

Exergetische, Energetische und Wirtschaftliche Analyse für den Einsatz von elektrischen Energiespeichern mit Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungs-Systemen im Wohngebäudebestand - Modellierung und Simulation mit Modelica

**Masterarbeit**

Studiengang Master Wirtschaftsingenieurwesen - Energiesysteme der Hochschule Ruhr West

**Ilias Rahmouni**

**Matrikelnummer: 10008743**

Erstprüfer: Dr. Jörg Reuter

Zweitprüfer: M.Sc. Mustafa Flayyih

Kooperationspartner: Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.

Forschungszentrum Industrie- und Feuerungstechnik

Brennstoff- und Gerätetechnik

Externer Betreuer: M.Sc. Mustafa Flayyih

Essen Oktober 2019

---

## **Abstract (Eng, De, Ar, Fr)**

### **(Eng)**

The fact that decentralized generation of energy is becoming technically more and more efficient thanks to the heavy development of its engineering and therefore higher efficiencies, and in addition to that due to its environmentally friendly behavior, it is increasing dramatically in popularity against the conventional centralized solutions (power plants) (Wehnert, Helbig, & Jörf, 2004, S. 10). These centralized stations of power generation suffer from critical loss in the efficiency. This efficiency loss is due to very huge quantities of lost heat through the thermal cycle. And this is generally caused when combining systems for heat generation as well as power generation (Combined Heat and Power hard coal power plants 38%, Combined heat and power lignite power plant 35%) (Schäuble, Volkert, Jacobs, & Töpfer, 2014, S. 8). In most of the cases when talking about the centralized solutions, the outputs of heat and power are generally quasi constant throughout some specific periods of time, while the energy demand is continuously varying throughout the time. Decentralized power generation such as small CHP-systems is one of the good solutions to deal with this supply and demand when it comes to energy, but it's still economically insufficient and expensive (van Haaren, 2019, S. 93), therefore it will be more efficient if we think about the installation of batteries with advanced and compatible technologies for local use with CHP-Systems. This work is investigating the correlation between a CHP-System in a local use with a battery. Modelling of a unique Lithium battery cell, with its electrical, thermal and aging processes, will provide a stable model, which opens the door to simulating virtual batteries and CHP-Systems throughout the time. The Modelling and simulation in this work is done with the program "Dymola Dassault system". In addition to that, the economic, exergetic and energetic analysis in this work will provide a better comprehension of different behaviors of a CHP-System with an electrical storage in the future.

### **(De)**

Da die dezentralen Energieerzeugungsanlagen durch die gesamte Entwicklung ihrer Technik effizienter geworden sind und sie auch einen umweltfreundlichen Betrieb haben, nimmt die Orientierung in den letzten Zeiten zu dieser effizienten Lösung stark zu (Wehnert, Helbig, & Jörf, 2004, S. 10). Dagegen stellen natürlich die zentralen Energieerzeugungsanlagen immer noch eine Lösung dar. Sie leiden aber darunter, dass der Energieverlust durch die Wärmeerzeugungs- und Übertragungsprozesse groß ist. Dies führt in dem gesamten thermischen und energetischen Kreislauf zu niedrigen Wirkungsgraden, was auch sehr wahrscheinlich zu treffen ist, wenn Wärme- und Stromerzeugung zusammengekoppelt sind (Kraftwärme-Kopplung bei Braunkohle-Kraftwerken 35% als mittlerer Wirkungsgrad und die Kraftwärme-Kopplung

bei Steinkohle-Kraftwerken 38% ) (Schäuble, Volkert, Jacobs, & Töpfer, 2014, S. 8). Bei den zentralisierten Energieerzeugungsanlagen sind Wärme- und Stromerzeugung über einen bestimmten Zeitraum in der Regel nahezu konstant, währenddessen der Energiebedarf ständig schwankt. In dem Fall ist die dezentrale Stromerzeugung, in Form einer Kraftwärme-Kopplungsanlage, eine der guten Lösungen, die flexibel mit dem konstanten Angebot und der schwankenden Nachfrage im Energiebereich umgeht. Allerdings wird die Auslegung von batterielessen KWK-Anlagen unwirtschaftlich (van Haaren, 2019, S. 99), wenn hier nicht über die Installation von Batterien nachgedacht wird, die mit modernen und kompatiblen Technologien für den lokalen Einsatz von KWK-Anlagen ausgerüstet sind.

Diese Arbeit untersucht die Korrelation zwischen einem konventionellen KWK-System in einem lokalen Gebrauch und einer Batterie zur Stromspeicherung. Es erfolgt die Modellierung einer einzelnen Lithium-Akku-Zelle mit ihren elektrischen, thermischen und Alterungsprozessen, und dadurch die Erstellung eines stabilen und effizienten Modells, das die Tür zur Simulation virtueller Batterien und KWK-Systeme über zukünftige Zeiträume öffnet. Die gesamte Modellierung und Simulation des Modells erfolgt durch Dymola von Dassault Systems. Darüber hinaus werden in dieser Arbeit exergetische, energetische und wirtschaftliche Analysen betrachtet, um zukünftig ein besseres Verständnis der verschiedenen Verhaltensweisen eines KWK-Systems plus elektrische Speicherung zu ermöglichen.

## (Ar)

لقد أصبح التوليد اللامركزي للطاقة أكثر كفاءة من الناحية التقنية، وذلك بفضل التطوير المكثف لهندسته، وبالإضافة إلى نظافة سلوكه البيئي، فإن شيوع استخدامه تزايد في الآونة الأخيرة بشكل كبير على حساب التوليد المركزي التقليدي للطاقة الحرارية والكهربائية في أن واحد، و هنا يجدر الذكر بمحطات توليد الطاقة التقليدية. (Wehnert, Helbig , & Jörf, 2004)

تعاني المحطات المركزية التقليدية لتوليد الطاقة من فقدان في الكفاءة بمستويات جد حرجة. ويرجع السبب هنا إلى فقدان كميات ضخمة من الحرارة خلال الدورة الحرارية. وهذا الأمر هو أكثر حتمية عند المزاجية بين أنظمة توليد الحرارة، وأنظمة توليد القدرة الكهربائية. و عند الحديث عن الحلول المركزية التقليدية، يكون إنتاج الحرارة والكهرباء في معظم الحالات شبه ثابت طوال بعض الفترات الزمنية المحددة، في حين أن الطلب على الطاقة يتغير باستمرار.

توليد الطاقة بطريقة لامركزية مثل التوليد اللامركزي المشترك للحرارة والقدرة الكهربائية هي واحدة من الحلول الجيدة للتعامل مع هذا التغير للعرض والطلب، خاصة عندما يتعلق الأمر بالطاقة، ولكن التوليد اللامركزي المشترك للحرارة والقدرة الكهربائية لا يمكنه ان يعطي الطلب الأنبي بشكل مستمر على الطاقة الكهربائية، ولهذا فمن الممكن أن يكون هذا النظام أكثر كفاءة و رغبة للمستخدم إذا ما تم تركيب بطاريات بتقنيات متطورة و موافقة للاستخدام المنزلي المحلي.

إن التصميم و النمذجة الافتراضيين في الأطروحة الحالية لخلية وحيدة لبطارية معتمدة أساسا على مادة الليثيوم، كذلك مع تصميم و نمذجة أنظمتها الكهربائية والحرارية وكذلك ظاهرة شيخوختها، ستوفر نموذجا افتراضيا مستقرا لبطارية ليثيوم متكاملة، مما يفتح الباب لمحاكاة البطاريات الواقعية المتزاوجة مع أنظمة التوليد اللامركزي المشترك للحرارة والقدرة الكهربائية على مدار أي مدة زمنية سواء كانت محددة أو غير محددة. لذلك تم التركيز في هاته الأطروحة على النمذجة والمحاكاة بنظام البرمجة و البرنامج المشغل "Dymola Dassault Systems و Modelica"

بالإضافة إلى ما سبق ذكره، سيوفر التحليل الحسابي الذي تم تطويره خلال هذا المشروع لمجال الطاقة و الاقتصاد لهذا النوع من التكنولوجيا ، فهم و توقع مستقبلي أفضل للسلوكيات المختلفة للتوليد المشترك للحرارة والقدرة الكهربائية مع إمكانية تخزين الطاقة الكهربائية في مكان و آن واحد.

## (Fr)

Le fait que la production décentralisée d'énergie devient techniquement de plus en plus efficace grâce au développement intensif de son ingénierie, et aussi grâce à son comportement écologique amical, elle augmente dernièrement considérablement de popularité par rapport aux solutions centralisées conventionnelles (Wehnert, Helbig , & Jörf, 2004, S. 10). Ces derniers souffrent au niveau de production d'Énergie d'une perte critique d'efficacité. Cette dernière est due à de très grandes quantités de chaleur perdue dans le cycle thermique. Et cela est plus probable lorsque l'on combine des systèmes de production de chaleur et de production d'électricité (Schäuble, Volkert, Jacobs, & Töpfer, 2014, S. 8). Dans la plupart des cas, lorsque l'on parle des solutions centralisées, les sorties de chaleur et d'électricité sont généralement quasi-constantes pendant certaines périodes de temps spécifiques, alors que la demande d'énergie varie continuellement. La production d'énergie décentralisée, comme par exemple les systèmes de cogénération locaux, est l'une des bonnes solutions pour faire face à cette variation d'offre et de la demande en matière d'énergie, mais elle est encore immature économiquement parlé (van Haaren, 2019, S. 99). Donc elle sera plus efficace si nous pensons à l'installation de batteries avec des technologies avancées et compatibles pour une utilisation locale avec les systèmes de cogénération.

Ce travail consiste donc à étudier la corrélation entre un système de cogénération et une utilisation locale avec une batterie. La modélisation d'une pile unique au lithium, avec ses processus électriques, thermiques et vieillissants, fournira un modèle stable et efficace, qui ouvrira la porte à la simulation virtuelle de batteries et de systèmes de cogénération tout au long d'une période définie ou bien indéfinie. La modélisation et la simulation dans ce travail se réalise avec le programme "Dymola Dassault system". De plus, l'analyse économique, physique et énergétique de ce travail permettra de mieux comprendre les différents comportements d'un système de cogénération local doté d'un stockage électrique à l'avenir.