

4°

37554

Über die Verwendung von Erdbebenmessern zur Messung von Erschütterungen fahrender Eisenbahnwagen.

Nach dem Originale in englischer Sprache bearbeitet von

Ing. O. Bitter.

Sonderabdruck aus der Monatsschrift «Die Erdbebenwarte» 1904/5,
Nr. 10 – 12, IV. Jahrgang.



Laibach 1905.

Buchdruckerei Ig. v. Kleinmayr & Fed. Bamberg.

01 I 9384

030026521



Über die Verwendung von Erdbebenmessern zur Messung von Erschütterungen fahrender Eisenbahnwagen.

Nach dem Originale in englischer Sprache bearbeitet von Ing. O. Bitter in Laibach.

In Nr. 20 der «Publications of the Earthquake Investigation Committee in foreign languages», Tokio 1905 erscheint aus der Feder F. Omoris ein Bericht über die Messungen der Erschütterungen des Versuchswagens «Shayo-sha» der «Sanyo»-Eisenbahn in Japan. Die Versuchsfahrten wurden am 26. April 1903 bei schönem Wetter durch die 89 englische Meilen lange Strecke zwischen Kobe und Okayama vorgenommen und waren hiebei dieselben Erschütterungsmesser in Verwendung, wie bei den bereits früher durchgeführten Versuchen mit dem Wagen «Kyokuyo-sha» auf den Linien der japanischen Staatsbahn. — Die Apparate standen in der Gangmitte des Wagens.

Der «Shayo-sha», welcher während des ganzen Experimentes direkt an eine Tenderlokomotive gekuppelt wurde, war ein gewöhnlicher Wagen III. Kl. ohne Truckgestelle, nur waren die Tyres seiner Räder für den besonderen Zweck zylindrisch abgedreht. Der Zug verließ Kobe um 10 h 30 m a. m. und erreichte Okayama um 1 h 20 m p. m., von wo die Rückfahrt um 3 h 45 m p. m. angetreten wurde und um ungefähr 7 h p. m. in Kobe endete. Sowohl bei der Hin- wie bei der Rückfahrt wurden Expresszugsgeschwindigkeiten von ungefähr 50 Meilen per Stunde erreicht, welcher Umstand es ermöglichte, die Wirkungen von Kurven und Wechselkreuzungen auf die Erschütterungen des Wagens zu untersuchen.

Die Schienenverbindungen, welche bei der Sanyo-Eisenbahn benutzt werden, sind die gleichen, wie sie bei den japanischen Staatsbahnen als System I verwendet werden, nämlich die gewöhnlichen zwei einfachen Laschen.

Die Geschwindigkeit des Zuges wurde durch einen Geschwindigkeitsmesser gemessen, der gleichfalls im Wagen aufgestellt war, außerdem aber noch durch ein die Zeit markierendes Pendel; auch die Momente des Passierens der aufeinanderfolgenden Meilenzeiger sowohl wie Brücken, Straßenübersetzungen wurden durch eine besondere Signalvorrichtung angezeigt. Aus dem

Vergleiche der beiderseitigen Aufzeichnungen ergab sich eine mittlere Korrektur von 2·1 Meilen per Stunde, die von den Angaben des Geschwindigkeitsmessers abzuziehen wäre, jedoch wegen der Geringfügigkeit der Differenz im nachfolgenden außer Betracht gelassen wurde.

Bewegung des Wagens auf Brücken.

Alle Brücken der Sanyo-Eisenbahn zwischen Kobe und Okayama sind Eisenkonstruktionen von 70 Fuß oder geringerer Spannweite. Die 60 bis 70 Fuß langen Träger sind aus Stahl, die kürzeren aus Schmiedeeisen. Eine der längsten Brücken ist die über den Kako-gawa, nahe der Station gleichen Namens und besteht aus zwei Gurten von 50 und 70 Fuß Länge.

Seitliche Schwankungen des Wagens.

In einer Tabelle, welche 17 der längeren Brücken behandelt, werden die maximalen seitlichen Schwingungen des Wagens während seines Laufes über diese Brücken zusammengestellt. Die Bewegungen sind nach den Schwingungsperioden in drei Gruppen geteilt und es zeigt sich, daß die mittleren Werte der Amplituden, welche den mittleren Zeitperioden von 0·30, 0·62 und 1·03 Sekunden entsprechen, 3·2, 8·7 und 20·3 mm betragen. Die respektiven Fahrgeschwindigkeiten betragen in derselben Reihenfolge 30, 38, 39 Meilen per Stunde als Mittelwerte. Die Schwingungsperioden stehen also ungefähr im Verhältnisse wie 1 : 2 : 3, die korrespondierenden maximalen Ausschläge im Verhältnisse wie 1 : 3 : 6. — Die absolut größten Werte der Amplituden in allen drei Gruppen messen 5, 18 und 28 mm.

Diesen Ergebnissen werden zum Vergleiche die mit dem Versuchswagen «Kyokuyo-sha» der Staatsbahn bei der Fahrt über die Eisenbrücken der Tokaido-Linie erzielten größten seitlichen Ausschläge gegenübergestellt. Hier wurden zwei Gruppen aufgenommen, und zwar zeigte die erste Gruppe mit einer mittleren Zuggeschwindigkeit von 15 Meilen Amplituden von 17·3 mm in Zeiten von 0·61 Sekunden, die zweite Gruppe bei einer mittleren Zuggeschwindigkeit von 27 Meilen Ausschläge von 20 mm in Zeiten von 0·88 Sekunden.

Die Schwankungen dieses Wagens sind also größer als die des «Shayo-sha», was aber möglicherweise von der verschiedenen Qualität der Federn, welche den Wagenkasten tragen, vielleicht auch von der verschiedenen Form der Radreifen abhängt.

Vertikale Bewegung des Wagens auf freier Strecke.

Die vertikale Bewegung war durchaus gering und betrug das Maximum des Ausschlages während des ganzen Versuches 14·5 mm. Auch bei großer Geschwindigkeit, bis zu 40 Meilen per Stunde, erschienen hauptsächlich nur kleine kurze Schwingungen von nicht mehr als 2·1 mm, die füglich als «Zittern» bezeichnet werden können. Auch hier wurden wieder die maximalen

Ausschläge sowie die Zitterbewegungen bei den verschiedenen Geschwindigkeiten für das Durchfahren der ersten 35 Meilen in einer Tabelle zusammengestellt, nach der sich die hauptsächlichsten Bewegungen in vertikaler Richtung in zwei Arten scheiden lassen, nämlich in kürzere Stöße von Zeitperioden, die zwischen 0·16 und 0·42 Sekunden variieren und in verhältnismäßig langsamere Schwingungen, deren Zeiten zwischen 0·47 und 0·93 Sekunden schwanken. Zur Unterscheidung werden diese Bewegungen als solche erster und zweiter Ordnung bezeichnet. Die Bewegung erster Ordnung besteht kontinuierlich und ihre am häufigsten vorkommenden Zeitperioden sind 0·20 bis 0·27 Sekunden. Der allgemeine mittlere Zeitdurchschnitt aus 139 beobachteten Fällen der Tabelle ist 0·25 Sekunden.

Das absolute Maximum der Amplitude (Max. 2 a) bei Bewegungen dieser Art war 10 mm, die Schwingungsperiode hierfür 0·34 Sekunden. Die relative Häufigkeit der Perioden für Bewegungen erster Ordnung war folgende:

Perioden von 0·16 Sekunden traten		2 mal auf	
»	» 0·17	»	» 6 »
»	» 0·18	»	» 0 »
»	» 0·19	»	» 3 »
»	» 0·20	»	» 12 »
»	» 0·21	»	» 17 »
»	» 0·22	»	» 12 »
»	» 0·23	»	» 3 »
»	» 0·24	»	» 11 »
»	» 0·25	»	» 36 »
»	» 0·26	»	» 2 »
»	» 0·27	»	» 6 »
»	» 0·28	»	» 1 »
»	» 0·29	»	» 2 »
»	» 0·30	»	» 7 »
»	» 0·31	»	» 1 »
»	» 0·32	»	» 1 »
»	» 0·33	»	» 0 »
»	» 0·34	»	» 7 »
»	» 0·35	»	» 0 »

Auffallende Bewegungen zweiter Ordnung waren selten und tatsächlich nur, wenn die Zugsgeschwindigkeit größer als 35 Meilen per Stunde wurde. Der mittlere Wert der bezüglichen Perioden, wie er sich aus 18 in einer Tabelle angeführten Fällen ergibt, ist 0·59 Sekunden, der absolut größte Wert von 2 a = 14·5 mm. Die relative Häufigkeit der Schwingungsperioden für diese Bewegungen zweiter Ordnung war wieder folgend:

Perioden von 0·47 Sekunden traten in		5 Fällen auf	
»	» 0·51	»	» 3 »
»	» 0·52	»	» 1 »

Perioden von 0·56 Sekunden traten in 1 Fällen auf

»	»	0·59	»	»	»	I	»	»
»	»	0·63	»	»	»	I	»	»
»	»	0·64	»	»	»	2	»	»
»	»	0·65	»	»	»	I	»	»
»	»	0·76	»	»	»	I	»	»
»	»	0·85	»	»	»	I	»	»
»	»	0·93	»	»	»	I	»	» etc. etc.

Die Zeitperioden der Zitterbewegungen schwankten zwischen 0·047 und 0·085 Sekunden, woraus sich eine mittlere Zeit von 0·066 Sekunden ergibt.

Beziehungen zwischen vertikaler Bewegung und Geschwindigkeit.

Aus der vorgenannten Tabelle läßt sich eine Übersicht über die maximalen Ausschläge, welche bei den nach Meilen geordneten Geschwindigkeiten während der Fahrt auftraten, zusammenstellen. Als Diagramm dargestellt, bei welchem die Geschwindigkeiten als Abszissen und die Ausschläge (2 a) als Ordinaten gezeichnet sind, ergibt sich als mittlere Relation ein ungefähr kreisförmiger Bogen, der bis zu etwa 35 Meilen Geschwindigkeit steigt, von da an wieder fällt und bei 50 Meilen wieder ungefähr denselben Wert hat wie bei 18 Meilen, nämlich 2·8 mm. Wie erwähnt, tritt bei etwa 35 Meilen das Maximum des Ausschlages mit ungefähr 3·5 mm auf. Auch bei der bereits erwähnten Versuchsfahrt mit dem «Kyokuyo-sha» auf der Tokaido-Linie ergab sich für diese Beziehungen eine Kurve, deren allgemeiner Charakter mit der vorgenannten übereinstimmt, nur waren beim «Kyokuyo-sha» die vertikalen Bewegungen durchschnittlich um ein Drittel stärker, was aber wieder einerseits in der verschiedenen Federung der Wagen, andererseits auch in der verschiedenen Bodenbeschaffenheit der Gelände, durch welche die beiden Bahnen führen, begründet sein kann.

Seitliche Schwankungen des Wagens auf freier Strecke.

Die sowohl bei der Hin- wie bei der Rückfahrt aufgenommenen seitlichen Schwankungen des Wagens auf freier Strecke zeigen große Verschiedenheiten in den Schwingungsperioden, vom Bruchteil einer Sekunde bis zu 2 1/2 Sekunden. Man kann sie in fünf Gruppen teilen, und zwar:

Gruppe I	mit Schwingungsperioden von 0·22 bis 0·59 Sekunden
» II	» » » 0·61 » 0·89 »
» III	» » » 0·91 » 1·17 »
» IV	» » » 1·21 » 1·53 »
» V	» » » 1·64 » 2·80 »

Die Mittelwerte für diese fünf Gruppen sind 0·49, 0·77, 1·05, 1·48 und 2·00 Sekunden, die absolut größten Ausschläge (2 a) werden in nachfolgender Zusammenstellung gegeben.

Für die Hinfahrt:

Gr. I	2a = 32 mm;	T = 0·58 Sek.;	maxim. Beschleunigung	$\frac{\text{mm}}{\text{Sek.}^2} = 1870$
» II	» = 47 »	» = 0·88 »	»	» = 1200
» III	» = 34 »	» = 1·10 »	»	» = 550
» IV	» = 56 »	» = 1·53 »	»	» = 470
» V	» = 56 »	» = 2·20 »	»	» = 230

Für die Rückfahrt:

Gr. I	2a = 12 mm;	T = 0·55 Sek.;	maxim. Beschleunigung	$\frac{\text{mm}}{\text{Sek.}^2} = 780$
» II	» = 46 »	» = 0·73 »	»	» = 1700
» III	» = 59 »	» = 1·10 »	»	» = 960
» IV	» = 85 »	» = 1·53 »	»	» = 720
» V	» = 153 »	» = 1·75 »	»	» = 990

Hiebei sind alle Erschütterungen, welche durch Kurven und Wechsel hervorgerufen wurden, außer Betracht gelassen. Es lassen sich aus obigen Tabellen die Verhältnisse der Amplituden zu den maximalen Beschleunigungen für die stärksten Schwankungen ermitteln, und zwar für die Hinfahrt mit 1 : 1·4 : 1·8 : 2·7 : 4·8 und für die Rückfahrt mit 2·6 : 2·4 : 1·3 : 1 : 1·4.

Die Vibrationen der Gruppe I stellen sich bei allen Geschwindigkeiten ein, die der anderen Gruppen aber mit wenigen Ausnahmen erst von Geschwindigkeiten, die 25 Meilen per Stunde überschreiten. — Die erste Gruppe bleibt in ihrer Häufigkeit innerhalb der Geschwindigkeitsgrenzen von 14 und 35 Meilen nahezu konstant. Das Maximum 2a in diesem Intervall war 5·7 mm. Mit steigender Geschwindigkeit wächst auch das 2a rasch und erreicht bei 50 Meilen einen mittleren Wert von etwa 30 mm.

Vibrationen der Gruppen II und III variieren innerhalb der Geschwindigkeiten von 15 bis etwa 29 Meilen wenig. Ihr größter Wert von 2a war 11 mm. Darnach aber wächst das 2a rasch, nahezu im gleichen Verhältnisse mit der Geschwindigkeit. Bei 53 Meilen beträgt sein mittlerer Wert 35 mm.

Vibrationen der Gruppen IV und V treten am lebhaftesten bei Geschwindigkeiten von 34 bis 52 Meilen auf.

Werden aber die Vibrationen aller fünf Gruppen zusammengenommen, so zeigt sich, daß die seitlichen Schwankungen des Wagens bei Geschwindigkeiten von etwa 30 Meilen am auffälligsten werden.

Bei dem früheren Versuche auf der Tokaidolinie mit dem Versuchswagen «Kyokuyo-sha» der Staatsbahnen zeigten die mittleren Schwingungen eine merkliche Zunahme bei einem niedrigeren Werte der Geschwindigkeit, nämlich schon bei zirka 23 Meilen, und zeigt auch ein Vergleich, daß die Schwingungen des «Kyokuyo-sha» größer waren als die des «Shayo-sha», und zwar ungefähr im Verhältnis 1·6 : 1. Als Ursache kann zum Teil die zylindrische Abdrehung der Räder des «Shayo-sha» angenommen werden, denn im übrigen waren die Verhältnisse der Experimente so ziemlich gleich und war auch der «Kyokuyo-sha» direkt an die Maschine gekuppelt.

Seitliche Schwingungen in Kurven.

Wenn die Wagen eines Eisenbahnzuges mit großer Geschwindigkeit durch eine Geleisekurve geführt werden, so erleiden sie am Anfang und Ende dieser Kurve jedesmal einen heftigen Stoß. Die diesbezüglich aufgenommenen Tabellen zeigen, daß beide Stöße ungefähr gleich sind, wenn die Kurve durch einen kreisförmigen Bogen gebildet ist, an den sich an beiden Enden tangentielle Ausläufe anschließen. Im übrigen sind die Erschütterungen sowohl von der Geschwindigkeit der Fahrt wie von dem Radius der Kurve beeinflußt und wird in den Tabellen dieser Einfluß ziffernmäßig dargestellt durch einen Wert K , der sich aus folgender Formel ergibt:

$$K = \frac{\text{Geschwindigkeit in Meilen per Stunde}}{\text{Radius der Kurve in «chains»}.^1}$$

Im folgenden soll einiges Bemerkenswerte aus den erwähnten Tabellen angeführt werden:

Kurven von 80 chains Radius: die mittleren Schwankungen sind nicht besonders groß. Der größte Ausschlag ($2a$) für Geschwindigkeiten zwischen 29 und 45 Meilen per Stunde war 35 mm. In einem von 4 beobachteten Fällen, in welchen die Geschwindigkeit 48 Meilen betrug, wurde ein Maximalausschlag von 110 mm erreicht, in den andern drei Fällen betrug er zwischen 48 und 63 mm. Kurven von 60 chains Radius: $2a$ bei Geschwindigkeiten zwischen 34 und 49 Meilen wechselt von 21 bis 90 mm. Kurven von 40 chains Radius: Der Kurveneffekt bei Geschwindigkeiten unter $23\frac{1}{2}$ Meilen war praktisch gleich Null, für Geschwindigkeiten zwischen 24 und 30 Meilen variiert $2a$ zwischen 29 und 69 mm. Große Doppelausschläge über 100 mm traten erst bei einer Geschwindigkeit von 37 Meilen auf. Für Geschwindigkeiten zwischen 37 und 53 Meilen war das Max. $2a = 152$ mm.

Kurven mit Radien von 30 bis 25 chains: Große Erschütterungen von 100 mm schon bei 30 Meilen Geschwindigkeit. Max. $2a = 164$ mm bei $49\frac{1}{2}$ Meilen.

Kurven mit Radien von 22 bis 20 chains: In zwei Fällen, in welchen die Geschwindigkeit 22 resp. 23 Meilen betrug, war kein plötzlicher Stoß durch die Kurve hervorgerufen. In den übrigen achtzehn Fällen, in welchen die Geschwindigkeit zwischen 29 und 51 Meilen wechselte, war das Min. $2a = 109$ mm, das Max. $2a = 165$ mm.

Kurven von 16 chains Radius: Es liegen nur zwei Beobachtungen vor. Die erste Kurve wurde mit 47 Meilen, die zweite mit 48 Meilen Geschwindigkeit durchfahren und betrug die respektiven Ausschläge 116 und 122 mm.

Aus der ganzen Zusammenstellung ist zu ersehen, daß die Kurven von 60 bis 80 chains Radius mit einer einzigen Ausnahme während aller aufeinanderfolgenden Geschwindigkeiten keine größeren seitlichen Schwankungen

¹ 1 chain (engl. Längenmaß) = 20·12 m.

als 100 mm hervorriefen, daß aber andererseits die Schwankungen in den Kurven von 16 bis 22 chains Radius bei Geschwindigkeiten über 29 Meilen per Stunde immer 100 mm überschritten.

Wenn die seitlichen Schwankungen nach den steigenden Werten von K zusammengestellt werden, so lassen sich für $2a$ Mittelwerte finden, und zwar für die Hinfahrt:

$K = 0.54;$	$2a = 36$	mm
» = 0.91	» = 63	»
» = 1.06	» = 76	»
» = 1.30	» = 86	»
» = 1.68	» = 119	»
» = 2.11	» = 138	»

Im Mittel $K = 1.27$ $2a = 86.3$ mm und daraus $2a = 68 K$

Für die Rückfahrt:

$K = 0.56;$	$2a = 45$	mm
» = 0.83	» = 46	»
» = 1.05	» = 50	»
» = 1.15	» = 90	»
» = 1.48	» = 93	»
» = 2.40	» = 129	»

Im Mittel $K = 1.25$ $2a = 75.6$ mm und daraus $2a = 60 K$

oder im Durchschnitt $2a = 64 K$, d. h.

$$2a = 64 \times \frac{\text{Geschwindigkeiten (in Meilen)}}{\text{Radius der Kurve (in chains)}}$$

Diese ungefähre Formel entspricht natürlich nur dem «Shayo-sha» oder dem gewöhnlichen Wagen ohne Truckgestelle, dessen Räder zylindrische Reifen tragen. Beobachtungen dieser Art mögen zur Aufklärung der Ursachen von Entgleisungen nützlich sein.

Seitliche Schwankungen, hervorgerufen durch Wechsel.

Die Expreszüge, in welche der «Shayo-sha» eingereiht war, passierten einige der Stationen in der Probestrecke mit großen Geschwindigkeiten, welche mit Ausnahme von zwei Fällen mehr als 30 Meilen betrug und deren höchste 48.5 Meilen per Stunde war.

Die Wechsel der Sanyo-Eisenbahn haben die Bezeichnungen 8 und 10, welche den Kreuzungswinkeln von 8° und 10° entsprechen.

Der durchschnittliche einfache Ausschlag a beim Passieren der Wechsel mit Geschwindigkeiten zwischen 27 und 39 Meilen variierte von 44 mm bis 180 mm. Einige der stärksten seitlichen Bewegungen, welche auf diese Art hervorgerufen wurden, sind folgende:

Station	Geschwindigkeit Meilen/Stunden	Seitliche Schwankungen			Maximale Beschleunigung mm./Sek. ²
		in mm		Sek.	
		a	2 a	T	
Tatsumo . . .	32 ¹ / ₂	—	148	1·9	80
Hoden	48 ¹ / ₂	—	102	1·9	560
Hoden	48 ¹ / ₂	—	94	1·3	1100
Tsuchiyama .	33	62	132	2·7	360

Es scheinen also diese durch Wechsel hervorgerufenen seitlichen Stöße größer zu sein, als die durch Kurven veranlaßten Bewegungen, doch werden weitere Messungen mit verbesserten Instrumenten nötig sein, um diese Erschütterungen und ihre weiteren Folgen zu beurteilen.

Diese vorliegende Arbeit des verdienstvollen japanischen Forschers ist noch mit einem ungeheuren Material von Tabellen und Diagrammen ausgestattet, welches hier wiederzugeben natürlich der Raum fehlt, aus welchem sich aber gewiß noch manche beachtenswerten Schlüsse in dieser auch von mehreren europäischen Bahnen gegenwärtig studierten Angelegenheit ziehen lassen würden. Leider vermeidet es der Autor geradezu peinlich, selbst irgend welche praktischen Resultate seiner Beobachtungen mitzuteilen und beschränkt sich lediglich auf theoretische Ziffern. Zur richtigen Beurteilung wäre aber nötig, den Zustand der Bahn sowie der Fahrbetriebsmittel, von welchen diese Ziffern erhalten wurden, zu kennen.

Narodna in univerzitetna
knjižnica

• NUK



00000447071



