

Softwarepraktikum Spielanleitung

Stand: 12. Januar 2017



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

FB 18: Elektro- und Informationstechnik
Fachgebiet Echtzeitsysteme

1 Ziel des Spiels

Auf einer von der Außenwelt abgeschnittenen Insel soll ein autarkes Energieversorgungsnetz ausgebaut werden. Dabei können auf unbebauten Umspannwerken (TransformerStation) Kraftwerke gebaut und die Kapazität bestehender Leitungen ausgebaut werden. Das Energieversorgungsnetz besteht aus Konsumenten (Consumer) und Produzenten (Producer). Konsumenten und Produzenten sind über Leitungen (PowerLine) miteinander verbunden. Ziel des Spiels ist es, die Konsumenten bestmöglich mit Energie zu versorgen. Gleichzeitig sollen möglichst nachhaltige Energieformen verwendet und möglichst wenig Kosten verursacht werden. Diese Ziele werden jeweils durch ein Scoring-System bewertet. Positive Auswirkungen auf den Score haben:

1. Der Kostengünstige Bau von Kraftwerken und Ausbau von Leitungen,
2. die geschickte Regelung von Kraftwerken und Konsumenten, um Überproduktion zu vermeiden. Dabei gilt es, möglichst vorausschauend zu regeln, da die Regelung selbst ebenfalls Kosten verursacht und
3. einen möglichst hohen Anteil an erneuerbaren Energien zu erzielen. Jede produzierte Energieeinheit wird entsprechend ihrem Anteil an erneuerbaren Energieformen im Gesamtszenario gewichtet.

2 Spielfeld

Das Spielfeld teilt sich in quadratische Kacheln (PlayfieldElement) auf. Auf einer Kachel kann entweder eine Wiese (Grassland), ein Fluss (River), ein Berg (Mountain), ein Strand (Beach) oder Meer (Sea) sein. Zusätzlich kann

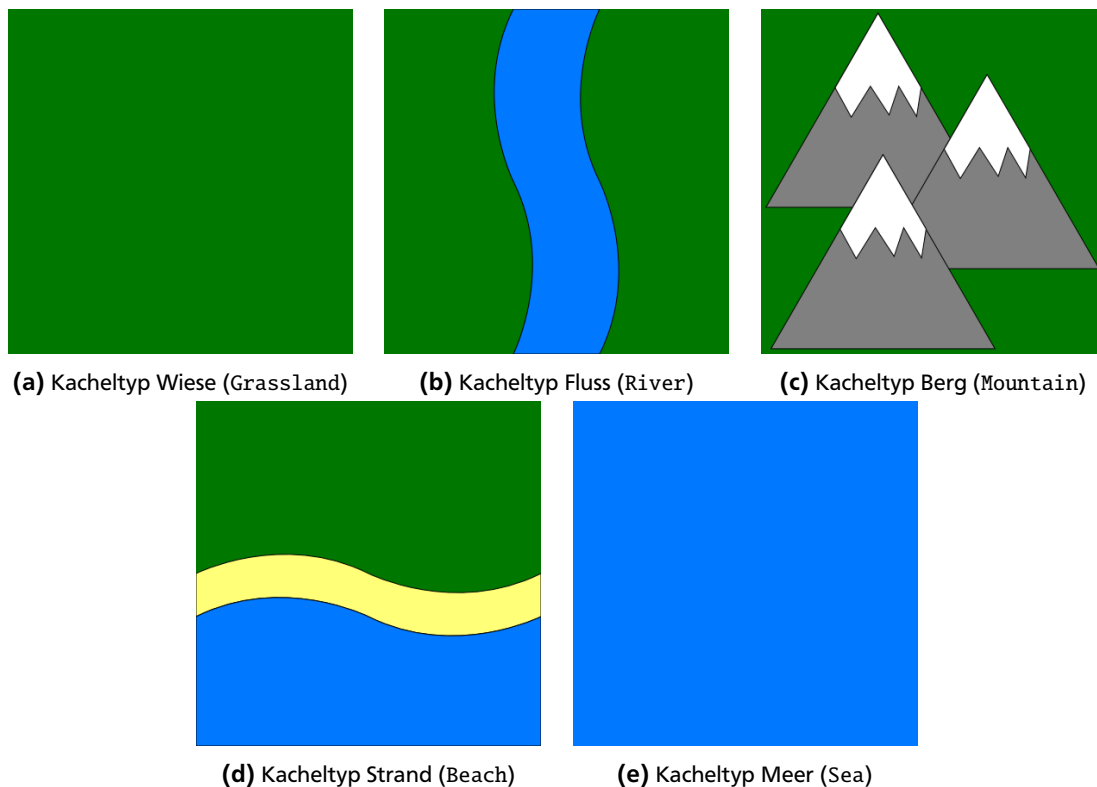


Abbildung 1: Vorstellung aller Kacheltypen

eine Kachel mit einem Konsumenten, Produzenten oder einem Umspannwerk versehen sein. Der jeweilige Kacheltyp kann Einfluss auf die Baukosten und Produktionskapazitäten von Kraftwerken haben. Als Konsumenten gibt es Städte (City), Gewerbeparks (CommercialPark) und Industrieanlagen (IndustrialPark). Städte und Gewerbeparks zeichnen sich durch über die Zeit schwankende Energiebedarfe aus. Industrieanlagen weisen konstante Energiebedarfe auf und können zusätzlich geregelt werden. Als Produzenten gibt es Solarkraftwerke (SolarPowerPlant), Windkraftwerke (WindPowerPlant), Biogaskraftwerke (BioGasFiredPowerPlant), Wasserkraftwerke (HydroPowerPlant), Kohlekraftwerke (CoalFiredPowerPlant), Gaskraftwerk (GasFiredPowerPlant) und Atomkraftwerke (NuclearPowerPlant). Es wird zwischen regenerativen und nicht-regenerativen Energieformen, regelbaren und nicht-regelbaren sowie Kraftwerken mit schwankender oder konstanter Energieproduktion unterschieden. Zusätzlich existieren Umspannwerke, die als Verbindungsknoten im Leitungsnetz fungieren und auf denen Kraftwerke errichtet werden können.

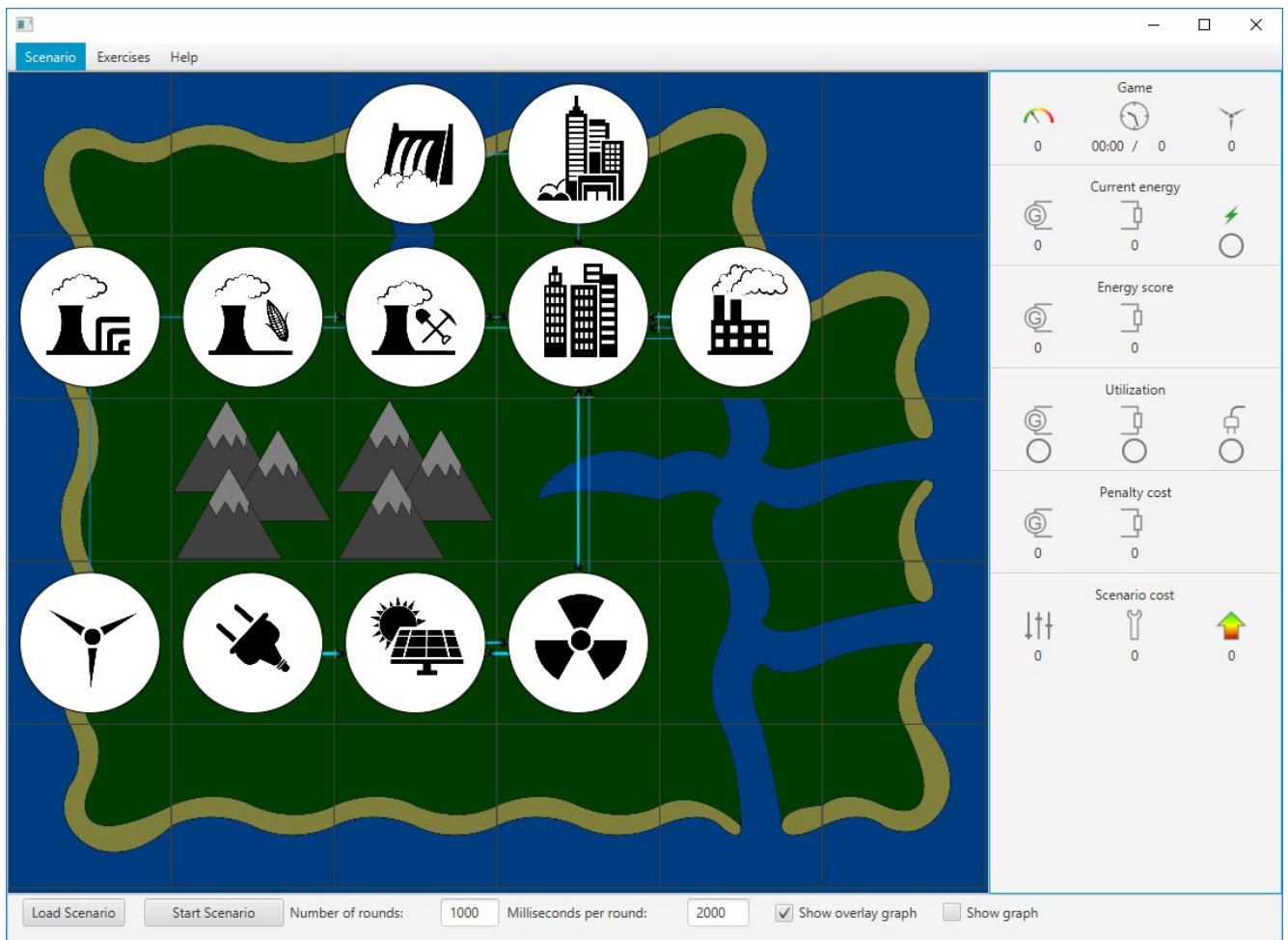


Abbildung 2: Beispielspielfeld mit allen möglichen Kacheltypen

Konsumenten, Produzenten und Umspannwerke sind über Leitungen miteinander verbunden. Abhängig von der Kapazität werden Hochspannungs- (HighVoltage), Mittelspannungs- (MediumVoltage) und Niederspannungsleitungen (LowVoltage) unterschieden. Diese Leitungen sind beispielhaft in der Abbildung 4 zu sehen.

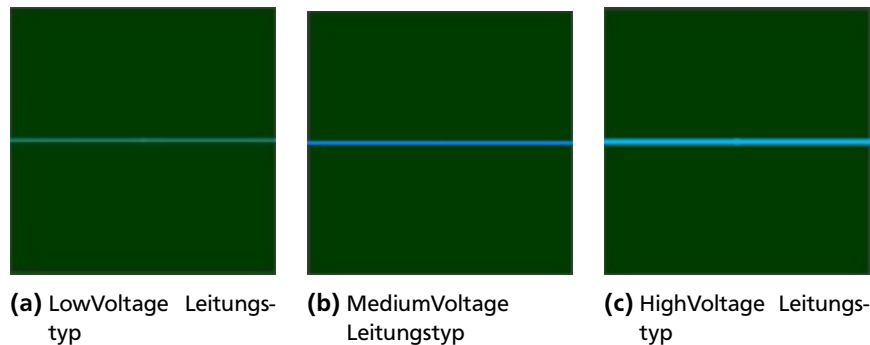


Abbildung 4: Beispielbilder aller Leitungstypen

3 Energiebedarfe und Energieproduktion von Knoten im Energienetz

Knoten im Energienetz werden charakterisiert über ihr aktuelles, ihr benötigtes/bereitgestelltes und ihr maximal benötigtes/bereitgestelltes Energieniveau (= Energie-Level). Das aktuelle und das benötigte Energie-Level eines Knotens wird rundenbasiert ermittelt.

3.1 Energiebedarfe von Konsumenten

Das aktuelle Energie-Level eines Konsumenten wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

1. Die Kapazität des Leitungsnetzes zwischen Produzenten und Konsumenten,
2. die bereitgestellte Energie durch die Produzenten und
3. das benötigte Energie-Level, das nicht überschritten werden kann und je nach Konsumententyp rundenabhängig variieren kann.

Benötigte Energie-Level von Konsumenten

Das benötigte Energie-Level eines Konsumenten entspricht der Energie, die ein Konsument in der jeweiligen Runde anfordert. Das aktuelle Energie-Level eines Konsumenten entspricht im Gegensatz dazu der tatsächlich durch das Energienetz bereitgestellten Energie.

Die benötigte Energie für den Konsumententyp IndustrialPark ist konstant und entspricht dem maximal benötigten Energie-Level. Das benötigte Energie-Level variiert in Abhängigkeit von der Tageszeit für die Konsumententypen City und CommercialPark und überschreitet in keinem Fall das maximal benötigte Energie-Level. Die Tageszeit wird abhängig von der Rundenzahl mit Hilfe der Modulo-Operation (mod) folgendermaßen bestimmt: Tageszeit = Rundenzahl mod 24 (eine Runde entspricht hierbei einer Stunde). Ein Szenario startet um 0 Uhr.

Das benötigte Energie-Level entspricht abhängig von der Tageszeit einem bestimmten prozentualen Anteil am maximal benötigten Energie-Level. Tabelle 1 enthält die prozentualen Anteile des maximal benötigten Energie-Level von Konsumenten in Abhängigkeit von der Tageszeit.

3.2 Energieproduktion von Produzenten

Das bereitgestellte Energie-Level eines Produzenten entspricht der Energie, die ein Produzent in der jeweiligen Runde zur Verfügung stellt. Das aktuelle Energie-Level eines Produzenten entspricht im Gegensatz dazu der tatsächlich durch das Energienetz benötigten Energie.

Die bereitgestellte Energie für die Produzententypen NuclearPowerPlant, BioGasFiredPowerPlant, GasFiredPowerPlant, CoalFiredPowerPlant und HydroPowerPlant sind konstant und entsprechen dem maximal bereitgestellten Energie-Level. Das bereitgestellte Energie-Level variiert in Abhängigkeit von der Tageszeit für den Produzententyp SolarPowerPlant. Das bereitgestellte Energie-Level für den Produzententyp WindPowerPlant bestimmt sich in Abhängigkeit von der Windstärke: Die Windstärke w variiert zufällig und gleichmäßig verteilt im Intervall $[0, 1]$. Das bereitgestellte Energie-Level für den Produzententyp WindPowerPlant berechnet sich aus $w \times e_{max}$ wobei e_{max} dem maximalen Energie-Level entspricht. Für alle Produzententypen gilt, dass das maximal bereitgestellte Energie-Level nie überschritten wird.

Das bereitgestellte Energie-Level für den Produzententyp SolarPowerPlant entspricht abhängig von der Tageszeit einem bestimmten prozentualen Anteil des maximal bereitgestellten Energie-Level (siehe Tabelle 3).

Tabelle 1: Prozentualer Anteil des maximal benötigten Energie-Level von Konsumenten je Tageszeit

Tageszeit	City	CommercialPark	IndustrialPark
0	20 %	5 %	100 %
1	20 %	0 %	100 %
2	10 %	0 %	100 %
3	0 %	0 %	100 %
4	30 %	5 %	100 %
5	70 %	30 %	100 %
6	90 %	60 %	100 %
7	100 %	80 %	100 %
8	100 %	90 %	100 %
9	80 %	100 %	100 %
10	30 %	100 %	100 %
11	40 %	100 %	100 %
12	70 %	70 %	100 %
13	80 %	90 %	100 %
14	70 %	100 %	100 %
15	60 %	100 %	100 %
16	50 %	100 %	100 %
17	60 %	80 %	100 %
18	70 %	70 %	100 %
19	80 %	60 %	100 %
20	90 %	30 %	100 %
21	80 %	20 %	100 %
22	70 %	10 %	100 %
23	40 %	5 %	100 %

Tabelle 2: Auslastungsbalken der Produzenten und Konsumenten

Erklärung	Farbe des Balkens
Keine Auslastung	weiß
Abgenommene bzw. gelieferte Leistung	
Maximal mögliche Abnahme bzw. Herstellung nicht erreicht	

4 Spielverlauf

Der Spielverlauf gliedert sich in die Bauphase und die Ausführungsphase.

4.1 Bauphase

In der Bauphase können Umspannwerke (TransformerStation) zu Kraftwerken ausgebaut sowie die Kapazitäten von Leitungen erhöht werden. Für den Ausbau von Kraftwerken und Leitungen fallen Kosten an. Es können beliebig viele Kosten in der Bauphase verursacht werden, müssen jedoch in der Ausführungsphase amortisiert werden.

Kosten für den Ausbau von Kraftwerken

Die Baukosten für Kraftwerke hängen von mehreren Faktoren ab. Die Baukosten ergeben sich zum einen aus den Basisbaukosten des Kraftwerkstypen sowie einem positiven oder negativen Kostenfaktor, der sich aus dem Bauort ergibt. Basisbaukosten sind immer positiv (oder gleich 0) und sind in Tabelle 8 aufgeführt. Die tatsächlichen Baukosten berechnen sich aus der Multiplikation der Basisbaukosten mit einem Gewichtungsfaktor. Tabelle 4 zeigt die verwendeten Multiplikatoren.

Abhängig vom Kacheltyp, auf dem ein Kraftwerk errichtet werden soll, ergibt sich die in Tabelle 5 gezeigte Zuordnung der Gewichtungsfaktoren zum Produzententyp.

Tabelle 3: Prozentualer Anteil des bereitgestellten Energie-Level eines SolarPowerPlants je Tageszeit.

Tageszeit	solarPowerPlant
0 - 3	0 %
4 - 6	30 %
7 - 9	60 %
10 - 14	100 %
15 - 17	60 %
18 - 21	30 %
22 - 0	0 %

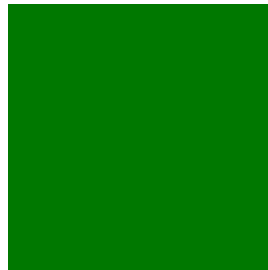
Tabelle 4: Multiplikatoren zur Gewichtung von Kosten und Produktion

Faktor	Multiplikator
Extremly High	2
Very High	1.5
High	1.1
Medium	1
Low	0.9
Very Low	0.8
Extremely Low	0.5



Basisbaukosten
200

X
X
X



Kachelmultiplikator
2 (Extremly High)

=
=
=



Gesamte Baukosten
400

Beispielrechnung für die Baukosten eines Wasserkraftwerks auf Grassland.

Neben den Baukosten hat der Standort auch Einfluss auf die maximal mögliche Produktion von Kraftwerken. So sind z. B. Standorte an der Küste oder in den Bergen besser für Windkraftwerke geeignet als Standorte auf dem Flachland.

Die maximal mögliche Produktion von Kraftwerken hängt sowohl vom Kraftwerkstyp als auch von ihrer Umgebung ab. Die maximal mögliche Produktion eines Kraftwerkes wird berechnet durch die Multiplikation des Basiswertes je Kraftwerkstyp mit einem Faktor (siehe Tabelle 4) wobei immer auf den vorherigen ganzzahligen Wert abgerundet wird. Der Basiswert je Kraftwerkstyp ist immer positiv (oder gleich 0). Der Faktor hängt in Abhängigkeit vom Kraftwerkstyp von den in Tabelle 6 gezeigten Regeln ab. Falls keine Regel angegeben ist, wird als Gewichtungsfaktor 1 angenommen.

Kosten für Ausbau von Leitungen

Zur Berechnung der Kosten für den Ausbau von Leitungen wird zunächst die Manhattan-Distanz d einer Leitung auf dem Spielfeld bestimmt und mit den Leitungstyp-abhängigen Basiskosten multipliziert. Die Basiskosten je Leitungstyp sind in Tabelle 7 angegeben. Die Distanz d zwischen zwei Punkte $a = (x_1, y_1)$ und $b = (x_2, y_2)$ wird mit der Formel $d = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$ ermittelt. Die Kosten für den Ausbau von Leitungen ist unabhängig vom gegenwärtigen Typ der jeweiligen Leitung.

4.2 Ausführungsphase

Nach der Bauphase folgt die Ausführungsphase. Die Ausführungsphase läuft rundenbasiert ab, jede Runde im Spiel entspricht einer Stunde. Die Anzahl der auszuführenden Runde sowie die Dauer einer Runde kann in der graphischen Benutzeroberfläche festgelegt werden. In der Ausführungsphase kann das Verhalten der Konsumenten und Produzenten über Regelungskommandos (AdjustmentCommando) beeinflusst werden. Eine Runde gliedert sich in folgende Schritte, die nacheinander durchlaufen werden:

Tabelle 5: Zuordnung von Gewichtungsfaktoren der Basisbaukosten zu Kacheltypen und Produzententypen.

Produzententyp	Beach	Grassland	Mountain	River	Sea
BiogasPlant	High	Medium	Extremely High	Extremely High	Extremely High
CoalFiredPowerPlant	High	Medium	Extremely High	Medium	Extremely High
GasFiredPowerPlant	High	Medium	Extremely High	Extremely High	Extremely High
HydroPowerPlant	Low	Extremely High	Extremely High	Very Low	Medium
NuclearPowerPlant	Medium	High	Extremely High	Medium	Extremely High
SolarPowerPlant	Medium	Medium	Extremely High	Extremely High	Extremely High
WindPowerPlant	Low	Medium	Extremely High	Very high	Very Low

Tabelle 6: Standortabhängige maximal Produktion von Kraftwerkstypen

Kraftwerkstyp	Regel
BiogasPlant	Falls in der Umgebung von einem Spielfeld City oder CommercialPark: Very Low
CoalFiredPowerPlant	Falls in der Umgebung von einem Spielfeld City oder CommercialPark: Very Low
GasFiredPowerPlant	-
HydroPowerPlant	Falls nicht auf einem Spielelement River oder Sea: Extremely Low
NuclearPowerPlant	Falls in der Umgebung von einem Spielfeld City: Very Low
SolarPowerPlant	Falls in der Umgebung von einem Spielfeld Mountain: Extremely Low
WindPowerPlant	Falls in der Umgebung von einem Spielfeld Montain, Beach oder Sea: Extremely High

1. **Aktualisierung der Umwelteinflüsse:** Abhängig von der Rundenzahl wird im Framework zunächst die Sonnenintensität aktualisiert. Dies beeinflusst das bereitgestellte Energie-Level des Produzententypen SolarPowerPlant (siehe Tabelle 3). Außerdem wird die Windstärke per Zufall neu bestimmt. Dies beeinflusst das bereitgestellte Energie-Level des Produzententyps WindPowerPlant (siehe Abschnitt 3.2). Des Weiteren werden die benötigten Energie-Level der Konsumenten aktualisiert, die einen schwankendem Bedarfsverlauf haben (siehe Abschnitt 3.1).
2. **Aufruf der Implementierung der Klasse Game:** In diesem Schritt wird die Methode executionPhase mit der aktuellen Rundenzahl sowie dem gegenwärtigen Szenario aufgerufen.
3. **Aufruf der Regelungskommandos:** Zuvor zugewiesene Kommandos werden aufgerufen und die Verfügbarkeit von Energieknoten für neue Kommandos aktualisiert, falls das Kommando vollständig ausgeführt wurde.
4. **Aktualisierung der Energie-Level:** Auf Basis der benötigten und bereitgestellten Energie-Level sowie der Leitungskapazität werden die tatsächlichen Energie-Level der Knoten im Energie-Netz bestimmt.
5. **Scoring:** Die tatsächlichen Energie-Level werden verglichen mit den benötigten und bereitgestellten Energie-Level sowie dem Anteil der erneuerbaren Energieformen.

Regelung von Konsumenten und Produzenten

Der Konsumententyp IndustrialPark sowie die Produzententypen BioGasFiredPowerPlant, CoalFiredPowerPlant, GasFiredPowerPlant und NuclearPowerPlant können durch Regelungskommandos (AdjustmentCommando) geregelt werden. Durch die Regelung wird das benötigte bzw. das bereitgestellte Energie-Level verändert. Dabei kann das resultierende Energie-Level niemals kleiner als 0 oder größer als das maximale Energie-Level sein.

Während ein Regelungskommando ausgeführt wird, ist der jeweilige Konsument oder Produzent blockiert und kann keine weiteren Regelungskommandos annehmen. Die Regelungsdauer bemisst sich in der Anzahl der Runden, in der ein Konsument oder Produzent blockiert ist und ist abhängig vom Konsumenten- bzw. Produzententyp. Tabelle 8 enthält zu jedem Knotentyp die Regelungsdauer. Zur Regelungsdauer zählt die Runde, in der ein Regelungskommando einem Knoten im Energienetz zugewiesen wird. Sobald im Schritt *Aufruf der Regelungskommandos* die verbliebene Regelungszeit gleich 0 ist, wird das benötigte bzw. bereitgestellte Energie-Level um die Regelungsmenge erhöht bzw. verringert. Die Regelungsmenge hat keine Auswirkung auf die Dauer der Regelung.

Wichtig: In der ersten Runde des Szenarios (Runde 0) weisen sämtliche Regelungskommandos eine Regelungsdauer von 1 auf.

Für jede Ausführung eines Regelungskommandos entstehen zudem Kosten, deren Höhe abhängig vom Knotentyp ist. Die Kosten fallen an, sobald ein Regelungskommando einem Knoten zugewiesen wird. Die Kosten für die Ausführung von Regelungskommandos sind ebenfalls in Tabelle 8 enthalten.

Tabelle 7: Typabhängige Basiskosten für den Ausbau von Leitungen.

Typ	Kapazität	Basisbaukosten
HighVoltage	1000	4500
MediumVoltage	400	2250
LowVoltage	100	0

5 Ermittlung des Scores

Der Gesamt-Score setzt sich zusammen aus dem Score der Bauphase (siehe Abschnitt 4.1 und dem Score der Ausführungsphase (siehe Abschnitt 4.2). Kosten für Ausbau von Kraftwerken und Leitungen gehen negativ in den Gesamt-Score ein. Zu Beginn der Ausführungsphase ist daher der Gesamtscore negativ und muss im Laufe des Spiels amortisiert werden.

Tabelle 8: Übersicht über Parameterwerte für Produzenten und Konsumenten.

Typ	Max. Energie Level	Basisbaukosten	Regelungsdauer	Regelungskosten	Maximal-/Minimallast	Strafkosten	Kosten je Einheit
GasFiredPowerPlant	500	500	2	-5	0,3	-3	-1,3
CoalFiredPowerPlant	1000	1500	6	-10	0,4	-4	-2
BioGasFiredPowerPlant	160	120	2	-3	0,3	-3	-0,6
NuclearPowerPlant	1500	4500	10	-15	0,5	-6	-3
HydroPowerPlant	180	200	0	0	0	0	-1,6
SolarPowerPlant	400	100	0	0	0	0	-0,8
WindPowerPlant	600	120	0	0	0	0	-0,4
IndustrialPark	900	-	3	-10	1	-0,6	1
City	500	-	0	0	0,8	-1,5	1,7
CommercialPark	200	-	0	0	0,9	-0,8	1,5

In der Ausführungsphase setzt sich der Gesamtscore aus der Summe nachfolgender Komponenten zusammen. Eine Übersicht über die Parameterwerte ist in Tabelle 8 enthalten.

- **Kosten für jede produzierte Einheit:** Jede produzierte Einheit wird mit einem negativen Faktor (CostPerUnit) gewichtet, der vom Kraftwerkstyp abhängt. Die resultierende Summe aller gewichteten produzierten Einheiten ergibt einen negativen Score.
- **Einnahmen für jede konsumierte Einheit:** Jede konsumierte Einheit wird mit einem positiven Faktor (CostPerUnit) der vom Konsumententyp abhängt gewichtet und mit abschließend mit dem gesamt Anteil erneuerbarer Energien multipliziert. Die resultierende Summe aller gewichteten konsumierten Einheiten ergibt einen positiven Score. Der Anteil der erneuerbarer Energien (RenewableEnergyRatio) ergibt sich aus dem Verhältnis der Summe der tatsächlichen bereitgestellten Energie (EnergyLevel der Produzententypen HydroPowerPlant, SolarPowerPlant, WindPowerPlant sowie BioGasFiredPowerPlant) und der Summe aller tatsächlich bereitgestellter Energie (EnergyLevel).
- **Kosten für Überkapazitäten bei Produzenten:** Falls das tatsächliche Energie-Level eines Produzenten ein bestimmtes Niveau überschreitet, wird jede Einheit, die über dem Niveau liegt, mit einem negativen Faktor (PenaltyCost) gewichtet. Das Niveau, das nicht überschritten werden sollte, errechnet sich aus

$$\text{MaximumLoad} \times \text{providedEnergy} \quad .$$

Der Parameter MaximumLoad ist ein prozentualer Wert, der vom jeweiligen Produzententyp abhängt. Die Parameterwerte sind in Tabelle 8 enthalten.

- **Kosten für Unterversorgung von Konsumenten:** Falls das tatsächliche Energie-Level eines Konsumenten ein bestimmtes Niveau unterschreitet, wird die Differenz aus dem Mindestniveau und dem tatsächlichen Energie-Level des Produzenten mit einem negativen Faktor (PenaltyCost) gewichtet. Das Niveau, das nicht unterschritten werden sollte, errechnet sich aus

$$\text{MinimumLoad} \times \text{requiredEnergy} \quad .$$

Der Parameter `MinimumLoad` ist ein prozentualer Wert, der vom jeweiligen Konsumententyp abhängt. Die Parameterwerte sind in Tabelle 8 enthalten.

- **Kosten für Regelung von Konsumenten und Produzenten:** Für jedes Regelungskommando (`AdjustmentCommand`), das einem Produzenten oder Konsumenten zugewiesen wird, fallen einmalig Kosten an (siehe dazu auch Abschnitt 4.2). Die Kosten sind abhängig vom Knotentyp und sind in Tabelle 8 enthalten.

6 Ende des Spiels

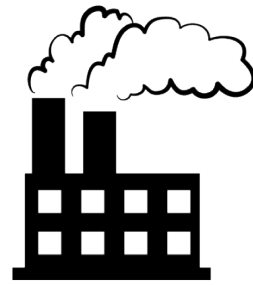
Das Spiel ist rundenbasiert und endet entweder nach Ablauf der vorgegebenen Rundenanzahl oder vorzeitig, wenn innerhalb der ersten 10 Runden weder Baukommandos noch Regelungskommandos ausgeführt wurden oder die zulässige Gesamtausführungszeit überschritten wurde. Gewinner des Spiels ist, wer am Spielende die meisten Punkte für sich verbuchen kann. Bei Gleichstand gewinnt derjenige, der zum Erreichen seiner Punktzahl weniger Runden benötigt. Besteht auch hier Gleichstand teilen sich die Parteien denselben Platz.



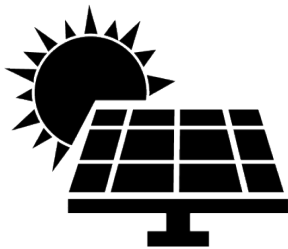
(a) Konsument Stadt (City)



(b) Konsument Gewerbepark
(CommercialPark)



(c) Konsument Industrieanlage
(IndustrialPark)



(d) Produzent Solarkraftwerk
(SolarPowerPlant)



(e) Produzent Windkraftwerk
(WindPowerPlant)



(f) Produzent Biogaskraftwerk
(BioGasFiredPowerPlant)



(g) Produzent Wasserkraftwerk
(HydroPowerPlant)



(h) Produzent Kohlekraftwerk
(CoalFiredPowerPlant)



(i) Produzent Gaskraftwerk
(GasFiredPowerPlant)



(j) Produzent Atomkraftwerk
(NuclearPowerPlant)



(k) Ausbaufähiges
Umspannwerk
(TransformerStation)

Abbildung 3: Vorstellung aller Konsumenten- und Produzententypen