



Hochschule Konstanz
University of Applied Sciences



Essen 2020

Thesis for the attainment of the academic degree of

Master of Engineering (M. Eng.)

in

International Project Engineering (IPE)

Efficient design of experiments to perform a sensitivity analysis for a grid-driven micro-CHP unit – Modelica simulation

presented by: Andre Huber
Matriculation No. 292123

period of work: 15 June 2020
14 December 2020

HTWG Konstanz – University of Applied Sciences

Department of Electrical Engineering and Information Technology

Alfred-Wachtel-Straße 8

78462 Konstanz

Supervisor: Prof. Dr. Ing. Pedro da Silva

Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.

Department of Fuel and Appliances Technology

Hafenstraße 101

45356 Essen

Supervisor: M. Sc. Mustafa Flayyih

Abstract

Fluctuating renewable energy production plays a central role in achieving the target emission reduction of energy transmission. A grid-driven micro-combined heat and power units can help to reduce the fluctuations in the electrical grid. This study aims to investigate a grid-driven quarter model [1] using a sensitivity analysis. This helps to understand the system behaviour and identify the factors that have a significant influence on the response. The achieved results can help to improve the grid-supportiveness of the grid with a grid-driven micro-combined heat and power unit.

The sensitivity analysis, serves as a guideline for the statistical theory of design of experiments (DOE). It determines the lowest amount of factor combination to reach statistically secure results. With this approach, the analysis can be performed in terms of an efficient time-effort relation.

For the sensitivity analysis, factors such as heat demand, battery capacity, heat storage volume, and residual load were considered. A one-at-time method needs 1,440 simulation runs to cover all possible combinations for the studied analysis. Through the efficient use of the design of experiments, two experiments were performed: a pre-experiment with twelve simulation runs and a main experiment with 41 runs. These simulations runs were stochastically designed according to the selected factors and its ranges. The influence of the factors to various responses is evaluated by describing the grid-supportiveness, greenhouse gas emissions, consumer coverage data, and micro-combined heat and power full load hours.

The results of the sensitivity analysis show a significant effect of the heat demand and the residual load to all responses. Moreover, a significant non-linear effect of the heat demand is ascertained. The heat storage volume has a significant effect on the demand coverage data, and the full load hours. On the contrary, the battery has no effect to this response. Through the control of the quarter and the residual load used, the battery capacity only shows a significant effect on the grid-supportive responses, and hence the battery has no use for the user. The greenhouse gas emissions are significantly influenced by the heat demand and the residual load.

Micro-combined heat and power units in the domestic sector can contribute to reduce fluctuations in the grid, although using these technologies can leads to more cost for the user. There would be a need to study this to avoid the economical disadvantages for the user, especially by using the combined heat and power act.

Zusammenfassung

Die fluktuierende Produktion erneuerbarer Energien ist ein zentraler Bestandteil, um den CO₂-Ausstoß im Rahmen der Energiewende zu reduzieren. Hierbei kann ein netzdienliches Modell [1] für Kraft-Wärme-Kopplung-Anlagen Abhilfe schaffen, um die Belastung im Stromnetz zu verringern. Mittels einer Sensitivitätsanalyse sollen Verständnis für das Systemverhalten geschaffen und Faktoren definiert werden, welche einen signifikanten Einfluss auf den Output haben. Die Ergebnisse liefern wesentliche Erkenntnisse, um ein netzdienliches Quartier zu verbessern.

Als Leitfaden für die Sensitivitätsanalyse dient die Theorie der statischen Versuchsplanung (DOE). Anhand dieser wird die geringst mögliche Menge an Versuchsdurchläufen und Kombinationen bestimmt, um statisch abgesicherte Ergebnisse zu erhalten. Mit diesem Ansatz kann die Analyse in einem effizienten Zeit-Aufwand-Verhältnis durchgeführt werden.

Die Faktoren Wärmebedarf, Batteriekapazität, Wärmespeichervolumen und Residuallast werden in der Sensitivitätsanalyse berücksichtigt. Eine one-at-time Methode benötigt 1,440 Simulationsdurchläufen um alle möglichen Kombinationen der Faktoren abzudecken. Durch den effizienten Einsatz der statistischen Versuchsplanung werden zwei Experimente durchgeführt: ein Vorexperiment mit zwölf und ein Hauptexperiment mit 41 Simulationsdurchläufen. Der Einfluss der einzelnen Faktoren auf die Output-Parameter werden durch die Netzdienlichkeit, die Treibhausgasemissionen, die Benutzerverbrauchsabdeckung und die Volllaststunden der Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen beschrieben.

Die Sensitivitätsanalyse zeigt einen signifikanten Einfluss des Wärmebedarfs und der Residuallast auf alle Outputs. Darüber hinaus wird ein signifikanter nicht-linearer Effekt des Wärmebedarfs festgestellt. Das Volumen des Wärmespeichers hat eine signifikante Wirkung auf die Verbrauchsabdeckung der Nutzer und auf die Volllaststunden der Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen. Die Batteriekapazität hat hingegen keinen signifikanten Einfluss. Durch die Quartier-Steuerung und die verwendete Residuallast, hat die Batteriekapazität nur auf die Netzdienlichkeit eine signifikante Wirkung und somit hat diese keinen Nutzen für den Verbraucher. Die Treibhausgasemissionen werden von der Residuallast und dem Wärmebedarf beeinflusst.

Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen im häuslichen Bereich können dazu beitragen, Netzschwankungen zu reduzieren, führen jedoch auch zu einem Nachteil für den Verbraucher. Um eine Kompensation der Residuallast mittels netzdienlichen dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen zu ermöglichen, müssen zunächst wirtschaftliche Anreize geschaffen werden, um die negativen Auswirkungen für den Nutzer auszugleichen. Besonders im Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz.