

„Eisenbahnlärm und Erschütterungen“ – „Railway Noise and Vibration“ ein wichtiges Thema der Inter-Noise 2022

Vom 21.-24.8.2022 fand im Scottish Event Campus (SEC) die internationale Konferenz „Inter-Noise 2022“ statt, eine der bedeutendsten Tagungen für Lärmschutz- und Schwingungstechnik, die seit 1972 unter dem Dach des „International Institute of Noise Control Engineering“ (I-INCE) organisiert wird und im dreijährigen Rhythmus in Europa stattfindet. Das Leitthema der diesjährigen Konferenz lautete „Noise control in a more sustainable future“.



1: Impression von der Eröffnungszeremonie der Inter-Noise 2022

Quelle: Roberto Ricciuti, Inter-Noise 2022



Dr. Haike Brick

Wissenschaftliche Referentin
Schallschutz/Erschütterungs-
schutz

Deutsches Zentrum für Schie-
nenverkehrsforschung beim
Eisenbahn-Bundesamt

BrickH@dzsf.bund.de

dete mit 33 Vorträgen und zwei Posterbeiträgen einen wichtigen Schwerpunkt innerhalb der Tagung.

Thematisch wurde der Bogen von Lärmschutzmaßnahmen über Aspekte der Schienenfahrzeugakustik, Fortschritte in Prognosemodellen bis hin zur Simulation und Minderung von Bodenerschütterungen gespannt.

1. Schallschutzmaßnahmen im Schienenverkehr und Monitoring

Den Start der Sitzung bildete das Thema „Schallschutzmaßnahmen im Schienenverkehr und Monitoring“. Prof. Markus Hecht von der TU Berlin trug mit seinem Vortrag zur Diskussion über die fehlende Innovationskraft und den fehlenden Innovationswillen im Schienenverkehr bei. Dr. Haike Brick stellte den Forschungsauftrag des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung (DZSF) und die Aktivitäten im LärmLab 21 vor, welches zu einem

Über 1000 Teilnehmende waren zusammengekommen, um sich über ein breites Spektrum an Themen der Technischen Akustik auszutauschen und aktuelle Entwicklungen und Forschungsergebnisse miteinander vor Ort zu diskutieren. Das Vortragsprogramm wurde von einer umfangreichen Fachausstellung begleitet. Innerhalb des Hauptthemas Verkehrslärm fand eine umfangreiche Sitzung zu Eisenbahnakustik und -erschütterungen statt. Eingeladen hatten dazu Prof. David Thomp-

son vom ISVR in Southampton, Prof. Stefan Lutzenberger von Müller-BBM Rail Technologies GmbH in München, Dr. Thomas Maly von der TU Wien und Dr. Haike Brick vom Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung in Dresden. Die Resonanz war hervorragend und zeigt die internationale Relevanz der Forschung zum Lärm- und Erschütterungsschutz im Schienenverkehr für die Entwicklung von nachhaltigen Verkehrskonzepten. Die Sitzung erstreckte sich über alle drei Konferenztage und bil-

dauerhaften Experimentier- und Testfeld für Lärm- und Erschütterungsmaßnahmen entwickelt werden soll. Der Entwicklungsbedarf von Komponenten des Oberbaus hin zu geringen Geräuschemissionen wurde in vier weiteren Vorträgen deutlich. Eduard Verhelst (SD&M) stellte das Lownoiseapad-Projekt der UIC vor. Es verspricht, mit einer Vielzahl von Versuchen, zum Verständnis des Effektes von Zwischenlagen auf die Geräusch- und Erschütterungsemission von Zugvorbeifahrten beizutragen. Der Einfluss unterschiedlicher Schwellen auf das Vorbeifahrtgeräusch war das Thema von Wout Schwanen (M+P), der eine entsprechende Studie aus den Niederlanden vorstellte. Es wurden Unterschiede bis zu 5 dB für die unterschiedlichen Schwellentypen ermittelt. Dr. Christoph Gramowski (Schrey und Veit, Deutschland) und Dr. Wilson Ho (Jabez Innovation Ltd., Hongkong) zeigten die erhebliche Wirkung von Schienendämpfern, wobei im Vortrag von Dr. Gramowski die Auswirkung von abschnittswisen Anwendungsbeschränkungen auf den Beurteilungspegel diskutiert wurde. Dr. Ho stellte den von ihm entwickelten TMD-Dämpfer anhand der Ergebnisse eines 5-Jahres-Monitoring vor. Jonas Egeler und Manfred Liepert von Möhler und Partner Ingenieure AG aus München präsentierten in zwei Vorträgen die Ergebnisse eines Forschungsprojekts des Umweltbundesamtes zur Erkennung und Bewertung von Flachstellen anhand psychoakustischer Parameter. Das Team um Prof. Lapo Governi von der Università degli Studi di Firenze stellte in zwei Postern die Pläne für das Life SNEAK Projekt vor, in dem die durch den Verkehr erzeugte Gesamtlärmbelastung in dicht besiedelten Stadtgebieten untersucht und reduziert werden soll.

2. Schienenfahrzeugakustik

Der zweite Teil der Sitzung war der Schienenfahrzeugakustik gewidmet. Dr. Toki Uda vom japanischen RTRI stellte Windkanalversuche zur Reduktion der aerodynamischen Geräuscherzeugung an den führenden Drehgestellen eines Hochgeschwindigkeitszuges vor. Mit einer Unterflurabschirmung und einer spezifischen Ausführung des Drehgestellbauraums konnte eine Reduktion von 3 dB im Vergleich zur Basiskonfiguration erreicht werden. Die Erkenntnisse zum Einfluss der Drehgestellkavität auf die Geräuschemission korrespondierten sehr gut mit den numerischen strömungsakustischen Untersu-



2: Ausschnitt aus der Sitzung zu Eisenbahnakustik und -erschütterungen

Quelle: Roberto Ricciuti, Inter-Noise 2022

chungen, die Martin Rissmann von VibraTec in dem späteren Teil der Sitzung „Modellierung und Prognose“ vorstellte. Das Team der koreanischen Hanyang Universität interessierte sich hingegen für die Analyse der Lästigkeit des Vorbeifahrtgeräuschs von Hochgeschwindigkeitszügen. Die Testsignale für die Hörproben waren synthetisiert. Laut Youngbeen Chung spielt der typische Dopplereffekt eine große Rolle für die Lästigkeit der Vorbeifahrtszenarien. Sein Fehlen führt zu einer erhöhten Lästigkeit. Hinsichtlich Fahrzeuginnengeräuschen lag der Fokus vor allem auf der Quantifizierung des Körperschallbeitrags. Dr. Jenny Böhm vom DZSF stellte ihre Arbeit über die Unsicherheit der messtechnischen Charakterisierung von Körperschallquellen und entsprechende Handlungsempfehlungen für die praktische Anwendung vor. Die Relevanz und die Komplexität dieser Untersuchungen wurden im Verlauf der Konferenz in einem Hauptvortrag der Salford-Gruppe verdeutlicht, in dem Prof. Andy Moorhouse, Dr. Andy Elliott und Dr. Josh Meg-

gitt ihre insgesamt 40-jährige Forschung im Bereich Körperschallquellencharakterisierung eindrücklich und humorvoll darlegten. Für den Entwicklungsprozess von Schienenfahrzeugen erarbeitete Dr. Sascha Noack von der TU Dresden ein Modell des Übertragungsweges des Körperschalls vom Antrieb eines Elektrotriebfahrzeugs über das Drehgestell bis zur Wagenkastenankunft. Das Modell beruht auf der Mehrkörpersimulation; die Antriebs- und Drehgestellkomponenten können modular eingebunden und ausgetauscht werden. Dr. Ulf Orrenius von Akustikdoktor Sweden AB demonstrierte die Möglichkeiten einer kombinierten FEM/SEA-Analyse zur Prognose der Übertragung der Anregung der Strangpressprofile eines Wagenkastens bis hin zur Luftschallabstrahlung in den Fahrzeuginnenraum. Dahingegen beschäftigte sich ein Team um Prof. Mats Åbom im Rahmen des EU-geförderten Projekts TRANSIT mit Luftschallquellen eines Schienenfahrzeugs und den Einfluss der Einbausituation auf die Schallabstrahlung und Richtcharakteristik der unbeeinflussten Quelle. Die Arbeiten sollen eine genauere Vorhersage der Außengeräuschsituation ermöglichen.

3. Weiterentwicklungen von Prognosemodellen

Der Schwerpunkt der Diskussion lag auf der Bewertung und Prognose von Kurvenquietschen. Insgesamt vier Forschungsteams stellten ihre Arbeiten in diesem Bereich vor: Die Lästigkeit von Kurvenquietschen wurde von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften anhand einer Parametervariation untersucht, u.a. wurden spektrale

Thematisch wurde der Bogen von Lärmschutzmaßnahmen über Aspekte der Schienenfahrzeugakustik, Fortschritte in Prognosemodellen bis hin zur Simulation und Minderung von Bodenerschütterungen gespannt.





3: Eine umfangreiche Fachausstellung begleitete die Tagung

Quelle: Roberto Ricciuti, Inter-Noise 2022

Eigenschaften als auch der Gesamtpegel variiert. Dr. Christian Kasess stellte das experimentelle Set-up und die beobachteten Effekte vor. Die Lästigkeit hängt stark von den dominanten Frequenzkomponenten ab. Die Hörproben wurden für die Versuche aus vorherigen Kurvengeräuschmessungen synthetisiert, um die Parametervariation zu realisieren. Die eigentliche Anregung des Kurvenquietschens war das Thema von Dr. Olivier Chiello von der französischen Universität Gustave Eiffel. Die Autoren entwickelten dafür ein Modell, welches auf der Analyse der Leistungsbilanz der eingespeisten und der Verlustleistung basiert. Im nichtlinearen Bereich der Bilanz wird durch die Anregung der entsprechenden Radmoden Kurvenquietschen ausgelöst. Die theoretischen Betrachtungen konnten durch Versuche untermauert werden. Dr. Qiyong Tian von der TU Berlin untersuchte den Entstehungsmechanismus mit einer Mehrkörpersimulation in Kombination mit einer FE-Analyse von Rad und Schiene. Das Modell berücksichtigt die Flexibilität von Rad und Schiene und erlaubt die Bestimmung der anregbaren Radmoden auf der Basis verschiedener Eingangsparameter. Laura Babici von der Universität Politècnica de Catalunya befasste sich mit der messtechnischen Identifikation des Stick-Slip-Phänomens zwischen Rad und Schiene, ge-

nauer der Erfassung des Momentes, in dem die Haftreibung sprunghaft in kinetische Reibung übergeht. Ihre grundlegenden Versuche zeigen, dass sich dieser Moment mit einem zerstörungsfreien Verfahren anhand einer Schallemission detektieren lässt.

Zwei Referenten stellten ihre Untersuchungen bezüglich CNOSSOS-EU dar, der europäisch einheitlichen Methode zur Beurteilung des Umgebungslärms, u.a. für den Verkehrsträger Schiene. Dr. Anders Genell vom schwedischen Nationalen Institut für Straßen- und Verkehrsforschung (VTI) beleuchtete das sehr unterschiedliche akustische Verhalten verschiedener Weichentypen bei Überfahrt eines Zuges. Einige Typen führen zu einem deutlichen Anstieg des Vorbeifahrtgeräusches an der Position der Weiche gegenüber einer Referenzsituation. In CNOSSOS-EU werden Weichen durch einen zusätzlichen Rauheitsterm berücksichtigt. Die Prognose des Schalldruckpegels an der Empfängerposition mit CNOSSOS-EU scheint die tatsächliche Situation in vielen Fällen zu überschätzen. Einzelne Weichentypen werden nicht unterschieden. Hier besteht noch Entwicklungsbedarf. Jonathan Phillips von Noise Consultants Ltd. aus Großbritannien stellte eine Studie zur Sensitivität des CNOSSOS-EU Berechnungsmodells gegen-

über verschiedenen Eingangsparametern vor. Die Studie gibt wertvolle Hinweise, welche Eingabedaten mit hoher Qualität in die Schallmodellierung eingehen müssen, um die Genauigkeitsanforderung einzuhalten und welche mit Standardwerten ersetzt werden können. Zukünftige Schallsituationen mit Hilfe von Auralisation und Visualisierung in einer virtuellen Realität erlebbar zu machen und so die rechnerischen Prognosen zu unterstützen, ist das Ziel des EU-Projektes Silvarstar. Reto Pieren von der schweizerischen EMPA präsentierte den Stand der Arbeiten. Vorbeifahrtszenarien mit und ohne Schallschutzmaßnahmen werden den Befragten bzw. Interessierten optisch und akustisch über VR-Brille und Kopfhörer präsentiert. Dabei sind sowohl die akustischen Signale als auch die optische Darstellung synthetisiert, was eine große Variationsmöglichkeit erlaubt. Nach Abschluss des Projekts wird das Tool der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden.

4. Bodenerschütterungen

Im vierten und letzten Teil der Sitzung wurde das Thema Bodenerschütterungen adressiert. Die Relevanz des Themas zeigen die Studien vom niederländischen Nationalen Institut für Gesundheit und Umwelt (RIVM). Seit 2013 wurden wiederholt An-

wohnende an Bahnstrecken zur Belästigung und Schlafstörungen durch Erschütterungen befragt. Sendrick Simon und Elise van Kempen stellten das Studiendesign und erste Ergebnisse vor. Auch wenn noch nicht alle Antworten im Detail ausgewertet sind, lässt sich nach wie vor ein hohes Belästigungsniveau feststellen. Prorail, der größte niederländische Eisenbahn-Infrastrukturbetreiber, arbeitet parallel dazu an einer Methode zur Charakterisierung des Streckennetzes in Hinblick auf die Emission von Bodenerschütterungen. Dr. Hielke Zandberg demonstrierte in seinem Vortrag die relevanten und neu definierten Parameter, die auf der Fahrbahnebene basieren und mit dem Gleismesswagen erfasst werden können. Die Methode erlaubt es, aussagekräftige Eingangsparameter für Prognosemodelle zu generieren oder auch das Risiko einer Belästigung in Abhängigkeit vom Instandhaltungsniveau der untersuchten Streckenabschnitte zu bewerten. Zwei anwenderfreundliche Prognosewerkzeuge für die Emission und die Ausbreitung von Bodenerschütterungen wurden auf der Konferenz präsentiert. Im Rahmen des EU-Projektes Silvarstar erarbeitet das Projektkonsortium neben der schon zuvor erwähnten Auralisationstoolbox eine Prognosesoftware, welche eine Vorhersage und Bewertung von bahnbedingten Erschütterungen in umliegenden Gebäuden ermöglicht. Das Modellierungsverfahren nutzt sowohl verfügbare Messdaten als auch vorberechnete Übertragungsfunktionen für die Prognose. Prof. David Thompson von der Southampton University stellte Softwarelösung und Berechnungsverfahren vor und diskutierte in seinem Vortrag die Effekte vereinfachter Modellannahmen auf die Prognoseergebnisse. Die Software wird nach Ende des Projektes kommerziell erhältlich sein. Vibway - ein von der Universität Politècnica de Catalunya entwickeltes Berechnungstool zur Vorhersage von Bodenerschütterungen und sekundärem Luftschall - wurde von Prof. Robert Arcos und Dr. Arnau Clot vorgestellt. Das Tool wurde über die letzten 15 Jahre entwickelt und vereint verschiedene Berechnungsmodulare für das Fahrzeug, den Fahrweg, die Tunnelsituation und die Gebäude. Den Kern bildet ein Damm- bzw. Tunnel-Boden-Modell auf der Basis eines 2,5D FEM-SBM Berechnungsansatzes. Ruihua Liang von der Beijing Jiaotong University untersucht die Möglichkeit, über Techniken des Transferlernens die Genauigkeit der Vorhersage der Bodenerschütterungen in der Planungs-

Der Lärm- und Erschütterungsschutz im Eisenbahnbetrieb ist und bleibt ein internationales Thema, das zeigten die Tagungsbeiträge aus Nordamerika, Asien und Europa.



phase von Eisenbahnstrecken zu verbessern. Über die Kenntnis einer bekannten Situation wird ein künstliches neuronales Netzwerk trainiert, welches dann auf eine neue Situation angewendet wird. Eine weitere Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz wurde von Jessada Sresakoolchai von der University of Birmingham vorgestellt. Über die Parametervariation eines FEM-Modells des Oberbaus wird ein Machine-Learning-Modell trainiert, welches im trainierten Zustand den Beschleunigungssignalen am Achslager eines Wagens eine Steifigkeit des Schotters zuordnen kann. Das Verfahren soll helfen, den Zustand und die Alterung des Schotters im Bereich von Weichen zu erkennen und damit Instandhaltungsmaßnahmen genauer planen zu können. Xiangyu Qu von der Southampton University erläuterte den Einfluss von Gebäuden auf die sich ausbreitenden Bodenerschütterungen und zeigte, dass es im Frequenzbereich ausgewählter Gebäudeeigenmoden zu Rückwirkungen auf die Schwingungen im Boden kommen kann. Neben Prognose- und Klassifizierungsmodellen wurden auch die Wirkung ganz konkreter Oberbaukomponenten diskutiert. Nils Mahler von der DB Systemtechnik München stellte seine Arbeit zu besohlenen Schwellen vor, die oberhalb der Resonanzfrequenz die Anregung von Vibrationen in den Boden vermindern. Im Bereich sehr tiefer Frequenzen, d. h. weit unterhalb der Resonanzfrequenz, zeigten die besohlenen Schwellen in Feldversuchen ebenfalls positive Effekte von einigen Dezibel, was im Auditorium lebhaft diskutiert wurde. Dr. Wilson Ho von Jabez Innovation Ltd. aus Hongkong präsentierte seine Untersuchungen, mit passend abgestimmten TMD-Schienenendämpfern die Anregung von Bodenerschütterungen erheblich zu minimieren. Colin Bradley von Pliteq Inc. aus Kanada diskutierte rheologische Modelle unterschiedlicher Komplexität, die

viskoelastische Eigenschaften von Isolationsmaterialien beschreiben. Bis 120 Hz können alle untersuchten Modelle den dynamischen Modul des messtechnisch untersuchten Gummiwerkstoffs gut nachbilden. Zur Beschreibung des Kriechverhaltens über lange Zeiträume eignen sich nur die komplexeren Modelle. Hinsichtlich des Kurzzeitverhaltens besteht noch Entwicklungsbedarf.

5. Fazit

Der Lärm- und Erschütterungsschutz im Eisenbahnbetrieb ist und bleibt ein internationales Thema, das zeigten die Tagungsbeiträge aus Nordamerika, Asien und Europa. Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeit ist die Verfeinerung von Modellen zur Prognose und Beschreibung von Schall- und Erschütterungsemissionen, um die Vorgänge besser zu verstehen und Handlungsmöglichkeiten auszuloten. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt in der Wahrnehmung von Schienenverkehrsgereuschen und -erschütterungen, um eine Beurteilung der Lästigkeit vornehmen zu können und diese mit den physikalischen Größen in Beziehung zu setzen. Die Tagung bot eine ideale Gelegenheit, sich fachlich auszutauschen, persönlich kennenzulernen, Wissen zu vertiefen und neue Ideen zu entwickeln.

Die Tagungsbeiträge können von der Webseite <https://internoise2022.org/> heruntergeladen werden. ●

Summary

“Railway Noise and Vibration” - an important topic of Inter-Noise 2022

The international conference “Inter-Noise 2022” took place from 21.-24.8.2022 at the Scottish Event Campus (SEC), one of the most important conferences for noise and vibration technology which has been organized since 1972 under the umbrella of the “International Institute of Noise Control Engineering” (I-INCE) and takes place every three years in Europe. Leading topic of this year conference was “Noise control in a more sustainable future”. A post-report.