

„Eek-Noise“ – ein komplexes Geräuschphänomen moderner PKW-Kupplungssysteme

Carsten Mohr, Andreas Anstatt, Andreas Kiesel

LuK GmbH & Co oHG, Industriestraße 3, 77815 Bühl, Email: Carsten.Mohr@luk.de

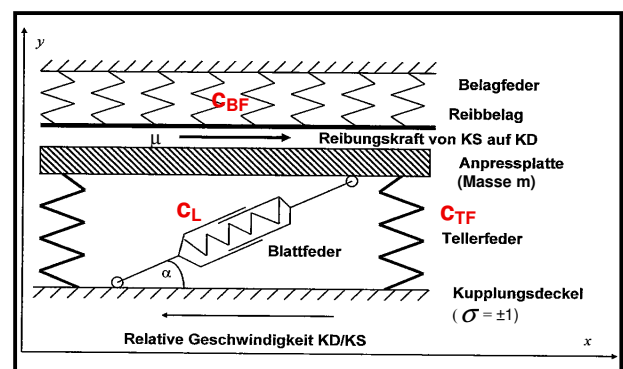
Als Eek-Noise wird ein dumpfes Heulgeräusch bezeichnet, dessen Frequenz üblicherweise im Bereich zwischen 300 – 500 Hz liegt und welches bei Fahrzeugen mit Schaltgetriebe in der trockenen Anfahrkupplung entstehen kann.

Zur genaueren Untersuchung der möglichen Einflussparameter wurde ein spezieller Prüfstand aufgebaut, auf dem das Geräuschphänomen eindeutig reproduzierbar nachgestellt werden konnte. Durch Kupplungsaufbauten mit verschiedenen Blattfeder-Konfigurationen und resultierend unterschiedlichen Steifigkeiten sowie verschiedenen Belagfeder-Segmenten konnte gezeigt werden, dass zum Auftreten des Eek-Phänomens stets die Kombination einer bestimmten Blattfeder-Steifigkeit mit einer gewissen Last – somit mit einem gewissen Einrückweg der Kupplung – notwendig ist. Über die Belagfeder-Kennlinie konnte diesem ermittelten Einrückweg eine bestimmte Belagfeder-Steifigkeit zugeordnet werden, welche in axialer Richtung die Schwingung der Anpressplatte bestimmt. Anhand eines Gedankenmodells wurde das Zusammentreffen einer durch die Blattfeder bestimmten Torsions-Eigenfrequenz mit einer durch die Belagfeder bestimmten Axial-Eigenfrequenz der Anpressplatte als Ursache für das Eek-Geräusch ermittelt. Gezielte Parameter-Variationen dieser beiden Steifigkeiten bestätigten diese Theorie experimentell, indem der Betriebspunkt, in welchem es zum Eek-Geräusch kommt genau vorhergesagt werden konnte.

Mit dieser Erkenntnis wurde in einer Vielzahl von Fahrzeug-Versuchen die mögliche Einflussnahme auf das Eek-Geräusch untersucht. Im Gegensatz zu den Prüfstandsmessungen lieferten diese Versuche sehr unterschiedliche Ergebnisse. Während bei einzelnen Fahrzeug-Modellen entsprechend den Prüfstandversuchen der Kupplungsdeckel mit seinen Blattfedern und der Anpressplatte als Haupteinfluss-Parameter ermittelt werden konnte, zeigten andere Fahrzeug-Messungen sogar das Eek-Geräusch bei vollständig ausgebauten Blattfedern.

Resultierende Einflussparameter bei den Fahrzeugversuchen waren neben dem bereits genannten Kupplungsdeckel auch der Aufbau des Schwungrads, die Kupplungsscheibe, der Torsionsdämpfer sowie zunächst das hydraulische Ausrücksystem. Zu dessen Untersuchung wurde ein spezieller Hydroschaker entwickelt, der über einen Piezo-Stack eine Wegamplitude und über einen nachgeschalteten Hydraulikzylinder eine Ölverdrängung erzeugt und somit eine Anregung des Hydrauliksystems ermöglicht. Die für die verschiedenen Einrückwege gemessenen hydraulischen Übertragungsfunktionen zeigten zwar eine resonante Überhöhung im interessierenden Frequenzbereich, doch konnte diese schließlich nicht ursächlich mit dem Eek-Geräusch in Verbindung gebracht werden.

Anhand mathematischer Modellbeschreibungen können zwei unterschiedliche Mechanismen als mögliche Ursache für die Schwingungen der Anpressplatte angeführt werden. Die in Abbildung 1 gezeigte erste Modellbeschreibung geht von einer kinematischen Kopplung der Axial- und Torsionsmode aus. Diese Kopplung der sog. In-Plane- und Out-of-Plane-Mode ist recht verwandt zu einer häufig auch für das Phänomen des Bremsen-Quietschens herangezogenen Modellierung und führt zur Ableitung zweier Stabilitätskriterien. Während das erste Stabilitätskriterium im Falle der Instabilität lediglich zum sofortigen Schließen der Kupplung führen würde, liefert das zweite Kriterium für den instabilen Fall eine starke Schwingung der Anpressplatte. Insbesondere bei großen Kupplungen mit schweren Anpressplatten erscheint dieser Mechanismus als Eek-Verursacher plausibel.



→ 2 Stabilitätskriterien:

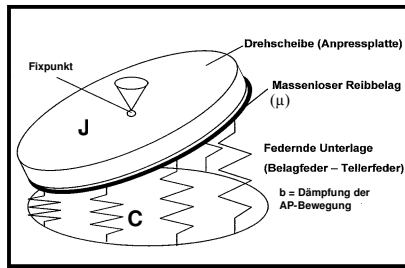
$$\cos \alpha \cdot (c_{BF} - c_{TF}) + \mu \cdot \sigma \cdot c_{BF} \cdot \sin \alpha > 0$$

$$4 \cdot m^2 \cdot \mu \cdot \sigma \cdot c_L \cdot c_{BF} \cdot \sin \alpha < (c_{BF} - c_{TF} - c_L)^2$$

Abbildung 1: Mathematische Modellbeschreibung für gekoppelte Schwing-Moden der Anpressplatte

In der zweiten mathematischen Modellierung wird wie in Abbildung 2 gezeigt die Kipp-Instabilität einer drehenden Scheibe auf einer elastischen Reibunterlage als Ausgangsbasis herangezogen. Auch hier kann ein Stabilitätskriterium abgeleitet werden, welches je nach auftretendem Reibkoeffizienten und wirksamer Dämpfung der Kippbewegungen in Abhängigkeit von verschiedenen Systemgrößen zu einer Instabilität und damit zu starken Schwingungen der Anpressplatte führt.

Insbesondere für Applikationen mit kleiner Kupplungsgeometrie und damit leichten Anpressplatten könnte dieses Kriterium in Verbindung mit steifer Belagfederung die Entstehung des Eek-Phänomens erklären.



→ Stabilitätskriterium:

$$\mu < \frac{b}{h \cdot \sqrt{\pi \cdot C \cdot J}}$$

Abbildung 2: Mathematische Modellbeschreibung auf Basis der Kippinstabilität für die Entstehung der Schwingungen der Anpressplatte

Mittels experimenteller Modalanalyse wurden durch Anregung der Anpressplatte an 24 Positionen und triaxialer Sensorik die Schwingformen der Anpressplatte bestimmt. Diese Modal-Untersuchung wurde zunächst im Fahrzeug bei verschiedenen Einrückwegen durchgeführt. Speziell bei der Einrückposition, in der das Eek-Phänomen auftritt, konnte die Theorie der Moden-Kopplung nachgewiesen werden. In Abbildung 3 sind die Übertragungsfunktionen der Anpressplatte für diesen betreffenden Einrückweg dargestellt und man erkennt deutlich die im interessierenden Frequenzbereich liegende Axial-Schwingform, die sowohl bei axialer als auch bei tangentialer Anregung auftritt.

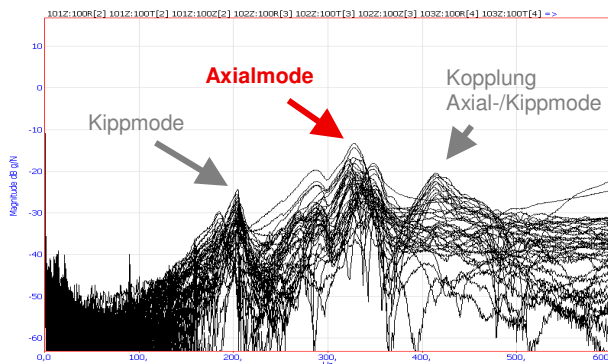


Abbildung 3: Im Fahrzeug gemessene Übertragungsfunktionen der Anpressplatte im Betriebspunkt des Eek-Phänomens

Aus den durchgeführten Prüfstands- und Fahrzeugversuchen lässt sich zusammenfassend feststellen, dass es völlig unterschiedliche Mechanismen gibt, die zum Auftreten des Eek-Phänomens führen können.

Mögliche Anregungs-Mechanismen sind:

- Stick-Slip-Effekte aus der Reibpaarung
- Drehungleichförmigkeiten vom Motor
- Axialschwingungen (z.B. der Kurbelwelle)

In den durchgeführten Versuchen konnte häufig das Auftreten einer selbsterregten Schwingung beobachtet werden, doch auch die o.g. Kopplung von In-Plane- und Out-of-Plane-Moden wurde festgestellt. In Einzelfällen konnte auch die Kopplung zweier Kippmoden festgestellt werden, die aufgrund unvollständiger Rotationssymmetrie eng benachbart lagen, was sich in den noch ungefilterten Rohdaten in Form einer scheinbaren Taumelbewegung der Anpressplatte äußert.

Gemeinsamkeit dieser unterschiedlichen Mechanismen ist jedoch die starke Schwingung der Anpressplatte, so dass eine allgemeingültige Abhilfemaßnahme darauf abzielen muss, diese Schwingungen zu reduzieren.

Im vorliegenden Fall wurde zu diesem Zweck eine sog. Reibbügel-Kupplung entwickelt, bei der ein spezieller Reibbügel die Bewegungen der Anpressplatte durch Reibung am Kupplungsdeckel bedämpft.

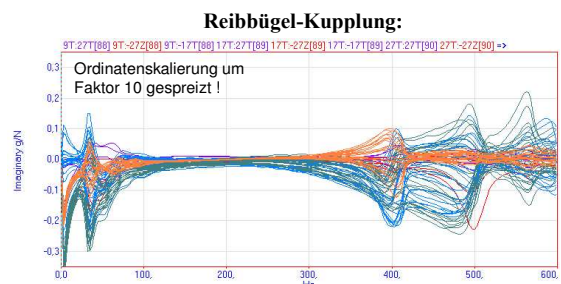
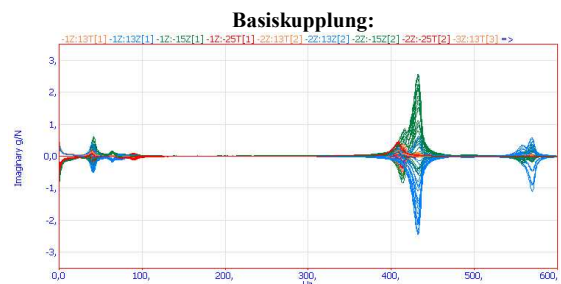


Abbildung 4: Imaginärteile der gemessenen Übertragungsfunktionen für die Basis- und die Reibbügel-Kupplung

In Abbildung 4 sind als Ergebnis der experimentellen Modalanalyse die Imaginärteile der Übertragungsfunktionen der Anpressplatte für die Basis-Kupplung und die Reibbügel-Kupplung einander gegenüber gestellt. Die Ordinatenskalierung bei der Reibbügel-Kupplung wurde dabei zur Verdeutlichung um den Faktor 10 gespreizt. Deutlich sind die wirksamen Dämpfungen in den verschiedenen Schwingformen zu erkennen, was zu einer Reduzierung der Amplitude der relevanten Axialmode um über 90% führt. Im vorliegenden Fall konnte damit das Auftreten des Eek-Phänomens verhindert werden.