

Akustische Messungen an Photovoltaik-Wechselrichtern

A. Meister¹, K. Moritz¹, A. Skowronek¹, L. Kurtze¹, W. Ellermeier², M. Roos³, S. Seeber⁴

¹ Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM
Magdalenenstraße 4, 64289 Darmstadt, E-Mail: meister@szm.tu-darmstadt.de

² Technische Universität Darmstadt, Institut für Psychologie, AG Angewandte Kognitionspsychologie

³ Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, 34119 Kassel

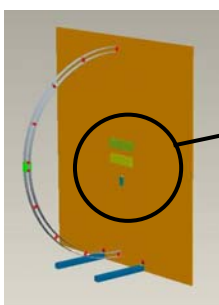
⁴ voltwerk electronics GmbH, 61118 Bad Vilbel

Ziel der Messungen

Derzeit beschäftigen sich verschiedene Forschungseinrichtungen und Hersteller damit, bestehende Defizite in relevanten Normen für die akustische Messung von Photovoltaik-Wechselrichtern aufzuzeigen und Alternativen zu erarbeiten. Geräuschemissionsangaben in dB(A) eignen sich nicht, um den Grad der Belästigung des Menschen einzuschätzen und die Eigenschaften verschiedener Solarwechselrichter bezüglich der Geräuschbelastigung zu vergleichen. Hier könnten psychoakustische Größen für eine gehörgerechtere Bewertung herangezogen werden. Mit akustischen Messungen und Hörversuchen an der Technischen Universität Darmstadt sollten geeignete Kenngrößen ermittelt und eine Messvorschrift erarbeitet werden.

Messaufbau

Wechselrichter sind üblicherweise an massiven Wänden montiert, die den auftreffenden Luftschall reflektieren. Da die Messungen in einem halbschalltoten Raum durchgeführt wurden, wäre nur die Bodenreflexion vorhanden. Daher wurde eine Ersatzwand aufgestellt, die zum einen die Wechselrichter aufnahm und zum anderen eine Schall reflektierende Fläche darstellte. Diese bestand aus zwei großen MDF-Platten, die zusammen eine quadratische Fläche ergaben. Um das vergleichsweise leichte System nicht übermäßig zu Schwingungen anzuregen, was zu unverhältnismäßig hoher Schallabstrahlung führen könnte, wurden die Wechselrichter nicht an die MDF-Platten geschraubt, sondern an das Trägergestell, welches zur zusätzlichen Masseerhöhung noch mit Sand befüllt war.



Stahlplatten zur Aufnahme der Messobjekte

Abbildung 1: Ersatzwand mit Mikrofonbogen

Zur Bestimmung der Schallleistung musste eine ausreichende Anzahl an Mikrofonen in einer Hüllfläche um das Prüfobjekt positioniert werden. Um dies schnell und wiederholgenau erreichen zu können, wurde ein schwenkbares Bogenarray konstruiert und gefertigt, das an der Wandkonstruktion befestigt wurde (siehe Abb. 1). Dieses enthielt Aussparungen für acht Mikrofone, die über den Umfang verteilt in

gleichen Abständen zueinander angeordnet waren. Durch Rotation des Bogens um zwei Scharniere nahmen die Mikrofone Positionen auf einer halbkugelförmigen Hüllfläche um das Messobjekt ein. Zur Bestimmung der Schallleistung der Wechselrichter wurde der Bogen jeweils in fünf Winkelpositionen positioniert, so dass bei jedem vermessenen Betriebszustand eines Gerätes 40 Messkanäle aufgezeichnet wurden (siehe Abb.2).

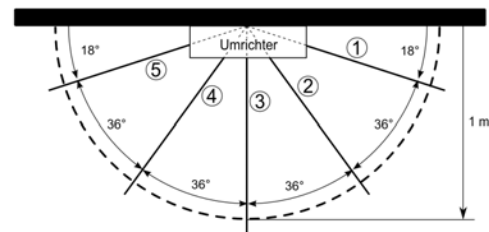


Abbildung 2: Winkelpositionen des Bogenarrays

Durch den bogenförmigen Aufbau wurden zudem Richtcharakteristiken der Wechselrichter identifiziert. Die Schallleistung wurde mittels des Vergleichsschallquellenverfahrens bestimmt.

Auswertung der Messungen

Insgesamt wurden fünf Geräte bei unterschiedlichen Betriebszuständen vermessen. Diese unterschieden sich in ihrer Betriebsspannung, der elektrischen Leistung und der Lüfterdrehzahl (wobei nicht alle Geräte Lüfter aufweisen).

Die Schallleistungen der betrachteten Geräte lagen zwischen 65 und 84 dB(A). Sie variierten stark zwischen den einzelnen Geräten und stiegen sowohl mit der elektrischen Leistung als auch mit der Drehzahl der eingebauten Lüfter. Einzelne Ergebnisse zu den gemessenen Schalldruckpegelspektren werden in den Abbildungen 3 bis 5 dargestellt.

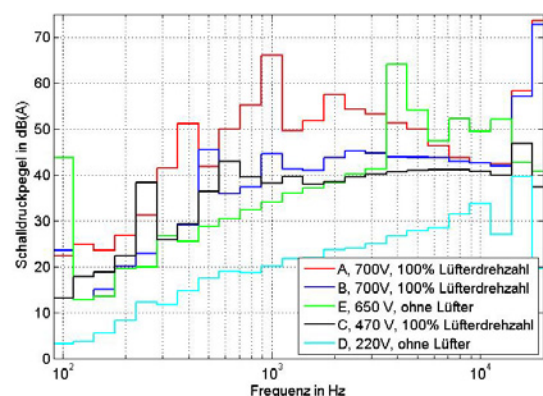


Abbildung 3: Schalldruckpegelspektren; Vergleich aller Geräte bei 100% Leistung

Die Auswertung der ermittelten Schalldruckpegelspektren zeigt, dass die elektrischen Komponenten der Geräte vor allem sehr hohe Frequenzen (16–18 kHz) anregen, während der Frequenzbereich zwischen 200 und 5000 Hz hauptsächlich von den Lüftern erregt wird. Den Hauptanteil zur Schallleistung steuern jedoch die hochfrequenten Anteile bei, deren Terzpegel bei einzelnen Geräten bis zu 20 dB über denen der Lüfter lagen. In der Wahrnehmung des Menschen sind allerdings die Lüfter dominanter, weil die sehr hochfrequenten tonalen Komponenten durch die frequenzabhängigkeit des Gehörs schon deutlich abgeschwächt werden. Weitere Ergebnisse zur psychoakustischen Auswertung finden sich in [2].

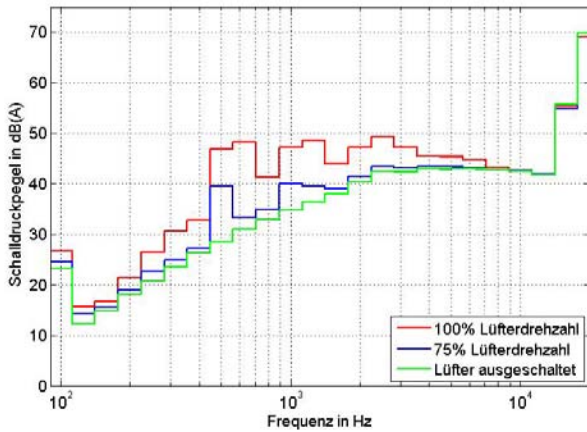


Abbildung 4: Einfluss der Lüfterdrehzahl auf das Schalldruckpegelspektrum von Gerät B, 250V Betriebsspannung

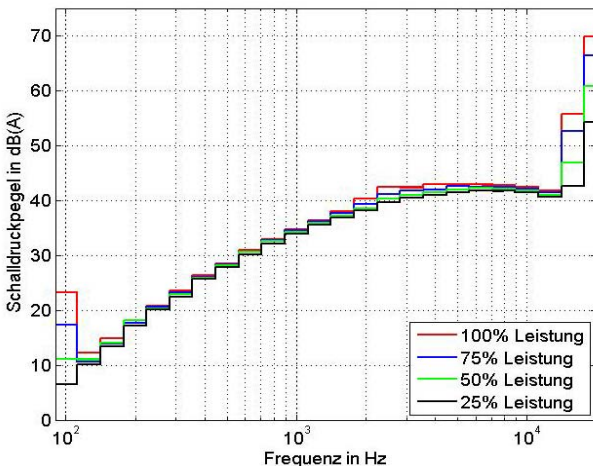


Abbildung 5: Einfluss der Leistung auf das Schalldruckpegelspektrum von Gerät B 750V, Lüfter ausgeschaltet

Bei höheren Leistungen (75% und 100%) erhöhen sich die Terzpegel in den hohen Frequenzen deutlich.

Empfehlungen für eine Messvorschrift

Zur Vereinfachung gegenüber den durchgeführten Untersuchungen gehört in erster Linie die Beschränkung der Anzahl der Messpunkte auf ein Minimum. Es wurde festgestellt, dass es keine signifikanten Unterschiede der Schalldruckverteilung über verschiedene Messwinkel gab, größeren Einfluss hatte dagegen die Messhöhe der einzelnen Mikrofone. Diese Tatsache liegt im Aufbau der Wechselrichter begründet, der in den meisten Fällen annähernd symmetrisch zur Senkrechten ist, wohingegen die Position der Hochfrequenz-

bauteile und die Position der Lüfter gerätetypisch verschieden ist. Abgeleitet aus den vorangegangenen Ergebnissen werden fünf Messpunkte empfohlen, die in einem Radius von 1 m um den Flächenmittelpunkt des Messobjektes an der Befestigungswand positioniert sind. Dabei befinden sich die Messpunkte 2 und 4 in einer Ebene, die 45° nach links gedreht ist, während die Ebene der Messpunkte 3 und 5 um 45° nach rechts gedreht ist (Abbildung 6 und 7).

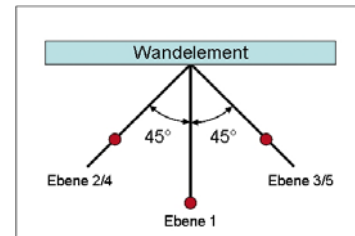


Abbildung 6: Anordnung der Messebenen (Ansicht von oben)

Innerhalb dieser Messebenen befinden sich die Messpunkte, wie oben beschrieben, auf einem 1 m Radius um den geometrischen Mittelpunkt der Rückwand des Wechselrichters.

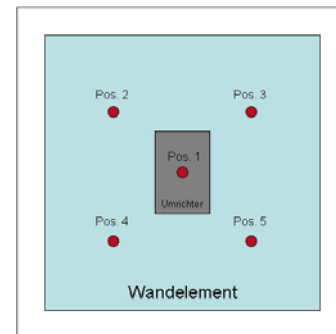


Abbildung 7: Anordnung der Messebenen (Ansicht von vorn)

Die gemessenen Schalldrücke werden gemittelt, wodurch man einen Vergleichswert für die Beurteilung verschiedener Geräte erhält. Bezüglich der Messzustände der Geräte ist eine Unterscheidung in Geräte mit und ohne separaten Lüfter vorzunehmen, da der Lüfter maßgeblich zur Geräuschenstehung beiträgt.

Die Befestigung der Wechselrichter und der Aufbau der Wand sollten sich am vorgeschlagenen Messaufbau orientieren. Wichtige Punkte hierbei sind die Wandfläche, die größer sein sollte als die Abmessungen der projizierten Messfläche, und die Abkopplung der Wechselrichter von der dünnen Wandplatte. Alternativ kann auch eine geschlossporige oder glatt verputzte Massivwand (Mauerstein, Beton) genutzt werden. In diesem Fall kann auf einen Halterahmen und die Abkopplung von der Wand verzichtet werden.

Literatur

DIN EN ISO 3747 (2009) - Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Vergleichsverfahren zur Verwendung unter Einsatzbedingungen

[2] W. Ellermeier, F. Kattner, L. Kurtze, M. Roos, S. Seiber, J. Bös: Psychoakustische Analyse der Betriebsgeräusche von Photovoltaik-Wechselrichtern, DAGA 2011, Düsseldorf, 21.-24. März 2011