

Typ- und Einzelprüfung von Hammerwerken in der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt

Sylvia Stange-Kölling, Volker Wittstock

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, sylvia.stange-koelling@ptb.de

Einführung

Aus metrologischer Sicht stellen Trittschallhammerwerke Gebrauchsnormale dar, die eine definierte Anregung horizontaler Bauteile ermöglichen. Zur Sicherstellung einer einheitlichen Bauteilanregung werden eine Vielzahl von Anforderungen an Hammerwerke gestellt.

An der PTB werden diese Anforderungen im Rahmen von Typ- oder Einzelprüfungen überprüft. Die Durchführung der Prüfungen unterliegt im Rahmen des Qualitätsmanagements einer ständigen Kontrolle und wird auf Basis vorliegender Daten regelmäßig überprüft.

Anforderungen der Norm

Die Anforderungen an ein Hammerwerk sind in der Norm ISO 10140-5 [1] dargelegt. So verlangt die Norm z.B. ein automatisch angetriebenes Hammerwerk mit fünf Hämmer in einer Reihe, im Abstand von 100 mm zueinander angeordnet. Diese Anforderungen an die Konstruktion des Hammerwerkes sind teilweise sehr konkret, Sollwerte und Toleranzbereiche sind vorgegeben. Ziel der Toleranzgrenzen ist es, die Unsicherheit der in die Decke eingebrachten Leistung auf 0,2 dB zu begrenzen. Allerdings lässt die Norm in einigen Punkten durchaus einen Interpretationsspielraum. Insbesondere die Durchführung der Prüfung beschreibt die Norm nur wenig detailliert. Diese Tatsache bewirkt, dass durch unterschiedliche Verfahren der Prüflabore unter Umständen abweichende Aussagen über die Normkonformität einzelner Hammerwerke getroffen werden.

Datengrundlage zur Betrachtung der Prüfgrößen

Den folgenden Betrachtungen einzelner Prüfgrößen liegen die Ergebnisse von etwa 130 Hammerwerksprüfungen aus 20 Jahren zugrunde. Für die einzelnen Prüfgrößen ergibt sich daraus eine Datenmenge von 650 (Masse der einzelnen Hämmer) bis 6500 Einzelwerten (Schlagfolgeintervall und Fallgeschwindigkeit). Diese Daten werden statistisch ausgewertet und lassen einen Blick auf typische Fehlerquellen zu. Durch diese Auswertungen lässt sich abschätzen, welche Prüfgrößen stabil sind und wo eine regelmäßige Überprüfung notwendig ist. Einige dieser Prüfgrößen werden im Folgenden näher erläutert.

Durchführung der Messungen

Die mechanischen Größen werden mit üblichen Messmitteln wie Messschieber, Sphärometer und Präzisionswaagen statisch bestimmt. Für einen Teil der Anforderungen ist die Prüfung im Betriebszustand, also bei eingeschaltetem Hammerwerk sinnvoll. Diese Größen werden mittels eines Laservibrometers (Bild 1) und einer verifizierten Auswertesoftware ermittelt.



Bild 1: Messung mit Laservibrometer

Der Laser wird der zu messenden Größe entsprechend entweder auf die Prüfplatte oder auf die Oberseite der einzelnen Hämmer ausgerichtet.

Prüfgröße Krümmungsradius der Schlagfläche

Die Schlagfläche des Hammers muss eine Rundung aufweisen. Der geforderte Radius beträgt $500 \text{ mm} \pm 100 \text{ mm}$. Die Messung erfolgt mit einem Sphärometer an drei beliebigen Punkten auf der Schlagfläche. Die Ergebnisse sind statistisch normalverteilt mit einer leichten Verschiebung zu größeren Radien (Bild 1). Ursache für diese Verschiebung könnte eine Abnutzung und damit Abflachung der Hämmer sein.

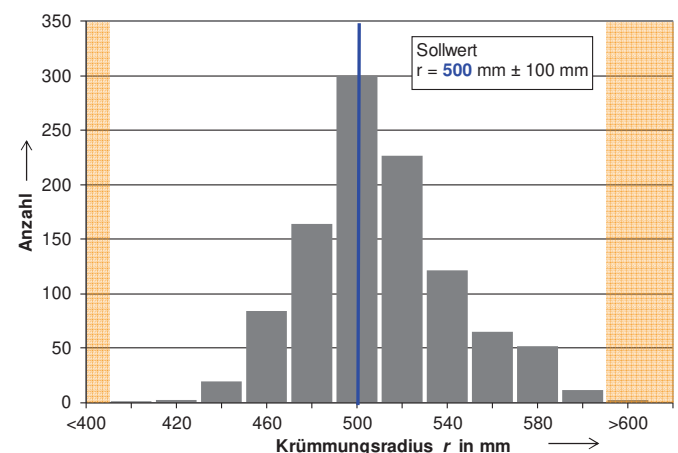


Bild 2: Messwerte des Krümmungsradius

Eine regelmäßige Überprüfung des Krümmungsradius ist notwendig, um eine entsprechenden Änderung und ggf. ein Überschreiten der Toleranzgrenzen erfassen zu können.

Prüfgröße Masse der Hämmer

Die Masse der Hämmer ist eine wenig kritische Größe, da eine Fertigung der Hämmer im geforderten Toleranzbereich technisch problemlos möglich ist.

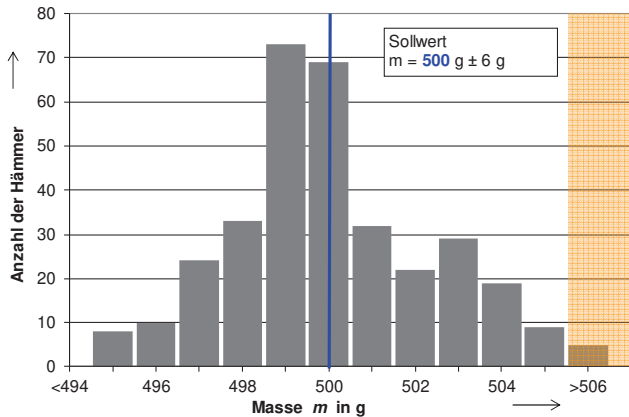


Bild 3: Messwerte der Hammermasse

Die in Bild 3 sichtbare Überschreitung der Toleranzgrenze von $500\text{ g} \pm 6\text{ g}$ ist normkonform, da die Norm hier in Kombination mit der Fallgeschwindigkeit abgestufte Toleranzbereiche zulässt (alternativ $500\text{ g} \pm 12\text{ g}$). Sinnvoll ist allerdings die Einhaltung des kleinen Bereiches für die Masse, da hierdurch für die kritischere Fallgeschwindigkeit ein größerer Toleranzbereich zur Verfügung steht.

Die Bestimmung der Masse ist grundsätzlich auch im eingebauten Zustand möglich, sollte aber im ausgebauten Zustand erfolgen, da die Ergebnisse durch einen möglichen Kontakt zur umgebenden Hammerwerkskonstruktion verfälscht werden und die Messunsicherheit unnötig erhöhen.

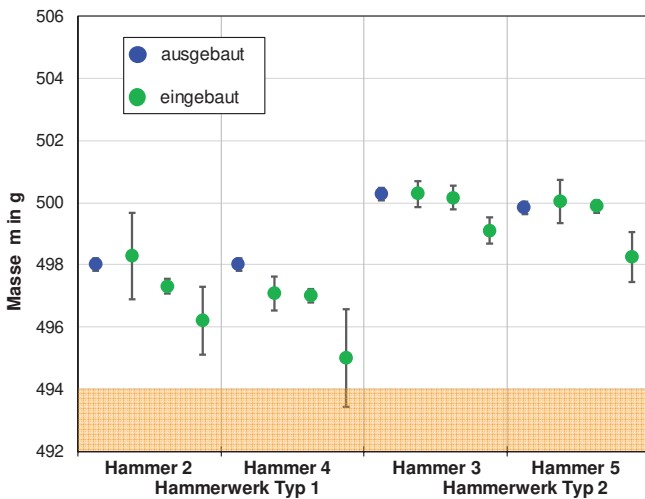


Bild 4: Wiegen der Hämmer ausgebaut und eingebaut

Bild 4 zeigt eine Messreihe, bei der eine Stichprobe von je zwei Hämmern zweier verschiedener Hammerwerkstypen zum einen im ausgebauten und zum anderen im eingebauten Zustand gewogen wurden. Die Messung im eingebauten Zustand wurde von drei verschiedenen Personen durchgeführt. Die Standardabweichung erhöht sich deutlich, es werden teilweise unrealistische Werte gemessen.

Prüfgröße Schlagfolgeintervall

Die Schlagreihenfolge der Hämmer ist durch die Konstruktion des Hammerwerkes festgelegt und in der Norm nicht vorgegeben. Die Zeit zwischen den Aufschlägen soll für Einzelschläge $100\text{ ms} \pm 20\text{ ms}$ betragen. Darüber hinaus wird die Einhaltung eines mittleren Wertes von $100\text{ ms} \pm 5\text{ ms}$ gefordert. Somit muss das Hammerwerk mit einer Schlagfrequenz von 10 Hz laufen. Für die Messung der Schlagfolgeintervalle wird das Laservibrometer auf die Prüfplatte ausgerichtet, und die in die Platte eingespeisten Impulse werden über eine Dauer von sechs Sekunden aufgezeichnet (Bild 5). Über eine Triggerung mittels Lichtschranke wird jedem Hammer das ihm folgende Intervall zugeordnet. Für die Auswertung wird das Signal geradegerichtet und mit einer Hüllkurve versehen. Die Software ermittelt dann die Signalfanken und berechnet das jeweilige Zeitintervall.

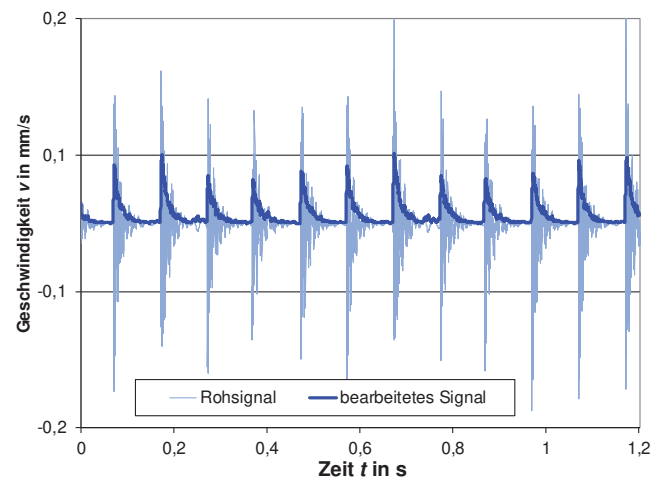


Bild 5: Ausschnitt des Schlagfolgesignals

Die Schlagfolgeintervalle sind normalverteilt und zeigen nur sehr wenige Überschreitungen der Toleranzgrenzen (Bild 6).

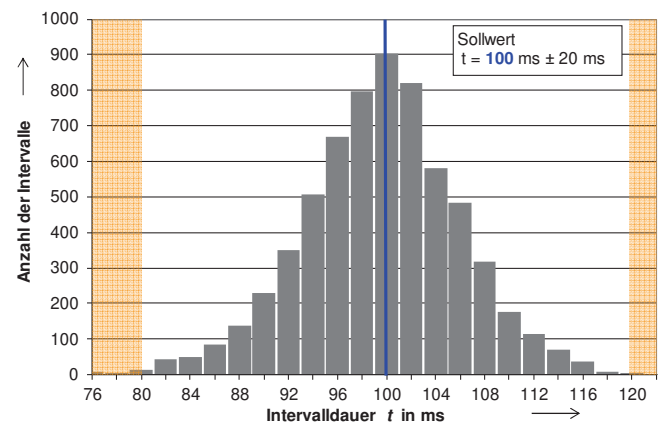


Bild 6: Ausschnitt des Schlagfolgesignals

Eine Betrachtung des ausgewerteten Signals zeigt teilweise eine Verschiebung der Intervalle zueinander (Bild 7). Die Normkonformität ist trotzdem gegeben, wenn sich die Verschiebungen ausgleichen und die Toleranzgrenzen eingehalten werden. Ursache für diese Verschiebungen sind Ungenauigkeiten in der Konstruktion der Hammerwerke.

Hammer 1	Hammer 3	Hammer 5	Hammer 2	Hammer 4
83,4	104,2	117,5	88,9	107,7
83,0	103,3	114,4	92,2	106,8
86,2	95,6	115,4	91,4	107,7
91,2	95,7	110,1	95,4	101,7
86,1	106,8	114,8	92,2	104,4
80,3	99,8	113,9	91,1	109,3
91,6	95,9	109,4	97,4	101,6
96,9	114,1	110,7	103,9	103,9
96,9	114,1	114,0	111,1	111,1
88,0	96,0	107,2	97,1	103,8
85,6	100,5	112,7	93,4	105,8
99,6 Gesamtmittelwert				

Bild 7: Beispiel eines ausgewerteten Schlagfolgesignals

Ein Zusammenhang zwischen den ungleichmäßigen Schlagfolgeintervallen und der Fallgeschwindigkeit kann ausgeschlossen werden, wenn man die auf einen Hammer bezogene mittlere Intervalldauer in Zusammenhang mit der mittleren Fallgeschwindigkeit des entsprechenden Hammers betrachtet (Bild 8).

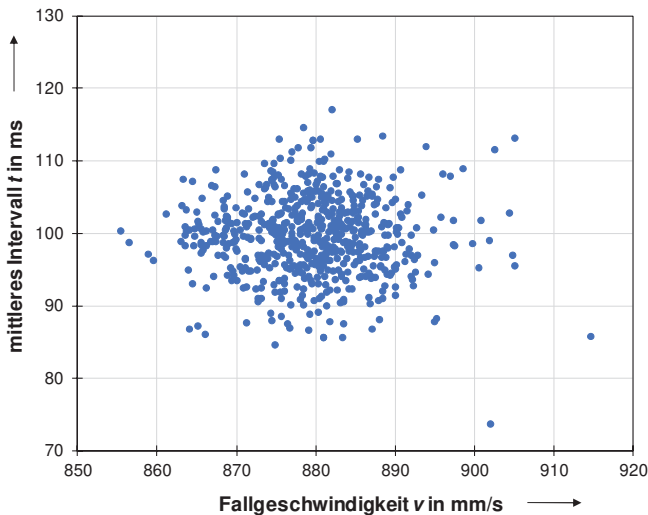


Bild 8: Schlagfolgeintervall eines Hammers über der zugehörigen Fallgeschwindigkeit

Prüfgröße Fallgeschwindigkeit

Die Norm fordert eine Sollgeschwindigkeit der Hämmer von 886 mm/s im Zeitpunkt des Aufpralls. Diese Geschwindigkeit entspricht einem idealen freien Fall aus 40 mm Höhe. Um Reibungsverluste des realen Fallverlaufs auszugleichen, erlaubt die Norm eine Vergrößerung der Fallhöhe. In der Praxis werden die meisten Hammerwerke auf eine Fallhöhe von 41 mm eingestellt.

Das Geschwindigkeitssignal des fallenden Hammers wird über einen Zeitraum von sechs Sekunden gemessen. Aus dem aufgezeichneten Zeitverlauf des Signals lassen sich nicht nur die exakten Prüfgrößen ablesen, sondern auch Rückschlüsse auf das Laufverhalten des Hammerwerkes ziehen. Bild 9 zeigt zwei aufeinanderfolgende Schläge eines Hammers. Trotz einer eingestellten Fallhöhe von 46 mm erreicht der Hammer beim ersten Schlag nicht die zu erwartende Geschwindigkeit, sondern bleibt unterhalb der Toleranzgrenze. Im Kurvenverlauf sind Störungen sichtbar. Grund hierfür können

größere Reibungsverluste durch Erschütterungen und Kontakte mit der Führung des Hammers sein.

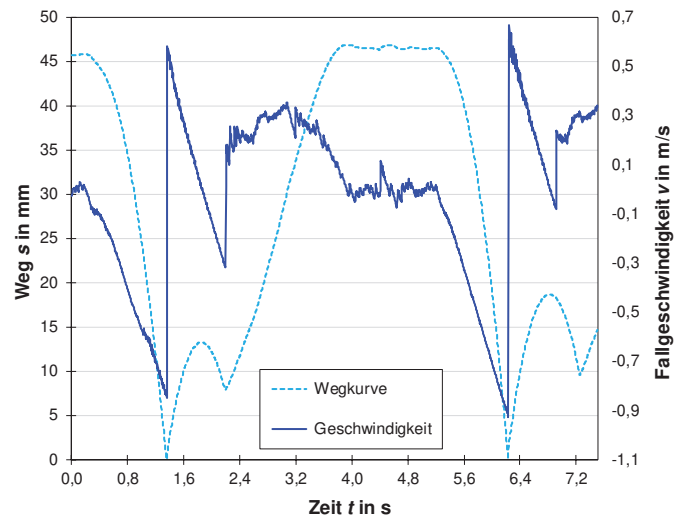


Bild 9: Verlauf der Fallgeschwindigkeit und Wegkurve

Wird der Geschwindigkeitsverlauf nicht vollständig erfasst, sondern nur in Teilabschnitten gemessen und die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Aufschlags extrapoliert, kommt es möglicherweise zu falschen Ergebnissen und somit einer Fehleinschätzung.

Die gemessenen Fallgeschwindigkeiten sind recht gut normalverteilt (Bild 10). Auffällig ist die Verschiebung zu kleineren Werten unterhalb des Sollwertes. Ursache hierfür ist eine Unterschätzung der Reibungsverluste.

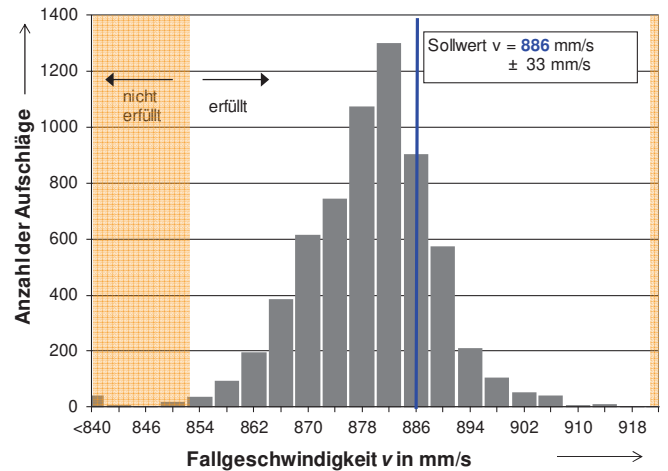


Bild 10: Gemessene Fallgeschwindigkeiten

Trotz der größeren Fallhöhe treten Unterschreitungen der Toleranzgrenzen auf. Der zulässige Toleranzbereich ist an die Toleranzen der Hammermasse gekoppelt. Wird das kleine Intervall (± 6 g) der Hammermasse eingehalten, gilt für die Fallgeschwindigkeit 886 ms \pm 33 ms als Grenze. Wird das Masseintervall auf ± 12 g vergrößert, verringert sich die Toleranz für die Geschwindigkeit auf 886 ms \pm 22 ms. Aus Bild 10 wird ersichtlich, dass in diesem Fall eine größere Anzahl von Hammerwerken die Grenzen unterschreiten würde. Da die Norm darüber hinaus eine maximale Messunsicherheit für die einzelnen Prüfgrößen von 20 % der Toleranzgrenzen fordert, stoßen hier die meisten Messsysteme an ihre Grenzen.

Die Reibungsverluste und damit die Fallgeschwindigkeiten werden von verschiedenen Randbedingungen beeinflusst. Im Wesentlichen konnten folgende Einflussgrößen ausgemacht werden. Beeinflusst wird die Fallgeschwindigkeit durch:

- die grundsätzliche Konstruktion des Hammerwerks,
- den Wartungszustand des Hammerwerkes, bzw. den Grad der Verschmutzung,
- den Untergrund und die damit verbundene Rückwirkung auf das Hammerwerk.

Dass der Grad der Verschmutzung die Reibungsverluste erhöht, ist nachvollziehbar. Wie stark dieser Einfluss ist, zeigen die Bilder 11 und 12. Bei diesen Messungen wurden dieselben Hammerwerke auf demselben Untergrund vor und nach der Reinigung gemessen.

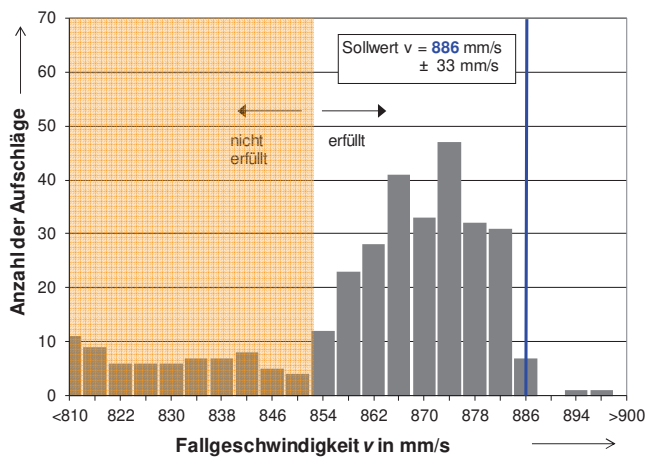


Bild 11: Fallgeschwindigkeiten vor der Reinigung

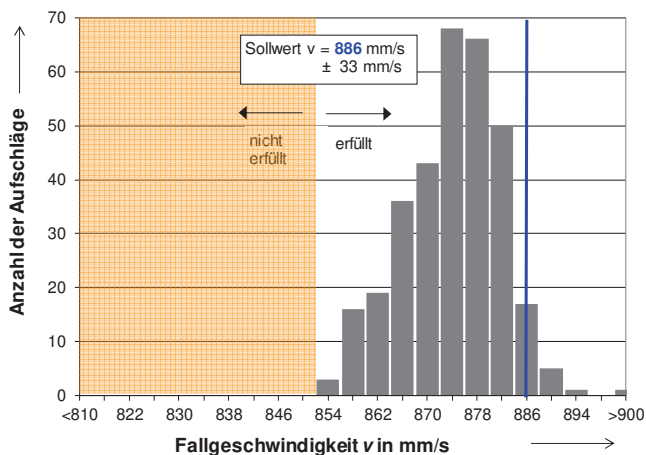


Bild 12: Fallgeschwindigkeiten nach der Reinigung

Durch die Reinigung konnte die Fehlerquote von 22 % auf 0 % gesenkt werden. Die größere Verschiebung zu niedrigeren Werten im Vergleich zu Bild 10 resultiert aus den verschiedenen Untergründen.

Der Untergrund hat einen Einfluss durch das Rücksprungverhalten des Hammers. Springt der Hammer sehr hoch oder nicht senkrecht zurück, schlägt er an der Hammerwerkskonstruktion entsprechend stark an und führt zu Erschütterungen im gesamten Hammerwerk. Dadurch wird

wiederum der Geschwindigkeitsverlauf des fallenden Hammers beeinflusst, es kommt zum Anschlagen an der Führung und zu Verläufen wie in Bild 9 sichtbar. Dieses Verhalten ist für die einzelnen Schläge nicht vorhersagbar, aber im Mittelwert der Ergebnisse sichtbar. Verstärkt wird dieses Verhalten durch die Art der Konstruktion und den Wartungszustand.

Durch diesen Einfluss bekommt der verwendete Untergrund für die Durchführung der Prüfung eine besondere Bedeutung. Die Ausführung der Prüfeinrichtung ist in der Norm aber nur wenig detailliert beschrieben. Hierdurch könnte es bei den Messergebnissen zu mehr oder weniger großen Abweichungen durch unterschiedliche Prüfplatten verschiedener Prüflabore kommen.

Zusammenfassung und Ausblick

Um Trittschallmessungen vergleichbar zu machen, enthält die Norm eine Reihe von Anforderungen an eine einheitliche Anregungsquelle, das Trittschallhammerwerk. Einige dieser Größen brauchen aufgrund ihrer Langzeitstabilität nur einmalig geprüft werden. Andere Größen erweisen sich als kritisch und sollten regelmäßig überprüft werden, wie es die Norm vorsieht. Hier sollte für einzel- und typgeprüfte Hammerwerke ein Kurzprüfverfahren konkreter formuliert werden.

Bei einigen Größen wird vermutet, dass die Messergebnisse durch die Art und Weise der Prüfung beeinflusst werden. Um weitergehende Erkenntnisse über diesen möglichen Einfluss zu gewinnen, wurde ein europaweiter Ringversuch zur Prüfung von Hammerwerken gestartet.

Die hier gezeigten Erfahrungen und die Ergebnisse des Ringversuchs könnten eine Überarbeitung der entsprechenden Norm notwendig machen.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 10140-5: 2010 + A1: 2014 *Akustik - Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand - Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen*