

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

Ein Ziel der Arbeit war es, einen funktionstüchtigen, automatisierten Prüfstand mit geregelter Vibrationsanregung zur Charakterisierung von Energy-Harvestern aus Vibrationen zusammenzustellen. Der Prüfstand erfasst alle zur Charakterisierung notwendigen Messwerte. Der bereits vorhandene Messplatz wurde dazu um geeignete Geräte erweitert und dessen Verkabelung unter Berücksichtigung der elektromagnetischen Verträglichkeit neu angeordnet.

Die Vibrationsanregung des Prüfstands erfolgt mittels einem Shaker. Die Vibrationsanregung wird sowohl mit einem Beschleunigungs- als auch mit einem Wegsensor überwacht. Bei ersten Messungen der Auslenkung des Shakers trat ein antiresonantes Verhalten auf, wenn der Harvester installiert war. Es wurde ein mechanisches Ersatzmodell der Antriebseinheit vorgestellt und dessen Übertragungsfunktion untersucht. Infolgedessen konnte das Verhalten des Shakers mit installiertem Harvester durch das Hinzufügen einer zusätzlichen Masse an der Shakerplattform stabilisiert werden. Es konnte gezeigt werden, dass sich dadurch zudem die Messwerte der beiden Messprinzipien der Vibrationsanregung angeglichen haben, jedoch bei höheren Frequenzen die Wegmessung ungeeignet zur Überwachung der Beschleunigungsamplitude ist. Das Vermeiden von antiresonanten Effekten ist auch zum Schutz des Shakers erforderlich.

Für die Messwerterfassung wurde eine Messkarte ausgewählt und in den Prüfstand integriert. Zur fehlerfreien Abtastung wurde ein Antialiasing-Filter entworfen und aufgebaut. Ein Regal dient dem übersichtlichen Aufbau der Geräte, das zum Schutz vor Fehlerströmen geerdet wurde.

Die Ansteuerung und Datenerfassung des zusammengestellten Prüfstands erfolgt mittels LabVIEW. Insbesondere für den Wegsensor (Lasertriangulationssensor) wurden Sub-VIs erstellt, welche die Ansteuerung mit LabVIEW – nicht nur für die Anwendung des Sensors am Prüfstand – vereinfachen. Mittels LabVIEW konnte auch eine Regelung der Beschleunigungsamplitude implementiert werden. Damit die Regelung nicht zu hohe Auslenkungen des Shakers erzeugen kann, wird zum Geräteschutz ständig die Auslenkung der Shakerplattform überwacht und im Fehlerfall der Charakterisierungsvorgang abgebrochen. Die Charakterisierung eines einfachen Harvesters am Prüfstand zeigt dessen Funktionstauglichkeit. Zunächst auftretende Fehler in der Regelung bei der Charakterisierung konnten durch einen Neuentwurf der Regelung behoben werden. Für die Auswertung der Charakterisierung wurde MATLAB verwendet.

Als zweites Ziel der Arbeit war die Untersuchung der bei Gebäuden auftretenden Vibrationen. Um Messungen vor Ort durchführen zu können, wurde ein Messprogramm erstellt, das auf einem Laptop ohne LabVIEW lauffähig ist und sowohl die Auslenkung als auch die

Beschleunigung aufzeichnet. Es wurden die Vibrationen der Außentreppe des FAN B Gebäudes untersucht. Zu Spitzenzeiten ergab die Auswertung der Messungen eine Beschleunigung von  $0,34 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  bei einer Frequenz von 17 Hz. Die Ergebnisse der Weg- und Beschleunigungsmessungen wurden untereinander verglichen und es wurde dabei nur eine geringe Abweichung festgestellt.

Im Rahmen der Arbeit sollte weiterhin ein Harvester mit weichmagnetischem Material mit möglichst optimaler Ausgangsleistung entworfen und aufgebaut werden. Ein mechanisches Masse-Feder-Dämpfer-Modell beschreibt die Bewegungsgleichung des Harvesters unter vereinfachten Annahmen. Im Modell wurden neben der Feder-, Dämpfer- und Trägheitskraft noch die Reluktanz- und die Lorentzkraft berücksichtigt. Das Modell wird dabei mit der aus der Vibrationsmessung an der Treppe bestimmten Frequenz und Amplitude angeregt. Nach einem groben Entwurf des Harvesters wurde der magnetische Kreis zunächst analytisch behandelt. Eine anschließende numerische Lösung der Bewegungsgleichung des Harvesters scheiterte an den im analytischen Modell auftretenden Unstetigkeitsstellen im Kraftverlauf der Lorentz- und Reluktanzkraft. Berechnungen des magnetischen Kreises unter Zuhilfenahme der Finite-Elemente-Methode wurden durchgeführt und mit der analytischen Berechnung verglichen. Für Spezialfälle stimmen die Berechnungsergebnisse überein. Unter Berücksichtigung der Streuung trat zudem kein Sprung mehr im Kraftverlauf auf.

Zur Bestimmung der optimalen Ausgangsleistung wurde die Bewegungsgleichung des Harvesters und anschließend die effektiv erzeugte Spannung und mittlere Leistung für verschiedene Varianten des magnetischen Kreises unter Verwendung der FEM berechnet. Aus dem Ergebnis dieser Parametervariation wurde der Entwurf des Harvesters mit einer mittleren Leistung von 0,54 mW und 0,47 V effektiver Spannungsamplitude bei der an der Treppe gemessenen Vibration ausgearbeitet. Anhand des Modells konnte zudem gezeigt werden, welche Auswirkung die Reluktanzkraft auf die Federsteifigkeit besitzt und, dass sich infolge der Verrückung der Feder ein Verfahren zum Einstellen der Resonanzfrequenz realisieren lässt.

Zum Ende der Arbeit liegt der Harvester nicht vollständig aufgebaut vor, weshalb eine Charakterisierung am Prüfstand nicht stattgefunden hat. Aufgrund der Unsicherheit, ob die Berechnungsergebnisse der FE-Simulation richtig sind, bedarf es weiterer Untersuchungen.