

# Analyse der Veränderungen von Schall und Schwingungen in einem mehrjährigen U-Bahn Betrieb

Thomas Tietze<sup>1</sup>, Hanno Töll<sup>1</sup>, Thomas Hauser<sup>2</sup>, Günther Achs<sup>1</sup>

<sup>1</sup> FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH, 1030 Wien, E-Mail: fcp@fcp.at

<sup>2</sup> Wiener Linien GmbH & Co KG, 1031 Wien, E-Mail: post@wienerlinien.at

## Einleitung

In Wien ist die U-Bahn mit über 80 km Streckenlänge und mehr als 100 Stationen das höchstfrequentierte öffentliche Verkehrsmittel. In den inneren Wiener Gemeindebezirken ist die U-Bahn zum größten Teil unterirdisch unterwegs, in den äußeren Bezirken in Hochlage. Somit sind sowohl die Schallemissionen als auch die Erschütterungsemissionen im Stadtgebiet relevant. Mit fünf bestehenden Linien und einer sechsten in Planung ist das Hauptaugenmerk auf die Reduktion der Emissionen durch maßnahmengesteuerte Fahrzeugwartung und –bauliche Maßnahmen gerichtet. Fahrzeugemissionen sind natürlich auch ein wichtiger Punkt bei Fahrzeugneuanschaffungen.

Im Auftrag der Wiener Linien wurden mehrere Dauermessanlagen an allen U-Bahn Linien errichtet, welche Schall und Schwingungen der Einzelüberfahrten aufzeichnen.

## Konzept automatisierter Dauermessanlagen

Die Anlagen sind seit Juli 2016 im Betrieb und zeichnen an neun Standorten die Überfahrten auf. Vier von diesen Anlagen befinden sich oberirdisch auf freier Strecke und zeichnen zusätzlich zu den Schwingungsemissionen auf dem Oberbau auch Schallemissionen mit Hilfe eines Mikrofons und meteorologische Parameter über eine autonome Wetterstation auf.



**Abbildung 1:** Anlagenstandorte in Wien, oberirdische Anlagen sind grün markiert.

Folgende Sensoren sind bei den Messanlagen instrumentiert:

- Dehnmessstreifen
- Beschleunigungsaufnehmer direkt auf der Schiene
- Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer, hierbei einer auf der Schwelle und einer außerhalb des Gleises am Randweg/Unterbeton

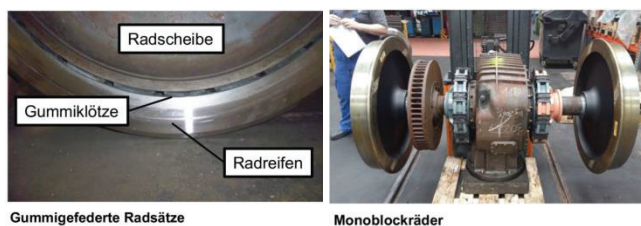
- Mikrofon bei Messanlagen im Freien
- Wetterstation
- Antenne für Zugdetektion

Mittels dieser Sensoren können folgende Parameter ausgewertet werden:

- Zugidentifikation (Zugtyp 1, 2 oder 3), Fahrtrichtung und Zuggeschwindigkeit
- Schwinggeschwindigkeiten in x, y, und z-Richtung und die daraus abgeleitete maximal resultierende Schwinggeschwindigkeit  $v_{R,max}$
- Vorbeifahrtspegel  $L_{A,eq}$  und A-bewerteter Maximalpegel  $L_{A,max}$
- Umgebungswetterdaten (Schiementemperatur, Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Luftfeuchtigkeit)
- Weitere Parameter wie  $E_{max}$ , Zugbeschleunigungen, Schienendehnung

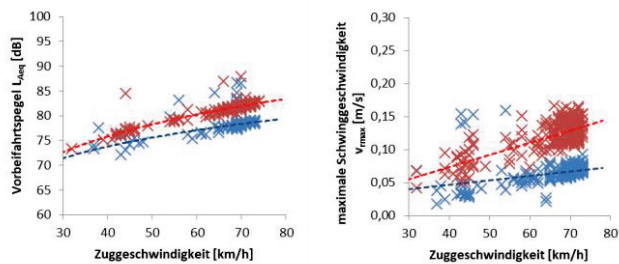
## Monoblock Auswertung

Der ursprüngliche Zweck für die Messanlagen war die Untersuchung von Schall- und Schwingungsemissionen aus dem Betrieb von Monoblockrädern im Vergleich zu gummigefederten Radsätzen (Bi-Block-Räder).



**Abbildung 2:** Gummigefederte Radsätze (links) Monoblockräder (rechts)

Die Überfahrten werden durch die Zugdetektion den Fahrzeugen mit Monoblockrädern und gummigefederten Radsätzen zugeordnet. Somit können Diagramme mit maximaler Schwinggeschwindigkeit und Vorbeifahrtspegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit dargestellt werden:

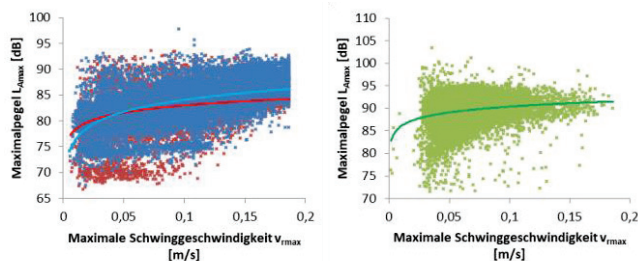


**Abbildung 3:** Beispiel Anlage Friedensbrücke, links Vorbeifahrtspegel, rechts max. Schwinggeschwindigkeit, (rot Monoblockräder, blau Bi-Blockräder)

Es zeigt sich eine eindeutige Erhöhung der Emissionen beim Einsatz von Monoblockrädern. Nicht bei allen Messstellen ist die Differenz so signifikant, aber durchaus statistisch auswertbar.

### Zusammenhang Maximalpegel und maximale Schwingsnelle

Im Zuge der Auswertung der Differenzen zwischen Monoblockrädern und gummigefederten Radsätzen stellt sich die Frage, wie der maximale Schalldruckpegel mit der maximalen resultierenden Schwinggeschwindigkeit korreliert. Hierfür können alle Zugüberfahrten, sowohl unterschiedliche Zugtypen als auch unterschiedliche Radsätze gemischt werden. Hierbei ergibt sich bei drei den vier Anlagen, die mit einem Mikrofon ausgestattet wurden, der erwartete logarithmische Zusammenhang zwischen der maximalen resultierenden Schwinggeschwindigkeit und dem Maximalpegel:

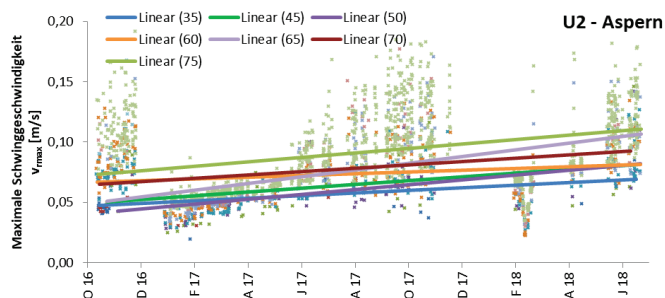


**Abbildung 4:** Vergleich maximale resultierende Schwinggeschwindigkeit zu Maximalpegel (blau: Friedensbrücke Typ 1, rot Friedensbrücke Typ 2, grün: Perfektastraße Typ 3)

Dass an der Dauermessanlage Josefstädter Straße kein logarithmischer Zusammenhang feststellbar ist, kann sowohl an der Nahbereichsmessung in geringer Höhe als auch an der Besonderheiten des Oberbaus liegen.

### Langzeitverhalten einzelner Zugverbände

Über den Zeitraum von zwei Jahren wurde ein ausgewählter Zugverband des Typ 2 an der Dauermessanlage Aspern betrachtet. Hierbei wurde der Zugverband in dem Zeitraum keiner Wartung unterzogen und die Änderung zwischen dem Wartungsintervalls untersucht. Bei den Schallemissionen konnte hierbei kein spezieller Trend festgestellt werden. Folgend sind die Erschütterungsemissionen ersichtlich:



**Abbildung 5:** Änderung der maximal resultierenden Schwinggeschwindigkeit über einen Zeitraum von Oktober 2016 bis Juli 2018 unterteilt in 5 km/h Schritte

Die Auswertung erfolgt auf Basis von 2145 Zugvorbeifahrten des gesamten Zugverbands. Hierbei ist eine Änderung der Schwingungsemissionen von bis zu 25% möglich. Daraus ist ersichtlich, dass regelmäßige Wartung der Räder essentiell für einen schwingungsarmen U-Bahnbetrieb sind. Die Auswertung der Schallpegel zeigt, dass diese aufgrund anderer Umgebungsbedingungen maßgeblich beeinflusst werden und der Wartungszustand hier nur eine untergeordnete Rolle spielt.

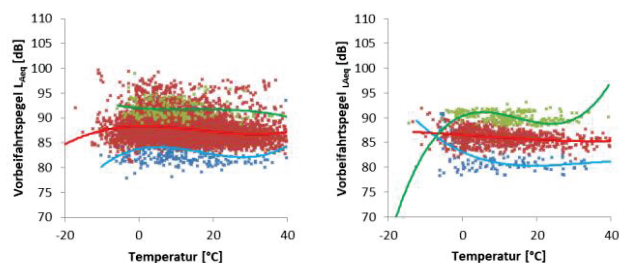
### Auswirkungen der Meteorologie auf den Schallpegel

Für eine weitere Auswertung werden die Daten der Wetterstation untersucht. Insbesondere folgende Parameter werden betrachtet

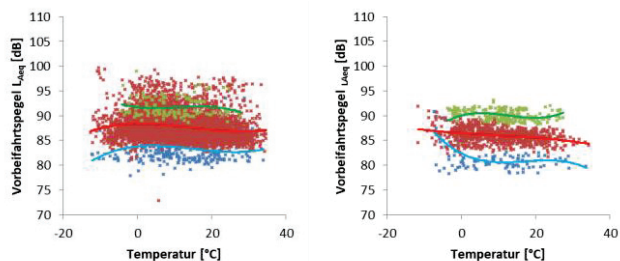
- Temperatur (Schiene & Luft)
- Luftfeuchtigkeit
- Windgeschwindigkeit und Windrichtung

### Temperatur

Bei der Auswertung der Temperatur wird zwischen Schientemperatur und Lufttemperatur unterschieden. Die Schientemperatur wird stark durch die Sonneneinstrahlung bestimmt. Ohne Strahlungswärme sind die gemessenen Temperaturen nahezu ident. Beim Zugtyp 3 ist ein annähernd linearer Verlauf zwischen Schalldruckpegel und Temperatur erkennbar. Bei den Zugtypen 1 und 2 ist eine statistische Veränderung des Vorbeifahrtspegels bei unterschiedlichen Temperaturen nachweisbar:



**Abbildung 6:** Schientemperatur und Vorbeifahrtspegel bei der Dauermessanlage Aspern (links Typ 1, rechts Typ 2, blau: 40 km/h, rot: 60 km/h, grün: 80 km/h)

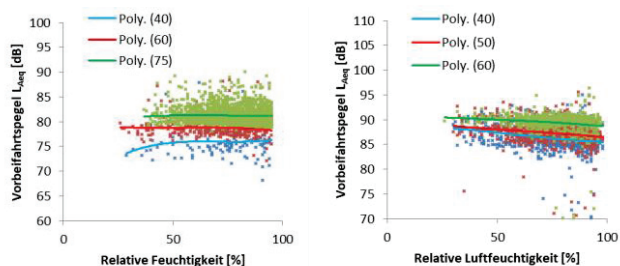


**Abbildung 7:** Lufttemperatur und Vorbeifahrtspegel bei der Dauermessanlage Aspern (links Typ 1, rechts Typ 2, blau: 40 km/h, rot: 60 km/h, grün: 80 km/h)

Es stellt sich bei gleichem Zugtyp auf allen Messanlagen eine ähnliche Bezugskurve ein. Bei Betrachtung der Temperaturspanne ist ein Unterschied von bis zu 3 dB feststellbar. Hierbei sind die Zugtypen 1 und 2 bei 0° bis 10 °C im Durchschnitt am lautesten und bei 20° bis 30°C am leisesten. Der Anteil aus den Schwankungen im Messgerät (Mikrofonmembran und Dehnung des Kabels) kann hier jedoch nicht genau festgelegt werden.

### Luftfeuchtigkeit

In weiterer Folge wurde die Luftfeuchtigkeit betrachtet. Es ist bekannt, dass in Gleisbögen bei steigender Luftfeuchtigkeit das Bogengeräusch (Kurvenquietschen) durch bessere Gleiteigenschaften abnimmt. Die Messstellen befanden sich alle auf einem geraden Streckenabschnitt. Es ergeben sich folgende Zusammenhänge:



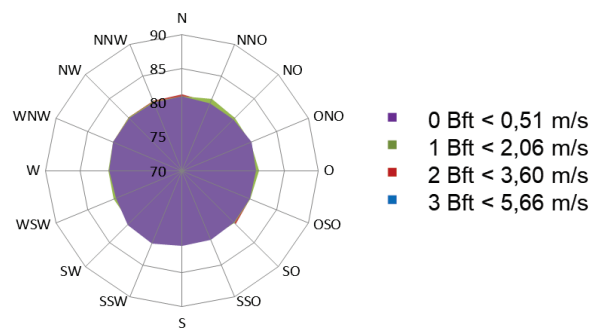
**Abbildung 8:** Luftfeuchtigkeit und Vorbeifahrtspegel bei den Dauermessanlagen (links Friedensbrücke Typ 2, rechts Perfektastraße Typ 3)

Hierbei ist an den Messanlagen Aspern und Friedensbrücke, welche Zugtyp 1 und Typ 2 abbilden, keine wesentliche Änderung des Schalldruckpegels ersichtlich. An der Messstelle Perfektastraße ist eine Verbesserung bei hoher Luftfeuchtigkeit statistisch nachweisbar. Dies hängt vermutlich mit einem Gleisbogen im Nahbereich und der Zuglänge zusammen.

Es kann geschlussfolgert werden, dass auf geraden Teilstücken keine wesentliche Beeinflussung des Vorbeifahrtspegels erfolgt. In Gleisbögen ist hierbei aber mit einer größeren Verringerung des Pegels zu rechnen.

### Windgeschwindigkeit und Windrichtung

Im Nahfeldbereich ist bei Messungen, wie zum Beispiel Schallleistungsmessungen mit keiner Beeinflussung durch Windrichtung und Windgeschwindigkeit zu rechnen. Bei einer Auswertung mittels der Beaufort-Skala und den Windrichtungen in 12 Sektoren unterteilt kann folgendes Bild abgebildet werden:



**Abbildung 9:** Windgeschwindigkeit und Windrichtung der Dauermessanlage Friedensbrücke

Bei Messentfernungen zwischen 4 und 7 Meter zur Gleisachse kann somit von keiner wesentlichen Beeinflussung durch Wind ausgegangen werden. Die größte Differenz, die zwischen Windrichtung und Windgeschwindigkeit erfasst wurde, beträgt gerundet 2 dB.

### Erkenntnisse

Folgende Erkenntnisse können aus der vorliegenden Auswertung abgeleitet werden:

- Die Emissionen von Monoblockrädern sind höher als jene der gummigefederten Radsätze. Die Differenz zwischen den Rädern ist bei größeren Geschwindigkeiten höher.
- Bei nicht erfolgter Wartung der Garnituren ist ein Anstieg der Erschütterungsemissionen im Laufe von zwei Jahren um bis zu 25% möglich. Eine Beeinflussung der Schallimmissionen konnte nicht festgestellt werden.
- Der Einfluss der Temperatur ist abhängig von Zugtyp und Gleis und beträgt im betrachteten Fall zwischen -10°C und +30°C nur 2 bis 3 dB. Eine Beeinflussung durch Kabel oder Membran des Messgerätes kann hierbei nicht zu 100% ausgeschlossen werden.
- Die Luftfeuchtigkeit hat ihren größten Einfluss im Bereich von Gleisbögen, ist aber auf gerader Strecke vernachlässigbar.
- Bei Nahbereichsmessungen ist durch Windgeschwindigkeit und Windrichtung eine Änderung der Vorbeifahrtspegel um maximal 2 dB beobachtet worden. Diese Differenz wird bei Mitwindsituation und 3 Bft im Vergleich zu Gegenwindsituation und 0 Bft ermittelt.