Todo list

researchProject

Mr Green Pepper

February 2025

Inhaltsverzeichnis

Teil I

Modell

1 Allgemeine Modellerklärung

1.1 Variablen und Abkürzungen

sauber und ausführlich machen

Groß geschriebene Variablen werden endogen ermittelt. Klein geschriebene Variablen werden exogen vorgeschrieben.

RL	Regelleistungsmarkt
DA	Day Ahead Markt
RA	Regelarbeitsmarkt
r	Rate mit der der Stromspeicher geladen/entladen werden kann
a	Anschlusskapazität
Q_y^i	Gebotsmenge der Art i(=in/out) am Markt y
X_y^i	lineare Gebotsmenge der Art i(=in/out) am Markt y
P_y^i	Gebotspreis der Art i(=in/out) am Markt y
$\omega_y^i(P_y^i)$	Gebotswahrscheinlichkeit für P_y^i
$p_y^i(s_y^i)$	Gebotspreis der Art i(=in/out) am Markt y für Szenario s_y^i
$\omega_y^i(s_y^i)$	Gebotswahrscheinlichkeit für entsprechendes Preisszenario s_y^i
c_y^i	Marktclearingpreis der Art i(=in/out) am Markt y
B_y^i	Binäre Variable die den Zuschlag (B=1) der Art i(=in/out) am Markt y signalisiert
M	eine sehr große Zahl

1.2 Allgemeine Modellerklärung

Zur Analyse des vorliegenden Problems wird eine stochastische Programmierung verwendet. Zur Vereinfachung werden zuerst alle Formeln für nur einen Zeitschritt aufgestellt. Am Ende wird die Zeitvariable entsprechend hinzugefügt.

ausführliche Erklärung stochastische Programmierung

1.2.1 Aktivierung/Deaktivierung verschiedener Szenariobaumteilstränge

Innerhalb einer stochastischen Programmierung wird ein Szenariobaum erstellt. Die Knoten stellen dabei Entscheidungen dar und die Äste bilden verschiedene mögliche Ausgänge ab. In unserem Fall können wir aktiv bestimmte Teile des Szenariobaums aktivieren bzw. deaktivieren.

Beispiel: Day Ahead Markt

Mit der Entscheidung am Day Ahead Markt teil zu nehmen aktivieren wir den Teil des Szenariobaums für den Day Ahead Markt. Anschließend wir selbstständig die Entscheidung getroffen zu welchem Preis und zu welcher Menge am Day Ahead Markt geboten werden soll. Auch die Preis- bzw. Mengenentscheidung aktivieren bestimmte Teile des Szenariobaums, die anderen nicht gewählten Pfade werden automatisch deaktiviert. Nachdem eine Gebotsabgabe erfolgt ist, ist die Annahme eines solchen Gebots ein zufallbedingtes Ereignis.

Illustriet stellt sich dann das Ganze dann wie folgt dar:

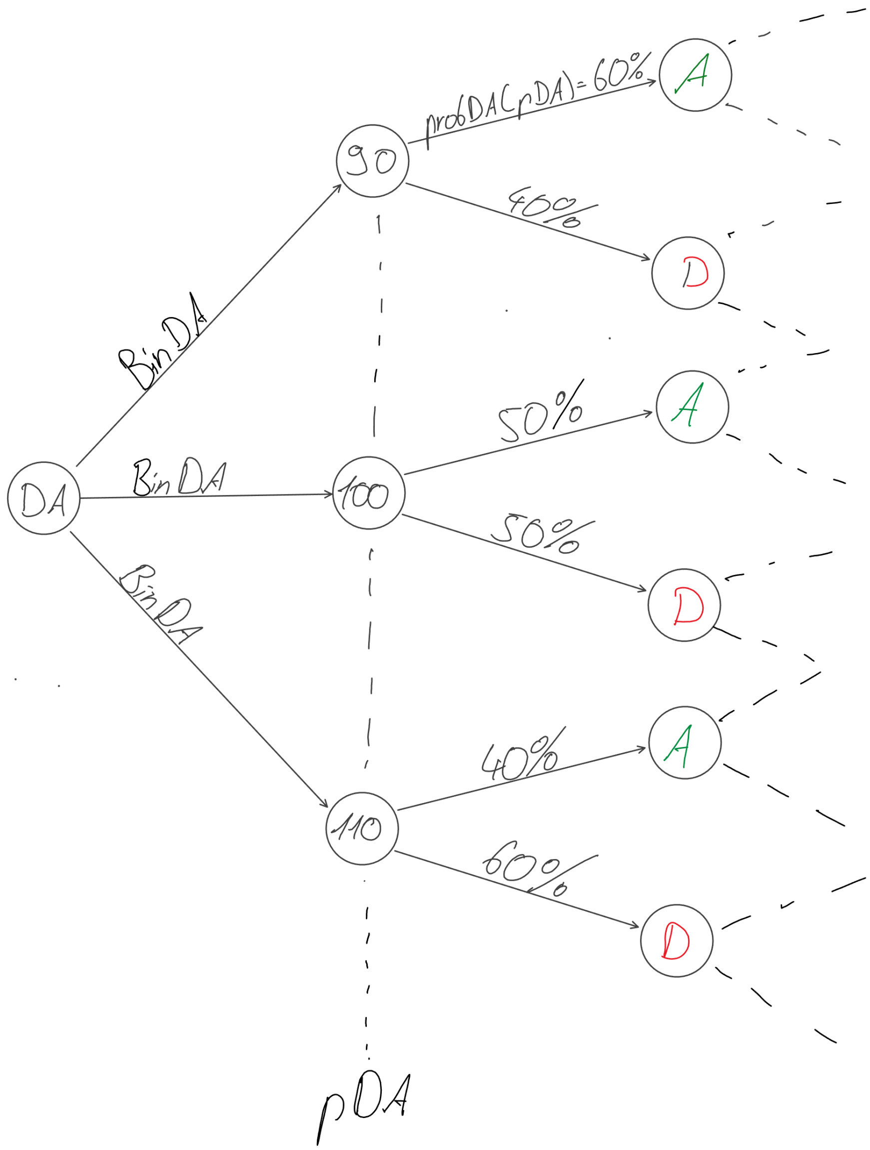

Abbildung 1: Beispielhafter Szenariobaum

grafik neu machen mit tikz und BinDA entfernen

Zu sehen ist ein Teil des Szenariobaums. Zur Vereinfachung ist in der Abbildung die Mengenentscheidung und die Entscheidung nicht am Day Ahead Markt teil zu nehmen ausgelassen. Zu sehen ist, dass zu verschiedenen Preisen am Day Ahead Markt geboten werden kann. Wird eine Entscheidung für einen Preis getroffen fallen entsprechend die anderen Teile des Szenariobaums weg. Die anschließende Wahrscheinlichkeitsverteilung für ein aktzeptieren des Gebots ist abhängig von der Gebotshöhe aber zufällig. In der folgenden Abbildung ist beispielhaft die Entscheidung für einen Preis von 90 grün markiert. Die entfallenden anderen Baumabschnitte sind rot markiert.

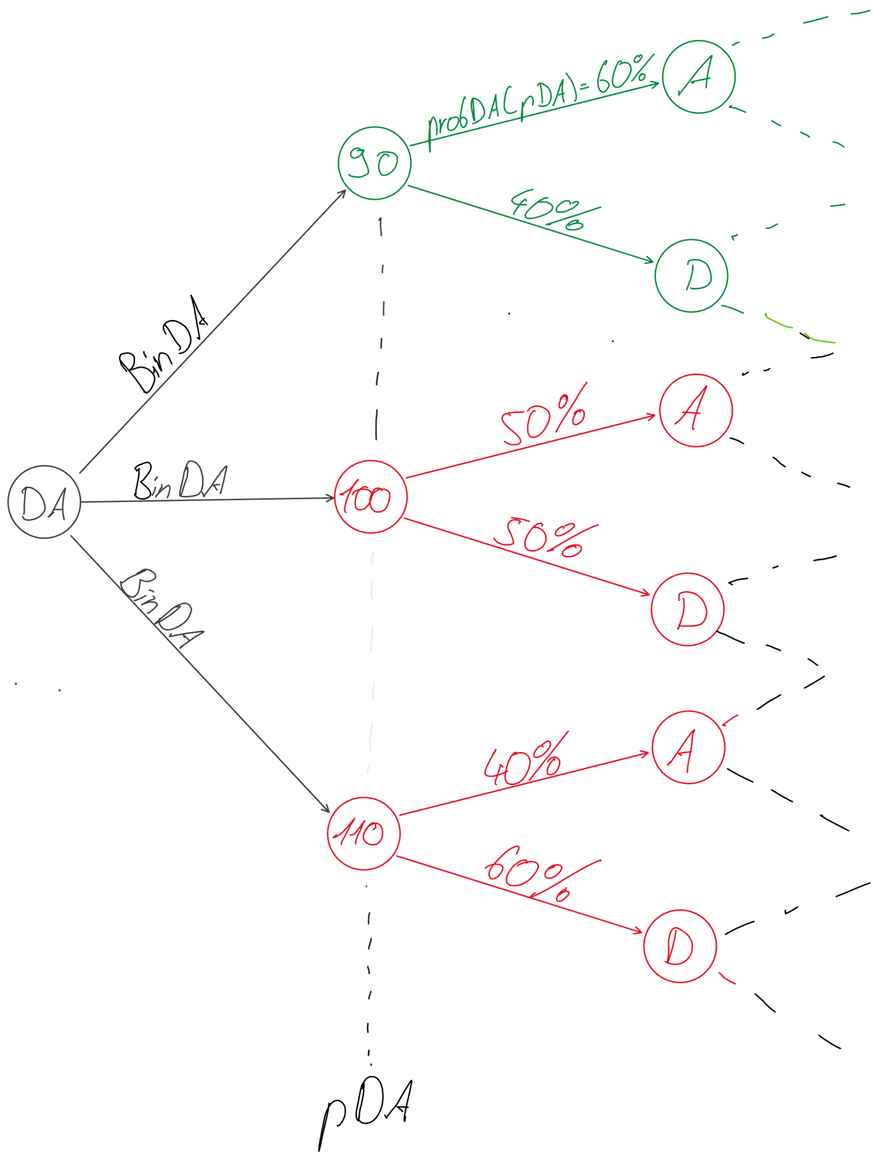

Abbildung 2: Beispielhafter Szenariobaum mit markierter Entscheidung

Die Wahrscheinlichkeiten in den aktivierten Teilbäumen addieren sich zu 1

grafik neu machen mit tikz und BinDA entfernen auf. Anschließend würden sich die folgenden Märkte abbilden (hier mit gestrichelten Linien dargestellt).

1.2.2 Von Umwandlung in lineares Problem

Bisher erfolgte eine Betrachtung mit dem besonderen Augenmerk auf die Preiswahrscheinlichkeit-Kombination. Im folgenden wird der Ausdruck Q_{DA} besonders analysiert. Zunächst wird eine weitere binäre Variable eingefügt die signalisiert ob der Abruf der bereitgestellten Leistung wirklich erfolgt. Hierraus ergibt sich:

$$B_{DA}^{Q} * Q_{DA}$$

Da dieser Ausdruck zu einem nicht linearen gemischten ganzzahligen Problem führt ist es sinnvoll dieses in ein lineares Problem umzuwandeln um die Berechenbarkeit zu verbessern. Dies erfolgt über eine Dummy Variable X_{DA}. Die Dummy Variable wird anschließend so restriktiert, dass sie sich wie $B_{DA}^{Q} * Q_{DA}$ verhält.

Nebenbedingungen:

$X_{DA} \leq B_{DA}^{Q} * R$

$Q_{DA} - X_{DA} \geq (1 - B_{DA}^{Q}) * R$

$Q_{DA} - X_{DA} \geq 0$

Aus den Nebenbedingung folgt entsprechend:

$X_{DA} = B_{DA}^{Q} * Q_{DA}$

So wird aus dem nicht linearen Problem

$Ertrag_{DA} = B_{DA}^{Q} * Q_{DA} * \sum_{s_{DA}} p_{DA}(s_{DA}) * \omega_{DA}(s_{DA})$

Das lineare Problem

$Ertrag_{DA} = X_{DA} * \sum_{s_{DA}} *p_{DA}(s_{DA}) * \omega_{DA}(s_{DA})$

s.t.:

$\sum_{s_{DA}} = 1$

$X_{DA} \leq B_{DA}^{Q} * R$

$Q_{DA} - X_{DA} \geq (1 - B_{DA}^{Q}) * R$

$Q_{DA} - X_{DA} \geq 0$

$$Ertrag_L = B_L^Q * Q_L * \sum_{s_L} B_L^P(s_L) * p_L(s_L) * \omega_L(s_L)$$

1.2.3 Preisvorhersage

Die verschiedenen Preis Szenarien werden mittels SARIMA Analyse exogen errechnet. Die SARIMA Analyse errechnet eine Wahrscheinlichkeitsverteilung (mehr dazu im Abschnitt Preisvorhersage), welche zu jedem Preis dessen Eintrittswahrscheinlichkeit angibt. Zu Vereinfachungszwecken werden die kontinuierlichen Preis-Wahrscheinlichkeits-Pärchen per Szenario Reduktion [N. Growe-Kuska, H. Heitsch, and W. Romisch, "Scenario reduction and scenario tree construction for power management problems," in Proc. 2003 IEEE Bologna Power Tech Conf., vol. 3, Jun. 2003, pp. 7.] auf signifikante Szenarion reduziert. Diese diskreten Preis-Wahrscheinlichkeits-Pärchen werden mathematisch über einen Parameter/Binär-Variablen Kombination abgebildet.

Beispiel: Umwandlung kontinuierliche Variable zu Diskreter:

Betrachtet werden folgende diskrete Preis-Wahrscheinlichkeits-Pärchen aus einer beispielhaften Szenarioreduktion:

Szenario s_{DA}	Preis $p_{DA}(s_{DA})$	Wahrscheinlichkeit $\omega_{DA}(s_{DA})$
s1	90	0.6
s2	100	0.5
s3	110	0.4

$P_{DA} * \omega_{DA}(P_{DA}) \rightarrow \sum_{s_{DA}} p_{DA}(s_{DA}) * \omega_{DA}(s_{DA})$

Erklärung mit summe wahrscheinlichkeiten 1

Hier und im folgenden weggelassen ist jeweils die Gegenwahrscheinlichkeit $1 - \omega_{DA}(s_{DA})$ da sie die Ablehnung des Gebots repräsentiert und somit in der Ertragsrechnung mit 0 multipliziert werden würde und entsprechend entfällt.

1.3 Marktmodelle

Das Modell ist in der Lage an drei Märkten zu bieten. Ein Gebot umfasst immer eine Menge sowie einen dazu gehörigen Preis. Zuerst erfolt das Gebot am Regelleistungsmarkt, dann am Day Ahead Markt und schließlich das Gebot am Regelarbeitsmarkt.

Übersicht über zeitlichen Ablauf der einzelnen Märkte

Dabei ergibt sich der zu maximierende Ertrag wie folgt:

$Ertrag = Menge * Preis$

In der stochastischen Programmierung wird noch eine Wahrscheinlichkeit hinzugefügt welche angibt wie wahrscheinlich der Zuschlag zum entsprechend gebotenen Preis ist.

$Ertrag = Menge * Preis * Wahr(Preis)$

1.3.1 Regelleistungsmarkt

Für den Regelleistungsmarkt ergibt sich dann die folgende Zielfunktion.

$maxProfit_{RL} = Q_{RL} * p_{RL} * \omega_{RL}(p_{RL})$

Durch einsetzen der vorhergesagten Preise ergibt sich dann die folgende Gleichung:

$maxProfit_{RL} = \sum_{s_{RL}} Q_{RL}(s_{RL}) * p_{RL}(s_{RL}) * \omega_{RL}(s_{RL})$

Zu beachten ist, dass auch die Menge nun Szenarioabhängig ist, so kann theoretisch auf für jedes angenommene Szenario sepperat geboten werden. Praktisch ist dies nicht an zu nehmen, da der Algorithmus die höchst mögliche Menge immer dem höchsten Preiserwartungswert wahrscheinlich zuordnen wird. Auf diese Weise dient die Menge als abstrakte binäre Aktivierungsvariable der verschiedenen Preisszenarion. Für die anschließenden Märkte ist es wichtig zu wissen ob das Gebot angenommen wurde oder nicht. Dies wird über eine binäre Variable B_{RL} repräsentiert.

den Part Menge als abstrakte binäre Aktivierungsvariable eventuell nochmal überarbeiten und entsprechend oben anpassen

$maxProfit_{RL} = \sum_{s_{RL}} Q_{RL}(s_{RL}) * B_{RL}(s_{RL}) * p_{RL}RL(s_{RL}) * \omega_{RL}(s_{RL})$

s.t.:

$c_{RL} \leq p_{RL}(s_{RL}) + M * B_{RL}(s_{RL})$

$c_{RL} \geq p_{RL}(s_{RL}) - M * (1 - B_{RL}(s_{RL}))$

$B_{RL} \in \{0, 1\}$

M ist hierbei eine sehr große Zahl. Über die Kombination beider Nebenbedingungen wird sicher gestellt, dass der Lösungsalgorithmus die binäre Variable immer so, dass sie dem tatsächlichen Marktresultat entspricht. So entspricht $B_{RL} = 1$ einem angenommenen Gebot und $B_{RL} = 0$ entspricht einem abgelehnten Gebot.

eventuell binär variable nur an Preis koppeln und das dann anders heraus ziehen

Die Kombination von $Q_{RL}(s_{RL}) * B_{RL}(s_{RL})$ würde zu einem nicht linearen Problem führen. Diese sind schwerer zu berechnen als lineare Problemstellungen. Um dies zu vermeiden wird die Kombination in eine kontinuierliche Variable $X(s_{RL})$ umgewandelt. Diese Ersatzvariable wird anschließend, mit Hilfe von 3

ausführliche Erklärung zusammenspiel Nebenbedingungen

Nebenbedingungen, auf den Lösungsraum der ursprünglichen binär Kombination beschränkt.

Nebenbedingungen für die binär Kombination Umwandlung

1. $X_{RL}(s_{RL}) \leq B_{RL}(s_{RL}) * r$
2. $Q_{RL}(s_{RL}) - X_{RL}(s_{RL}) \leq (1 - B_{RL}(s_{RL})) * r$
3. $Q_{RL}(s_{RL}) - X_{RL}(s_{RL}) \geq 0$

(r ist die Rate mit der der Speicher sich laden bzw. entladen kann)

Aus den Nebenbedingungen folt:

$$X_{RL}(s_{RL}) = B_{RL}(s_{RL}) * Q_{RL}(s_{RL})$$

Zitat einfügen

Zu beachten ist das sowohl positive als auch negative Leistungsgebote abgegeben werden können. Die vollständige Zielfunktion drückt sich dann wie folgt aus:

$$max_{X_{RL}^{in}(s_{RL}),X_{RL}^{out}(s_{RL})} Profit_{RL}$$
$$=$$
$$\sum_{s_{RL}^{in}} X_{RL}^{in}(s_{RL}) * p(s_{RL}^{in}) * \omega_{RL}(s_{RL}^{in}) +$$
$$\sum_{s_{RL}^{out}} X_{RL}^{out}(s_{RL}) * p(s_{RL}^{out}) * \omega_{RL}(s_{RL}^{out})$$

s.t.:

(für binäre Zuschlagsvariable:)

$c_{RL}^{in} \leq p^{in}(s_{RL}^{in}) + M * B_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}) \quad \forall s_{RL}^{in}$

$c_{RL}^{in} \geq p^{in}(s_{RL}^{in}) - M * (1 - B_{RL}^{in}(s_{RL}^{in})) \quad \forall s_{RL}^{in}$

$c_{RL}^{out} \leq p^{out}(s_{RL}^{out}) + M * B_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) \quad \forall s_{RL}^{out}$

$c_{RL}^{out} \geq p^{out}(s_{RL}^{out}) - M * (1 - B_{RL}^{out}(s_{RL}^{out})) \quad \forall s_{RL}^{out}$

(für linearität der Mengenvariable:)

$X_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}) \leq B_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}) * r \quad \forall s_{RL}^{in}$

$Q_{RL}^{in}(s_{RL}) - X^{in}(s_{RL}) \leq (1 - B_{RL}^{in}(s_{RL})) * r \quad \forall s_{RL}^{in}$

$Q_{RL}^{in}(s_{RL}) - X^{in}(s_{RL}) \geq 0 \quad \forall s_{RL}^{in}$

$X_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) \leq B_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) * r \quad \forall s_{RL}^{out}$

$Q_{RL}^{out}(s_{RL}) - X_{RL}^{out}(s_{RL}) \leq (1 - B^{out}(s_{RL})) * r \quad \forall s_{RL}^{out}$

$Q_{RL}^{out}(s_{RL}) - X_{RL}^{out}(s_{RL}) \geq 0 \quad \forall s_{RL}^{out}$

(grundlegende Beschränkungen der Definitionsbereiche:)

$B_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}), B_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) \in \{0,1\} \quad \forall s_{RL}^{in}, s_{RL}^{out}$

$X_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}), X_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) \geq 0 \quad \forall s_{RL}^{in}, s_{RL}^{out}$

$Q_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}), Q_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) \geq 0 \quad \forall s_{RL}^{in}, s_{RL}^{out}$

alle gleichungen checken wegen $\forall$

1.3.2 Day Ahead Markt

alle gleichungen mit nummerierung und beschreibung? überarbeiten

Simultan zu dem vorherigen Kapitel ergeben sich dann dich Gleichungen für den Day Ahead Markt. Der Day Ahead Markt ist der Markt an dem der Strom des Windparks vermarktet wird. Dementsprechend gibt es keine positiven und negativen Gebote.

$$max_{X_{DA}(s_{DA})} Profit_{DA}$$
$$=$$
$$\sum_{s_{DA}} X_{DA}(s_{DA}) * p(s_{DA}) * \omega_{DA}(s_{DA})$$

anschlusskapazitäts Bedingungen hinzufügen

s.t.:

(für binäre Zuschlagsvariable:)

$c_{DA} \leq p(s_{DA}) + M * B_{DA}(s_{DA}) \quad \forall s_{DA}$

$c_{DA} \geq p(s_{DA}) - M * (1 - B_{DA}(s_{DA})) \quad \forall s_{DA}$

(für linearität der Mengenvariable:)

$X_{DA}(s_{DA}) \leq B_{DA}(s_{DA}) * r \quad \forall s_{DA}$

$Q_{DA}(s_{DA}) - X(s_{DA}) \leq (1 - B_{DA}(s_{DA})) * r \quad \forall s_{DA}$

$Q_{DA}(s_{DA}) - X(s_{DA}) \geq 0 \quad \forall s_{DA}$

(grundlegende Beschränkungen der Definitionsbereiche:)

$B_{DA}(s_{DA}) \in \{0, 1\} \quad \forall s_{DA}$

$X_{DA}(s_{DA}) \geq 0 \quad \forall s_{DA}$

$Q_{DA}(s_{DA}) \geq 0 \quad \forall s_{DA}$

annahme perfekte Vorraussicht Windpark

1.3.3 Regelarbeitsmarkt

Simultan zum Regelleistungsmarkt ergibt sich der Regelarbeitsmarkt:

erklärung zusammenhang regelleistungsmarkt regelarbeitsmarkt

$$max_{Q^{in}_{RA}(s_{RA}), Q^{out}_{RA}(s_{RA})} Profit_{RA}$$
$$=$$
$$\sum_{s^{in}_{RA}} Q^{in}_{RA}(s_{RA}) * p(s^{in}_{RA}) * \omega_{RA}(s^{in}_{RA}) +$$
$$\sum_{s^{out}_{RA}} Q^{out}_{RA}(s_{RA}) * p(s^{out}_{RA}) * \omega_{RA}(s^{out}_{RA})$$

s.t.:

(grundlegende Beschränkungen der Definitionsbereiche:)

$Q^{in}_{RA}(s^{in}_{RA}), Q^{out}_{RA}(s^{out}_{RA}) \geq 0 \quad \forall s^{in}_{RA}, s^{out}_{RA}$

$Q^{in}_{RA}(s^{in}_{RA}), Q^{out}_{RA}(s^{out}_{RA}) \geq 0 \quad \forall s^{in}_{RA}, s^{out}_{RA}$

1.4 Einzelberechnung optimale Erststufenentscheidung

Um die optimale Erststufenentscheidung zu berechnen wird der Erwartungswert sämtlicher Zweige des Szenario-Baum ausgerechnet. Die Entscheidung zu welchem Preis am positiven sowie negativen Regelleistungsmarkt geboten werden soll erfolgt zeitgleich. Daraus ergeben sich 4 Szenarien:

1. RL^{in} & RL^{out} angenommen

2. nur RL^{in} angenommen

3. nur RL^{out} angenommen

4. RL^{in} & RL^{out} abgelehnt

Es folgt eine systematische Darstellung dieser Rechnung:

$$
\begin{aligned}
maxProfit = \\
\sum\sum \omega(RL^{in}) * \omega(RL^{out}) * \Bigg[& E(RL^{in}) + E(RL^{out}) \\
& + \sum_{DA} \omega(DA) * \Bigg(\quad E(DA) \\
& \qquad + \sum_{RA^{in}} (\omega(RA^{in}) * E(RA^{in})) \\
& \qquad + \sum_{RA^{out}} (\omega(RA^{out}) * E(RA^{out}))\Bigg) \\
& + \sum_{DA} (1 - \omega(DA) * \Bigg(\sum_{RA^{in}} (\omega(RA^{in}) * E(RA^{in})) \\
& \qquad + \sum_{RA^{out}} (\omega(RA^{out}) * E(RA^{out}))\Bigg)\Bigg] \\
+ \sum\sum (1 - \omega(RL^{in})) * \omega(RL^{out}) * \Bigg[& E(RL^{in}) + E(RL^{out}) \\
& + \sum_{DA} \omega(DA) * \Bigg(\quad E(DA) \\
& \qquad + \sum_{RA^{in}} (\omega(RA^{in}) * E(RA^{in})) \\
& \qquad + \sum_{RA^{out}} (\omega(RA^{out}) * E(RA^{out}))\Bigg) \\
& + \sum_{DA} (1 - \omega(DA) * \Bigg(\sum_{RA^{in}} (\omega(RA^{in}) * E(RA^{in})) \\
& \qquad + \sum_{RA^{out}} (\omega(RA^{out}) * E(RA^{out}))\Bigg)\Bigg]
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&+\sum\sum \omega(RL^{in}) * (1-\omega(RL^{out})) * \Bigg[E(RL^{in}) + E(RL^{out}) \\
&\qquad + \sum_{DA} \omega(DA) * \Bigg(\qquad E(DA) \\
&\qquad\qquad + \sum_{RA^{in}} (\omega(RA^{in}) * E(RA^{in}) \\
&\qquad\qquad + \sum_{RA^{out}} (\omega(RA^{out}) * E(RA^{o} \\
&\qquad + \sum_{DA} (1-\omega(DA) * \qquad \Bigg(\sum_{RA^{in}} (\omega(RA^{in}) * E(RA^{in})) \\
&\qquad\qquad + \sum_{RA^{out}} (\omega(RA^{out}) * E(RA^{o} \\
&+\sum\sum (1-(\omega(RL^{in}) * \omega(RL^{out})) * \Bigg[\qquad E(RL^{in}) + E(RL^{out}) \\
&\qquad + \sum_{DA} \omega(DA) * \Bigg(\qquad E(DA) \\
&\qquad\qquad + \sum_{RA^{in}} (\omega(RA^{in}) * E(RA^{in}) \\
&\qquad\qquad + \sum_{RA^{out}} (\omega(RA^{out}) * E(RA^{o} \\
&\qquad + \sum_{DA} (1-\omega(DA) * \qquad \Bigg(\sum_{RA^{in}} (\omega(RA^{in}) * E(RA^{in})) \\
&\qquad\qquad + \sum_{RA^{out}} (\omega(RA^{out}) * E(RA^{o}
\end{aligned}
$$

Da die einzelnen Mengen, je nach Szenario, unterschiedlichen Restriktionen unterliegen werden ihnen separate Variablen zugewiesen. Es folgt eine ausführliche

Formel für die Berechnung der optimalen Erststufenentscheidung:

$$maxProfit =$$

$$for \quad accepted \quad RL \quad in\&out:$$

$$\sum_{s_{RL}^{out}} \sum_{s_{RL}^{in}} (\omega_{RL}(s_{RL}^{in}) * \omega_{RL}(s_{RL}^{out}))$$

$$* \Bigg[Q_{RL}^{in}(s_{RL}) * p(s_{RL}^{in}) + Q_{RL}^{out}(s_{RL}) * p(s_{RL}^{out})$$

$$+ \sum_{s_{DA}} \omega_{DA}(s_{DA})$$

$$* \Bigg(Q_{DA}^{rRL}(s_{DA}) * p(s_{DA})$$

$$+ \sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{inrRLDA}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in})$$

$$+ \sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{outrRLDA}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out}) \Bigg)$$

$$+ \sum_{s_{DA}} (1 - \omega_{DA}(s_{DA}))$$

$$* \Bigg(\sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{inrRL}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in})$$

$$+ \sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{outrRL}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out}) \Bigg) \Bigg) \Bigg] for \quad accepted \quad RL \quad in \qquad declined \quad out:$$

$$+ \sum_{s_{RL}^{out}} \sum_{s_{RL}^{in}} (\omega_{RL}(s_{RL}^{in}) * (1 - \omega_{RL}(s_{RL}^{out}))$$

$$* \Bigg[Q_{RL}^{in}(s_{RL}) * p(s_{RL}^{in})$$

$$
\begin{aligned}
&+\sum_{s_{DA}} \omega_{DA}(s_{DA}) \\
&* \Big(Q_{DA}^{rRL}(s_{DA}) * p(s_{DA}) \\
&+ \sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{inrRLDA}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in}) \\
&+ \sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{outrDA}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Big) \\
&+ \sum_{s_{DA}} (1 - \omega_{DA}(s_{DA})) \\
&* \left(\sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{inrRL}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in})\right. \\
&\left. + \sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{out}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Big)\right)\Bigg]
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
for \quad declined \quad RL \quad in \quad \& \quad accepted \quad out: & \\
&\sum_{s_{RL}^{out}} \sum_{s_{RL}^{in}} \Bigg(((1 - \omega_{RL}(s_{RL}^{in})) * \omega_{RL}(s_{RL}^{out})) \\
&* \Big(Q_{RL}^{out}(s_{RL}) * p(s_{RL}^{out}) \\
&+ \sum_{s_{DA}} \omega_{DA}(s_{DA}) \\
&* \Bigg(Q_{DA}^{rRL}(s_{DA}) * p(s_{DA}) \\
&+ \sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{inrDA}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in}) \\
&+ \sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{outrRLDA}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Big) \\
&+ \sum_{s_{DA}} (1 - \omega_{DA}(s_{DA})) \\
&* \Big(\sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{in}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in}) \\
&+ \sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{outrRL}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Big)\Bigg)
\end{aligned} \tag{1}
$$

$$
\begin{aligned}
&for \quad declined \quad RL \quad in\&out:\\
&\sum_{s_{RL}^{out}}\sum_{s_{RL}^{in}}(1-(\omega_{RL}(s_{RL}^{in})*\omega_{RL}(s_{RL}^{out})))\\
&*\Bigg(\sum_{s_{DA}}\omega_{DA}(s_{DA})\\
&*\Big(Q_{DA}(s_{DA})*p(s_{DA})\\
&+\sum_{s_{RA}^{in}}Q_{RA}^{inrDA}(s_{RA})*p(s_{RA}^{in})*\omega_{RA}(s_{RA}^{in})\\
&+\sum_{s_{RA}^{out}}Q_{RA}^{outrDA}(s_{RA})*p(s_{RA}^{out})*\omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Big)\\
&+\sum_{s_{DA}}(1-\omega_{DA}(s_{DA}))\\
&*\Big(\sum_{s_{RA}^{in}}Q_{RA}^{in}(s_{RA})*p(s_{RA}^{in})*\omega_{RA}(s_{RA}^{in})\\
&+\sum_{s_{RA}^{out}}Q_{RA}^{out}(s_{RA})*p(s_{RA}^{out})*\omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Big)\Bigg)
\end{aligned}
\tag{2}
$$

Nebenbedingungen

for accepted RL in&out:

Anschlusspunkt:

$a+Q_{RL}^{in}\geq Q_{RA}^{outrRLDA}+Q_{DA}^{rRL}$

Batterie Restriktionen:

$Q_{RA}^{out}\leq Q_{RL}^{out}$

$Q_{RA}^{in}\leq Q_{RL}^{in}$

$Q_{RA}^{outrRL}\leq Q_{RL}^{out}$

$Q_{RA}^{inrRL}\leq Q_{RL}^{in}$

$Q_{RA}^{outrDA}\leq Q_{RL}^{out}$

$Q_{RA}^{inrDA}\leq Q_{RL}^{in}$

$Q_{RA}^{outrRLDA}\leq Q_{RL}^{out}$

$Q_{RA}^{inrRLDA}\leq Q_{RL}^{in}$

Markt Restriktionen:

$Q_{RA}^{out} \geq Q_{RL}^{out}$

$Q_{RA}^{in} \geq Q_{RL}^{in}$

$Q_{RA}^{outrRL} \geq Q_{RL}^{out}$

$Q_{RA}^{inrRL} \geq Q_{RL}^{in}$

$Q_{RA}^{outrDA} \geq Q_{RL}^{out}$

$Q_{RA}^{inrDA} \geq Q_{RL}^{in}$

$Q_{RA}^{outrRLDA} \geq Q_{RL}^{out}$

$Q_{RA}^{inrRLDA} \geq Q_{RL}^{in}$

1.5 Gesamtes Modell

erklärung Anschluss-punkt

$$max_{X_{RL}^{in}(s_{RL}),X_{RL}^{out}(s_{RL}),X_{DA}(s_{DA}),X_{RA}^{in}(s_{RA}),X_{RA}^{out}(s_{RA})} Profit$$
$$=$$
$$\sum_{s_{RL}^{in}} X_{RL}^{in}(s_{RL}) * p(s_{RL}^{in}) * \omega_{RL}(s_{RL}^{in}) +$$
$$\sum_{s_{RL}^{out}} X_{RL}^{out}(s_{RL}) * p(s_{RL}^{out}) * \omega_{RL}(s_{RL}^{out}) +$$
$$\sum_{s_{DA}} X_{DA}(s_{DA}) * p(s_{DA}) * \omega_{DA}(s_{DA}) +$$
$$\sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{in}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in}) +$$
$$\sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{out}(s_{RA}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out})$$

s.t.:

(Anschlusspunkt)

$a + X_{RA}^{in}(s_{RA}^{in}) \geq X_{DA}(s_{DA}) + X_{RA}^{out}(s_{RA}^{out}) \quad \forall s_{RL}^{in}, s_{RA}^{in}), s_{RL}^{out}, s_{DA}^{out}, s_{RA}^{out}$

(min. $RA \geq RL$)

$X_{RA}^{in} * B_{RL}^{in}(s_{RA}^{in}) \geq X_{RL}^{in} * B_{RL}^{in}(s_{RL}^{in})$

$X_{RA}^{out} * B_{RL}^{out}(s_{RA}^{out}) \geq X_{RL}^{out} * B_{RL}^{out}(s_{RL}^{out})$

RL

(für binäre Zuschlagsvariable:)

$c_{RL}^{in} \leq p^{in}(s_{RL}^{in}) + M * B_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}) \quad \forall s_{RL}^{in}$

$c_{RL}^{in} \geq p^{in}(s_{RL}^{in}) - M * (1 - B_{RL}^{in}(s_{RL}^{in})) \quad \forall s_{RL}^{in}$

$c_{RL}^{out} \leq p^{out}(s_{RL}^{out}) + M * B_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) \quad \forall s_{RL}^{out}$

$c_{RL}^{out} \geq p^{out}(s_{RL}^{out}) - M * (1 - B_{RL}^{out}(s_{RL}^{out})) \quad \forall s_{RL}^{out}$

(für linearität der Mengenvariable:)

$X_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}) \leq B_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}) * r \quad \forall s_{RL}^{in}$

$Q_{RL}^{in}(s_{RL}) - X^{in}(s_{RL}) \leq (1 - B_{RL}^{in}(s_{RL})) * r \quad \forall s_{RL}^{in}$

$Q_{RL}^{in}(s_{RL}) - X^{in}(s_{RL}) \geq 0 \quad \forall s_{RL}^{in}$

$X_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) \leq B_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) * r \quad \forall s_{RL}^{out}$

$Q_{RL}^{out}(s_{RL}) - X_{RL}^{out}(s_{RL}) \leq (1 - B^{out}(s_{RL})) * r \quad \forall s_{RL}^{out}$

$Q_{RL}^{out}(s_{RL}) - X_{RL}^{out}(s_{RL}) \geq 0 \quad \forall s_{RL}^{out}$

(grundlegende Beschränkungen der Definitionsbereiche:)

$B_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}), B_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) \in \{0, 1\} \quad \forall s_{RL}^{in}, s_{RL}^{out}$

$X_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}), X_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) \geq 0 \quad \forall s_{RL}^{in}, s_{RL}^{out}$

$Q_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}), Q_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) \geq 0 \quad \forall s_{RL}^{in}, s_{RL}^{out}$

DA

(für binäre Zuschlagsvariable:)

$c_{DA} \leq p(s_{DA}) + M * B_{DA}(s_{DA}) \quad \forall s_{DA}$

$c_{DA} \geq p(s_{DA}) - M * (1 - B_{DA}(s_{DA})) \quad \forall s_{DA}$

(für linearität der Mengenvariable:)

$X_{DA}(s_{DA}) \leq B_{DA}(s_{DA}) * r \quad \forall s_{DA}$

$Q_{DA}(s_{DA}) - X(s_{DA}) \leq (1 - B_{DA}(s_{DA})) * r \quad \forall s_{DA}$

$Q_{DA}(s_{DA}) - X(s_{DA}) \geq 0 \quad \forall s_{DA}$

(grundlegende Beschränkungen der Definitionsbereiche:)

$B_{DA}(s_{DA}) \in \{0, 1\} \quad \forall s_{DA}$

$X_{DA}(s_{DA}) \geq 0 \quad \forall s_{DA}$

$Q_{DA}(s_{DA}) \geq 0 \quad \forall s_{DA}$

RA

(grundlegende Beschränkungen der Definitionsbereiche:) $Q_{RA}^{in}(s_{RA}^{in}), Q_{RA}^{out}(s_{RA}^{out}) \geq 0 \quad \forall s_{RA}^{in}, s_{RA}^{out}$

$Q_{RA}^{in}(s_{RA}^{in}), Q_{RA}^{out}(s_{RA}^{out}) \geq 0 \quad \forall s_{RA}^{in}, s_{RA}^{out}$

1.6 Variables - simplified model

Vereinfachungen:

- angenommene Gebote werden auch in voller Höhe abgerufen
-

asdf

asdf

asdf

asdf

original	GAMS	explanation
f_{DA}	$priceForeCastDA(t)$	forecast price day ahead market
f_{RT}	$priceForeCastRT(t)$	forecast price real time market
p_{DA}	$priceProbDA$	probability for price p_{DA}
p_{RT}	$priceProbRT$	probability for price p_{RT}
E_{DA}^{in}	$EnergyInDA(t)$	energy in day ahead market
E_{DA}^{out}	$EnergyOutDA(t)$	energy out day ahead market
E_{RT}^{in}	$EnergyInRT(t)$	energy in real time market
E_{RT}^{out}	$EnergyOutRT(t)$	energy out real time market
$z^{in}(t)$	$binaryInDA(t)$	binary variable if bid is accepted
$z^{out}(t)$	$binaryOutDA(t)$	binary variable if bid is accepted

Variables

original	GAMS	explanation
f_{DA}	$priceForeCastDA(t)$	forecast price day ahead market
f_{RT}	$priceForeCastRT(t)$	forecast price real time market
E_{DA}^{in}	$EnergyInDA(t)$	energy in day ahead market
E_{DA}^{out}	$EnergyOutDA(t)$	energy out day ahead market
E_{RT}^{in}	$EnergyInRT(t)$	energy in real time market
E_{RT}^{out}	$EnergyOutRT(t)$	energy out real time market
E_{stor}^{in}		
E_{stor}^{out}		

Tabelle 1: Variables

1.7 Variables - simplified model + wind park

$Ertrag_{DA}$	erzielter Ertrag im Day Ahead Markt
B_{DA}	binär Variable welche signalisiert
	ob am Day Ahead Markt teilgenommen wird
Q_{DA}	gebotene Menge am Day Ahead Markt
P_{DA}	gebotener Preis am Day Ahead Markt
$\omega_{DA}(pDA)$	Wahrscheinlichkeit für Zuschlag bei Preis P_{DA}

1.8 Variables - extended model + wind park