

Der Klang alter (2-Takt-)Motorräder – Teil IV

Udo Wagner¹, Peter Holstein², Maik Gollnick³, Daniel Herfert³, Peter Bogatikov³

¹Microtech Gefell GmbH, 07926 Gefell, E-Mail: u.wagner@microtechgefell.de

²Steinbeis Transferzentrum Technische Akustik und angewandte Numerik, E-Mail: peter.holstein@stw.de

³GFaI, Gesellsch. z. Förd. angewandter Informatik e. V., Volmerstrasse 3, D-12489 Berlin, Herfert@gfai.de

1. Einleitung

Die zum 50. Jubiläum der DAGA begonnene Serie zur akustischen Untersuchung „alter“ Motorräder (vorwiegend 2-Takter) wollen wir mit einem vierten Teil fortsetzen. Wir versuchen die Bandbreite der Akustik der alten Technik wenigstens zum Teil zu beschreiben und zu archivieren.

Neben den rein akustischen Auswirkungen, die im Wesentlichen durch den Motor und die Ansaug-Abgasanlage dominiert werden, wird die gesamtheitliche Akustik (und Vibration) natürlich auch durch die mechanische Konstruktion, die Verbindungsqualität innerhalb der Konstruktion und die im Laufe der Zeit aufgetretenen Verschleißerscheinungen bestimmt.

Im Beitrag werden deshalb Untersuchungen an repräsentativen Rahmen von 2-Taktfahrzeugen vorgestellt. Die Daten werden dabei mit High-Speed-Kameras aufgenommen. Die Rahmen werden mit verschiedenen Methoden angeregt. Zusammen mit bildgebenden akustischen Methoden entstehen so interessante Abbilder technischer-historischer Aspekte.

In diesem Jahr konzentrieren wir uns auf die Darstellung der Schwingungseigenschaften von Komponenten (insbesondere des Rahmens).

Die mechanischen Eigenschaften der alten Konstruktionen variierten stark. „Damals“ auftretende Probleme im Einsatz waren mit den Mitteln ihrer Zeit kaum bewertbar.

Die akustischen Untersuchungen (bisher 3 Teile: DAGA 2021, 22, 23 [1, 2, 3]) wurden fortgesetzt, werden aber in diesem Beitrag nicht behandelt. Wir betrachten die „alten“ Motorräder als wichtigen und interessanten Teil der Technikgeschichte. Viele Enthusiasten und Liebhaber pflegen die Maschinen über einen längeren Zeitraum, als er ursprünglich für die Lebenszeit vorgesehen war. In den ersten Jahrzehnten der Motorradentwicklung gab es eine große Vielfalt an konstruktiven Ideen und Modellvarianten, die eine große Verbreitung erfuhren. Insbesondere die auf relativ einfachen Zweitaktmotoren beruhenden Fahrzeuge wurden in hohen Stückzahlen verkauft und sind deshalb heute auch noch in ausreichender Anzahl von Exemplaren (für „unser Motorradprojekt“) vorhanden. Der Motoren- und Auspuffklang sowie das „Geklapper“ der Konstruktionen waren für die Soundlandschaft lange Zeit mitbestimmend.

2. Motivation

Neben den rein akustischen Eigenschaften interessiert uns auch das Schwingungsverhalten der alten Motorräder. Der Grund ist offensichtlich: Wir betrachten die älteren

Fahrwerkskonstruktionen als Meilensteine auf dem Weg zum heutigen High-Tech-Stand. Diese waren noch nicht (vollkommen) ausgereift. Material- und Rohstoffprobleme der damaligen Zeit mussten bewältigt werden. Vielfach wurde (nur) aus der Erfahrung heraus konstruiert. Die Berechnungen waren einfach und in der Regel nur auf statische Belastungen ausgelegt. Methoden wie FEM oder generell die IT-Möglichkeiten gab es nicht. Das Funktionieren konstruktiver Ideen konnte eigentlich nur am fertigen Motorrad überprüft werden. Umso beeindruckender waren Qualität und Funktionssicherheit bereits in den frühen „Motorradjahrzehnten“

Motivation für die Untersuchungen an den Rahmen waren wiederholt auftretende Rahmenfehler bei den (in den Vorgängerbeiträgen vorgestellten) Zweitaktmaschinen von Typ MZ RT 125/2/3.

Sowohl Fahrdynamik, Vibrationen (auch auf den Fahrer übertragene) als auch einige akustische Eigenschaften werden von der Rahmenkonstruktion bzw. vom Zustand des Rahmens beeinflusst.

Dort traten Rahmenrisse am senkrechten Rohr direkt über der hinteren Motoraufhängung auf. Offensichtlich trat dies durch die dynamische Belastung im Einsatz auf.

Auch an anderen Typen gab es Probleme am kastenförmigen Rahmenteil. Beispielsweise gab es am 50 cm³-Fahrzeug SR2 Risse des Rahmens nahe der Stelle, die Hinterradaufhängung mit trägt. Das Problem konnte konstruktiv nicht ohne weiteres beseitigt werden. Stattdessen gab es Schweißanleitungen für Vertragswerkstätten.

Der Fehler bei der MZ RT 125 wird vom „Laien“ oft auf „zu schwere Fahrer“ zurückgeführt. Dies ist aber durch eine statische Krafteinleitung von oben auf das fast senkrecht stehende Rahmenrohr nicht erklärbar. Die Rissbildungen beim SR 2 hingegen sind (wahrscheinlich) doch eher auf zu schwere statische Belastung zurückzuführen („Auseinandergrätschen des Fahrgestells“).

Für die Untersuchungen wurden zwei für den Klassik-Rennbetrieb verwendete und leicht modifizierte Rahmen verwendet. Wenn die gleichen „getunten“ Motoren verwendet wurden, sind die in der Serie bekannten Risse aufgetreten und haben Probleme verursacht.

Auswirkungen von Rissen an Rahmen:

Bei gerissenem Rahmen war die Schwingung in der Motorlängsachse, also rechtwinklig zu dem betreffenden recht dünnwandigen Rahmenrohr, bei Resonanz kurz über

Leerlaufdrehzahl deutlich sichtbar. Während desfahrens beim Durchlaufen dieser Drehzahl - sowohl beim Beschleunigen, als auch im Schiebetrieb - war dies durch deutliches Schütteln spürbar.

Vermutung auf Basis der traditionellen Bewertungen:

Beim getunten Motor wurden die Kurbelwellenhubscheiben von außen her ringförmig um ca. 8 mm im Durchmesser verringert. Dies erreichte ein schnelleres Hochdrehen und eine spritzigere Gasannahme. Weiterhin wurde die Resonanzdrehzahl für die Maximalleistung gesteigert, während der körperliche Anteil der Gegengewichte für die Kolbenbewegung, der weiter innen liegt, unberührt gelassen wurde. Der entstehende größere Hohlraum im Kurbelgehäuse wurde durch feststehende Verdrängerringe ausgeglichen. So erfolgt offenbar die Schwingungskompensation (1. Ordnung) der Auf- und Abbewegungen des Kolbens und Pleuels noch ähnlich gut wie in der Serie. Jedoch arbeiten in der Serienausführung die Kurbelwellenausgleichsgewichte in horizontaler Richtung gegen die ringförmige umlaufende Masse, die in dem speziellen Falle verringert wurde. So sind die Kräfte weniger ausgeglichen, die senkrecht auf das senkrechte Rahmenrohr wirken.

Das Problem liegt offenbar nicht im hohen Drehzahlbereich, sondern bei relativ niedriger Drehzahl, die im Serienbetrieb auch wesentlich öfters vorkommt. Dort ist die entsprechende Schwingungskomponente zwar besser kompensiert, aber die Wahrscheinlichkeit des Rahmenrisses steht in Bezug zum Auftreten der entsprechenden Drehzahl.

Bei zwei Rahmen wurden die Risse ausgeschliffen, sparsam verschweißt und darüber Verstärkungsbleche punktweise angeschweißt, so dass keine durchgehende Sollbruchstelle infolge von Materialverhärtung beim Schweißen auftreten kann. Seit fast 10 Jahren hat sich dies mit dem getunten und einem anderen Motor problemlos bewährt.

Es wäre interessant zu diskutieren, wie die Konstrukteure von „damals“ mit Hilfe von moderner Messtechnik und unter Zuhilfenahme von Simulationen die Auslegung hätten verbessern können. Diese Frage ist natürlich heute nicht komplett zu beantworten.



Abbildung 1, IFA DKW RT 125, Rennausführung (links) und Straßen-RT (originale Betriebsanleitung von 1959), [1]



Abbildung 1, Ausbebaute Rahmen, Die Rahmen sollen für einen Neuaufbau eingesetzt werden

3. Messungen

Grundlage der Analyse der Videodaten war die Bestimmung des dichten optischen Flusses.

Mit den Daten aus dem optischen Fluss können Schwingungen kontaktlos mit einer Hochgeschwindigkeitskamera gemessen werden. Die Auswertung kann im Zeit- und Frequenzbereich erfolgen.

Mit den optischen Methoden lassen sich Zusammenhänge wesentlich besser darstellen. Insbesondere sind die darauf beruhenden Darstellungen des Systemverhaltens auch für „interessierte“ Motorradnutzer auch ohne Vorkenntnisse (ähnlich wie die Darstellungen der Schallabstrahlung mittels akustischer Kamera).

Der optische Fluss entsteht in Videosequenzen bewegter Bilder. Aus der Geschwindigkeit (identifizierbarer) Punkte wird ein zeitabhängiges Vektorfeld erzeugt, das in eine Bildebene projiziert wird. Dies kann entweder unter Verwendung „weniger“ repräsentativer Punkte oder auch unter Verwendung aller Bilddaten realisiert werden. Letzteres ist natürlich rechenaufwendiger. Da der optische Fluss die Bewegung von Objekten widerspiegelt, kann daraus auf das Schwingungsverhalten geschlossen werden [4].

Zunächst muss die Strukturantwort aus den Videodaten extrahiert werden, Jeder einzelne Videodatenpunkt wird damit sozusagen ein Messpunkt für Vibration. Visuell sind die Vibrationen nicht sichtbar. Für Optical-Flow-Daten wurde ein neuer Algorithmus (Optical Flow High Resolution) entwickelt, der nahezu komplett auf zusätzliche Speckle-Muster verzichtet und keinerlei weitere Vorbereitungen des Messobjektes benötigt. Die Methode ist sehr sensitiv bezüglich der Auslenkung und kann damit auch für sehr unterschiedliche Fragestellungen des Schwingungsverhaltens eingesetzt werden.

Damit bietet sich eine Methode an, die berührungslos größere Flächen an Bauteile erfassen kann. Das Bauteil wird dabei (ähnlich wie bei Vibrometern) nicht mit einer Sensormasse „belastet“. Jeder Bildpunkt ist sozusagen ein Sensor.

Es wurden Rahmenschwingungen von zwei Messobjekten untersucht:

Rahmen RT 125 (Serie)

- (1) ohne hintere Federbeine (1957)
- (2) mit Federbeinen (1959)

Für die Anregung wurden verschiedene Methoden gewählt (Abb. 3-6).

- frei hängender Rahmen – Anregung mittels Impulshammer

- Stehender (geklemmter) Rahmen – Anregung mittels geregelter Impulshammer (Wave-Hit / GFaI)
- Stehender (geklemmter) Rahmen - Anregung mit Shaker (Modalshaker TMS K2007E01)

Für die im Labor durchgeführte Messungen war es sinnvoll mit zusätzlicher Beleuchtung zu arbeiten (Aputure Amaran 200d + Godox SL60W, mit Diffusoren). Die Aufnahmen erfolgten in einem Messwinkel von ca 45°

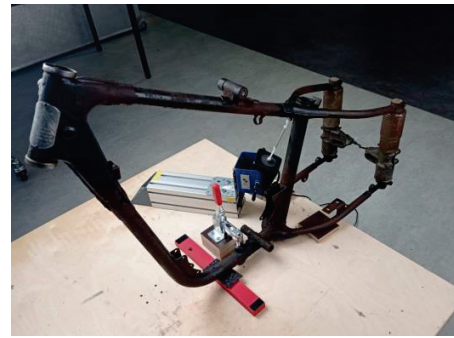


Abbildung 6, Anregung mit Modalshaker



Abbildung 3 freie Rahmenaushängung, Anregung durch Impulshammer



Abbildung 4, freie Rahmenaushängung, Anregung durch Impulshammer



Abbildung 5, Ausleuchtung für die Messungen des optischen Flusses

Der optische Fluss wurde aus den mit einer Chronos 2.1-HD High Speed Camera gemessenen Videodaten extrahiert. Die Framerate betrug 1000 fps bei einem Messabstand von 2m.

Die Daten können natürlich auch genutzt werden um das Vibrationsverhalten zu animieren und damit auch eine Darstellungsform bereitzustellen, die für an der alten Motorradtechnik Interessierte viel leichter und eindrucksvoller zugänglich ist.

Die Visualisierung der Schwingungsmoden (ODS – Operational deflection shapes) (Abb. 7) erlaubt es, bestimmte Besonderheiten der damaligen Konstruktionen zu verstehen.

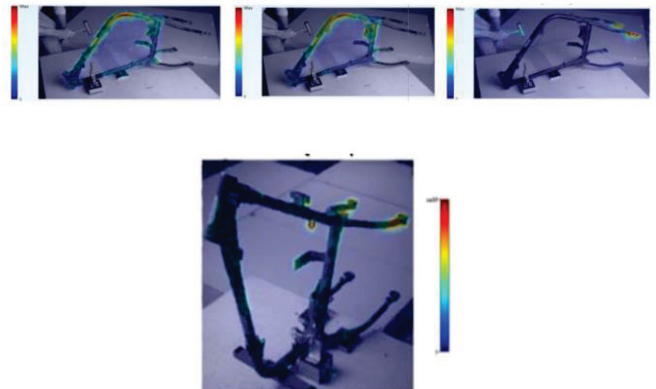


Abbildung 7: Untersuchungen der Betriebsschwingformanalyse (ODS – von links: ODS 3 $f=35,5$ Hz / 61,4 Hz / 73,5 Hz, unten ODS 4 127,2 Hz)

Zusammenfassung und Ausblick

Unsere Messungen zeigen, dass fortgeschrittene Methoden der Akustik (insbesondere die „bildgebenden“) Verfahren in besonderer Weise auch zur Vermittlung gesamtheitlicher Betrachtungsweisen von Akustik und Vibrationen geeignet sind. Die Einbeziehung einer größeren Zahl von Motorradkonstruktionen kann vor allem dann erfolgen, wenn die Messungen auch außerhalb des Labors durchgeführt werden kann. Mit geeigneter mobiler Technik (beispielsweise über eine Datenerfassung mittels hochwertige Handykameras) könnten entsprechende Daten auch „vor Ort“ aufgenommen und bereitgestellt werden.

Es sei nochmal an das Ziel der Untersuchungen erinnert, die Ergebnisse sowohl fach- als auch populärwissenschaftlich aufzubereiten.

Danksagung

Inzwischen unterstützen viele unser Vorhaben. Es ist erstaunlich, wie viele sich daran erinnern, selbst mal Motorradbegeisterte gewesen zu sein und das diese Begeisterung eigentlich nur „versteckt“ ist.

Literatur

- 1 Wagner, U., Domke, M., Holstein, P., Kleemann, J., Neugärtner, J., Der Klang alter Zweitakt-Motorräder – Teil 1, Hannover, DAGA 2020, Fortschritte der Akustik Nr. 46, ISBN: 978-3-939296-17-1,
- 2 Wagner, U., Holstein, P., Domke, M., Holstein, P., Neugärtner, J., Kleemann, J., Günther, S. Der Klang alter Zweitakt-Motorräder –Teil 2, Wien, Daga 2021, Fortschritte der Akustik Nr. 47
- 3 Wagner, U., Holstein, P., Herfert, D. Gollnick, M., Neugärtner, J., Domke, M., Kleemann, J., Stuttgart 2022, DAGA 2022, Fortschritte der Akustik Nr. 48, ISBN: 978-3-939296-17-1,
- 4 Urban, M., Herfert, D., Gollnick, M. WaveImage – Order ODS for Rotating Machineries. 39th International Modal Analysis Conference Orlando, 2021