

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Band: 7/8 (1886)
Heft: 23

Artikel: Die Bedingungen des Zahneingriffs auf Zahnradbahnen
Autor: Stocker, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-13638>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.11.2024

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

INHALT: Die Bedingungen des Zahneingriffs auf Zahnradbahnen. — Eiserner Oberbau, System W. Pressel. — Miscellanea: Die Porzellanmanufaktur zu Charlottenburg bei Berlin. Rhein-Correction im Canton St. Gallen. Regelung der Wasserstände des Züricher-See's. Eisenbahnstrecke St. Gingolph-Bouveret. Continuirliche Bremsen. Der „Great-Eastern. Rhone-Correction im Canton Waadt. Technische Einheit im

Eisenbahnwesen. Betriebsübernahme der Eisenbahn Pont-Vallorbes. Stephanie-Brücke in Wien. Physiker Ruhmkorff. — Concurrenzen: Musée des Beaux-Arts in Genf. Thüren zum Dom in Florenz. Weltausstellung zu Paris. Donau- und Borcea-Brücke bei Cernavoda. — Preisausschreiben: Muffendichtung bei Steinzeugröhren. — Vereinsnachrichten.

Die Bedingungen des Zahneingriffs auf Zahnradbahnen.

Es ist durch neuere Versuche dargethan worden, dass bei Zahnradbahnen der Eingriff des Zahnrades in die Zahnstange an gewisse Bedingungen geknüpft ist, über welche man sich noch nicht mit völliger Klarheit Rechenschaft geben konnte. Zweck dieser Untersuchung ist, diese Bedingungen etwas näher zu beleuchten.

Es kommen vorab diejenigen Zahnradbahnen in Betracht, welche einen verticalen Zahneingriff haben, nämlich wie bei den Rigibahnen, dem System Wetli, sowie auch bei dem neuen System Abt. Bei dieser Art von Zahneingriff wird beim normalen Betrieb einer etwaigen Tendenz zum Aufsteigen, d. h. zum Aussereingriffkommen einzig der Achsdruck, beziehungsweise eine Componente desselben entgegengesetzt (abgesehen vom zweifelhaften Nothbehelf von untergreifenden Klauen). Bei der Bergfahrt, d. h. wenn das Zahnrad nach vorwärts arbeitet, findet sich nun keine nennenswerthe Tendenz zum Aufsteigen, allein anders ist es beim Bremsen, d. h. wenn das Zahnrad hemmend der Bewegung entgegenwirkt. Die Sache verhält sich nämlich so:

Aus verschiedenen practischen Gründen kommt hier die Evolventenverzahnung zur Anwendung und schon wegen der Festigkeit macht man den Zahn an der Wurzel möglichst breit; die Zahnflanken werden deswegen stets mit einer ziemlich starken Neigung ausgeführt. Betrachtet man zunächst den Ruhezustand des Zahnrades bei Ausübung eines Druckes in der Richtung der Zahnstange, so findet sich ein Auftrieb, welcher genau der Neigung der Zahnflanke entspricht. Je nach dem Zustande der Bewegung oder der Ruhe wird dieser Auftrieb ganz wesentlich modificirt und zwar durch die Zahnreibung, welche positiv oder negativ ausfallen kann.

Verfolgt man nämlich genau die Abwicklung des Zahnes in der Zahnstange, resp. in den Sprossen derselben, so findet man, dass hauptsächlich der Kopf des Radzahnes eine gleitende Bewegung ausführt, welche bei der Arbeitsleistung des Zahnes unter Berührung auf der Rückseite in überwiegender Masse nach aufwärts gerichtet ist, während umgekehrt nach abwärts, wenn das Zahnrad gebremst, d. h. die Berührung auf der Vorderseite des Zahnes stattfindet (für Vorder-Rückseite ist die jeweilige Fahrriechung bestimmend). Diesem Vorgange entsprechend, wirkt im ersten Falle die Zahnreibung grösstentheils abwärts, also dem Auftrieb entgegen, d. h. denselben abschwächend, im zweiten Falle aufwärts, also den Auftrieb verstärkend.

Wenn der Auftrieb, von der Neigung der Sprosse herührend, mit N und die Zahnreibung, die beim Zahneingriff überwiegend nach auf- oder abwärts gerichtet ist, mit R bezeichnet wird, so ist die Tendenz T zum Aufsteigen bei normalem Zahneingriff in der Arbeitswirkung, sowie in der Ruhe $T = N - R$. Hingegen ist der Auftrieb während der Bremswirkung im Allgemeinen in der Bewegung $T = N + R$.

Beim Festbremsen in der Ruhestellung tritt die Zahnreibung einem Ausgleitenwollen complet entgegen; die Kraft R erreicht hierbei ein Maximum.

Will man diese Erscheinungen in kurzen Worten zusammenfassen, so kann man sagen, dass beim Bremsen die Zahnstange ein Niederdrücken erfährt, während das Zahnrad bei der Arbeitsentwicklung eine Tendenz hat, die Zahnstange herauszureissen. Die ungünstigsten Fälle, die man eben in erster Linie zu berücksichtigen hat, treten dann ein, wenn die Theilung der Zahnstange aus irgend einem Grunde nicht genau mit derjenigen des Zahnrades übereinstimmt (Temperatureinflüsse und Ungenauigkeiten in der Ausführung). Diesfalls kommt das Maximum der Tendenz zum Aufsteigen

beim Bremsen vor, indem die Zahnreibung R voll und ganz $= f \cdot Z$ als Auftrieb zur Wirkung kommt, wobei der Reibungscoefficient $= f$ und der Zahndruck $= Z$.

Alle die Momente und Factoren, die entweder N oder R oder beide verstärken, sind daher von Fall zu Fall einer genauen Prüfung zu unterziehen, bzw. es ist zu untersuchen, ob die Tendenz zum Aufsteigen gegenüber dem niederhaltenden Achsdruck keine gefährliche Höhe erreicht. Die wichtigsten Factoren bilden die Reibung und der Zahndruck.

1. Die Reibung.

Der Einfluss derselben wird bei Betrachtung bestimmter Fälle am klarsten:

a. Allgemein:

Wenn die Bremse eines leichten Fahrzeuges einen schweren Zug auf der geneigten Strecke allein halten soll, so ist zunächst zu unterscheiden, ob der Zug vollständig stille steht oder nicht. Im ersteren Falle wird die Tendenz zum Aufsteigen $T = N - R$; die Reibung der Ruhe des Zahndruckes wirkt dem Auftrieb N in passiver Weise kräftig entgegen. Ein allfälliger Mangel an Schmierung der Zahnstange wirkt in diesem Falle günstig. Sobald aber eine geringste Bewegung nach abwärts erfolgt, entsteht eine Zahnreibung im Sinne der Entlastung der Achse, welche um so grösser wird, je schlechter die Schmierung, d. h. je grösser der Reibungscoefficient ist. Dieser Umstand möge hauptsächlich beherzigt werden.

b. Specieller Fall:

Eine Wagenbremse mit $2\frac{1}{2} t$ Achsdruck soll auf einer Bahn von ca. 17% bei $\frac{1}{4}$ Zahnneigung einen Zug von $30 t$ halten. Der Zahndruck wird ca. $5 t$, der Auftrieb $N = ca. \frac{5}{4} = 1\frac{1}{4} t$.

Betrachten wir zunächst den Ruhezustand. Wenn sehr schlecht geschmiert ist, so dass der Reibungscoefficient $\frac{1}{4}$ oder mehr beträgt, so wird die Kraft N vollständig wirkungslos; der Achsdruck hat diesfalls keiner Tendenz zu begegnen.

Bei besserer Schmierung indess, wo der Reibungscoefficient beispielsweise etwa $\frac{1}{20}$ werden kann, beträgt die Reibung ca. $\frac{5}{20} = \frac{1}{4} t$; es bleibt somit noch eine Tendenz zum Aufsteigen

$$T = N - R \text{ von ca. } 1\frac{1}{4} - \frac{1}{4} = 1 t.$$

Im ersten Falle könnte der Zug beliebig gross werden, die einzige Bremse der mit bloß $2\frac{1}{2} t$ belasteten Achse würde ihn im Zustand der Ruhe stets halten können.

Im zweiten Falle würde der Zug noch ca. $2\frac{1}{4} mal$ so schwer werden können bis ein Aufsteigen, d. h. ein Ausgleiten des Bremsrades aus der Zahnstange erfolgen würde, weil die vom Achsdruck $2,5 t$ herrührende Componente in der Richtung der Zahnflanke, also dem T entgegen, ca. $2\frac{1}{4} t$ beträgt.

Wenn aber im Zustande der Bewegung schlechte Schmierung vorliegt, so dass der Reibungscoefficient z. B. wie vorhin ca. $\frac{1}{4}$ oder mehr beträgt, so wird $T = N + R$ schon $2,5 t$ oder mehr werden, also unter allen Umständen grösser, als die in Betracht kommende Componente des Achsdruckes; das Rad muss deshalb aufsteigen.

Wäre hingegen die Schmierung sehr gut, also R ca. $\frac{5}{20} = \frac{1}{4}$, so wäre die Tendenz zum Aufsteigen erst $T = 1\frac{1}{4} + \frac{1}{4} = 1,5 t$, also noch lange nicht gleich oder grösser der genannten Componente des Achsdruckes, — ein Aufsteigen also noch ausgeschlossen.

Es geht hieraus bereits das practische Resultat hervor, dass gute Schmierung der Zahnstange die Gefahr des Aufsteigens beim Bremsen des Zahnrades in der Bewegung bedeutend vermindert. Ein Nichtschmieren der Zahnstange könnte nur für den completen Ruhezustand nützlich sein, immerhin in weit unbedeutenderem Masse, als es für die Bewegung gefährlich ist.

2. Der Zahndruck.

Derselbe kann ebenfalls, wie die Reibung, in gefährlicher Weise gesteigert werden und zwar am ehesten bei der Bremsung im Bewegungszustande. Die Gefahr wächst hier nicht nur in Hinsicht auf die Tendenz zum Aufsteigen, sie kann sogar bezüglich der Festigkeit in Betracht kommen, und zwar derjenigen des Zahneingriffs und der beteiligten Maschinenelemente.

Man denke sich zunächst das Fahrzeug in Bewegung auf horizontaler Bahn, so ist klar, dass wenn gebremst wird, ein gewisser Zahndruck entstehen muss, entsprechend der Raschheit der Verzögerung. Eine momentane Ueberführung des Bewegungszustandes in denjenigen der Ruhe würde offenbar einen in's Unendliche gesteigerten Zahndruck voraussetzen.

Betrachte man nun den allgemeineren Fall auf geneigter Bahn und nehme an, dass ein bewegtes Fahrmaterial aus bestimmter Geschwindigkeit durch Bremsung innert einer gewissen Zeit oder auf entsprechende Weglänge in Ruhe gelangt. Dabei werde bezeichnet mit:

- Z der durchsch. Zahndruck während des Bremsens in kg,
- G das Gewicht des Fahrmaterials " "
- K die Geschwindigkeit in km pro Stunde, " "
- v " " Metern pro Secunde,
- g die Beschleunigung der Schwerkraft = 9,81,
- s der Bremsweg in Metern,
- t die Bremszeit in Secunden,
- i die Neigung der Bahn in ‰.

Aus den Beziehungen der Bremsarbeit $Z \times s$ lässt sich unschwer folgende Beziehung des Zahndruckes ableiten:

- 1) für v in Secunden $Z = G \left(\frac{v^2}{2g \cdot s} \pm \frac{i}{1000} \right)$ oder
- 2) für K pro Stunde $Z = G \left(\frac{K^2}{254 \cdot s} \pm \frac{i}{1000} \right)$

Sobald man annimmt, dass die mittlere Geschwindigkeit während des Bremsens gleich sei der halben Geschwindigkeit am Anfang des Bremsens, so lässt sich der Bremsweg zur Bremszeit in eine einfache Relation bringen und die Versuche bestätigen, dass dieses Verhältniss meistens zutrifft:

$$s = \frac{v}{2} t$$

Die zu beobachtende Bremszeit t ist für vorliegende Zwecke von ebenso grossem Interesse wie der Bremsweg s. Deren Relation zum Zahndruck ist alsdann:

- 3) für v in Secunden $Z = G \left(\frac{v}{gt} \pm \frac{i}{1000} \right)$ oder
- 4) für K pro Stunde $Z = G \left(\frac{K}{35,3 t} \pm \frac{i}{1000} \right)$.

Die Zeichen + oder - entsprechen dem jeweiligen Gefälle oder der Steigung.

Um einen Begriff von diesen Verhältnissen zu bekommen, mag ein Beispiel aus der Praxis nachgerechnet werden. Auf einem Gefälle von 171,3 ‰ wurde ein Zug von 29,35 t bei 8 km Geschwindigkeit mit der Locomotivbremse, d. h. durch Bremsung einer einzigen Zahnradachse in 2 1/4 Secunden zum Stehen gebracht. Nach Formel 4 war der während des Bremsens durchschnittlich wirkende Zahndruck

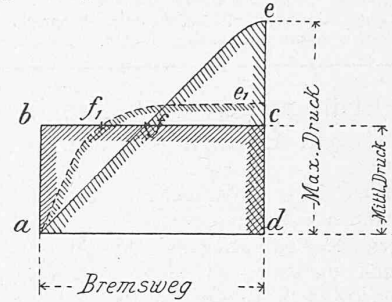
$$Z = 29\,350 \left(\frac{8}{35,3 \times 2\frac{1}{4}} + \frac{171,3}{1000} \right) \text{ gibt rund:}$$

$$Z = 3000 + 5000 \text{ kg} = 8000 \text{ kg.}$$

Man sieht daraus, dass die Wirkung des Gefalles, ca. 5000 kg Zahndruck, durch das Bremsen ganz wesentlich verstärkt wurde, nämlich mit dem durchschnittlichen Betrage von 3000 kg.

Da die Bremskraft von Null ansteigen muss, also nicht constant sein kann, so muss man annehmen, dass ein noch wesentlich höherer Zahndruck als 8000 kg zeitweise statt-

gefunden hat. Bei sehr schnellem Halten kann derselbe fast auf das Doppelte des Durchschnitts kommen, wie folgende Figur zeigt:



Bremsarbeit = $a b c d = a d e f$, oder auch für langsamere Wirkung = $a d e_1 f_1$.

Einerseits die Festigkeit betreffend: Ist die Zahnstange und die Locomotive nur für ca. 5—6000 kg Zugkraft gebaut, so würden die beteiligten Elemente bei obiger rascher Bremsung schon über die Norm beansprucht. Zahnstangen- oder Maschinenteile mit Mängeln, seien es durch Construction oder Material bedingte, hätten bei dem Zahndruck in diesem Falle ca. $1,5 \times 8000 = 12\,000 \text{ kg}$ schon ein sehr gesteigertes Risiko bleibende Schäden zu erhalten.

Andererseits das Aufsteigen betreffend: Die Tendenz zum Aufsteigen ist $T = N + R$. Bei der Zahnneigung von 1/4 ist beispielsweise

$$N = \frac{12\,000}{4} = 3000 \text{ und } P = f \cdot Z;$$

bei grosser Reibung ist $f = 1/4$ also alsdann

$$R = N \text{ und } T = 6 t.$$

Die Belastung der Bremsachse betrug bei der Locomotive immer noch viel mehr als 6 t; es konnte daher von einem Aufsteigen noch keine Rede sein. Allein wenn einmal zufälligerweise eine Wagenachse, die in der Regel keine 6 t Belastung hat, so kräftig gebremst würde, wie es in diesem Falle bei der Locomotivbremse geschah, so wäre ein Aufsteigen die notwendige Folge davon.

In ähnlicher Weise lassen sich viele Fälle, die in der Praxis beobachtet worden, sehr einfach erklären.

Abgesehen davon, dass in einzelnen Fällen an ein und derselben Bremskurbel mehr als ein Individuum wirken kann, ist schon die einzelne Menschenkraft im Affect nicht berechenbar, deshalb sollten die Constructionsverhältnisse der Bremsen an und für sich ein gewisses Mass der Kraftwirkung nicht zu überschreiten gestatten.

In dieser Beziehung dürfte eine Construction zu empfehlen sein, welche die Bremswirkung unbeschadet der Raschheit der Infuctionssetzung derselben, auf ein bestimmtes Mass der jeweiligen Achsbelastung begrenzt, wie es z. B. bei einer Construction von Wöhler der Fall ist, die schon vor Jahrzehnten hin und wieder bei Fahrzeugen von Adhäsionsbahnen angewendet worden ist.

Zum Schlusse sei erlaubt, darauf hinzuweisen, dass die neuerfundene Construction der Doppelzahnstange mit seitlichem Eingriff den Bedenken wegen des Aufsteigens in sehr rationaler Weise begegnet.

J. Stocker.

Luzern, im April 1886.

Eiserner Oberbau, System W. Pressel.

Die eminenten Leistungen Wilhelm Pressels im Gebiete des Eisenbahnbaues sind so allgemein bekannt und sein Name erfreut sich unter den Eisenbahntechnikern eines so hohen Rufes, dass eine Publication aus seiner Feder im Voraus sicher sein kann, das allgemeine Interesse für sich rege zu machen. In der vorliegenden Schrift *) handelt es sich um ein vom Verfasser erdachtes neues System eines eisernen Oberbaues und wir können uns nicht versagen,

*) Eiserner Oberbau, System W. Pressel 1886.