

Proposal zur Bachelorarbeit

„Graphen-gestützte Koalitionsbildung von Windenergieanlagen“**1 Einleitung**

Das Stromversorgungssystem in Deutschland ist seit Ende des 20. Jahrhunderts einem tiefgreifenden Wandel unterworfen. Mit dem Beginn der Liberalisierung der Strommärkte im Jahr 1998 gelten grundlegend neue Regeln entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Stromversorgung. Eine wichtige Veränderung des Stromversorgungssystems ergab sich aus dem Ziel, den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung deutlich zu erhöhen. Damit sollen Kohlendioxidemissionen und Ressourcenverbrauch reduziert werden.

Für eine stabile und zuverlässige Stromversorgung muss die Erzeugung zu jedem Zeitpunkt genau dem Verbrauch entsprechen. Um dies zu gewährleisten, wird der Kraftwerkseinsatz mit ausreichender Vorlaufzeit geplant. Der Beitrag der Windkraftanlagen kann dabei nur mit Hilfe einer Prognose berücksichtigt werden. Die tatsächliche Einspeisung kann von dieser Prognose abweichen. Diese Prognosefehler führen gegenüber der ursprünglichen Planung zu Leistungsüberschüssen oder -defiziten, die durch kurzfristige Leistungsbereitstellung ausgeglichen werden müssen.

Windenergieanlagen gehören zu den sogenannten um Distributed Energy Resources (DER, dt.: verteilte Energieressourcen). Sie sind dezentraler und weniger leistungsstark als fossile Kraftwerke und benötigen daher eine höhere Koordination bei der Einspeisung ihrer erzeugten Energie ins Stromnetz. Deswegen wird versucht, durch Aggregation die intermittierende Einspeisung durch Wetterabhängigkeiten zu minimieren. Hierbei kann es von Vorteil sein, wenn Windkraftanlagen einen Verbund bilden, die möglichst weit voneinander entfernt liegen. Denn Anlagen, die unter verschiedenen Wetterverhältnissen aktiv sind, können so Fehler bei der Aufstellung von Leistungsprognosen minimieren. Dadurch können passende Verkaufspreise an den Börsen schon einen Tag im voraus ermittelt werden. Ein weiterer Grund für die Aggregation ist, dass an Börsen eine Mindesthandelsmenge von 0,1 MWh [dih] erreicht werden muss, die von einer einzelnen Windkraftanlage nicht erreicht werden kann. [vR11]

Eine Möglichkeit, Windenergieanlagen kooperieren zu lassen, ist die Bildung von Koalitionen. Es handelt sich hierbei um dynamische Konstrukte, in der Softwareagenten für eine begrenzte Zeit zusammenarbeiten, um gewisse Ziele zu erreichen. Windkraftanlagen sollen in dieser Struktur als Agenten abgebildet werden, welche bestimmte Aufgaben für die Windkraftanlage erfüllen. Der Hintergrund für die Bildung von Koalitionen ist, dass einige Aufgaben im Verbund mit anderen Akteuren effizienter gelöst werden können und andere Aufgaben nur im Verbund zu bewältigen sind.

Um die Bildung von Koalitionen untersuchen zu können, wird eine Simulation benötigt. Hier sollen Windkraftanlagen zusammenarbeiten, die eine hohe Distanz voneinander haben. In dieser Arbeit spielen die Distanzen der Windkraftanlagen zueinander eine große Rolle bei der Bildung von Koalitionen. Um dies zu realisieren, sollen Graphen verwendet werden. Die Anlagen werden von Knotenpunkten abgebildet und die Kantengewichten repräsentieren Distanzen. Dadurch sollen Koalitionen mit einer möglichst hohen Verteilung gebildet werden.

Eine hohe Verteilung bedeutet hier, dass die Windkraftanlagen eine hohe durchschnittliche Distanz zu anderen Anlagen in ihrer Koalition haben sollen. Mit Hilfe einer sogenannten Value Function sollen die Agenten der Windkraftanlagen bestimmen, mit welchen Anlagen sie eine Koalition eingehen möchten. Weiterführend wäre es auch möglich, durch die Koalitionsbildung durch künstliche neuronale Netze zu realisieren, wozu noch wenig.

2 Zielsetzung

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, ein Beispiel der Koalitionsformation aus der Energiedomäne zu implementieren und Koalitionen auf ihre Güte zu untersuchen. In diesem Rahmen soll eine Coalition Value Function definiert werden, welche die Leistung und Distanzen der Windkraftanlagen berücksichtigen. Außerdem soll ein Kommunikationsprotokoll erarbeitet werden, mit denen Agenten Koalitionen eingehen können und zusammenarbeiten können. In einem Beispielszenario sollen mehrere Windkraftanlagen (zufällig) in einer Region verteilt werden. Mit Hilfe der Value Function sollen Koalitionen zwischen den Anlagen gebildet werden. Um die Güte der Koalitionen zu einzuordnen, sollen sie anhand verschiedener Kennzahlen beschrieben werden.

Im Rahmen der Bachelorarbeit sollen folgende Forschungsfragen untersucht werden:

- Wie können die Distanzen der Anlagen zueinander in der Simulation der Koalitionsbildung in der Value Function abgebildet werden?
- Wie kann die entwickelte Value Function im Rahmen einer Simulation einer Koalitionsbildung in der Energiedomäne genutzt werden?

3 Grundlagen

3.1 Distributed Energy Resources

Windenergieanlagen gehören zu den distributed Energy Resources (DER, dt.: verteilte Energieressourcen). Dabei handelt es sich um kleine bis mittelgroße Ressourcen, die potentiell Dienstleistungen für das Stromnetz stellen können, direkt mit dem Stromnetz verbunden sind oder in der Nähe des Endverbrauchers sind. DERs umfassen dezentrale Erzeuger, Behind-the-Meter Batterien und steuerbare Lasten, die für die Nachfragesteuerung für z.B. Haushaltsgeräte, intelligent aufladbare Elektrofahrzeuge, Power-to-Heat genutzt werden können. [\[ire\]](#)

3.2 Multi-Agenten-Systeme und Koalitionsbildung

Die Anlagen sollen durch Agenten gesteuert werden. Das Forschungsfeld von Multi-Agentensystemen beschäftigt hierbei sich unter anderem mit der Bildung von Koalitionen mehrerer autonomer Programme (Agenten) die verschiedene Präferenzen, Ziele und Fähigkeiten haben. Agenten sollen so konstruiert sein, dass sie mit anderen Teilnehmern in ihrem Multi-Agentensystem koordinierte Aktionen durchführen, um zum Beispiel ihre Leistung zu verbessern oder um Ziele zu erfüllen, die jenseits der Fähigkeiten eines individuellen Agenten liegen. Diese Art

der Interaktion ist vor allem für kooperativ arbeitenden Agenten sinnvoll, kann aber auch für ein System nützlich sein, in dem Agenten egoistisch agieren.

Wie Agenten in einem System organisiert sind, beeinflusst ihre Interaktionen. Zum Beispiel können Agenten, die in einer hierarchischen Struktur arbeiten, sich nur mit anderen Agenten koordinieren, die in der Hierarchie direkt über- oder untergeordnet sind. Es gibt allerdings auch weitere Organisationsstrukturen, welche Vor- und Nachteile haben. Eine dieser Strukturen beinhaltet die Bildung von Koalitionen. Das sind Gruppen von Agenten, die normalerweise folgende Charakteristiken vorweisen: Zum einen sind Koalitionen zielgerichtet und kurzlebig. Des weiteren verläuft die Koordination nur zwischen den Teilnehmern der Koalition, aber nicht mit Teilnehmern anderer Koalitionen. Die Organisationsstruktur innerhalb jeder Koalition ist in der Regel flach.

Wichtig zu erwähnen ist, dass das Problem der Bildung einer Koalitionsstruktur nur eine abstrakte Darstellung ist, die als ersten Schritt dient um reale Lösungen zu verstehen und zu erstellen.

Der typische Prozess zur Bildung einer Koalition erfolgt in der Regel in drei Schritten:

1. Bildung einer Koalitionsstruktur: In diesem Schritt sollen alle Agenten einer Koalition beitreten. Das geschieht entweder endogen, indem die Agent selbstständig entscheiden, mit welchen Agenten sie eine Koalition bilden möchten, oder exogen, bei dem der Entwickler dies entscheidet. Die Menge aller Koalitionen in diesem System wird Koalitionsstruktur genannt. Dabei sollen Koalitionen gebildet werden, die ihren sozialen Zusammenhalt maximieren und somit die Neigung zum Auflösen der Koalition minimieren.
2. Lösen des Optimierungsproblems jeder Koalition: Bei diesem Schritt handelt es sich um die Frage, wie die Teilnehmer einer Koalition ihre Prozesse koordinieren, damit die Leistung maximiert wird.
3. Aufteilen der Belohnung jeder Koalition unter ihren Teilnehmern: Falls die erbrachte Leistung eines kooperativen Handelns der gesamten Koalition zusteht, müssen die Teilnehmer einer Koalition darüber entscheiden, wie sie die Leistung untereinander aufteilen. Vorwiegend ist es das Ziel, die Aufteilung nach einem bestimmten Kriterium durchzuführen. Soll die Leistung fair verteilt werden, spiegelt die Belohnung eines Teilnehmers den Beitrag zur Koalitionstruktur wider. Unter dem Kriterium der Stabilität kann keine Gruppe von Agenten egoistisch davon profitieren indem sie ihre eigene Koalition bilden. [\[RMWJ15\]](#)

3.3 Graphentheorie

Um die Distanzen der Windenergienlagen zueinander abzubilden, wird auf die Graphentheorie zurückgegriffen. Wird die Beziehung zwischen Personen, die Entfernung zwischen Orten oder der chemische Verbund zwischen Atomen beschrieben, so werden sehr wahrscheinlich Graphen dafür Verwendung finden. In der Informatik findet sie häufig Anwendung, um eine Organisation von realen Entitäten abstrakt darzustellen. Diese abstrakten Strukturen bestehen aus Knotenpunkten, die auf unterschiedlichste Weise über Kanten miteinander verbunden werden können. Kanten können auch durch Pfeile repräsentiert werden, um eine bestimmte Richtung aufzuweisen - diese Graphen sind gerichtet und die Entitäten, die von den Knoten abgebildet werden können nur in Pfeilrichtung miteinander interagieren. Ohne Pfeile sind sie

ungerichtet - somit ist die Beziehung von zwei mit Kanten verbundenen Knoten in beide Richtungen gleichwertig. Für diese Arbeit sind vor allem Kantengewichte interessant, welche die Distanz von den Windenergieanlagen widerspiegeln. [Ber01]

4 Geplante Herangehensweise

Zu Beginn soll während der Konzeptionierungsphase ein fiktives Szenario entwickelt werden. Hier soll unter anderem beschrieben werden, wie viele Windenergieanlagen das fiktive Szenario benötigt, welche Profile die Anlagen haben und wie die Anlagen zu den Agenten zugeteilt werden. Damit die Agenten überhaupt erst Koalitionen eingehen können, muss ein Kommunikationsprotokoll entwickelt werden. Anschließend wird die Value Function entwickelt, die für dynamische Koalitionen zwischen den Windkraftanlagen benötigt wird.

Für die Softwaretechnische Konzeptionierung des Szenarios sollen die Frameworks mango und networkX verwendet werden. mango (modular python agent framework) ist eine Python Bibliothek für Multi-Agenten Systeme. mango erlaubt es einfache Agenten mit wenig Aufwand zu erstellen und bietet Möglichkeiten, Agenten mit komplexen Verhaltensweisen zu strukturieren. networkX ist ein Python Package zum Erstellen, Manipulieren und Untersuchen von den Strukturen und Funktionen komplexer Netzwerke.

Das fiktive Szenario soll nach der Konzeptionierung in Python mit mango implementiert werden. Hier wird nun die Value Function verwendet. Da die erste Version der Value Function mit hoher Wahrscheinlichkeit noch nicht perfekt sein wird, werden mehrere Iterationen der Funktion getestet, bis die Koalitionenbildung den aufgestellten Anforderungen entspricht. Währenddessen soll anhand von errechneten Kennzahlen die Güte der Koalitionen bestimmt werden. Durch Anpassung der Parameter sollen auf diese Weise mehrere Szenarien getestet werden und mit der Value Function abgeglichen werden. Parameter der Simulation sind zum Beispiel der Standort der Windkraftanlagen und unterschiedliche Lastenprofile, die an den Anlagen anliegen. Zum Schluss werden die Forschungsfragen beantwortet. Für die erste Forschungsfrage müssen die Value Functions der Koalitionen zu deren Verteilungsgrad aufgrund ihrer Möglichkeiten analysiert werden. Anhand von Kennzahlen sollen verschiedenste Aspekte beschrieben werden: Unter anderem was für Koalitionen gebildet wurden (kleine oder große), wie oft ein Agent nicht Teil einer Koalition war oder wie die Koalitionen sich in Abhängigkeit mit der gesamten Koalitionsstruktur verhalten. Die zweite Forschungsfrage beschäftigt sich damit, in wie fern die entwickelte Value Function in der Energiedomäne genutzt werden kann.

5 Vorläufige Gliederung

1. Einleitung (1)
2. Motivation (2)
3. Grundlagen:
 - 3.1. Distributed Energy Resources (2)
 - 3.2. Multi-Agenten Systeme (4)
 - 3.3. Koalitionen (4)
 - 3.4. Graphentheorie (3)

4. Konzeptionierung:
 - 4.1. Fiktives Szenario (6)
 - 4.2. Definition eines Kommunikationsprotokolls (2)
 - 4.3. Definition einer Value Function (3)
5. Implementierung:
 - 5.1. Erstellung eines Datensatzes (3)
 - 5.2. Anwendung der Value Function an dem Szenario (3)
6. Evaluation (5)
7. Fazit (1)
8. Ausblick (1)

6 Zeit- und Arbeitsplan

- 17.02.2023: Anmeldung der Bacheloararbeit
- 19.03.2023: Grundlagen fertig geschrieben
- 02.04.2023: Konzeptionierung beendet
- 09.04.2023: Kapitel Konzeptionierung verfasst
- 27.04.2023: Zwischenpräsentation halten
- 07.05.2023: Implementierung beendet
- 21.05.2023: Kapitel Implementierung verfasst
- 04.06.2023: Evaluation beendet
- 11.06.2023: Kapitel Evaluation verfasst
- 23.06.2023: Inhaltsverzeichnis, Fazit und Abstract verfasst
- 23.06.2023: Überprüfung der Bachelorarbeit und Korrektur beendet
- 26.06.2023: Abgabe der Bacheloararbeit
- 14.07.2023: Präsentation halten

Literatur

- [Ber01] Claude Berge. *The Theory of Graphs*. Courier Corporation, January 2001. Google-Books-ID: h5BjnaoKyOwC.
- [dih] Strombeschaffung und stromhandel.
- [ire] Market integration of distributed energy resources – Innovation Landscape Brief.
- [RMWJ15] Talal Rahwan, Tomasz P. Michalak, Michael Wooldridge, and Nicholas R. Jennings. Coalition structure generation: A survey. *Artificial Intelligence*, 229:139–174, December 2015.
- [vR11] Serafin von Roon. Auswirkungen von Prognosefehlern auf die Vermarktung von Windstrom. *Dissertation der Technischen Universität München*, page 114, October 2011.

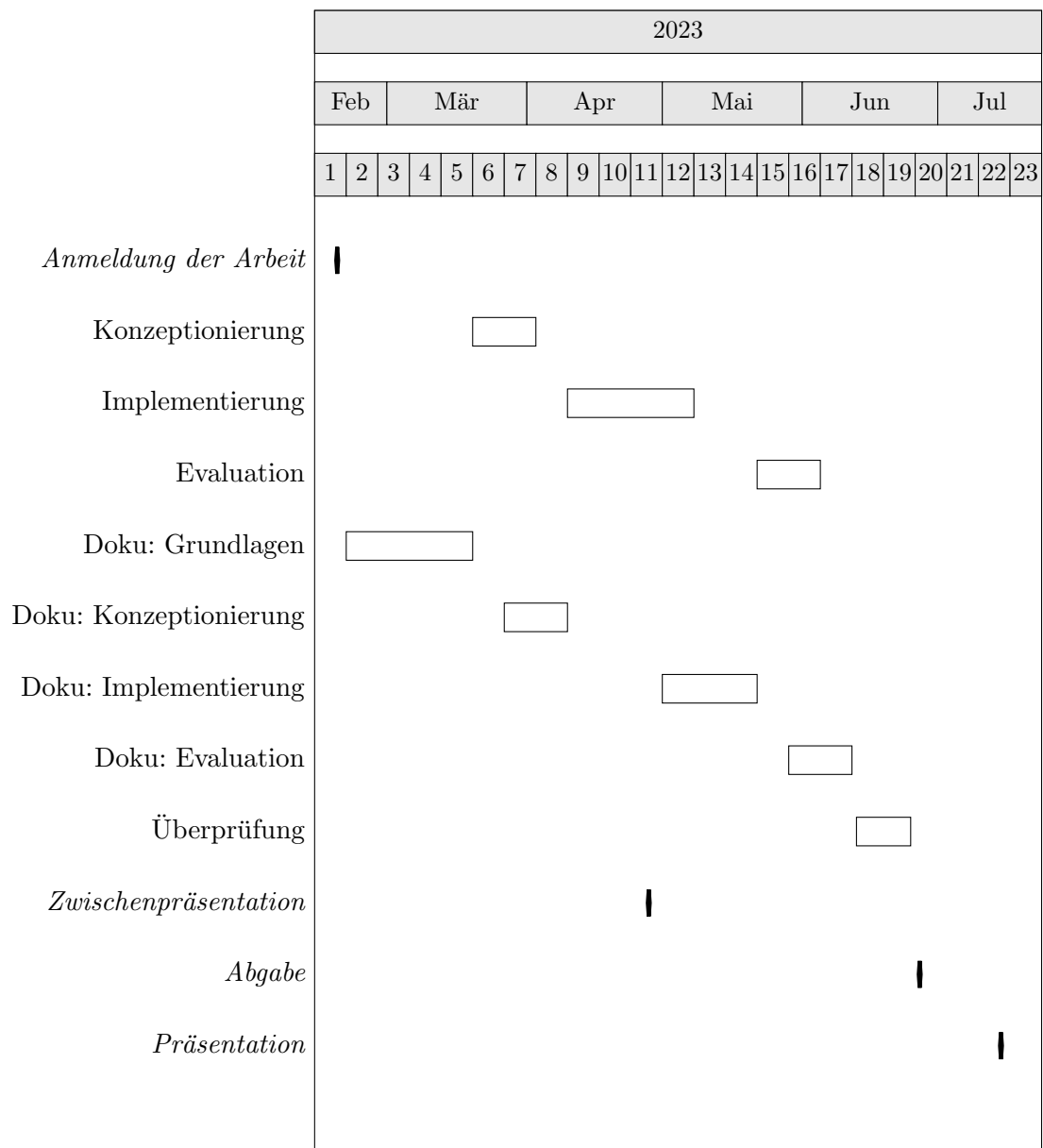


Abbildung 1: Zeitplan