

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 97/98 (1931)
Heft: 9

Artikel: Ueber Metallographie, Metallurgie und ihre Nutzanwendung in der Giesserei und Maschinenindustrie
Autor: Aeberhardt, Ed.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-44741>

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

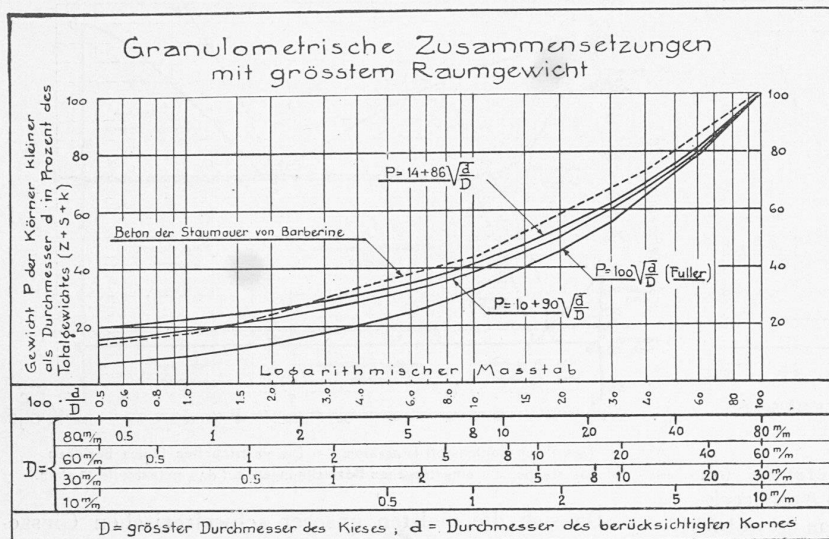
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

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: 16.05.2025

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



Zuschlagstoffe + Zement:

abgestuft von 0 bis 5 mm :	270 l	Anmachwasser pro m ³ Beton :	$\Delta = 2,24$
" " 0 bis 10 mm :	230 l	" " " "	$\Delta = 2,29$
" " 0 bis 25 mm :	185 l	" " " "	$\Delta = 2,38$
" " 0 bis 60 mm :	150 l	" " " "	$\Delta = 2,45$
" " 0 bis 100 mm :	135 l	" " " "	$\Delta = 2,48$

Man erhält also das gleiche Z/W , d. h. die gleiche Festigkeit mit einem von 0 bis 100 mm abgestuften Betonmaterial wie mit einem von 0 bis 5 mm abgestuften Mörtel, der doppelt so grosse Zementdosierung aufweist. Ein Sand mit einheitlichem Korn ist zu verwerfen, weil er zu viel Hohlräume aufweist; er ist mit einem andern von ausgesprochen anderer Korngrösse zu mischen.

*

Wir haben bisher den Einfluss des Verhältnisses Z/W und der Dichte auf die Betonfestigkeit betrachtet. Diese hängt nun weiter vom Qualitäts-Koeffizienten A des Bindemittels ab, der veränderlich ist je nach Bindemittel, Dauer, Art und Temperatur der Erhärtung.

Für einen Mörtel oder Beton sind die Koeffizienten A bei Erhärtung im Wasser oder in feuchtem Sand bei einer Temperatur von rund 15° proportional der Festigkeit beim Normalversuch:

$$A_7 = \frac{K_{n_7}}{2,7 \text{ bis } 3,4} \quad A_{28} = \frac{K_{n_{28}}}{1,8 \text{ bis } 2,7}$$

Diese Koeffizienten A können auch unmittelbar nach Formel (2) durch einige Vorversuche bestimmt werden, bei denen man Z/W , Dichte und Festigkeit kennt. Man erhält daraus ohne Weiteres A , indem man graphisch die Festigkeiten in Funktion von $\left(\frac{\Delta}{2,35}\right)^2 \frac{Z}{W}$ aufträgt.

Für die heutigen Schweizerischen Bindemittel bewegen sich die Werte von A in folgenden Grenzen:

	7 Tage	28 Tage	90 Tage
Gewöhl. Portland-Zement	$A = 90 \text{ bis } 120$	$150 \text{ bis } 200$	$200 \text{ bis } 250$
Spezial- " "	$150 \text{ bis } 190$	$220 \text{ bis } 270$	$280 \text{ bis } 350$
Tonerde-Zement	$280 \text{ bis } 300$	$310 \text{ bis } 330$	$350 \text{ bis } 380$
Hydraulischer Kalk	—	$20 \text{ bis } 30$	$40 \text{ bis } 60$

Bei Lagerung in trockener Luft hört die Erhärtung des Beton nach einem Zeitraum von zwei bis sechs Wochen auf; es kann sogar vorkommen, dass seine Festigkeit abnimmt infolge der innern Schwindspannungen. Die günstigsten Bedingungen für die Erhärtung erhält man, wenn der Beton abwechselnd der Feuchtigkeit und der Luft ausgesetzt wird. Höhere Temperatur beschleunigt die Erhärtung, niedrigere verzögert sie. Diese Einflüsse sind während der ersten Tage der Erhärtung besonders stark, sie nehmen mit der Zeit ab und können nach drei Monaten kaum mehr wahrgenommen werden. Häufige Temperaturänderungen sind schädlich, sie begünstigen die Rissbildung. (Schluss folgt.)

Ueber Metallographie, Metallurgie und ihre Nutzanwendung in der Giesserei und Maschinenindustrie.

Von Ing. ED. AEBERHARDT, Winterthur.

[Auch dieser Artikel dürfte im Hinblick auf den bevorstehenden Materialprüfungs-Kongress in Zürich manchem willkommen sein, da er einen kurzen Ueberblick gibt über die im Laufe der letzten Jahre auf dem weiten Gebiete der Metallkunde erzielten Fortschritte. Red.]

Zahlreiche Forscher haben uns in jahrelanger, mühevoller Arbeit den Weg der Metallkunde, unter welchem Namen wir hier Metallographie und Metallurgie zusammenfassen wollen, geebnet und den Grundstein zur heutigen Weiterentwicklung gelegt. Es sind dies die Erforschung der Beziehungen der Kristallisationsvorgänge, Kristallisationsgeschwindigkeit, Kornzahl,

die Roozeboomschen Grundsätze, die Erforschung der meisten metallischen Zweistoffsysteme (binäre Systeme), die Fähigkeit der Metalle, miteinander Mischkristalle oder intermetallische Verbindungen zu bilden.

Die mittels thermischer Analyse erforschten binären Systeme, d. h. das Verhalten zweier Legierungs-Elemente zueinander, z. B. Eisen-Kohlenstoff, Eisen-Silicium, Eisen-Mangan, Eisen-Phosphor, Eisen-Chrom, Eisen-Nickel, Eisen-Schwefel usw. leisten in der Eisen und Stahl erzeugenden Industrie, besonders aber auch dem Eisen- und Stahl-Giesser unschätzbare Dienste. Bei der Veredelung der Metalle, wie Härten und Vergüten von Eisen und Stahl, Kalt- und Warmrecken, sowie bei der Gefügeentwicklung von Stahl und Grauguss sind die Kristallisationsvorgänge, die Mischkristallbildung, das Diffusionsvermögen usw. von besonderer Bedeutung.

Für die praktische Metallkunde bedeutet das seit einigen Jahren international festgelegte *Eisen-Kohlenstoff-Diagramm* grosse Erleichterung. Wie wir später noch sehen werden, bauen und beziehen sich alle metallkundlichen Erkenntnisse auf dieses, für den Fachmann unendlich wichtige Diagramm.

Die Untersuchungsmethoden, deren sich die moderne Metallkunde bedient, sind die mikroskopischen Untersuchungen, thermische, physikalische und chemische Analysen. Da es sich bei allen in der Technik gebrauchten Legierungen nicht um binäre, sondern um Mehrstoffsysteme (ternäre und quaternäre), mit Eutektiken, Eutektoiden und vielen Umwandlungspunkten handelt, ist das eingehende Studium von mehreren binären Systemen unumgänglich. Hierfür dienen am zweckmässigsten Nichteisenlegierungen, wie Nickel-Kupfer, Blei-Antimon, Kupfer-Silber, Zinn-Antimon usw. Es sind dies alles Legierungen mit genau bekannten Eigenschaften und typischen Kristallbildungen sowie gutem Einformungsvermögen.

Durch mikroskopische Betrachtungen aller dieser Legierungen werden die Begriffe über Kristallisationsvermögen, Mischkristall, Phasenlehre oder Mischungsregel, Diffusionsvermögen, peritektische Umwandlung, Eutektikum usw. praktisch klar gemacht. Anschliessend an diese Grundbegriffe kommen wir auf das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm zurück, das seinerseits wieder in das stabile und das metastabile System unterteilt wird. Die im Diagramm Abb. 1 gestrichelten Linien (stabiles System) beziehen sich auf jene Eisenarten, in denen der Kohlenstoff meist in elementarer Form als Graphit vorliegt (Gusseisen usw.), während die ausgezogenen Linien Legierungen betreffen, in denen der Kohlenstoff in gebundener Form als Fe_3C (Eisencarbid) vorliegt, wie Eisen, Stahl usw.

An Hand des beschriebenen Diagrammes lassen sich für den mit den obigen Grundbegriffen eingehend vertraut gemachten Metallographen viele praktische sowie theore-

tische Fragen aufklären. Ein metallkundlich verhältnismässig leicht zu beherrschendes, in unserer Maschinenindustrie sehr wichtiges Gebiet, ist das Einsatz- und gewöhnliche Härten von unlegierten Stählen (Einsatz- und Werkzeugstahl usw.). Hier lässt sich das in der Praxis meistgeübte, kostspielige „Probieren“ mit absoluter Sicherheit vermeiden. Es genügen ein oder zwei Kleinversuche, um die richtige Glühdauer, Abschrecktemperatur und Abschreckmittel einwandfrei zu bestimmen. Die in einem gewöhnlichen Kohlenstoffstahl vorkommenden Gefüge sind bekannt, und wir kennen ebenfalls die entsprechenden Härten und technischen Eigenschaften. Unter dem Mikroskop erkennen wir folgende möglichen Gefüge unzweideutig¹⁾:

1. Hardenit, als härtestes und feinstes Härtegefüge.
2. Martensit, als gewöhnliches Härtegefüge.
3. Trostit, 4. Sorbid und 5. Perlit.
6. Zementit, als härtester, und
7. Ferrit, als weichster Bestandteil.

Da die Entstehung und Umwandlung der einzelnen Gefügebestandteile genau bekannt sind, findet jede in der Praxis vorkommende Erscheinung, wie Translation, Erosion, Korrosion, Rissbildung usw., sofortige Aufklärung. Die Deutung von leicht legierten Chrom-, Nickel- oder Manganstählen bietet ebenfalls nicht sehr grosse Schwierigkeiten, jedoch ist hier zu bedenken, dass durch die obigen Legierungselemente die aus dem Diagramm ersichtlichen Umwandlungs-, Schmelz- und Erstarrungspunkte höher oder tiefer gesetzt werden.

Bei Ueberhärtung dieser Stähle bildet sich oft vor dem Martensit ein unmagnetisches, weiches Gefüge, Austenit genannt. Daher müssen nicht selten hochlegierte Manganstähle bei hoher Temperatur im Wasser schroff abgeschreckt werden, um sie in einen weichen bearbeitungsfähigen Zustand überzuführen.

Bei sogenannten naturharten Stählen (amerikanische Stellite, deutsche Widia) wird das normale Härtegefüge durch Carbide ersetzt. Diese letzten können derart stabil werden, dass oft keinerlei Wärmebehandlung von seiten der Verbraucher eine Aenderung der Eigenschaften hervorgerufen vermag. Zur wissenschaftlichen Klärung der praktischen Härteerscheinungen leisten die mittels Röntgenstrahlen nachgewiesenen Gitter-Aufbau der α -, β -, γ - und δ -Modifikationen wertvolle Dienste. Während die α -, β - und δ -Modifikationen neunatomige raumzentrierte Gitter besitzen, baut sich das γ -Eisen aus flächenzentrierten Gittern mit 14 Atomen auf. Die Maurersche Härtetheorie, und andere, finden ihre Begründung in dieser Raumgittervorstellung.

Wesentlich schwieriger wird die metallkundliche Deutung bei gegossenen Eisen- und Stahl-Legierungen. Während bei den unlegierten Stählen nur der Kohlenstoff, bei den legierten Stählen das Legierungselement plus Kohlenstoff, die Eigenschaften eines Stahles zur Hauptsache bestimmen, wirken bei Eisen und Stahlguss eine grosse Anzahl Faktoren bestimmend auf Gefüge und Qualität der Erzeugnisse. Besonders vielgestaltig sind die Eigenschaften und der Gefügebau von Grauguss. Nicht selten haben oft jahrelange Fehlergebnisse, fehlerhafte Offenführungen usw. ihre völlige Klärung unter dem Mikroskop gefunden.

¹⁾ Vergl. B. Zschokke: „Aus der Praxis der Metallographie“, in „S. B. Z.“ Band 76, 14./21. August 1920. Red.

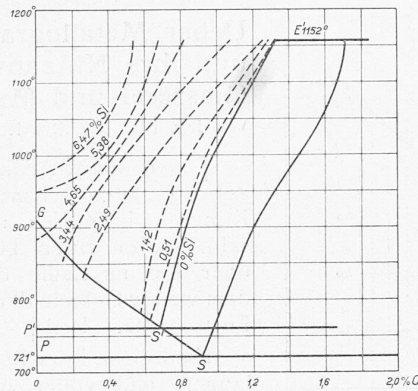


Abb. 2. Lage der Linie E' S' bei verschiedenen Gehalten an Silizium (nach Morschel).

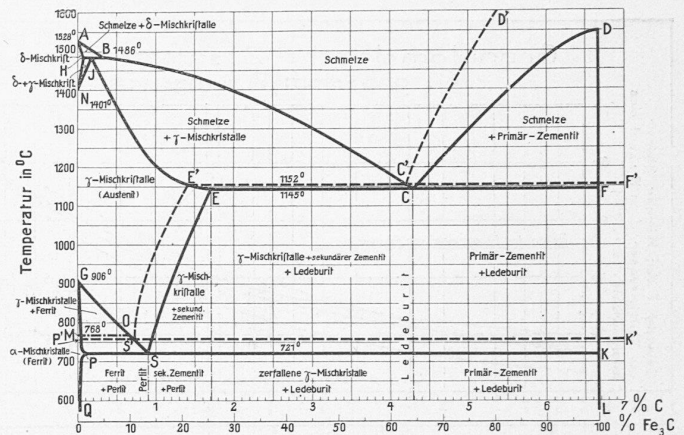


Abb. 1. Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm. — Die gestrichelten Linien beziehen sich auf das stabile, die eingetragenen Bezeichnungen auf das metastabile System.

Da sich die meisten unserer schweizerischen Giesereien mit der Erzeugung von Grauguss befassen, möchte ich meine allgemeine Betrachtung im weitem auf obiges Gebiet beschränkt halten.

Aus dem Eisen-Kohlenstoff-Diagramm ist ersichtlich, dass einige Umwandlungspunkte im stabilen (Graphit-) System, gegenüber dem metastabilen System verschoben werden. So bildet sich das Eutektikum (Linie E' F' Punkt C' in Abb. 1) bei 1152°, gegenüber 1145°. Ebenso wird das Lösungsvermögen für Kohlenstoff der γ -Mischkristalle längs E' S' von 1,7 % auf 1,3 % herabgedrückt. Im weitem wird die letzte Umwandlung der festen Lösung von 721° auf 733° erhöht. Ebenso verschiebt sich die Linie CD nach C' D'. Im grauen System bedeutet dies eine Ausscheidung von Primär-Graphit (Garschaum) in übereutektischen Legierungen. Das Diagramm zeigt, dass völlige Lösung dieses einmal gebildeten Graphits erst bei sehr hohen Temperaturen, nach neuen Forschungen erst bei 1837° C möglich ist. Es wird ohne weiteres klar, dass hierzu nur der direkte Lichtbogen berufen ist, während Kupolöfen in diesem Fall versagen müssen. — Liquiduslinie A-B-C, und Soliduslinie J-E gehören beiden Systemen unverändert an.

Grauguss ist ein Sechsstoffsystem und setzt sich zusammen aus den Elementen Eisen, Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel, wobei zufällige Begleiter wie Arsen¹⁾ und Kupfer vernachlässigt bleiben.

Unserer Wissenschaft gelingt es bis heute erst ein Dreistoffsystem einwandfrei darzustellen und zu klären, es verbleiben also immer noch drei Elemente, die im Gusseisen berücksichtigt sein wollen. Während die Begleitelemente wie Silizium (Mangan), Phosphor und Schwefel in unlegierten Stählen meist nur unerwünscht in Spuren einflusslos vorkommen, sind diese Elemente mit Ausnahme des Schwefels im Gusseisen unumgänglich notwendig, und auf das Erzeugnis von bedeutendem Einfluss.

Um die Eigenschaften eines Gusses im voraus bestimmen zu können, bedienen wir uns der eingangs erwähnten binären Diagramme. So zeigt z. B. das von Morschel aufgestellte Diagramm (Abb. 2) den Einfluss von Silizium auf eine Eisen-Kohlenstofflegierung. Aus Abb. 2 ist ersichtlich, dass durch Zusatz von Silizium die Linie E' S' nach links verschoben wird, d. h. das Lösungsvermögen für Kohlenstoff im γ -Eisen vermindert wird. Ähnlich wie in der Statik mit Hilfe der Cremona'schen Kräftepläne jede einzelne Stabkraft bestimmt werden kann, gelingt es hier durch Kombination der einzelnen Diagramme eine gesuchte Legierung graphisch zu ermitteln. Mit der Möglichkeit, die Einflüsse der obigen Elemente willkürlich zu regulieren, wird jedoch die meist verkannte, schwierige Aufgabe des Eisengießers nur teilweise gelöst. Es verbleiben noch eine Unmenge physikalische und metallurgische Erscheinungen, die das Gelingen eines Gusstückes in Frage stellen können.

¹⁾ Arsen verkündet seine Anwesenheit durch seinen eigentümlichen „Knoblauch-Geruch“ in den Abgasen.



Abb. 2. Michelin-Gummireifen für Schienenfahrzeuge.

Als die wichtigsten dieser letzten Faktoren seien nur folgende erwähnt (richtige Ofenführung und Gattierung wird vorausgesetzt): Schmelzüberhitzung, Koksbeschaffenheit, Sandfeuchtigkeit und Gasdurchlässigkeit, Giesstemperatur und Giessgeschwindigkeit, Einfluss von Einguss, Schlackenlauf, Anschnitt und Steiger, Wandstärke und Konstruktion des Gusstückes usw. Da sich das Gefüge eines werdenden Gusstückes grösstenteils im festen Zustand entwickelt, d. h. nachdem die Schmelze bereits erstarrt ist, ist es klar, dass alle obigen Faktoren berücksichtigt werden müssen. Als Beweis sei die Tatsache erwähnt, dass z. B. ein und die selbe Legierung zu Probestäben von 15 und 40 mm $\varnothing$ vergossen, Zerreissfestigkeiten von bei 15 mm $\varnothing$ z. Beispiel 30 kg/mm², bei 40 mm $\varnothing$ dagegen nur noch 15 bis 20 kg/mm² aufweisen. Ebenso ändert sich diese Zahl und mit ihr natürlich alle andern technischen Eigenschaften (Brinellhärte, Bearbeitbarkeit usw.) bei Veränderung eines einzigen der oben aufgeführten Faktoren.

Während die moderne Metallkunde diese Eigenschaften, sowie den Kupolofen-Schmelzprozess fast restlos wissenschaftlich zu klären vermag, ist die genaue Einhaltung der gestellten Forderungen im praktischen Betrieb nicht möglich.

Es sei noch erwähnt, dass das in Abb. 1 aufgestellte stabile Diagramm beschränkte Gültigkeit hat, da es infolge der Vielgestaltigkeit der zu berücksichtigenden Faktoren leider nicht möglich wird, ein allgemein gültiges „Gusseisen-Diagramm“ aufzustellen. Auf die recht komplizierten Erstarrungsvorgänge, die teils auch nach dem metastabilen System erfolgen, näher einzugehen, würde hier zu weit führen.

Bei geschickter Anwendung der theoretischen Erkenntnisse unter Berücksichtigung der praktischen Tatsachen lassen sich Fehlergebnisse weitestgehend vermindern, jedoch nie ganz beseitigen.

Während Fabrikationsfehler in Maschinenbau-Werkstätten meist auf Unvorsichtigkeit oder Irrtümer zurückzuführen sind, müssen oft Fehlgüsse auf unangeklärte Tatsachen oder auf bekannte, aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu behebende Erscheinungen zurückgeführt werden, wie z. B. für jede Wandstärke die theoretisch richtige Legierung zu erschmelzen usw.

Der in der Schweiz zuerst eingeführte Elektro-Schmelzbetrieb bietet der Metallkunde noch ein weites Arbeitsfeld.

Bei der Gusseisenerzeugung aus dem Elektroofen unterscheiden wir grundsätzlich zwei Verfahren: das Umschmelzverfahren, bei dem Roheisen, Giessabfälle, Gussbruch und Gusspäne, und das synthetische Schmelzen, bei dem Flusseisen und Stahlspäne mit Gusspänen und Kohlen vermengt, direkt zu einem erstklassigen Gusseisen erschmolzen werden. Als Legierungselemente dienen nicht selten Erze, was uns allerdings an das Problem der direkten Eisengewinnung erinnert. Dieses synthetische Verfahren ist während des Krieges in Frankreich zuerst eingeführt worden, und wird heute noch vereinzelt mit Erfolg angewendet.

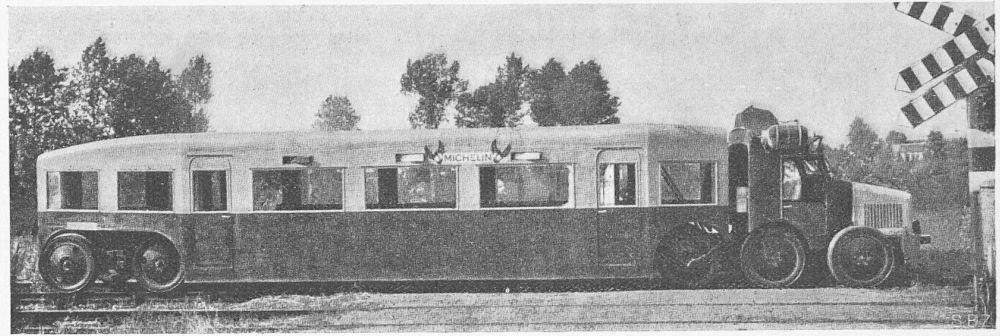


Abb. 3. 24-plätziges Schienenfahrzeug „Micheline“ mit gummbereiften Rädern. Gesamtlänge 13 m.

Während das Umschmelzverfahren keine besonderen Schwierigkeiten bietet, bereitet die Einhaltung einer bestimmten Analyse, namentlich des Kohlenstoffgehaltes, beim letztgenannten Verfahren einige Schwierigkeiten.

Die Reaktionen und Prozesse, die sich bei Einwirkung des elektrischen Lichtbogens auf Schmelzgut und Schlacke abspielen, sind heute nur teilweise erforscht. Praktische Erfahrungen und Faustregeln ergänzen hier die zahlreichen Lücken der spärlichen Fachliteratur.

Eisenbahn-Motorwagen mit Gummireifen.

Im Hinblick auf eine Haftreibungszahl von 0,62 zwischen Gummi und Stahlschiene, d. h. auf einen rund dreimal höheren Wert, als er im Maximum zwischen Stahlreifen und Stahlschiene besteht, brauchen Motorwagen mit Gummireifen auf Stahlschienen nur etwa den dritten Teil des Raddrucks von Motorwagen mit Stahlreifen auf Stahlschienen, um die selbe Zugkraft am Radumfang entwickeln zu können. Im Zusammenhang mit der Herabsetzung des erforderlichen Adhäsionsgewichts nimmt auch das Gesamtgewicht des Wagens ab und brauchen überhaupt keine höheren Raddrucke zur Anwendung zu kommen, als solche, die mit der Tragfähigkeit von Gummireifen verträglich sind. Gestützt auf diese Sachlage hat die Firma Michelin (Clermont-Ferrand) seit zwei Jahren systematische Proben vorgenommen mit leichten Eisenbahnmotorwagen, die auf passend ausgebildeten Rädern mit Gummireifen laufen, über die in der „Illustration“ vom 25. Juli und im „Génie civil“ vom 1. August 1931 Bericht erstattet wird. In Abb. 1 und 2 ist das von der Firma Michelin nach



Abb. 1.

langen Versuchen entwickelte Eisenbahnrad mit Gummireifen für einen maximalen Raddruck von 700 kg dargestellt. Das aus gepresstem Blech erstellte, auswechselbare Rad entspricht der gewöhnlichen Bauart für Automobile, nur ist der innere Felgenreif stark vergrößert, um als Spurkranz zu dienen. Der Reifen ist in bezug auf die Mittelebene des Rades nicht symmetrisch; er ist wohl konvexer Form, aber mit gegen den Spurkranz hin zunehmendem Durchmesser. Auf dieser Seite befindet sich in der Luftkammer ein steifer Kranz, der bei deren Platzen ein Senken des Fahrzeugs um mehr als 1 cm verhindert. Eine automatische Anzeigevorrichtung gibt dem Wagenführer Kenntnis von dem Vorfall. Im Innern der Luftkammer herrscht ein Druck von 6 kg/cm².

Von den neun seit 1929 gebauten, als „Michelines“ bezeichneten Probe-Motorwagen sind die zuletzt entwickelten, in Abb. 3 dargestellten, 13 m langen, fünfachsigen Personenmotorwagen von 4,37 t Tara, zur Aufnahme von 24 Reisenden, bzw. für 2,16 t Nutzlast (182 kg pro Sitzplatz), als eine für den praktischen Betrieb taugliche Ausführungsform zu betrachten. Die fünf Achsen sind auf ein vorderes, motorisch ausgerüstetes, dreiachsiges Drehgestell und auf ein hinteres zweiachsiges Drehgestell, mit einem Drehzapfenabstand von 9 m, verteilt. Ein normaler ventillosen Automobilmotor der Bauart Panhard & Levassor von 20 „Steuer“-PS ermöglicht, Fahrgeschwindigkeiten von 90 km/h normal, bzw. von 100 km/h im Maximum zu erreichen. Um die Uebertragung der Erschütterungen des Motors auf das Personenabteil zu verhindern, ist zwischen diesem und der Führerkabine ein Trennsplatt angeordnet, der durch einen Faltenbalg überbrückt ist.