

Untersuchung zur akustischen Wirkung von Photovoltaik-Modulen

Christoph Hiltner, Prof. Dr.-Ing. Jörg Bienert
Technische Hochschule Ingolstadt, 85049 Ingolstadt

Einleitung

Die Funktion eines Lärmschutzwalls, störende Geräusche des Straßenverkehrs abzumindern und die Beeinträchtigung für Mensch und Umwelt in Form von Lärm zu senken, ist allgemein bekannt. Eine derartige bauliche Trennung von Wohngebiet und Verkehrsnetz findet sich ebenfalls in der oberbayerischen Gemeinde Weichering, Landkreis Neuburg-Schrobenhausen, wieder. Motiviert durch einen geplanten dreispurigen Ausbau der angrenzenden Bundesstraße B16 entstand die Idee, neben der systemimmanenten Energieerzeugung auch den möglicherweise vorhandenen akustischen Effekt einer Photovoltaik-Anlage zu nutzen. Durch eine Anbringung von Photovoltaik-Modulen auf dem bereits vorhandenen Lärmschutzwall erhoffte man sich eine zusätzliche Minderung der Geräuschemissionen bei gleichzeitig umweltfreundlicher Stromerzeugung. Die akustische Wirkung der Module wurde im Rahmen eines studentischen Projektes an der Technischen Hochschule Ingolstadt untersucht. Hierbei wurde im Labor „Freifeldraum“ ein skaliertes Modell erstellt, welches mit reziprok vergrößerten Frequenzen untersucht wurde.

Quantisierung des Verkehrslärms

Um einen Eindruck über das Frequenzspektrum und die Pegel des Verkehrsgeräusches zu bekommen, wurden vor Ort Messungen durchgeführt. Zur näheren Analyse wurden die Messdaten einzelner Fahrzeuge untersucht. Am Beispiel eines vorbeifahrenden Lastkraftwagens wird die Vorgehensweise ersichtlich. Mittels einer Fast-Fourier-Transformation (FFT) konnte das Messsignal in seine Frequenzanteile zerlegt und später ausgewertet werden. Wie in Abbildung 1 zu erkennen, ist der Frequenzbereich zwischen 700 Hz und 1750 Hz durch seinen vergleichsweise hohen Schalldruckpegel im LKW-Verkehrsgeräusch dominant.

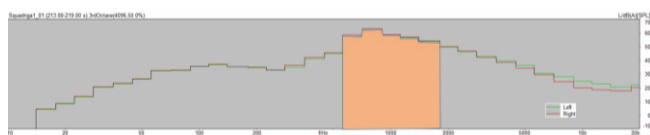


Abbildung 1: 1/3-Oktav-Analyse eines vorbeifahrenden LKW Geräusches in dB(A)

Als im Verkehrsgeräusch relevanter und in den Untersuchungen weiter berücksichtigter Bereich ergab sich das Frequenzband von etwa 830 Hz bis 2 kHz.

Wahl geeigneter Photovoltaik-Module

Um sowohl eine Lärminderung als auch eine effiziente Stromerzeugung zu realisieren, ist die Wahl geeigneter PV-Module von erheblicher Bedeutung. Mono- und polykristalline Modultypen besitzen trotz ihrer relativ hohen Material- und Energiekosten bei der Herstellung den mit Abstand größten Marktanteil. Sie sind langzeitstabil und umweltverträglich. Außerdem leisten diese beiden Varianten

einen effektiveren Beitrag zur Schalldämmung. Für die weiteren Untersuchungen des PV-Lärmschutzwalls wurde sich auf polykristalline Module konzentriert, insbesondere aufgrund des guten Preis-Leistungsverhältnisses.

Idee der Untersuchung im Modell mit geeignetem Maßstab

Da alle weiteren Versuche an einem Landschaftsmodell durchgeführt werden sollten, musste ein geeigneter Maßstab gefunden werden. Aufgrund der modellhaften Darstellung war eine Skalierung des relevanten Frequenzspektrums notwendig. Begrenzende Faktoren waren somit die im Freifeldraum maximal zur Verfügung stehende Fläche und die eingeschränkten Messbeziehungsweise Wiedergabebereiche der Versuchsgeräte. Durch die Wahl des Maßstabs von 1:12 mussten die zu untersuchenden Frequenzen auf 10 kHz bis 24 kHz angehoben werden, was sich bereits an der Grenze der möglichen Datenerfassung befand. Da die festgelegte Skalierung nicht für die vollständige Abbildung des Ackerlands zwischen Lärmschutzwall und Wohngebiet ausreichte, wurde mittels Berechnung des Abschirmmaßes eine Aussage über die spätere Ergebnissenauigkeit getroffen. Hierbei wurde das Abschirmmaß Dz für den realen, als auch modellhaften Fall durch die Variation des Parameters b beziehungsweise d , berechnet.

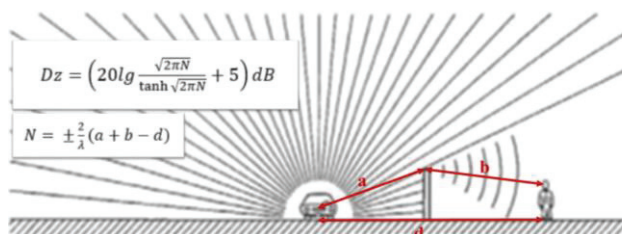


Abbildung 2: Berechnung des Abschirmmaßes für Modell [1]

Eine Abweichung von nur 0,48% des Abschirmmaßes erlaubte die Verkürzung des Ackerlandes im Modell.

Wahl der Modell-Materialien

Für die Nachbildung von Straße, Lärmwall, Ackerland und PV-Modulen im Modell mussten jeweils geeignete Materialien gefunden werden. Hauptkriterien bei der Auswahl waren akustische Eigenschaften, insbesondere Absorptions- und Dämmcharakteristiken. Zur Ermittlung des Absorptionsverhaltens jeder Komponente wurden Messungen in einem echoischen Raum durchgeführt. Durch die gleichmäßige Reflexion des von einem Dodekaeder-Lautsprecher emittierten Schalls im Hallraum, kann über die anschließende Messung der Nachhallzeit T auf den

frequenzabhängigen Absorptionskoeffizienten α geschlossen werden.



Abbildung 3: Nachhallzeit-Messung im Hallraum der Technischen Hochschule Ingolstadt

Mithilfe der Sabineschen Formel kann bei Kenntnis der geometrischen Oberfläche des Objektes S , Dämpfung des Ausbreitungsmediums m , Volumen des Raums V , die äquivalente Absorptionsfläche A und anschließend der Absorptionskoeffizient α berechnet werden.

$$A = \left(0,163 \frac{s}{m}\right) * \frac{V}{T} \quad \alpha = \frac{\Delta A}{S} \quad (1)$$

Nach diesem Verfahren wurde eine Vielzahl von Materialien untersucht. Die Skalierung des Modells wurde ebenfalls bei der Auswahl der Modellmaterialien berücksichtigt. So musste beispielsweise der Absorptionskoeffizient bei 24 kHz eines Modell-PV-Moduls dem gleichen Wert entsprechen, welches das reale PV-Modul bei 2 kHz besitzt.

Ein weiteres Kriterium war die Schalldämmung, ausgedrückt durch das Schalldämmmaß R , somit die Charakteristik, inwieweit sich Luft- beziehungsweise Körperschall beim Übergang zwischen zwei Medien ausbreitet. Der frequenzabhängige Transmissionsgrad von Materialien ergibt sich maßgeblich durch die jeweilige Massebelegung m'' (Masse bezogen auf die Fläche) und kann somit näherungsweise durch das Massengesetz berechnet werden:

$$R = 20 \log \frac{m'' \cdot \omega}{2 \cdot Z} \quad [dB] \quad (2)$$

Hierbei ist die Kreisfrequenz ω und die Kennimpedanz Z zu berücksichtigen. Aluminiumplatten ersetzen die Module im Modell, da diese ein vergleichbares Absorptionsverhalten im relevanten Frequenzbereich aufwiesen. Um das Schalldämmmaß sicherzustellen, wurde mittels (2) die notwendige Dicke des Aluminium-Materials bestimmt. Sowohl der Lärmschutzwall, als auch das Ackerland wurden mittels Akustik-Schaumstoffmatten nachgebildet, um dem Absorptionsverhalten möglichst nahe zu kommen. Das Dämmverhalten des Schallschutzwalls wurde durch eine unter den Matten angebrachte Gummifolie imitiert.

Herstellung des Modells

Mit den ausgewählten Materialien wurde der Modellbau für den skalierten Erdwall umgesetzt. Aus Portabilitäts- und Stabilitätsgründen wurde das Grundgerüst des Modells

rippenförmig aus Kartonagen-Material gefertigt. Die PV-Module in Form von Alublechen konnten in der Erdwallkante aus Bauschaum schnell und flexibel umgesetzt werden.

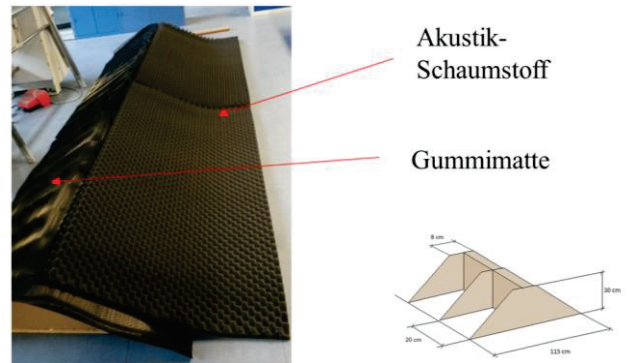


Abbildung 4: Komponenten des Modells

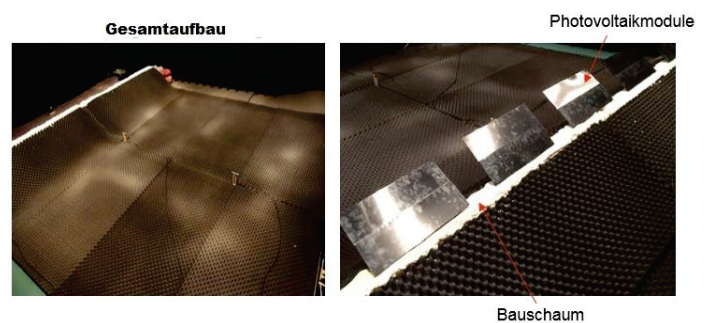


Abbildung 5: Modell im Freifeldraum der Technischen Hochschule Ingolstadt

Der Aufwand des Umbaus zwischen einzelnen Messungen wurde minimiert, indem jeweils 6 Modell PV-Module zusammengefasst wurden. Zur Dämpfung der Eigenfrequenzen, welche negative Auswirkungen auf das Messergebnis haben könnten, wurden die Aluminiumbleche auf der gegenüberliegenden Seite mit einer Gummifolie beklebt. Die Module wurden im 30°-Winkel zur Horizontalen, was der empfohlenen Ausrichtung entspricht, angebracht.

Messtechnik und Auswertemetrik

Durch die Skalierung und die Abbildung der realen Frequenz bis 2 kHz liegt der Frequenzbereich der Untersuchung bis in den Ultraschallbereich hinein. Standard-Audiotechnik ist somit nur bedingt einsetzbar bzw. speziell auszuwählen und zu prüfen. Die Auswahl fiel auf die Geräte in Abb. 6.



Abbildung 6: Verwendete Hardware für den Einsatz bis 24kHz

Die Walldämmung mit verschiedenen PV-Konstellationen wurde mit einem Versuchsaufbau nach Abb. 7 bestimmt. In der Nähe der Schallquelle befindet sich ein Referenzmikrofon. In einer 96.tel-Oktav-Analyse werden die beiden Mikrofonpositionen hinter dem Wall auf das Referenzmikrofon bezogen. Die Beschallung erfolgte monofrequent.

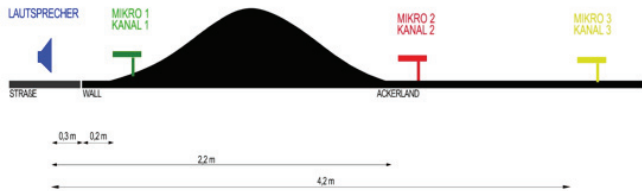


Abbildung 7: Positionierung von Quelle und Empfänger

Design of Experiments

Ein Vorteil des Modellversuchs ist die einfache Durchführung von Versuchsvarianten. Als Parameter für die Varianten wurden gewählt:

- Frequenz: 10, 12, 17, 20, 23.5 kHz
- Empfangspunkt nahe und fern hinter dem Wall
- Bauzustand: Wall ohne PV, Wall mit 100%, 95%, 75% PV Reihe d.h. lückenlos und kleinere Lücken, Wall mit lückenlosen, doppelreihigen PV-Modulen übereinander

Die so erzeugten Ergebnisse lassen sich mit einer Faktorenanalyse in die Einzeleinflüsse zerlegen. Dies kann in Form einer Hauptfaktorenanalyse (Abb. 8) oder einer Wechselwirkungsanalyse (Abb. 9) geschehen.

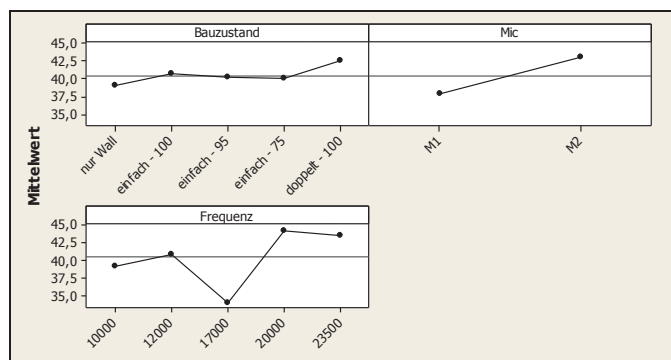


Abbildung 8: Hauptfaktorenanalyse für Dämmung

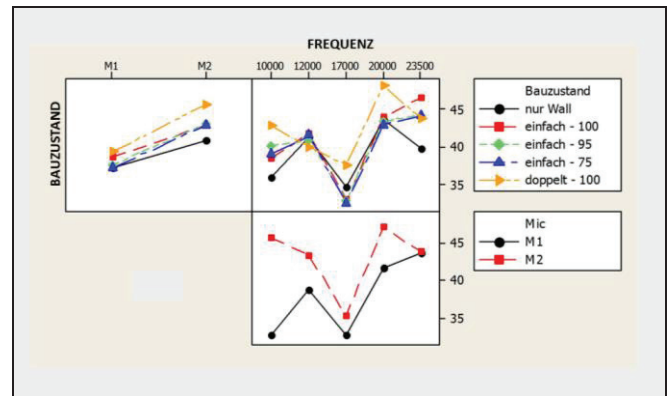


Abbildung 9: Wechselwirkungsanalyse für Dämmung

Abschließende Beurteilung

Abschließend lässt sich feststellen, dass die Verbesserung durch eine realistische, lückenlose Bestückung des Schallschutzwalles unter den gegebenen geografischen Bedingungen der Lage Weichering zu einer Verbesserung des Lärmschutzes von knapp 2dB führen kann. Dies liegt in der Größenordnung einer Verbesserung, die mit einer Lärmschutzwand gleicher Höhe erzielt werden könnte. Insofern kann eine PV-Anlage neben ökologischer Energieerzeugung auch einen kleinen Beitrag zum Lärmschutz liefern.

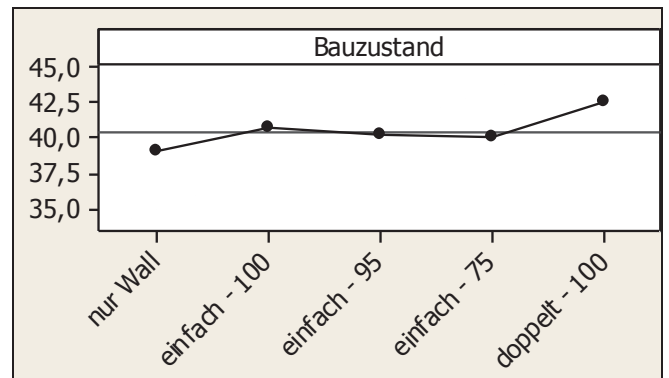


Abbildung 10: Wirkung der PV Module

Literatur

[1] Müller, Gerhard (Hrsg.): Taschenbuch der technischen Akustik, 3. erw. und überarb. Aufl., Berlin [u.a.] : Springer, 2004.