

Abstract: Microgrids are a promising solution for addressing two of today's concurrent challenges: climate change and insufficient access to electricity. Enhancing access to electricity through bottom-up growth of infrastructure is the central idea behind swarm electrification. In particular, swarm electrification is aimed at delivering this bottom-up growth through so-called swarm microgrids. However, so far, the literature on swarm electrification has focused on economic aspects but not on its technical realization. This thesis addresses this gap in the literature by providing a) a user value analysis to derive technology requirements, b) a holistic technology design methodology, and c) a control strategy development and stability assessment specific for swarm microgrids. Insights from real-world implementation of swarm microgrids in Bangladesh are provided. The results of this thesis include a set of key drivers that motivate users to participate in swarm electrification. Further, a so-called "5S" methodology is developed and provides the basis for the definition of the technology design of swarm microgrids. Additionally, an in-depth stability analysis demonstrates the robustness of swarm microgrids, even when scaled to large numbers of 1000 participating swarm units. As such, this thesis provides an elaborate framework to support the scale-up of swarm electrification on a global scope.

Zusammenfassung: Microgrids sind eine vielversprechende Lösung für zwei akute Herausforderungen: einerseits den Klimawandel und andererseits den unzureichenden Zugang zu Elektrizität. Den Zugang zu Elektrizität durch Bottom-up-Wachstum auszubauen ist die zentrale Idee der Schwarmelektrifizierung. Insbesondere sieht die Schwarmelektrifizierung vor, dieses Bottom-up-Wachstum durch sogenannte Schwarm-Microgrids zu realisieren. Allerdings wurden bislang in der Literatur zur Schwarmelektrifizierung hauptsächlich ökonomische Aspekte diskutiert, aber nicht die technische Realisierung. Die vorliegende Arbeit adressiert diese Forschungslücke und erbringt spezifisch für Schwarm-Microgrids: a) eine Nutzer*innenwert-Analyse, mit der die technischen Anforderungen herausgearbeitet werden, b) eine umfassende Methodik für das Technolgieedesign und c) die Entwicklung einer Regelungsstrategie und Stabilitätsanalyse. Erkenntnisse aus der Implementierung von Schwarm-Microgrids in Bangladesch werden ebenfalls gezeigt. Die Ergebnisse dieser Arbeit umfassen die Identifikation von Schlüsseltreibern, die Nutzer*innen motivieren an Schwarmelektrifizierung zu partizipieren. Ferner wird eine sogenannte "5-S"-Methodik entwickelt, welche die Basis für das Technolgieedesign von Schwarm-Microgrids darstellt. Des Weiteren wird durch eine detaillierte Stabilitätsanalyse die Robustheit von Schwarm-Microgrids für bis zu 1000 teilnehmende Einheiten gezeigt. Insgesamt liefert diese Arbeit ein ausführliches Rahmenwerk, mithilfe dessen die Umsetzung von Schwarmelektrifizierung weltweit vorangetrieben werden kann.