliessen allein; die Oeffnungsperioden irgend eines Verstellvorganges werden durch den Auslass gleichfalls direkt beeinflusst, sobald ihnen ein Schliessen vorangegangen ist, d. h. wenn es sich um Rücköffnen handelt. Denn ebenso wie bei definitiver Einstellung nach Beendigung des Schliessvorganges beginnt der Seitenauslass auch beim Rücköffnen der Leitschaufeln sofort zu schliessen. Er wird also das Eintreten der Druckerniedrigung ganz oder zum Teil verhindern, je nach seiner Schliessgeschwindigkeit; somit wird er auch die L-Kurve günstig beeinflussen.

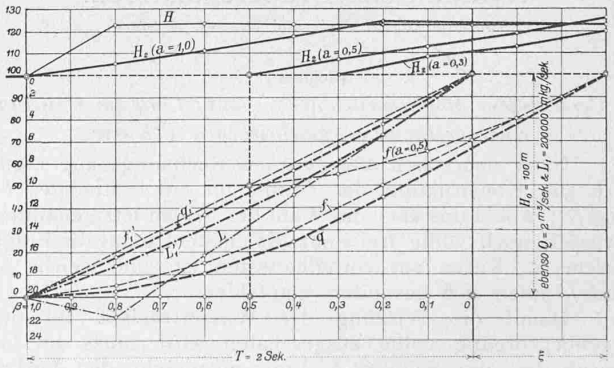


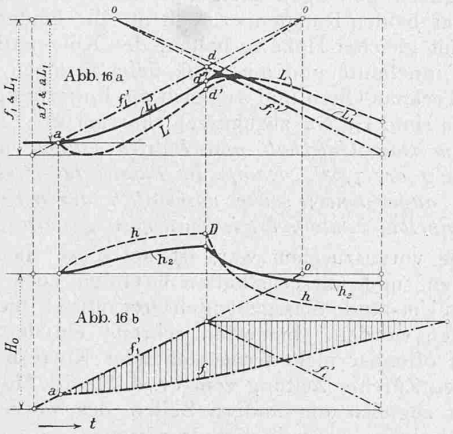
Abbildung 15.

In Abbildung 16 (Seite 35) sind die Verhältnisse beim Uebergang des Schliessens ins Oeffnen so eingezeichnet, wie man sich dieselben beim Vorhandensein eines Seitenauslasses zu denken hat. Infolge einer Entlastung vom Drehmoment $a\,M_1$ auf irgend ein neues nicht eingezeichnetes Moment $b\,M_1$, schliesst der Regulator im Punkte a und gelangt, wie früher erläutert, infolge des Ueberregulierens

[1]) Siehe die „Beeinflussung des Reguliervorganges".

über die Füllung b hinaus nach der Füllung d, welche sich nach der früher angegebenen Weise bestimmen lässt. Selbstredend müsste aber bei der Konstruktion der Geschwindigkeitskurve die neue L_1'-Kurve statt der ursprünglichen in Abbildung 16 gestrichelt eingezeichneten L-Kurve zur Berechnung benützt werden, wodurch die Höhe von n_{max} wesentlich geringer ausfällt. Vom Beginn des Rücköffnens des Leitapparates, also von d ab, schliesst der Seitenauslass genau wie in Abbildung 6 und die augen-

Hydraulische Druckregulatoren.



blicklichen Querschnitte sind auch in Abbildung 16b durch Schraffur hervorgehoben. Für die Bestimmung der Druckkurve muss jedoch hier selbstredend neben der f_1''-Linie der nach der f_1'-Linie wieder zunehmende Querschnitt des Leitapparates berücksichtigt werden, da ja für die Rohrgeschwindigkeit c ausschliesslich $f = f_1' + f_1''$ von Einfluss ist. Ob diese f-Werte während des Rücköffnens zunehmen oder abnehmen, hängt von der Neigung der beiden Komponenten f_1' und f_1'' ab. Da die erste zu- und die zweite abnimmt, so kann sogar f konstant bleiben, wenn die Veränderungen beider sich aufheben. Das einfachste wäre wohl eine stets gleiche Schliessgeschwindigkeit des Seitenauslasses, unabhängig davon, ob die Turbine selbst noch öffnet oder mit dem Verstellen aufgehört hat; hierbei würde sich bereits eine kleine Druckerniedrigung während des Rücköffnens ergeben.

Besser ist jedoch eine solche Arbeitsweise des Reglers, auf Grund welcher einerseits bei feststehender Leitschaufelstellung die Schlusslinie des Nebenauslasses ($= f_1''$-Linie) mit der Horizontalen wie bisher den Winkel α_2 bildet (siehe Abbildung 6), während anderseits für die Dauer des Rücköffnens der Leitschaufeln die Querschnittsabnahme des Seitenauslasses grösser ist, als die Zunahme des Leitapparatquerschnittes. Hierdurch würde sich dann eine Druckerhöhung ergeben, an Stelle einer Druckerniedrigung, was bei plötzlicher Belastung eine schnelle Zunahme der aus der Turbine geleiteten Leistung auf den gewünschten Betrag ergibt. Die Regulierung wird infolgedessen stabiler und die Schwankungen in der Umlaufszahl geringer.

Es ist jedoch einleuchtend, dass an einen Nebenauslass, der diese Vorteile bieten soll, die höchsten Anforderungen an Zuverlässigkeit der Arbeitsweise zu stellen sind, da der geringste Fehler, z. B. Beibehaltung der grossen Schliessgeschwindigkeit des Seitenauslasses nach beendetem Rücköffnen und speziell während einer neuen Schliessbewegung der Turbine, sogar den entgegengesetzten Erfolg vom gewünschten nach sich ziehen kann, nämlich eine Verstärkung der Druckschwankungen bewirkt.

Die heute von den meisten grossen Turbinenfirmen angewandten Auslasskonstruktionen entsprechen im grossen und ganzen den vorstehend angeführten Anforderungen und einige erfüllen sie vollständig, indem der Seitenauslass nach diesen Konstruktionen effektiv verschiedene Schliessgeschwindigkeiten besitzt, je nachdem der Leitapparat öffnet oder konstanten Austrittsquerschnitt beibehält.

Aus der vorangegangenen Untersuchung geht hervor, dass ein sicher und rationell arbeitender Seitenauslass uns die wertvollsten Dienste leisten kann. Die vom theoretischen Gesichtspunkte aus als die günstigste erkannte f_1'- und f-Kurve (siehe Abbildungen 13 und 14) dürfte wohl auch allen Anforderungen der Praxis entsprechen. Was die praktische Ausführbarkeit anbetrifft, so kann es nicht schwer halten, ein anfänglich schnelles Oeffnen des Auslasses zu erzielen, indem man bei gleichem Hub des Auslasschiebers anfänglich grössere Austrittsflächen freigibt. So erhält man z. B. für einen trapezförmigen Austrittsquerschnitt eine parabolisch verlaufende Austrittswassermenge.

Auch der Verlust an Arbeitswasser verdient für gewöhnliche Verhältnisse, die keine fortgesetzten Belastungen und Entlastungen bedingen, keine besondere Beachtung. Wenn erwünscht, kann man sich jederzeit leicht ein Urteil über die verloren gehende Wassermenge bilden, indem man für den durchschnittlichen minutlichen Belastungswechsel die Fläche zwischen der q_1'- und q-Kurve ermittelt.

Ganz allgemeine Regeln lassen sich natürlich nicht aufstellen, da in jedem besondern Falle die verschiedenen Rücksichten, die auf Druckerhöhung, gleichmässigen Arbeitsgang und Ersparnis an Betriebswasser zu nehmen sind, auch verschiedene Arbeitsweise des Seitenauslasses bedingen. Doch wird es jederzeit leicht sein, Spezialfälle an Hand der im Vorhergehenden auseinandergesetzten Methode zu untersuchen.

Zum Schlusse gestatten wir uns noch, der Redaktion der Schweizerischen Bauzeitung für die Aufnahme des Artikels und die Anfertigung der Figuren unsern verbindlichsten Dank auszusprechen.

Zürich, im August 1911.

Wohnhaus Rammersbühl in Schaffhausen.

Architekten *Curjel & Moser* in Karlsruhe und St. Gallen.

III. Der Garten.

(Mit Tafeln 10 bis 13).

Schon zu wiederholten Malen hatten wir Gelegenheit, in dem Kampf zwischen Architektur- und Landschaftsgartenentschieden Stellung zu nehmen, entgegen den sogar in Fachblättern gelegentlich anzutreffenden unbestimmten und unklaren Ansichten der Landschafts- bezw. Handelsgärtner.[1]) Die Landschaft ist freie ungezügelte Natur, der Garten dagegen ein in bestimmte Formen gebrachtes Stück der Landschaft, also umsomehr Kunstwerk, je vollkommener der Zweck der Umformung erreicht ist. Heute sind wir in der glücklichen Lage, in dem in allen Teilen durch die Architekten Curjel & Moser entworfenen und durch das Gartenbaugeschäft E. Mertens Erben in Zürich ausgeführten Garten des Hauses Homberger ein, wir möchten fast sagen klassisches Beispiel eines Architekturgartens im besten Sinne unsern Lesern zu zeigen. Seinen Plan und auch die nächste Umgebung des Hauses haben wir bereits in der ersten Nummer dieses Bandes gebracht, welche Darstellung durch unsere heutigen Tafeln vervollständigt wird. Es handelte sich um ein Grundstück in stark gegen Osten abfallendem, welligem Gelände mit altem Obstbaumbestand und andern vereinzelten hohen Bäumen. Auch die Kastanienbaumreihe, die den östlichen Vorplatz des Hauses beschattet, ist alt. Bei diesen Verhältnissen und der Ausdehnung des gegen 12000 m^2 messenden Grundstücks wäre wohl für die überwiegende Mehrzahl der Handelsgärtner die Anlage eines sog. Landschaftsgartens gegeben gewesen.

Wie gut aber der Bauherr getan, die gesamte Gartengestaltung in die Hand der Architekten zu legen, das zeigen unsere Bilder. In streng geometrischen, parallelen und rechtwinklig sich treffenden Linien sind die Wege und Beete angeordnet, in enger Beziehung zum Hause, zugleich

[1]) Vergl. z. B. «Der Garten» von *Rich. Bühler* mit dem Architekturgarten des Hauses Müller-Renner der Architekten *Rittmeyer & Furrer* in Winterthur in Band LVII, Seite 207.