

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	81/82 (1923)
Heft:	23
Artikel:	Ueber den Einfluss der Temperaturänderungen auf den Durchmesser eines Druckstollens
Autor:	Sattler, W.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-39021

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: 22.02.2026

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

INHALT: Ueber den Einfluss der Temperaturänderungen auf den Durchmesser eines Druckstollens. — Das Bürgerhaus in Graubünden, I. Teil. — Die Dampfturbine als Lokomotivtrieb. — Vorschläge für neue deutsche Einheitsbezeichnungen. — Nekrologie: Max Custer. — Miscellanea: Das neue Kraftwerk der Elektrizitätswerke Wynau. Erweiterung der Londoner Untergrundbahn. Ausbruch des Stauses am Monte

Gleno. Bahnbau in Argentinien. — Nochmals zum Vernietungsproblem. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein. Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Maschineningenieur-Gruppe. S. T. S. An unsere Abonnenten. Tafeln 5 und 6: Aus „Das Bürgerhaus in der Schweiz“; XII. Band; Graubünden, I. Teil.

Band 82. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. **Nr. 23.**

Ueber den Einfluss der Temperaturänderungen auf den Durchmesser eines Druckstollens.

Von Dipl. Ing. W. Sattler,
in Ingenieurbüro J. Büchi, Zürich.

Beim Bau des Druckstollens einer Wasserkraftanlage kommen für die statische Berechnung und Dimensionierung einer allfälligen Auskleidung des Stollens zunächst in Betracht die Beschaffenheit des angebrochenen Gebirges und der im Stollen vorgesehene Wasserdruck. Es mag nun aber auch von Interesse sein, sich über den Einfluss einer Temperaturänderung im Stollen zahlenmäßig Rechenschaft zu geben. Denn erst wenn das Mass dieses Einflusses zahlenmäßig, wenigstens in der Größenordnung, festgestellt worden ist, kann man darüber entscheiden, ob und wie weit der Einfluss einer Temperaturänderung berücksichtigt werden muss.

Bei der Erstellung eines längeren Stollens wird die Luft im Stollen im allgemeinen etwa die Temperatur des umgebenden Gebirges annehmen, d. h. bei Lehnstollen mittlerer Höhenlage etwa 12°C . Beim Betrieb des Stollens dagegen wird die Stollenwandung die Temperatur des Betriebswassers annehmen, die im Winter bis auf etwa 2°C sinken kann. Es muss somit mit einer Abkühlung der Stollenwandung von etwa 10°C gerechnet werden. Hierbei wird sich bei genügender Dauer ein angennähert stationärer Verlauf der Temperatur von der Stollenwandung (rd. 2°C) nach dem Felsinnern (rd. 12°C) einstellen (Abb. 1).

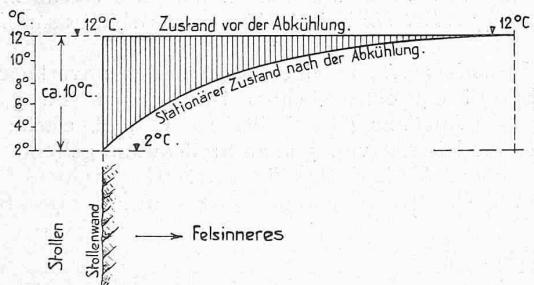


Abbildung 1.

Es soll nun bestimmt werden, wie sich infolge dieser Abkühlung der lichte Durchmesser eines unverkleideten Stollens ändert. Für die allgemeine Berechnung wurden folgende Voraussetzungen gemacht:

1. Das den Stollen umgebende Gebirge sei homogen und isotrop.

2. Das Gebirge verhalte sich rein elastisch.

3. In jedem Querschnitt senkrecht zur Stollenaxe werde durch die Beanspruchung infolge der Temperaturänderung die Festigkeit des Gesteins nirgends überschritten, d. h. die Untersuchung erstrecke sich nur auf Fälle entsprechend geringer Temperaturänderungen.

4. Im Weiteren wurde auf den Voraussetzungen der Spannungsberechnungen basiert, wie sie in der Abhandlung „Zur Berechnung von Druckschächten“ von Ingenieur J. Büchi in der „Schweizerischen Bauzeitung“ vom Februar 1921, Band 77, Nr. 6, 7 und 8 für einen ungerissenen Felshohlzylinder aufgestellt wurden; es wurde also dem folgenden Rechnungsverfahren ein zweiachsiger Spannungszustand zu Grunde gelegt.

In einem Querschnitt senkrecht zur Stollenaxe werde nun der durch die Abkühlung beeinflusste Felsring in n kleine, konzentrische Kreisringflächen zerlegt (Abb. 2). Da nach Voraussetzung durch die Temperaturänderung die

Festigkeit des Gesteins nirgends überschritten wird, so vergrössert sich der lichte Stollendurchmesser infolge der Abkühlung des Gebirges um den Stollen herum: die Stollenwandung wird sich gegen das feste Muttergebirge hin zurückziehen. [Die infolge der Abkühlung des Gebirges aufgetretenen Spannungen im Gestein betragen in irgend einem Punkt in tangentialer Richtung das $\frac{m+1}{m}$ fache, d. h. bei $m = \frac{10}{3}$ das rd. 1,3-fache derjenigen in radialem Richtung. Würde entgegen unserer Voraussetzung die Festigkeit des Gesteins überschritten, so müssten demnach zuerst radiale Risse auftreten. Es wird also keine Loslösung von konzentrischen Ringen stattfinden, sodass auch in diesem Fall die innere Leibung des radial gerissenen Felshohlzyinders sich bei der Abkühlung gegen das Gebirge hin be wegen wird.]

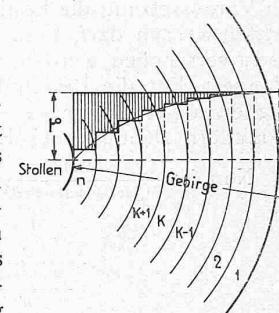


Abbildung 2.

Die äusserste Begrenzung des äussersten Kreisringes 1 soll der Ort sein, der von der Abkühlung nicht mehr beeinflusst wird. Seine Temperatur entspricht der konstant angenommenen Felstemperatur. Vom äussersten Kreisring nimmt nun die Abkühlung gegen den Stollen hin zu. Die innere Begrenzung des inneren Ringes n , die identisch mit der Wandung des ausgebrochenen Stollens angenommen wurde, kühlte sich am stärksten ab. Der Verlauf der Abkühlung (Abb. 1 und 2) ist etwa parabolisch angenommen worden.

Die Lösung der gestellten Aufgabe unter Berücksichtigung eines stetigen (z. B. parabolischen) Verlaufes der Temperaturänderung ist mathematisch schwierig. Diese Schwierigkeit ist umgangen worden dadurch, dass in angennähertem Rechnungsverfahren für jeden Kreisring dessen mittlere Temperatur in Betracht gezogen und die Abkühlung staffelförmig angenommen wurde (Abb. 2). Durch entsprechende Wahl der Breiten der Kreisringe, die verschieden gross gewählt werden können, kann eine gleichmässige, kleine Abstufung der Abkühlung von einem Kreisring zum andern erreicht werden.

Der äusserste Umfang des Kreisringes 1 ändert seine Länge und Lage nicht. Infolge der Abkühlung des äussersten Kreisringes muss sich aber seine Breite verkleinern; sein innerer Umfang wird sich also radial nach aussen bewegen um ein Mass x_1 . Der innere Umfang des folgenden Ringes 2 wird sich um ein Mass x_2 nach aussen bewegen, das sich aus folgenden drei Teilen zusammensetzt:

1. das Mass x_1 , um das sich der innere Umfang des Ringes 1 nach aussen bewegt hat;

2. das Mass der radialen Verkürzung, die die Breite des Ringes 2 bei seiner Abkühlung erlite, wenn er sich frei bewegen könnte;

3. das Mass der radialen Verkürzung der Breite des Ringes 2 infolge der Bewegung des Ringes radial nach aussen.

Der innere Umfang eines weiteren Ringes wird sich um ein Mass x radial nach aussen bewegen, das ebenfalls aus drei solchen Teilen zusammengesetzt gedacht werden kann. Die Grösse der dezentrischen Bewegung x_n des inneren Umganges des innersten Ringes n gibt dann die Grösse der Erweiterung des lichten Stollendurchmessers an.

Im folgenden soll nun die Grösse x_k bestimmt werden, um die sich der innere Umfang eines mittleren Ringes

k nach aussen bewegt infolge der nach einem bestimmten Verlauf angenommenen Abkühlung sämtlicher Ringe.

Hierbei gelten folgende Bezeichnungen:
ohne Index vor der Abkühlung und dezentrischen Bewegung,
mit Index ' nach der Abkühlung
mit Index " nach Abkühlung und dezentrischer Bewegung.

In einem Kreisring, der sich frei dehnen oder zusammenziehen kann, beträgt unter den genannten Voraussetzungen die Verkürzung der Breite b infolge einer Abkühlung um t^0

$$(b - b') = bat \quad \dots \quad (1)$$

worin α der Längenausdehnungskoeffizient des Materials ist.

Im abgekühlten Kreisring mit dem äussern Radius R' sei u' der Umfang der Axe des Kreisringes (Abb. 3). Da nach Voraussetzung die Festigkeit des Materials nicht überschritten werden darf, muss der betrachtete Kreisring nach aussen verschoben werden, wobei sich die Axe um $\Delta u'$ verlängert. Für die Berechnung kann mit genügender Genauigkeit angenommen werden, dass die Dehnung der Axe der mittlern Dehnung des Kreisringes entspricht.

Nun ist $\frac{\text{Dehnung}}{\text{Querzusammenziehung}} = m = \frac{1}{\alpha}$, somit

$$\frac{\frac{\Delta u'}{u'}}{b' - b''} = \frac{1}{\alpha}$$

Die Querzusammenziehung des Kreisringes infolge der Streckung beträgt:

$$b' - b'' = \frac{\Delta u'}{u'} b' \alpha.$$

$$\text{Es ist } u' = 2\pi \left(R' - \frac{b'}{2} \right)$$

$$u'' = 2\pi \left(R'' - \frac{b''}{2} \right) \text{ somit}$$

$$\Delta u' = u'' - u' = 2\pi \left[R'' - \frac{b''}{2} - \left(R' - \frac{b'}{2} \right) \right] \text{ und}$$

$$\frac{\Delta u'}{u'} = \frac{2\pi \left[R'' - \frac{b''}{2} - \left(R' - \frac{b'}{2} \right) \right]}{2\pi \left(R' - \frac{b'}{2} \right)} = \frac{R'' - \frac{b''}{2}}{R' - \frac{b'}{2}} - 1.$$

$$\text{Somit wird } b' - b'' = \frac{\Delta u'}{u'} b' \alpha = \left(\frac{R'' - \frac{b''}{2}}{R' - \frac{b'}{2}} - 1 \right) b' \alpha.$$

Hieraus findet man nach entsprechender Umformung:

$$b' - b'' = \frac{(R'' - R') \alpha b'}{R' - \frac{1}{2}(\alpha + 1)b'} = \frac{\alpha \Delta R' b'}{R' - \frac{1}{2}(\alpha + 1)b'} \quad (2)$$

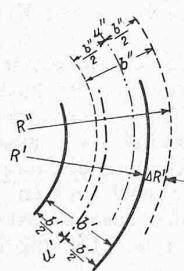


Abbildung 3.

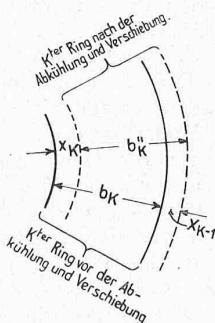


Abbildung 4.

Hierin bedeutet $\Delta R'$ die Verlängerung des äusseren Radius R' des betrachteten Kreisringes infolge der Bewegung nach aussen (Abb. 3). Die Addition von Gleichung (1) und (2) ergibt:

$$(b - b') + (b' - b'') = (b - b'') = bat + \frac{\alpha \Delta R' b'}{R' - \frac{1}{2}(\alpha + 1)b'}$$

und da $b' = b(1 - \alpha t)$,

und $R' = R(1 - \alpha t)$,

$$\text{wird } b - b'' = bat + \frac{\alpha \Delta R' b}{R - \frac{1}{2}(\alpha + 1)b} \quad \dots \quad (3)$$

Bei Betrachtung des k ten Ringes (Abb. 4) beträgt:

$$b_k + x_{k-1} = b''_k + x_k$$

also

$$x_k - x_{k-1} = b_k - b''_k$$

und bei der weiteren Berücksichtigung von Gleichung (3)

$$x_k - x_{k-1} = b_k \alpha t_k + \frac{\alpha \Delta R'_k b_k}{R_k - \frac{1}{2}(\alpha + 1)b_k} \quad \dots \quad (4)$$

Die Verlängerung $\Delta R'_k = R'' - R'$ des äussern Radius des k ten Ringes infolge der Bewegung nach aussen beträgt:

$$\Delta R'_k = (R_k - R'_k) + x_{k-1};$$

hierin bedeutet:

R_k den äussern Radius des k ten Ringes vor Abkühlung und Verschiebung;

R'_k den äussern Radius des k ten Ringes nach der Abkühlung;

x_{k-1} die endgültige Verschiebung des innern Umfangs des $(k-1)$ ten Ringes nach aussen.

Nun ist

$$\Delta R'_k = R_k - R_k(1 - \alpha t_k) + x_{k-1} = R_k \alpha t_k + x_{k-1}.$$

Somit wird Gleichung (4):

$$x_k - x_{k-1} = b_k \alpha t_k + \frac{a b_k (R_k \alpha t_k + x_{k-1})}{R_k - \frac{1}{2}(\alpha + 1)b_k},$$

und es ergibt sich die totale Grösse x_k , um die sich der innere Umfang eines Ringes k infolge der Abkühlung nach aussen bewegt, zu

$$x_k = x_{k-1} + a b_k t_k + a b \frac{R_k \alpha t_k + x_{k-1}}{R_k - \frac{1}{2}(\alpha + 1)b_k}. \quad (5)$$

Infolge der Abkühlung der Stollenwand durch das Betriebswasser vergrössert sich der lichte Durchmesser eines unverkleideten Stollens. Das Mass dieser Vergrösserung des Stollendurchmessers kann mit genügender Genauigkeit nach vorstehendem angenähertem Rechnungsverfahren ermittelt werden. Diese Berechnung ist von etwelcher Wichtigkeit bei der Dimensionierung der Auskleidung eines Druckstollens, wobei natürlich zu berücksichtigen ist, dass bereits in der Verkleidung selbst ein Teil des Temperaturabfalles stattfindet.

*

Zahlenbeispiel. In einem kreisrunden unverkleideten Stollenprofil mit einem lichten Durchmesser von 3,00 m betrage die Abkühlung im Stollen 10°C und mache sich bis auf eine Distanz von 5 m ab Stollenwand geltend. Der angenommene Verlauf der Temperaturänderung ist aus der nachstehenden Abbildung 5 ersichtlich. Die Breite

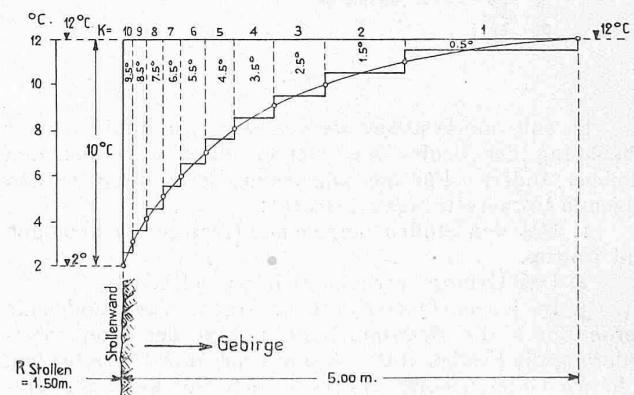


Abbildung 5.

der Ringe wurde so gewählt, dass eine stufenweise Abnahme der mittlern Temperatur der einzelnen Ringe um je 1°C stattfindet.

Es wurden angenommen:

$$\alpha = 0,000008 \text{ (Kalkstein, Granit)},$$

$$\text{und } \alpha = \frac{1}{m} = \frac{1}{3,33} = 0,3.$$

Die zahlenmässige Berechnung kann am einfachsten tabellarisch durchgeführt werden, gemäss den Tabellen I und II.

Tabelle I.

k	t_k	b_k	R_k
Nr.	° C	mm	mm
1	0,5	1900	6500
2	1,5	870	4600
3	2,5	570	3730
4	3,5	430	3160
5	4,5	330	2730
6	5,5	260	2400
7	6,5	210	2140
8	7,5	170	1930
9	8,5	140	1760
10	9,5	120	1620

Aus Tabelle I sind die der Berechnung zu Grunde gelegten Werte ersichtlich:

k die Bezeichnung der konzentrischen Kreisringfläche,
 t_k die mittlere Abkühlung der Kreisringfläche k ,
 b_k die Breite der Kreisringfläche k und
 R_k der äussere Radius der Kreisringfläche k .

In Tabelle II sind die einzelnen Teilresultate der Berechnung nach Gleichung (5) eingetragen.

Die Vergrösserung des Stollendurchmessers von 3,00 m infolge einer Abkühlung um $10^{\circ}C$ ergab sich zu etwa $\frac{32}{100}$ mm.

Um sich Rechenschaft über dieses Mass der Durchmesseränderung infolge einer Abkühlung zu geben, sei diese Grösse mit der Durchmesservergrösserung eines gleich grossen Stollens infolge eines Wasserdruckes von z. B. 40 m Wassersäule verglichen. Nach dem Berechnungsverfahren von Ing. Büchi („Schweizerische Bauzeitung“, 1921, Bd. 77, Nr. 6, 7 und 8) oder von Ing. Dr. Mühlhofer (Zeitschrift des Oesterr. Ing.- und Arch.-Vereins, 1921, Nr. 15, 24/25, 26/27) lässt sich für diesen Wasserdruck eine Vergrösserung des Durchmessers berechnen, die je nach der Felsart in der Grössenordnung von ungefähr $\frac{5}{100}$ mm bis $\frac{100}{100}$ mm liegt. Die Richtigkeit dieser Grössenordnung ist in neuester Zeit durch verschiedene Versuche tatsächlich erwiesen worden.

Der Einfluss einer Temperaturänderung kann also, wie nach der vorstehenden, angennäherten Berechnungsart ermittelt wurde, einen bedeutenden Prozentsatz der Dehnung infolge des Wasserdruckes ausmachen und sollte bei der Bemessung der Auskleidung eines Druckstollens nicht vernachlässigt werden.

Zürich, im August 1923.

Das Bürgerhaus in Graubünden, I. Teil.

(Schluss von Seite 284)

Als Gegenstück zu den Engadiner Beispielen in letzter Nummer (speziell dem Planta-Block in Zuoz), seien hier noch einige Typen der stark italienisch beeinflussten Bergeller Palastbauten gezeigt, in denen ausgesprochener Wille zur Repräsentation zum Ausdruck kommt. „Damit hat sich der Bau gelöst von dem blos wirtschaftlich Zweckmässigen, und hat die Freiheit gewonnen, auch der Verwirklichung von rein architektonischen Ideen zu dienen. Denn eine solche Idee ist Luxus, ist vielleicht der sublimste Luxus im Gebiet des Architektonischen überhaupt“, sagt Poeschel. Wir wählen von den Salis-Palästen etwas aus Soglio, dem von hochliegender Terrasse weithin grüssenden Bergdorf ob Castasegna, sodann einen Bau im Talgrund, in Bondo. Aus dem Text wieder ein paar kurze Proben zur Begleitung, aus denen u. a. hervorgeht, welches Verständnis der Autor des Textes den Beziehungen der Bauten zu ihrer Umgebung entgegenbringt. Die organische Einheit

Tabelle II.

k	$x_{k-1} + ab_k t_k + ab_k \frac{R_k \alpha t_k + x_{k-1}}{R_k - \frac{1}{2}(1+a)b} = x_k$		
Nr.	mm	mm	mm
1	0,0	0,0076	0,0028
2	0,0104	0,0104	0,0042
3	0,0250	0,0114	0,0051
4	0,0415	0,0120	0,0058
5	0,0593	0,0119	0,0062
6	0,0774	0,0114	0,0064
7	0,0952	0,0109	0,0065
8	0,1126	0,0102	0,0064
9	0,1292	0,0095	0,0065
10	0,1452	0,0091	0,0063

mit der Situation, im weitesten Sinne des Begriffs, zeichnet nämlich gerade diese Bündner-Bauten, und zwar einfache wie vornehme, besonders aus. Ihre Erbauer entwickelten ein Sinn für Meisterung — nicht Vergewaltigung — der jeweils gegebenen Situation, dem man anderwärts und heutzutage öfter begegnen möchte! Doch hören wir hierüber einige Worte Poeschels:

„Das Wesentliche an der Anlage der Palazzi Salis in Soglio ist die vollkommen flächige Aufrollung. Die Masse ist in eine Ebene projiziert. Man denkt überhaupt keine Tiefe mit. Das wirkt sehr reserviert und sehr repräsentativ. Der Besucher wird gezwungen, sich mit der Seite zu begnügen, die man ihm zeigen will. Was sonst noch da ist, geht ihn nichts an. In dieser Anordnung liegt aber zugleich auch eine vollkommene Ausnutzung der Situation (vergl. Tafel 5 und Seite 296, Red.) Wer Soglio kennt, vergisst den Blick auf die Bondasca nicht, diese abenteuerlich geformten Zinnen in einem seltsamen, fast gespensterhaften Grauweiss. Das Besondere der Lage ist also der Ausblick, und deshalb war es gegeben, den Bauten mit einer lang hingezogenen Fassade mit vielen Fenstern so viel Augen wie möglich zu geben. Der Berg ist Rückendeckung, und zwischen Hang und Haus ergibt sich für die Gärten jene von aussen ganz unbeobachtete Lage, die das XVIII. Jahrhundert liebte.“ —

Einer eingehenden Besprechung der Casa Max, dem Hauptgelenk der Gesamtanlage, und der Casa Antonio (vergl. Uebersichtsplan auf Seite 296) folgt dann jene der Casa Battista:

„Nur ein paar Jahre liegen zwischen der Entstehung der Casa Max und dem Umbau des Palazzo Battista, auch waren der prunkvollen Ausbreitung durch die Anpassung an den alten Bestand — besonders in der Zimmerhöhe — hemmende Grenzen gesetzt. Und doch ist hier etwas viel einheitlicheres entstanden. Vor allem: die Treppe entwickelt sich. Im Erdgeschoss nimmt sie unmittelbar die Korridoraxe auf und führt in langsamem Aufstieg, in gut erwogenen Proportionen über Podeste von Stock zu Stock. So ist die Verbindung inniger. Der Hinaufsteigende hat — durch die rechtwinklige Kehre gezwungen — gerade noch die verlassene Etage im Blick, indem sich ihm schon die höhere öffnet. Die Räume der Vorplätze und der Treppen fliessen wirklich ineinander. Aber das Wichtigste ist: dieses Haus hat einen Kern, um den sich alles ordnet, und das ist die Halle im zweiten Stock. Sie ist die Lunge des ganzen Organismus. Zur Höhe der zweiten Etage nimmt sie das Mezzanin hinzu, hat etwas burgähnliches, schwerblütiges, ja infolge der spärlichen Belichtung vom Garten her etwas düsteres, ist aber doch sehr herrschaftlich. Die massvollen Ausdehnungen — der Raum nähert sich dem Kubus — die Unterbrechung der Höhe durch die Galerie mit dem warmen Holzton und den behäbigen Balustern machen diese Halle zu einem wirklichen Aufenthalt- und Empfangsraum. An ihn gliedern sich sinnvoll die Gemächer. An der bedeutungsvollsten Stelle, in der Mitte gegenüber der Treppe, der grosse Salon, auch nach aussen gekennzeichnet durch die kleinen Balkone. Neben ihm zur rechten Seite ein kleiner Gang der zu den einfacheren Zimmern des alten Teiles führt, links ein Vorzimmer und dann wieder ein grosser, repräsentativer Raum, ein Esszimmer vielleicht oder ein Musiksalon. An der Fensterseite