

- Was soll mit dieser Arbeit erreicht werden?
- Forschungsfragen:
 - 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?
- Beschreibung der realen Situation
 - Wo stehen WKAs?
 - Wie weit stehen WKAs voneinander entfernt?
 - Wie stehen WKAs in Verbindung?
 - Wie sehen reale Erzeugungsprofile von WKA aus?
- Wie baue ich die Simulation auf?
 - Kartesisches Koordinatensystem
 - WKAs sind zufällig im Koordinatensystem verteilt (Anzahl, Verteilungsgrad, ...)
 - Die Entfernungen zwischen allen WKAs werden mit dem Satz des Pythagoras berechnet
 - WKAs bekommen ein zufälliges, doch realistisches Erzeugungsprofil berechnet

3. Konzeptionierung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem theoretischen Konzept dieser Bachelorarbeit. Als erstes wird die Simulationsumgebung beschrieben, in der die Windkraftanlagen getestet werden sollen. Hier werden Regeln festgelegt, unter der die Simulation erstellt werden soll. Danach wird die Value Function beschrieben, die entscheiden soll, ob die Formation einer Koalition sinnvoll ist oder nicht.

3.1 Konzept der Simulation

Zum Beantworten der Forschungsfragen muss eine Simulation zu entwickelt werden, welche zwei Faktoren in die Simulation einbezieht: Zum einen müssen die geografischen Abhängigkeiten der Windenergieanlagen abgebildet werden und zum anderen benötigen die Anlagen ein Leistungsprofil, welches bestimmt, wie viel Watt Strom die Anlagen in der Simulation erzeugen.

3.1.1 Verteilung von Windenergieanlagen in einem Koordinatensystem

Die größte Relevanz haben die geografischen Abhängigkeiten der Windenergieanlagen zueinander. Um die Distanz zu simulieren, soll ein kartesisches Koordinatensystem angewandt werden. Über das Koordinatensystem sollen nun die Anlagen zufällig verteilt werden. Dabei soll unter anderem auch betrachtet werden, dass die Windenergieanlagen ein

gewissen Mindestabstand zueinander haben, doch sollen sie Cluster bilden, um Windparks zu imitieren.

Durch die Angaben verschiedener Parameter, können mehrere Testreihen durchgeführt werden. Wichtige Parameter können die Verteilung der Anlagen im Koordinatensystem und somit auch das Verhalten der Agenten in der Simulation beeinflussen:

- *xLength, yLength*: Längen beider Achsen des Koordinatensystems in Kilometer.
- *amountWindTurbines*: Anzahl aller Windenergieanlagen, die im Koordinatensystem verteilt werden sollen.
- *amountCluster*: Anzahl der Cluster im Koordinatensystem.
- *minRadiusCluster, maxRadiusCluster*: Die minimale und maximal mögliche Entfernung der Cluster in Kilometer.
- *minSizeCluster, maxSizeCluster*: Minimale und maximale Anzahl von Windenergieanlagen in einem Cluster. Cluster sollen sich nicht überlappen.
- *minDistanceWindTurbines*: Der Mindestabstand der Windenergieanlagen zueinander in Kilometer.
- *minDistanceClusters*: Der Mindestabstand der Cluster zueinander in Kilometer.

Die Parameter müssen Regeln unterliegen, damit keine Fehler entstehen können. Die Parameter sollen der Reihe nach auf diese Regeln geprüft werden:

- $\text{amountWindTurbines} \geq 2$
- $\text{amountCluster} \leq \text{amountWindTurbines}$
- $\text{minSizeCluster} > 0$
- $\text{maxSizeCluster} \leq \text{amountWindTurbines}$
- $\text{minSizeCluster} \leq \text{amountWindTurbines} / \text{amountCluster}$
- $\text{maxSizeCluster} \geq \text{amountWindTurbines} / \text{amountCluster}$

Mithilfe der Parameter sollen nun die Windenergieanlagen zufällig in dem Koordinatensystem verteilt werden. Die Verteilung der Anlagen unterliegt noch weiteren Regeln:

- Cluster dürfen sich nicht überlappen.
- Die Zufälligkeit sollte bestenfalls Über einen Seed generiert werden können. Sodass derselbe Simulationsaufbau beliebig oft generiert werden kann.

Jede Windenergieanlage soll in der Simulation von genau einem Agenten gesteuert werden.

3.1.2 Generierung der Erzeugungsprofile der Windenergieanlagen

Nachdem alle Windenergieanlagen im kartesischen Koordinatensystem verteilt worden sind, werden sie mit Erzeugungsprofilen versehen. Erzeugungsprofile beschreiben, wie viel

Leistung Windenergieanlagen über einen bestimmten Zeitraum erzeugen. Sie zeigen in der Regel, wie viel Watt pro Stunde erzeugt wurde.

Anhand echter Erzeugungsprofile von Windkraftanlagen sollen die in der Simulation verwendeten Erzeugungsprofile zufällig generiert werden. Auf diese Weise sollen Erzeugungsprofile für einen ganzen Tag generiert werden, bei denen sich stündlich die erwartete Leistung ändert. Windenergieanlagen, die in sich in einem Cluster befinden, werden homogene Erzeugungsprofile besitzen, da die Anlagen nah genug beieinanderstehen, sodass die Anlagen von ähnlichen Wetterverhältnissen betroffen sind. Windenergieanlagen in verschiedenen Clustern sollen heterogene Erzeugungsprofile bekommen, da die Abstände groß genug sind, dass die Windleistung erheblich unterschiedlich sein kann.

3.2 Bestimmung der Value Functions

Mit einer Value Function soll anhand von mehreren qualitativen und quantitativen Kennwerten eines Sachverhalts genau einen Referenzwert berechnet werden. Der Referenzwert sagt aus, wie gut ein Sachverhalt im Verhältnis zu anderen Sachverhalten steht. In dieser Bachelorarbeit soll mit Hilfe der Value Function bestimmt werden, ob ein Agent schon einer bestehenden Koalition beitreten soll oder nicht. Denn hat die neue Koalition mit dem Agenten einen besseren Referenzwert als die Koalition ohne den Agenten, so ist es besser, ihn in die Koalition aufzunehmen, als ihn abzuweisen. In diesem simulierten Multi-Agenten-System sollen Agenten einer Koalition beitreten und möglichst nicht allein arbeiten. Es gibt dafür drei Bedingungen, nach denen die Agenten Koalitionen bilden sollen:

1. Die Distanz der Windenergieanlage, die eine Koalition eingehen möchte, sollte möglichst hoch sein.
2. Die Leistung, die durch die neue Windenergieanlage in die Koalition einbringt, soll .
3. Agenten sollen bei jeder Formationsphase neue Konstellationen von Koalitionen finden und dabei möglichst Koalitionen mit denselben Partnern wie bei der letzten Koalitionsformation.

Die Bedingungen 1 und 2 sollen in eine Funktion gebracht werden, damit sich berechnen lässt, wie gut eine Koalition beide Bedingungen verfolgt, indem man die Gewichtungen richtig setzt. Wenn die Bedingung 1 zu stark gewichtet wird, werden nur Windenergieanlagen mit einer möglichst hohen Distanzen Koalitionen eingehen. Wird die Bedingung 2 zu stark gewichtet, werden Anlagen mit hohen Leistungen zu sehr für die Formation bevorzugt. Die Herausforderung ist, die Bedingungen so zu gewichten, dass sich Koalitionen dynamisch formieren und sich gegebenenfalls bei jeder Neuformation verändern.

In der Koalitionsformationsphase beginnen Agenten damit, Anfragen an andere Agenten in ihrer Nachbarschaft zu schicken. Es fragen nur Agenten, die noch nicht in einer Koalition sind

sie sind daher frei. Die angefragten Agenten können dabei entweder auch frei sein oder sich bereits in einer Koalition befinden. Der Empfänger der Anfrage muss entscheiden, ob der anfragende Agent der Koalition beitreten soll. Hierfür soll ein Gütefaktor bestimmt werden, welcher entscheiden soll, ob die Koalition mit dem anfragenden Agenten besser ist als ohne ihn.

Der Gütefaktor v beinhaltet den Durchschnitt aller Distanzen d_a einer Koalition und die Summe der Leistungen p_c , die von allen Anlagen einer Koalition erzeugt werden. Hierfür steht n für die Anzahl der Kantengewichte des Untergraphen, welches die Koalition darstellt. Die Gewichte der Kanten sind die Distanzen zwischen den Knoten, die die Windkraftanlagen und somit auch die entsprechenden Agenten repräsentieren. m steht für die Anzahl aller Agenten in der Koalition. Die Gewichtungparameter w_d und w_p sollen einerseits die Werte für Distanz und Leistung angleichen und andererseits sollen sie auch die Wichtigkeit der Werte bestimmen. Die Gewichte müssen noch abgestimmt werden, um die richtigen Größen zu finden, die das erwartete Ergebnis erzielen. All dies führt zu folgenden Formeln für den Gütefaktor:

$$d_a = \frac{\sum_{i=1}^n (d_i)}{n}$$

$$p_c = \sum_{j=1}^m (p_j)$$

$$v = \frac{d_a}{w_d} + \frac{p_c * d_a}{w_p}$$

Diese Formel kann allerdings dazu führen, dass einzelne Windenergieanlagen übrigbleiben, die nicht in einer Koalition sind.

3.3 Softwaretechnisches Konzept

Die Simulation soll in der Programmiersprache Python umgesetzt werden. Sie bietet die größte Auswahl an Machine und Deep Learning Frameworks und ist die Coding-Sprache, die innerhalb der KI-Welt tonangebend ist []. Daher ist sie auch die von der Abteilung Digitalisierte Energiesysteme der Uni Oldenburg bevorzugte Sprache.

3.3.1 Ablaufbeschreibung der Simulationssoftware

Das Initialprogramm soll eine Abfrage an den Nutzer stellen, in der der Nutzer die Parameter für die Simulation übergeben können soll. Das Programm erstellt nun eine Simulation, wofür mit Hilfe von *mango* ein Multi-Agenten-System erstellt wird. Für *mango* wird auch *virtualenv* verwendet, mit dem isolierte Python-Umgebungen erstellt werden können, in der das Multi-Agenten-System läuft. Zuerst werden die Agenten in einer isolierten Python-Umgebung erstellt. Die Agenten bekommen bei der Erstellung auch zufällige Erzeugungsprofile und einen

Standort in dem Koordinatensystem zugewiesen. Ihre Standorte werden nach den Bedingungen in Abschnitt 3.1.1 vergeben. Mit einem Standort und den Erzeugungsprofilen versehen, simuliert ein Agent genau eine Windkraftanlage. Das Koordinatensystem soll grafisch ausgegeben werden.

Nun soll über ein Kommandozeilenbefehl die Koalitionsbildung angestoßen werden. Jeder Agent zeigt dabei den Standort in Koordinaten und die erwartete Leistung für den Zeitabschnitt der Koalition an. Ein Kommunikationsprotokoll, mit dem alle Agenten versehen worden sind, stößt nun Anfragen für die Koalitionsbildung an. Das dauert so lange, bis sich alle Agenten in einer Koalition befinden bzw. ein übriggebliebener freier Agent alle anderen Agenten befragt hat und keine Koalition gefunden wurde. Die Koalitionen, die sich ergeben, sollen sich a

- Erstellen der Agenten
- Verteilen der Agenten auf in einem Koordinatensystem
- Kommunikation