

Der Bremsentest in der Bühnentechnik

Ein Stiefkind in Bezug auf den Sicherheitsgedanken

Dipl. Ing. Dr. Franz J. Feuerer, staatlich befugter und vereidigter Ziviltechniker für Elektrotechnik (Text und Fotos)



Fabrikfrische neue Bremse, noch nicht eingebremst

Elektrische Bremsen werden in der Bühnentechnik in erster Linie verwendet, um im Moment nicht benötigte Fahrtriebe ohne Zufuhr von Energie sicher in der aktuellen Stellung zu halten. Um zu vermeiden, dass der Motor gegen eine geschlossene Bremse fahren muss, werden mehr oder weniger geeignete Systeme zur Erkennung einer geöffneten Bremse installiert (z. B. Mikroschalter bei einem mechanischen Schaltweg von weniger als einem Millimeter), eventuell wird noch der elektrische Strom durch die Bremsspule gemessen und bewertet. Nach aktueller Lage der Vorschriften werden die Bremsysteme mit einer Bremsmoment-Reserve versehen und doppelt ausgelegt, um den Ausfall einer Bremse noch sicher beherrschen zu können, aber hier liegt bereits der erste Trugschluss vor. Dieser besteht darin, dass durch keine am Markt verfügbare Technik die aktuelle effektive Bremswirkung erfasst wird und somit ein sicheres Anhalten einer abstürzenden Last verhindert werden kann. Wie gut oder wie schlecht eine Bremse wirkt, kann erst nach einer zu

geringen oder zu harten Bremsung erklärt werden, beide Fälle sind schon vorgekommen und es ist ein Glück, dass dabei keine ernsthaften Personenschäden aufgetreten sind. Im Laufe eines Jahres geht jeder Überblick über den Zustand der Bremsen verloren, es fehlt schlicht und einfach ein qualifiziertes Bremsen-Monitoring bei den Theaterbremsen.

Um dieses Bremsenproblem zu verbessern, muss die gesamte Systematik von Grund auf betrachtet und auf den Prüfstand gestellt werden:



Oberfläche einer fabrikfrischen, noch nicht eingebremsten Bremsscheibe

Eine Theaterbremse ist im Gegensatz zu einer Bremse im Kfz-Bereich keine Arbeitsbremse, sondern eine Haltebremse mit Notstoppeigenschaften. Bereits diese Bezeichnung verrät, dass eine Theaterbremse nicht dazu geeignet ist eine abstürzende Last im Regelbetrieb abzubremsen, lediglich im Notfall kann man bei entsprechender Auslegung darauf vertrauen, dass ein Notstopp schon klappen wird, solange keine weiteren Fehler im System unerkannt vorhanden sind.

Betrachten wir einmal die gewünschten Eigenschaften einer typischen Theaterbremse genauer:

- Die Bremse soll leise sein (dazu wird am Anschlag „Bremse geöffnet“ ein elastischer Puffer angebracht, am Anschlag „Bremse geschlossen“ wird dieses durch einen weichen Bremsbelag erreicht, der daher leider in der Regel nicht mehr als zirka 200 Grad Celsius verträgt).
- Jede einzelne Bremse soll über ein Bremsmoment verfügen, welches den Antrieb sicher in Ruhstellung bringt bzw. hält, dazu wird das Bremsmoment so ausgelegt, dass sowohl die 25 % maximale Überlast als auch

die 20% Übergeschwindigkeit noch sicher abgebremst werden können; hierzu werden alle Reibungsbeiwerte im Antrieb mit berücksichtigt und jede Bremse mit einem zirka 60% größerem Bremsmoment ausgelegt, als rechnerisch nötig ist. Hierdurch wird die maximale Last mit relativ großer Sicherheit abgebremst.

- Um zu verhindern, dass beide Bremsen im Normalfall gleichzeitig einfallen und damit noch mehr Beschleunigung in die Last plus Antrieb bringen, wird eine der beiden Bremsen gleichspannungsseitig abgeschaltet, diese beginnt dann je nach Bremsentyp mit der effektiven Bremswirkung nach 50 und mehr Millisekunden. Die zweite Bremse wird wechsellagensseitig abgeschaltet, bedingt durch das sich langsamer abbauende Magnetfeld fällt diese Bremse dann bauartbedingt erst nach 100 Millisekunden und mehr ein, dadurch soll die Last zunächst „angebremst“ werden, bevor die zweite Bremse zusätzlich wirkt. Wenn jetzt aber die „gleichspannungsgeschaltete Bremse“ keine Bremswirkung mehr hat, beschleunigt die abstürzende Last in dieser Ver-



Oberfläche einer thermisch überhitzten (= verglasten) Bremsscheibe



Testmotor mit Wärmebildkamera

zögerungszeit auf ein Vielfaches der Maximalgeschwindigkeit, somit ist ein sicheres Abbremsen der Last nicht mehr sichergestellt.

- Alle Teilsysteme eines Antriebs müssen mit mindestens zweifacher Sicherheit ausgelegt werden, in der Regel wird aus Preisgründen auf eine weitere Erhöhung des Sicherheitsabstandes verzichtet.
- Normalerweise wird eine Bremse vom Konstrukteur einer Anlage rechnerisch dimensioniert, nach Datenblatt bestellt, an den verwendeten Motor mit Getriebe angebaut und danach im Theater in Betrieb genommen. Die fehlerfreie Funktion wird somit erst im Rahmen der Abnahmeprüfung durch einen Lastfalltest überprüft. Aber solange die einzelnen Antriebsaggregate vor der Auslieferung nicht rein mechanisch auf das korrekte Bremsmoment getestet werden, kann über deren richtige Funktion absolut keine Aussage getroffen werden, Falschlieferrungen bzw. Rechenfehler öffnen damit alle Tore zu Fehlfunktionen.
- Eine Theaterbremse hat in der Regel keinerlei Abrieb, weil sie im normalen Betrieb nie echte Bremsarbeit leisten muss, sie hält fast ausschließlich einen bereits stehenden Antrieb fest. Jeder Staub oder Schmutz wird im geöffneten Betrieb auf die Bremscheiben eingesogen und dann in den langen Pausen ohne Bewegung der Scheibe auf die Bremsoberflächen eingepresst. Damit entfällt aber

auch der sehr nützliche Abrieb der Oberfläche, mit dem die Bremse wieder ihr Originalmoment erreichen könnte – bereits wenige Umdrehungen Abrieb pro Monat könnten die Oberflächen wieder säubern und in ihrer Funktion optimieren.

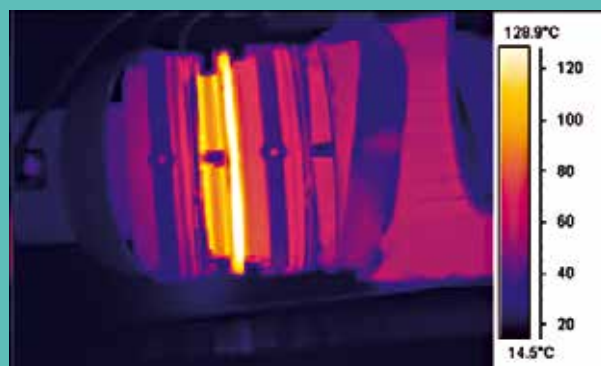
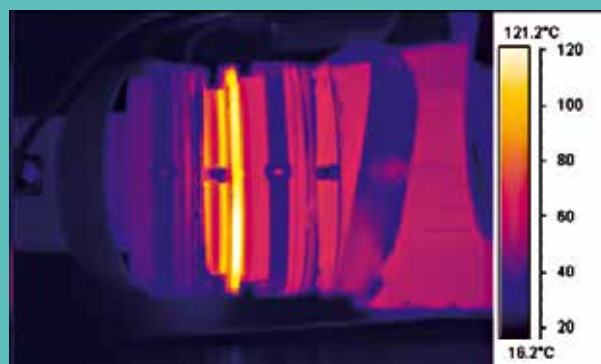
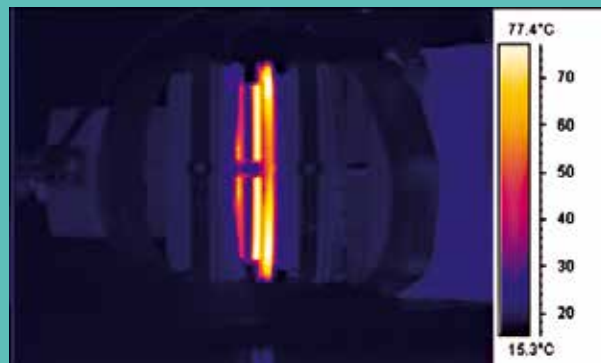
Eine Theaterbremse funktioniert nur, solange die Bremsbeläge nicht heißer als zirka 200 Grad Celsius werden, sonst verglasen die Beläge und die effektive Bremswirkung ist wesentlich geringer als der konstruierte Bremswert. Bei noch weiterer Erwärmung der Bremsbeläge existiert eigentlich überhaupt keine Bremswirkung mehr, die Bremse schmiert nur mehr auf einem Gummischleim herum und verklebt nach dem Abkühlen zu einem einzigen Festteil.

Leider existiert meines Wissens am gesamten Markt der Theaterbremsen keine einzige Bremse mit integrierter Temperaturerfassung. Aber ohne Wissen über die Vergangenheit einer Bremse kann daher keinerlei Aussage über die aktuellen Bremswerte getroffen werden, solange die Bremsmomente nicht wieder mechanisch nachgemessen wurden.

Dies alles zeigt, dass die in einem Theater eingebauten Bremsen trotz aller Abnahmen und Fahr- und Bremsversuche in der Regel ein stark stiefmütterliches Dasein fristen. Ohne Messwerte kann eigentlich keinerlei Aussage über den aktuellen Zustand und die Funktionalität einer Bremse getroffen werden.

Folgende Problembereiche werden hierbei offenkundig:

- Die jeweils aktuellen Bremsmomente sind während einer Spielzeit durch die Nutzer der derzeit verfügbaren Anlagen nicht auf einfache Weise zu kontrollieren, damit aber ist der aktuelle Zustand einer Bremse über lange Zeiten absolut unbekannt.
 - Die Einfallzeiten der Bremsen werden im Normalfall elektrotechnisch fest verschaltet, damit gibt es keine Möglichkeiten
- einer kontinuierlichen Kontrolle der Bremswirkung.
- Die Bremsverzögerungen sind durch die derzeit verwendeten Theaterbremsen nicht skalierbar und zusätzlich stark lastabhängig und stellen damit nur bei mittlerer bis großer Belastung akzeptable Werte für eine Bremsbeschleunigung der abstürzenden Last sicher.
 - Von Seiten der Vorschriften ist nirgends festgelegt, wie stark die Bremsbeschleunigung mini-



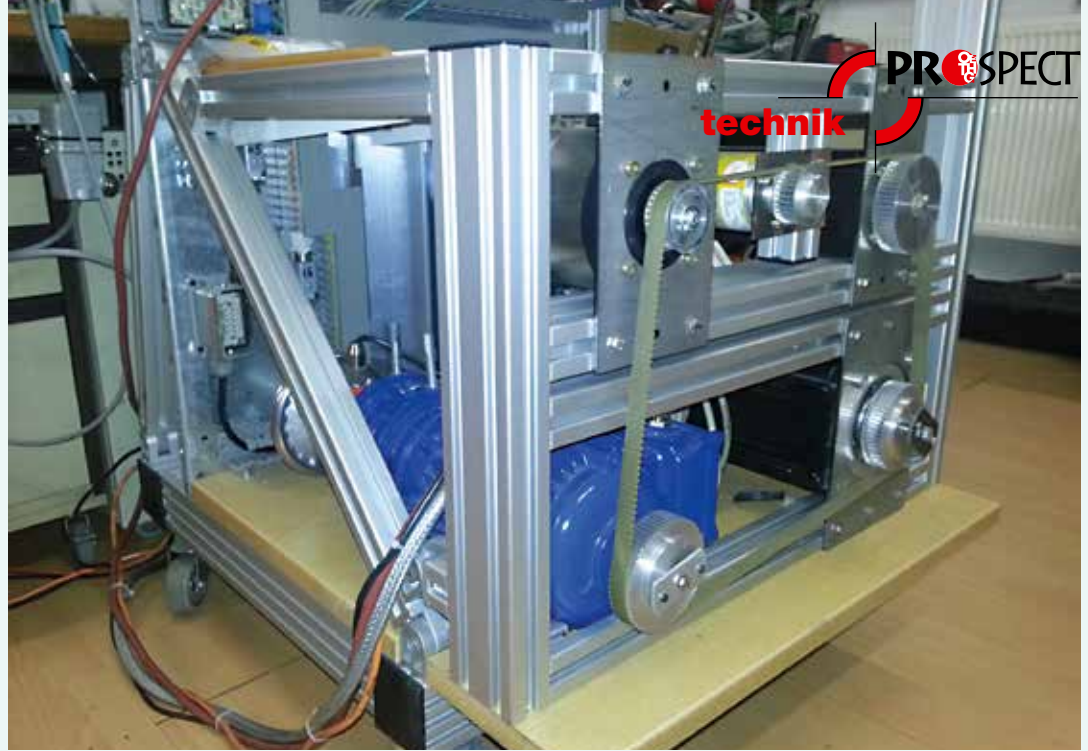
Thermografie nach Bremsung mit der linken Bremse, diese hat eine verringerte Bremswirkung, weil die Bremscheibe nur auf einer Seite bremst, die zweite Seite ist verglast. An Hand der Thermoskalan sieht man deutlich, wie heiß im zeitlichen Ablauf der Versuchsbremsungen die einzelnen Teile beim Bremsenbetrieb werden können. Interessant dabei ist, dass die hohen Temperaturen zuerst nur unmittelbar an den Reibflächen auftreten, diese aber dann nach einiger Zeit in die gesamte Bremse ausstrahlen.

mal bzw. maximal sein darf und wie lange ein „guter“ Bremsweg zu sein hat. Eine objektive Prüfung der Bremswirkung ist daher nicht möglich.

Lösungsansätze für ein qualifiziertes Bremsenmonitoring:

Das echte Bremsmoment einer Bremse kann fast jederzeit relativ leicht gemessen werden, indem man den Antrieb einige Motorumdrehungen mit definierter Geschwindigkeit gegen eine geschlossene Bremse fahren lässt (die jeweils zweite Bremse wird elektrisch aufgesteuert) und den Motorwirkstrom misst. In Verbindung mit der am Lastmessbolzen erfassten aktuellen Last im Antrieb kann nun der gemessene Motorstrom mit den bisher im Speicher abgelegten Werten von früheren Messungen verglichen und somit eine relativ genaue Aussage über das aktuelle Bremsmoment getroffen werden. Sobald der Messwert erheblich vom ursprünglich gemessenen Motorstrom abweicht, hat die Bremse nicht mehr die benötigte Bremswirkung und der Antrieb kann automatisch gesperrt werden.

Zusätzlich ist über die Verteilung des Motorstromes während einer Motorumdrehung eine Aussage über die Welligkeit der Bremscheibe möglich, bei Welligkeit ändert sich der Motorstrom proportional zur Polradlage. Hierzu muss man im Vorfeld nur einmal bei der Inbetriebnahme die Bremsmomente der Bremsen mechanisch ermitteln und diese Werte dann in Bezug setzen zu den mechanischen Belastungen und den elektrischen Strömen



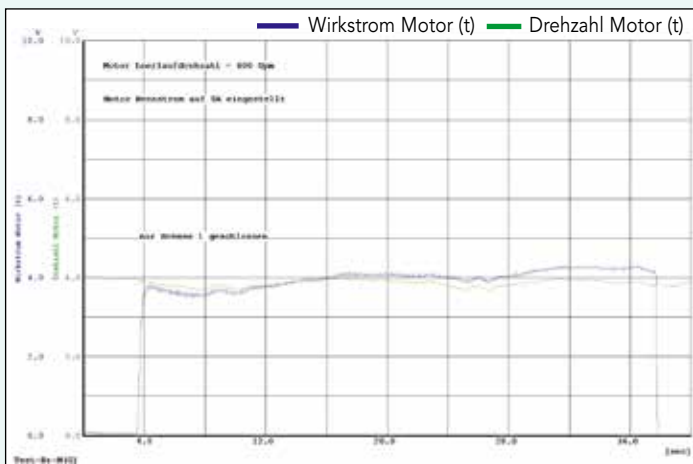
Ausschnitt vom Motorprüfplatz mit Testmotor

während der Bremsprüfungen. Damit würden auch die Oberflächen der Bremscheibe durch Minimalantrieb wieder aufgefrischt, zusätzlich könnte man durch eine grafische Auswertung der Messwertreihen bereits kommende Probleme an der Bremse im Voraus diagnostizieren. Einen z.B. nach spätestens 3 Monaten nötigen Bremsentest könnte man beim Hochlaufen der Anlage rechtzeitig ankündigen und somit die Funktionalität der Bremsen gewährleisten, sogar Steuerungssysteme mit vielen Antrieben könnten damit einfach und manipulationssicher gewartet werden. Die Einfallzeiten der Bremsen können erheblich beschleunigt werden, wenn man die Bremsen mittels der im Aufzugbau üblichen geschalteten Gleichrichter bzw.

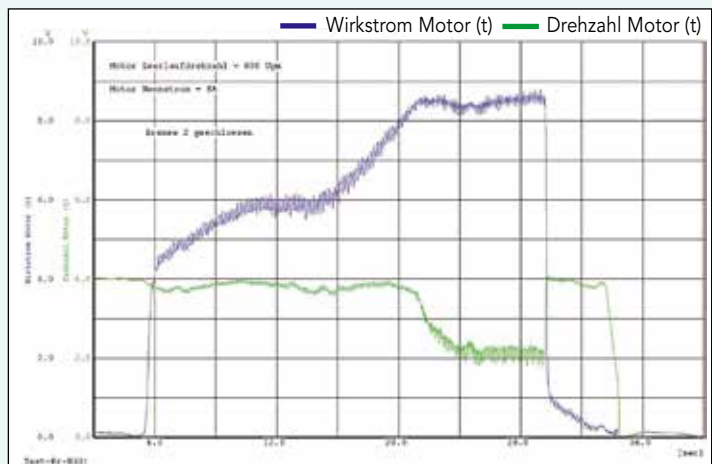
mittels zusätzlicher Beschleunigerspulen in den Bremsmagneten ansteuert. Damit werden die Bremsen zuerst mittels einer höheren Spannung aufgeschaltet, nach zirka einer Sekunde wird dann auf eine verringerte Spannung umgeschaltet. Dies spart Energie und reduziert die Erwärmung und reicht bei geeigneter Auslegung noch aus, um eine Bremse sicher aufzuhalten. Das in der Bremse gespeicherte Magnetfeld wird dadurch erheblich verringert und die Bremse fällt nach Abschalten der Spannung schneller ein. Zusätzlich sollten die Achsrechner die „gleich- bzw. wechselstromseitige“ Abschaltung der Bremsen alternierend vornehmen und dabei die Position kontrollieren. Damit könnte man ein langsames Nachlassen einer Bremswirkung

relativ leicht erkennen und dann auch gleich anzeigen.

Die Skalierbarkeit der Bremsmomente ist derzeit nur in Ansätzen gegeben, wird aber dann doch nicht wirklich ausgenutzt. Ein Bremsenhersteller bietet z.B. eine Vierkreisbremse an, bei der aber dann auch wieder unabhängig von der Nutzlast drei Bremsysteme gleichzeitig eingelegt werden. Auch hier wird eine sehr geringe Last wieder wesentlich stärker abgebremst als eine Volllast im Antrieb. Hier würde sich beispielsweise anbieten, dass abhängig von der echten Last (gemessen mittels der sowieso vorhandenen Lastmessung) nur ein oder mehrere Teilsysteme eingelegt werden. Bei gemessener Volllast oder für einen Notstopp stehen ja alle vier Teilsysteme zur Verfügung.



Beispiel einer defekten Bremse, die Bremswirkung bleibt konstant schlecht



Beispiel einer guten Bremse, das Bremsmoment steigt und verringert die Motordrehzahl

Der richtige Bremsweg und damit die geplante Bremsbeschleunigung im Notfall sollte vom Konstrukteur in Abhängigkeit von der Nutzlast festgelegt und dokumentiert werden, hierzu gehört dann auch eine Zuordnung des Motorstroms beim qualifizierten Bremsentest zum mechanischen Bremsmoment einer Bremse in Abhängigkeit zur eingehängten Nutzlast. Damit ist dann eine Überprüfung im Vergleich zu definierten Messwerten möglich und es kann eine Aussage über die Qualität der Bremse getroffen werden. Dazu sind natürlich explizite Daten vom Bremsenhersteller nötig, wie z. B.:

- Wie groß muss die Umdrehungsgeschwindigkeit beim Auffrischen der Bremse sein?
- Wie viele Umdrehungen dürfen maximal aufgefrischt werden?
- Wie wird das Bremsmoment mechanisch gemessen?

Zu diesem Punkt muss dann noch die mechanische Adaption vorhanden sein.

Ausblick:

Diese hier aufgeführten Missstände kann man nun von allen Seiten aussitzen, bis irgendwann jemand eine neue Vorschrift erarbeitet und somit Verbesserungen erzwingt. Leider aber werden alle Vorschriften relativ langsam erstellt, so dass ein echter Wettbewerb auf Grund innovativer Vorschriften nicht mehr stattfindet, man bedient sich daher mit einem Minimalaufwand nur der geltenden Vorschriften.

Eine andere Situation wäre gegeben, wenn von allen Seiten etwas mehr Engagement aufgewendet würde, um damit im Wettbewerb einen Vorteil für sich heraus zu holen. Alle für diese Prozeduren benötigte Hardware einschließlich der benötigten Messwerte sind nämlich bereits in den Anlagen vorhanden. Hierfür wäre es lediglich nötig, dass:

- die Nutzer (Theater oder Veranstalter) ein qualifiziertes Bremsen-Monitoring von allen Herstellern und Anbietern verlangen,
- die Planer in ihren Leistungsverzeichnissen ein qualifiziertes Bremsen-Monitoring aufneh-

men, ebenso sollte für jeden Antrieb ein Messdatenblatt zu den gemessenen Bremswerten verlangt werden,

- die Herstellerfirmen der Anlagen dieses Verfahren in ihre Software und Bedienungsanleitungen mit aufnehmen,
- die Bremsenhersteller endlich zu ihren relativ spartanisch gehaltenen Einbauanleitungen auch alle Randparameter bezüglich

der physikalischen Grenzwerte und der nötigen Auffrisch-Prozeduren mitliefern.

Wie man sieht, ist im Moment einfach nur Aktivität von allen Seiten gefragt: Wer zuerst aktiv wird und Ergebnisse liefert, kann am leichtesten im Wettbewerb punkten. Ich hoffe, dass mit diesem Aufruf die Theaterbremsen ihr stiefmütterliches Dasein beenden werden.

Anmerkung der Redaktion:

Das „Austrian Standard Institute“ – ASI (vormals „Österreichisches Normeninstitut“) hat die Frage der Bremsentests bereits aufgegriffen und in seiner Sitzung im Jänner 2014 erstmalig behandelt.

Neues aus dem „Austrian Standard Institute“ (ASI) vormals „Österreichisches Normeninstitut“

1991 wurde unter der Bezeichnung „**Fachnormenausschuss 217-Bühnentechnik**“ ein eigenes Gremium zur Erarbeitung einer österreichischen Norm für Bühnentechnik gegründet und der Initiator dieses Ausschusses, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Bruno Grösel, zum Vorsitzender gewählt.

1996 lag dann erstmalig für Österreich ein komplettes Normenwerk für Bühnentechnik mit den Bezeichnungen M 9630 Teil 1 bis Teil 4, M 9631 und M 9632 vor.

Es war dies die weltweit erste umfassende Bühnentechniknorm!



Prof. Grösel leitete das Komitee 217 mehr als zwei Jahrzehnte lang

Die Inhalte:

ÖNORM M 9630-1

Mechanische Bühnentechnische Einrichtungen – Allgemeines

ÖNORM M 9630-2

Mechanische Bühnentechnische Einrichtungen – Oberbühnenmaschinerie

ÖNORM M 9630-3

Mechanische Bühnentechnische Einrichtungen – Unterbühnenmaschinerie

ÖNORM M 9630-4

Mechanische Bühnentechnische Einrichtungen – Mechanische Sicherheitseinrichtungen zum Brandschutz

ÖNORM M 9631

Mechanische Bühnentechnische Einrichtungen – Betriebs- und Wartungsvorschriften

ÖNORM M 9632

Mechanische Bühnentechnische Einrichtungen – Prüfvorschriften

Deutschland folgte diesem Beispiel erst viel später mit der Herausgabe der DIN 56950 im Jahr 2003.

Sowohl diese ÖNORMen als auch die DIN wurden in der Zwischenzeit überarbeitet. Außerdem wurde 2012 eine neue Norm, die ÖNORM M9633 – „Veranstaltungstechnik – Traversensysteme – Bereitstellung, Benutzung und Prüfung“ herausgebracht.

Ende 2013 musste Prof. Grösel aus Altersgründen gemäß den Statuten aus dem – wie es nunmehr heißt – „**Komitee 217-Bühnentechnik**“ ausscheiden.

In der Sitzung am 15. November 2013 wurde er offiziell

verabschiedet, gleichzeitig aber auch eingeladen und gebeten, weiterhin mit seiner Expertise zur Verfügung zu stehen und an den Sitzungen teilzunehmen – was er auch zugesagt hat.

Zu seinem Nachfolger als Vorsitzender wurde sein bisheriger Stellvertreter Dipl.-Ing. Josef Palla – staatlich befugte Ziviltechnikergesellschaft für Maschinenbau – gewählt, zu dessen Stellvertreter Dipl.-Ing. Johannes Bättig, Leiter Sicherheitstechnik an der Volksoper Wien.

Die ÖETHG dankt allen im Komitee mitarbeitenden Mitgliedern für ihre Arbeit, insbesondere Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Bruno Grösel für seine Pionierarbeit und wünscht dem neuen Führungsteam viel Erfolg.