Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 69/70 (1917)

Heft: 25

Artikel: Betrachtungen über die störenden Nebenbewegungen der Eisenbahn-Fahrzeuge mit besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Radreifen-Konizität

Autor: Ruegger, U.R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-33895

Versuchs wurde die Kammer abgestellt, sorgfältig entleert und der auf der Sohle abgesetzte Sand zusammengewischt, getrocknet, gewogen und wiederum auf Grund von einzelnen Mustern nach Korngrössen sortiert. Der Vergleich dieser abgesetzten Sandmengen mit den zugegebenen Sandmengen ergab dann direkt die Prozentsätze des abgesetzten Sandes nach Grobsand, Mittelsand und Feinsand unterschieden. Zur Kontrolle wurden dem überfliessenden Wasser Proben entnommen und deren Sandgehalte bestimmt. Diese Proben bestätigten die Ergebnisse der direkten Messungen des abgesetzten Sandes. Als Mittelwert aus sechs verschiedenen Versuchen, bei denen die durchfliessende Wassermenge zwischen 860 und 1040 *l/sek* schwankte, und bei denen der Sand auf die Oberfläche unmittelbar hinter der Verteilvorrichtung zugegeben wurde, ergaben sich

97 % bei Grobsand
86 % bei Mittelsand
51 % bei Feinsand.

Aus den Fliessdiagrammen in Abbildung 6 ist ersichtlich, dass jene Sandkörner, die an der Oberfläche unmittelbar hinter der Verteilvorrichtung beigegeben werden, den längsten Weg zurückzulegen haben, bis sie zu Boden fallen und dass diese am meisten Gefahr laufen, von der Strömung durch die Abzugvorrichtung mitgerissen zu werden; Sandkörner, die in grösserer Tiefe eintreten, sinken rascher zu Boden. Es sind denn auch Versuche angestellt worden, bei denen der Sand durch ein vertikales Rohr in halber Tiefe sowie 15 *cm* über der Sohle beigegeben wurde. Bei der Sandzugabe in halber Tiefe zeigte sich eine erhebliche Vermehrung des Prozentsatzes des abgesetzten Sandes und zwar um 15 % für Mittelsand und um 42 % für Feinsand. Bei der natürlichen Trübung wird der Sand in allen Höhenlagen des Querschnittes eintreten und er wird in der Regel in der Tiefe dichter sein, als in der Höhe. Der Durchschnittswert des ausgefällten Sandes ist also günstiger, als wie er sich bei dem Versuche mit

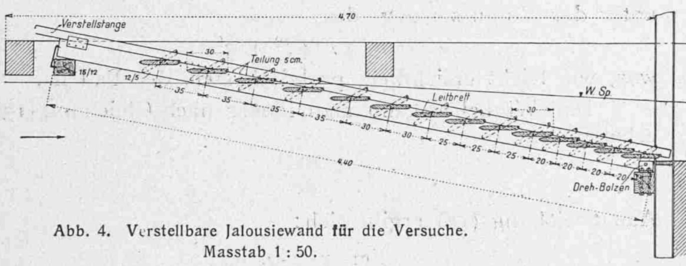


Abb. 4. Verstellbare Jalousiewand für die Versuche.
Masstab 1 : 50.

nur oberflächlicher Sandzugabe ergibt. Er beträgt, wenn man nur die Hälfte der eben ermittelten Vermehrungen für die Beigabe in halber Tiefe in Ansatz bringt, schätzungsweise

99 % für Grobsand von 1,4 bis 0,8 *mm* Korngrösse
92 % für Mittelsand von 0,8 bis 0,6 *mm* Korngrösse
62 % für Feinsand von 0,6 bis 0,3 *mm* Korngrösse.

Diese Zahlen wurden als die für den praktischen Betrieb massgebenden betrachtet. Zur Ergänzung sei bemerkt, dass ein Grobsandkorn im Mittel 0,75 Milligramm, ein Mittelsandkorn 0,34 *mg* und ein Feinsandkorn 0,13 *mg* wog und dass der Sand hauptsächlich aus Verwitterungsprodukten von Granit, Casannaschiefern und Quarziten besteht.

Aus den Sandversuchen, die bei Belastung zwischen 860 und 1040 *l/sek* vorgenommen wurden, ergab sich ferner, dass unter sonst unveränderten Verhältnissen die abgesetzte Sandmenge annähernd umgekehrt proportional war der sekundlichen Wassermenge. Daraus lässt sich schliessen, dass unter den vorliegenden Verhältnissen der Sand im fliessenden Wasser sich mit annähernd gleichmässiger Geschwindigkeit vertikal setzt.

Der auf der Sohle abgesetzte Sand ist nicht überall gleich fein. Am Anfang der Kammer, in der Nähe der Verteilvorrichtung, ist er gröber und er wird umso feiner, je weiter man sich dem untern Ende der Kammer nähert. Das stimmt mit der Annahme, dass sich der feine Sand im bewegten Wasser langsamer absenkt, als der grobe Sand. Es ist versucht worden, durch Analyse des Sandes an verschiedenen Stellen der Sohle die wirklichen mittlern Wege für Sandkörner von verschiedener Grösse zu bestimmen. Diese Versuche müssen indessen noch schärfer vorgenommen werden.

Auf Grund der vorstehend beschriebenen Versuche war es möglich, für die betreffende Anlage einen zahlenmässigen Aufschluss über die wirkliche Sandabsetzung zu machen und sich ein Urteil über deren Leistungsfähigkeit zu bilden. Der Betrieb im Sommer 1916 hat die Wirksamkeit indirekt bestätigt.

Die Versuche und Messungen sind im Auftrag der Aluminium-Industrie-Aktien-Gesellschaft Neuhausen vorgenommen worden, deren Generaldirektor, Dr. M. Schindler, sich seit Jahren um die sorgfältige Entsandung der verschiedenen Werke der Gesellschaft verdient gemacht hat. Die Entsandungseinrichtungen selbst sind dem Verfasser durch Patent geschützt.

Betrachtungen über die störenden Nebenbewegungen der Eisenbahn-Fahrzeuge mit besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Radreifen-Konizität.

Von Dr. sc. techn. *U. R. Ruegger*,
Assistent für Maschinenlehre an der Eidg. Technischen Hochschule.

(Schluss von Seite 276.)

Wie die Untersuchungen ergeben, treten sowohl beim zweiachsigen starren Eisenbahnfahrzeug, als auch bei dem Fahrzeug mit axial beweglichen Achsen Schlingerbewegungen auf, die auf der Radreifen-Konizität beruhen. Diese Quer- und Drehbewegungen liessen sich vermeiden, wenn man die Radreifen zylindrisch gestalten würde. Dann würde aber, da die Fahrt praktisch nie genau längs der Geleisemitte erfolgen würde, das Fahrzeug infolge von zeitweisem Anlaufen der Spurkränze an den Schienen in einer langgestreckten Zickzackfahrt laufen. Bei genügend grossen anfänglichen Abweichungen aus der Mittellage im Geleise würde auch bei Fahrzeugen mit konisch ausgebildeten Radreifen ein Anlaufen der Spurkränze an den Schienen erfolgen. Um dies auf alle Fälle zu vermeiden, kann man darnach trachten, durch besondere konstruktive Durchbildung des Fahrzeuges in die harmonische Veränderlichkeit von y und φ ein logarithmisches Dekrement zu bringen. Wie in der folgenden Untersuchung gezeigt wird, ist dies, von unserem kinematischen Standpunkt aus betrachtet, dadurch zu erreichen, dass man die hintere Achse eines zweiachsigen starren Eisenbahnfahrzeuges mit von einander unabhängigen Rädern versieht; dies kann beispielsweise durch Anwendung eines Differentialgetriebes oder durch Verwendung von losen, auf einer festen Achse gelagerten Rädern geschehen.

Der Untersuchung eines derartigen Fahrzeuges ist nun eine Betrachtung über das Gleiten zwischen Radreifen und Schiene vorauszuschicken.

Bewegt sich das Fahrzeug genau längs der Geleiseaxe, indem es seine Mittellage im Geleise beibehält, so wird kein Gleiten zwischen Radreifen und Schiene eintreten, da die Axialverschiebungen unterbleiben und (infolge der Gleichheit der Laufkreise bei der normal ausgebildeten Achse) keine Tangentialverschiebungen entstehen. Bei einer jeden anderen geradlinigen Bewegung des Fahrzeuges in der Richtung seiner Längsaxe werden die Laufkreise der normal ausgebildeten Achse verschiedene Durchmesser annehmen, wodurch ein tangentiales Gleiten zwischen Radreifen und Schiene bedingt wird. Das dadurch entstehende Drehmoment von der Grösse $Q\,\mu\,a$ wird eine horizontale Verdrehung und damit ein axiales Gleiten der Achsen verursachen. Dieses wird aber bei gleicher Belastung der Räder nur an der normal ausgebildeten Achse auftreten, da diese infolge des tangentialen Gleitens der Achsenverschiebung einen geringeren Widerstand entgegensetzt als die losen Räder. Man erkennt dies durch folgende Betrachtung (Abb. 4).

Ein Körper vom Gewichte G werde in der horizontalen xy-Ebene (rauhe Unterlage, Reibungskoeffizient μ) in der x-Richtung bewegt. Hierzu ist einer Kraft $X = G\mu$ nötig. Wirkt nun ausser der Kraft X noch die Kraft Y in der y-Richtung, so wird, wenn man für X beliebig grosse Werte bis zu $G\mu$ zulässt, eine jede, noch so kleine Kraft Y genügen, um auch eine Bewegung in der y-Richtung

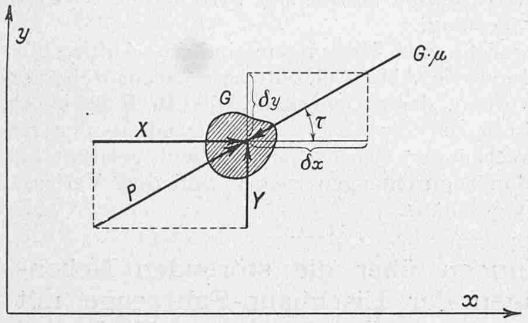


Abb. 4.

zu erzeugen. Gleichzeitige elementare Verschiebungen in der x- und in der y-Richtung seien mit δx und δy bezeichnet. Der Winkel τ der neuen Verschiebungsrichtung gegen die x-Richtung ergibt sich aus der Beziehung

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{\delta x}{\delta y}.$$

Der Verschiebungsrichtung entgegen wirkt die Reibungskraft $G\mu$, die nun überwunden werden muss von der Resultierenden P der Kräfte X und Y.

Es ist somit

$$Y = P \sin \tau < P$$

$$\sin \tau = \frac{Y}{P}.$$

Jeder Wert von Y bedingt also eine Abweichung von der ursprünglichen Bewegung in der x-Richtung.

Bei dem Eisenbahnfahrzeug entspricht der hier behandelten Verschiebung in der x-Richtung das tangentiale Gleiten; das Drehmoment $Q\mu a$ erzeugt an den Rädern der normal ausgebildeten Axe Axialkräfte, die die Rolle der Kraft Y spielen und das axiale Gleiten hervorbringen (entsprechend dem Gleiten in der y-Richtung).

Aus diesen Darlegungen erkennt man, dass die losen Räder kein axiales Gleiten aufweisen werden. Es wird somit die Fahrzeug-Längsaxe, die durch den Mittelpunkt O' der Achse mit den losen Rädern geht (Abb. 5) immer in diesem Punkte die von ihm beschriebene Bahnkurve tangieren.

Mit φ bezeichnen wir jetzt wieder den Winkel zwischen Fahrzeug-Längsaxe und Geleiseaxe, während x und y als Koordinaten des Punktes O' angenommen werden. Dies erweist sich hier als zweckmässiger als die Festlegung der Koordinaten für den Fahrzeugmittelpunkt. Man erhält sodann die Beziehung

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{dy}{dx}$$

oder, da φ immer nur ein kleiner Winkel ist,

$$\varphi \cong \frac{dy}{dx}. \quad \ldots \ldots \quad (15)$$

Diese Gleichung stellt eine grundlegende Bedingung für die Bewegung des Fahrzeuges dar. Eine weitere Gleichung erhält man durch Anwendung des Prinzipes der minimalen Reibungsarbeit. Man geht hier für die normal ausgebildete Vorderachse I (Abb. 5) genau so vor, wie bei dem starren Eisenbahnfahrzeug mit gleichartigen Achsen. Der einzige Unterschied besteht darin, dass an Stelle von $\frac{l}{2}$ hier l zu setzen ist, da x und y nun die Koordinaten des Punktes O' sind. Man erhält:

$$\delta a_{\mathrm{I}} = -\varphi\, dx + dy + l\, d\varphi$$

$$\delta t_{\mathrm{I}} = \left| \frac{a}{2}\, d\varphi + \frac{\varepsilon}{r}\, dx\, (y + l\,\varphi) \right|.$$

Nach dem Prinzip der minimalen Reibungsarbeit soll die Funktion

$$F = \frac{\delta_{\mathrm{I}}}{dx} = p = \sqrt{\left(\frac{\delta a_{\mathrm{I}}}{dx}\right)^2 + \left(\frac{\delta t_{\mathrm{I}}}{dx}\right)^2}$$

zu einem Minimum werden; es treten nämlich nur an der Achse I Verschiebungen zwischen Rad und Schiene auf. Wenn F zu einem Minimum wird, so wird es auch F^2;

$$F^2 = p^2 = \left(-\varphi + \frac{dy}{dx} + l\,\frac{d\varphi}{dx}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\,\frac{d\varphi}{dx} + \frac{\varepsilon}{r}\,[y + l\,\varphi]\right)^2$$

Hierin ist nun

$$\varphi = \frac{dy}{dx},$$

somit

$$p^2 = \left(l\,\frac{d\varphi}{dx}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\,\frac{d\varphi}{dx} + \frac{\varepsilon}{r}\,[y + l\,\varphi]\right)^2$$

Damit p^2 zu einem Minimum wird, muss gelten

$$\frac{\partial\,(p^2)}{\partial\left(\frac{d\varphi}{dx}\right)} = 0 \quad \ldots \ldots \quad (16)$$

Durch Ausführung dieser Differentiation und Benützung der Gleichung (15) ergibt sich:

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{a\,\varepsilon\, l}{r\left(2\,l^2 + \frac{a^2}{2}\right)}\,\frac{dy}{dx} + \frac{a\,\varepsilon}{r\left(2\,l^2 + \frac{a^2}{2}\right)}\,y = 0 \quad (17)$$

Dies stellt eine gedämpfte harmonische Schwingung dar. Durch die Integration ergibt sich für die Anfangsbedingungen

$$x = 0, \qquad y = 0, \qquad \varphi = \varphi_0$$

folgende Gleichung für y:

$$y = \varphi_0\, \frac{r\,(4\,l^2 + a^2)}{\sqrt{2\,a\,\varepsilon\, r\,(4\,l^2 + a^2) - a^2\,\varepsilon^2\, l^2}} \cdot e^{-x \cdot \frac{a\,\varepsilon\, l}{r\,(4\,l^2 + a^2)}}$$

$$\times \sin\left(x\,\frac{\sqrt{2\,a\,\varepsilon\, r\,(4\,l^2 + a^2) - a^2\,\varepsilon^2\, l^2}}{r\,(4\,l^2 + a^2)}\right) \quad (18)$$

unter der Voraussetzung, dass

$$a\,\varepsilon\, l^2 < 2\,r\,(4\,l^2 + a^2),$$

was, wie leicht ersichtlich, praktisch stets der Fall ist.

Den Winkel φ kann man immer nach Gleichung (15) erhalten:

$$\varphi = \frac{dy}{dx}.$$

Aus Gleichung (18) ergibt sich:

$$\lim_{(x = \infty)} y = 0.$$

Ebenso gilt:

$$\lim_{(x = \infty)} \varphi = 0.$$

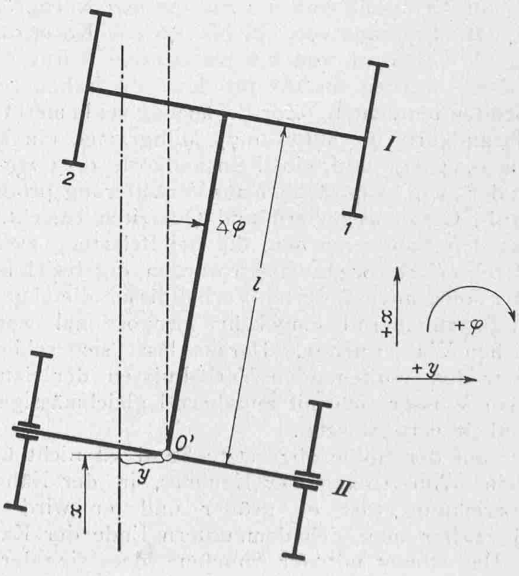


Abbildung 5.

Daraus erkennt man, dass praktisch die Quer- und Drehbewegungen bald verschwinden werden, sodass das Fahrzeug sich translatorisch längs der Geleisemitte vorwärts bewegen wird.

Dies ist aber nur für eine Fahrtrichtung der Fall, nämlich wenn die von einander unabhängigen Räder den hinteren Radsatz darstellen. Bei der Fahrt in der entgegengesetzten Richtung würde sich, wie sich leicht zeigen lässt, in den Funktionen y und φ eine negative Dämpfung geltend machen, die Amplituden von y und von φ würden bei der Fahrt wachsen und es würde nach einiger Zeit ein Anlaufen des Spurkranzes an der Schiene stattfinden. Hier wäre das Schlingern also nicht vermieden.

Diese Tatsache ist aber bedeutungslos, wenn das eben behandelte Fahrzeug als führendes Drehgestell einer Lokomotive dient, für die nur eine Fahrtrichtung in erster Linie in Frage kommt. Freilich werden in diesen Erörterungen die Verhältnisse nicht vom Standpunkte der Kurvenfahrt betrachtet — und gerade für die Kurvenfahrt kommt eigentlich die Anwendung von Drehgestellen in Betracht. — Hier wird ausschliesslich, dem Charakter dieser Arbeit entsprechend, die Fahrt auf gerader Strecke ins Auge gefasst. Hierfür lässt sich nun durch Anwendung eines Drehgestelles mit voneinander unabhängigen Rädern auf der Hinterachse und mit genau oberhalb der letzteren angeordneten Drehzapfen eine genau translatorische Vorwärtsbewegung der Lokomotive längs der Geleisemitte erreichen, indem, wie man leicht einsieht, das Drehgestell die übrige Lokomotivkonstruktion gewissermassen nach

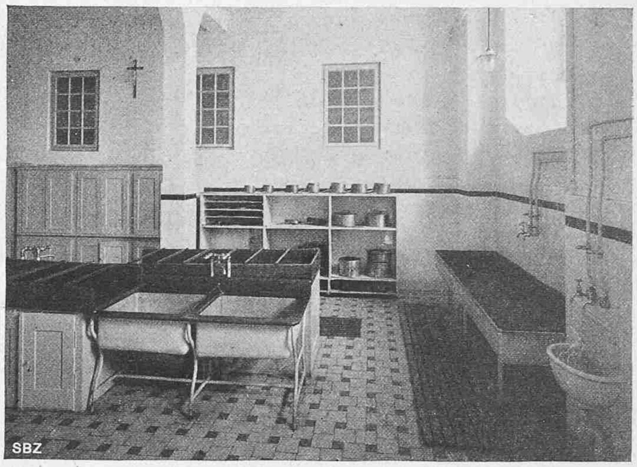
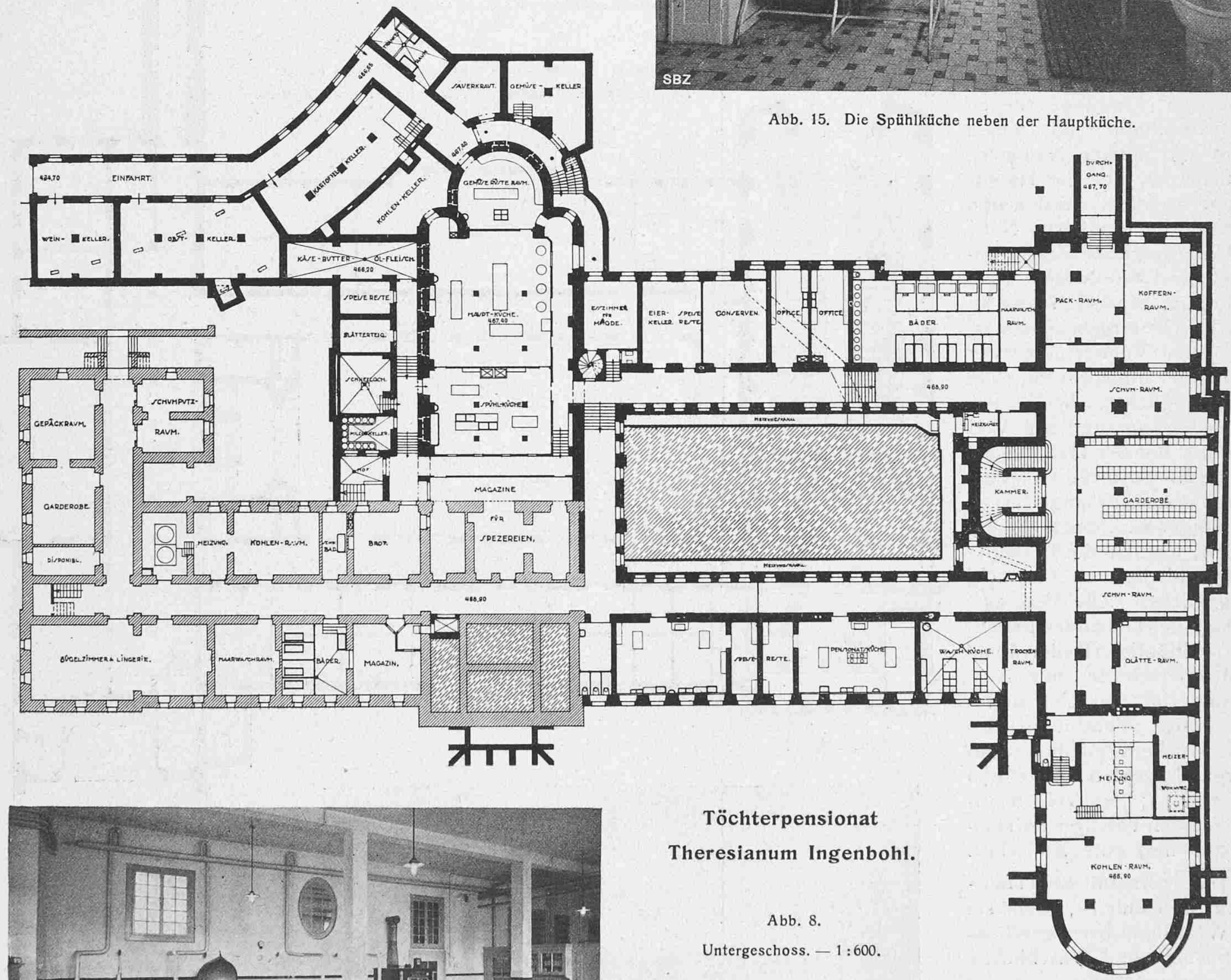


Abb. 15. Die Spühlküche neben der Hauptküche.



Töchterpensionat Theresianum Ingenbohl.

Abb. 8.

Untergeschoss. — 1:600.

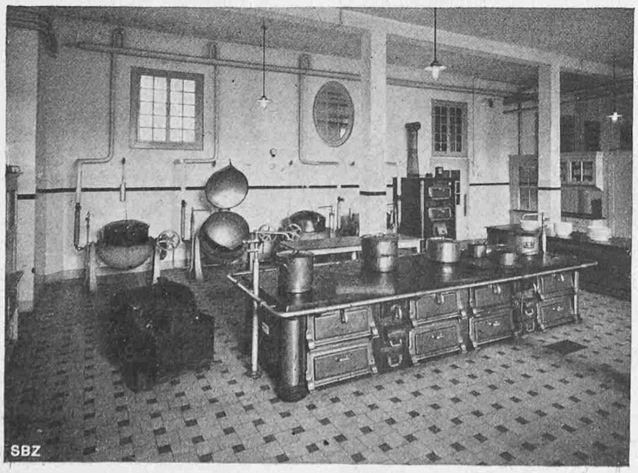


Abb. 14. Die Hauptküche unter den Refektorien.

sich zieht. Eine nähere Untersuchung dieser Verhältnisse bei Betrachtung der im Drehzapfen stattfindenden Kraftübertragung wurde in der oben erwähnten Schrift des Verfassers vorgenommen (III. Teil, S. 60 bis 62).

Eingehendere Untersuchungen würden an dieser Stelle zu weit führen; den gewollten Zweck, nach Erörterung der störenden Bewegungen im allgemeinen die Wirkungen der Radreifen-Konizität getrennt von anderen Einflüssen klarzulegen, glaubt der Verfasser in den bisherigen Betrachtungen erreicht zu haben.