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.) Das grundlegende Modell stellt einen Energiespeicher da, der am Regelleistungsmarkt, Day Ahead Markt und Regelarbeitsmarkt vermarktet werden kann. Der darraus resultierende Profit soll maximiert werden. Für jede Teilentscheidung/Markt existiert ein eigenes Modell. So kann, für jedes Teilmodell, vermieden werden die anschließenden Marktergebnisse (Zuschlag oder Ablehnung) zu integrieren. Dies ist wichtig, da anderen Falls der Algorithmus allwissend wäre

ausführliche Erklärung stochastische Programmierung und nur perfekte Gebote errechnen würde. Die Ergebnisse eines jeden Teilmodells werden immer an das nachfolgende Modell übergeben und erst an dieser Stelle ausgewertet. Jedes Teilmodell ermittelt Mengengebote zu bestimmten Preisen. Die verschiedenen Preise werden durch verschiedene Szenarien abgebildet. Jedem Szenario ist eine bestimmte Wahrscheinlichkeit zugeordnet. (Die Preis-Wahrscheinlichkeits-Kombinationen der verschiedenen Szenarien wurden vorher exogen mittels SARIMA-Analyse ermittelt.) Ein Gebot stellt sich dann wie folgt dar:

$Q(s) * p(s) * \omega(s)$

Die Daten hierfür lassen sich exemplarisch wie folgt darstellen:

Szenario s	Preis $p(s)$	Wahrscheinlichkeit $\omega(s)$
s1	90	0.6
s2	100	0.5
s3	110	0.4

Dabei repräsentiert die Wahrscheinlichkeit die Chance für einen Zuschlag zum zugeordneten Szenariopreis. Ein Zuschlag bei gegebenem Gebot wird als eintreffen des Szenarios interpretiert. Ein geringerer Gebotspreis führt immer zu einer höheren Zuschlagswahrscheinlichkeit. Die Summe aus der Chance für einen Zuschlag und der Chance für eine Ablehnung ergibt dabei immer 1. Die Äste des Szenariobaums stellen dabei die Unterschiedlichen Preisoptionen dar. Mit einem Mengengebot auf einen bestimmten Preis äktivieren" wird der entsprechende Teil des Szenariobaums aktiviert. Da die gesamte Menge durch $\sum_s Q(s) \leq r$ restriktiert ist, kann eine einzelne Menge (z.B.: 1 MW) nur einmal vergeben werden. Theoretisch ist es möglich, dass unterschiedliche Mengengebote zu unterschiedlichen Preisszenarien erfolgen. Praktisch errechnet der Algorithmus welcher Ast des Szenariobaums den höchsten Erwartungswert ($w(s)*p(s)$) besitzt und bietet entsprechend die maximale Menge an dieser Stelle.

Im ersten Schritt wird die optimale Entscheidung am Regelleistungsmarkt berechnet. Hierfür werden die Erwartungswerte aller möglichen Szenarien ausgerechnet (siehe 1.4).

Im zweiten Schritt werden die, vorher errechneten, Ergebnisse (Mengengebote zum entsprechenden Preis) als exogene Parameter in das 2. Modell eingefügt. Es folgt eine Auswertung ob zum entsprechenden Gebot ein Zuschlag erfolgt. Anschließend wird, wie im vorherigen Schritt, die optimale Entscheidung für den Day Ahead Markt bestimmt (siehe 1.4.2).

Im letzten Schritt werden die Ergebnisse des Day Ahead Marktes in das 3. Modell integriert. Nachfolgend wird überprüft ob zum entsprechenden Gebot ein Zuschlag erfolgt. Zum Schluss wird die optimale Entscheidung am Regelarbeitsmarkt ermittelt (siehe 1.4.3).

1.2.1 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 erfolgt 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 eine Wahrscheinlichkeit hinzugefügt welche angibt wie wahrscheinlich der Zuschlag zum entsprechend gebotenen Preis ist.

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

In den folgenden Kapiteln werden zuerst die einzelnen Märkte individuell beschrieben. (siehe 1.3.1 bis 1.3.3). Nachfolgend wird die Überführung der Einzelmarktprobleme in eine Gesamtentscheidung erläutert. 1.4 skizziert hierfür zuerst die schematische Berechnung der Einzelentscheidungen. 1.4.1 bis 1.4.3 erläutern dann die detaillierten Einzelberechnungen.

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 separat 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 Preisszenarien. 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

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

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 setzt, dass sie dem tatsächlichen Marktresultat entspricht. So entspricht $B_{RL} = 1$ einem angenommenen Gebot und $B_{RL} = 0$ entspricht einem abgelehnten Gebot.

ausführliche Erklärung zusammenspiel Nebenbedingungen und binär Variable

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

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

Zitat einfügen

Zitat einfügen

(grundlegende Beschränkungen der Definitionsbereiche:)

$B^{in}_{RL}(s^{in}_{RL}), B^{out}_{RL}(s^{out}_{RL}) \in \{0, 1\} \quad \forall s^{in}_{RL}, s^{out}_{RL}$

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

(wird später durch Nebenbedingungen des Regelarbeitsmarktes ersetzt:)

$\sum_{s^{in}_{RL}} Q^{in}_{RL}(s^{in}_{RL}), \sum_{s^{out}_{RL}} Q^{out}_{RL}(s^{out}_{RL}) \leq r$

$a + \sum_{s^{in}_{RL}} Q^{in}_{RL}(s^{in}_{RL}) \geq \sum_{s^{out}_{RL}} Q^{out}_{RL}(s^{out}_{RL})$

alle gleichungen checken wegen $\forall$

alle gleichungen mit nummerierung und be-

1.3.2 Day Ahead Markt

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.

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

s.t.:

s.t.:

(grundlegende Beschränkungen der Definitionsbereiche:)

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

(wird später durch Nebenbedingungen des Regelarbeitsmarktes ersetzt:)

$\sum_{s_{DA}} Q_{DA}(s_{DA}) \leq r$

$a \geq \sum_{s_{DA}} Q_{DA}(s_{DA})$

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 Berechnung optimale Einzelentscheidungen

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:

Formelzeichen	Erklärung
$\omega()$	Wahrscheinlichkeit für Preis/Mengen Kombination
$E()$	Ertrag von Preis/Mengen
	Kombination am Markt
$RL^{in/out}$	Preis/Mengen Kombination am Regelleistungsmarkt
DA	Preis/Mengen Kombination am Day Ahead Markt
$RA^{in/out}$	Preis/Mengen Kombination am Regelarbeitsmarkt

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

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

1.4.1 Berechnung optimale Erststufenentscheidungen

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: (Die einzelnen Mengen Formelzeichen setzen sich wie folgt zusammen:

1. Q - Menge
2. $Q_{\boldsymbol{y}}$ - am welchem Markt die Menge Geboten wird
3. $Q_y^{\boldsymbol{i}}$ - (nur für die Regelmärkte) welche Art von Leistung geboten wird: negativ→in / positiv→out
4. $Q_y^{\boldsymbol{ir}\cdots}$ - welchen Restriktionen die Menge unterliegt, da in vorhergehenden Märkten entsprechende Zuschläge erfolgt sind

Beispiele:

- Q_{RA}^{outrRL} - positive Menge am Regelarbeitsmarkt restriktiert durch ein bezuschlagtes Regelleistungsmarkt-Gebot
- Q_{DA}^{rRL} - Menge am Day Ahead Markt restriktiert durch ein bezuschlagtes Regelleistungsmarkt-Gebot
- Q_{RA}^{in} - negative Menge am Regelarbeitsmarkt mit keinen Restriktionen

$$maxProfit =$$

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

$$\begin{aligned}
&\sum_{s_{RL}^{out}} \sum_{s_{RL}^{in}} (\omega_{RL}(s_{RL}^{in}) * \omega_{RL}(s_{RL}^{out})) * \Bigg[Q_{RL}^{in}(s_{RL}^{in}) * p(s_{RL}^{in}) + Q_{RL}^{out}(s_{RL}^{out}) * p(s_{RL}^{out}) \\
&\qquad + \sum_{s_{DA}} \omega_{DA}(s_{DA}) \qquad * \Bigg(Q_{DA}^{rRL}(s_{DA}) * p(s_{DA}) \\
&\qquad\qquad + \sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{inrRLDA}(s_{RA}^{in}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in}) \\
&\qquad\qquad + \sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{outrRLDA}(s_{RA}^{out}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out}) \Bigg) \\
&\qquad + \sum_{s_{DA}} (1 - \omega_{DA}(s_{DA})) * \Bigg(\sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{inrRL}(s_{RA}^{in}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in}) \\
&\qquad\qquad + \sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{outrRL}(s_{RA}^{out}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out}) \Bigg) \Bigg]
\end{aligned}$$

for accepted RL in & declined out:

$$
\begin{aligned}
+\sum_{s_{RL}^{out}}\sum_{s_{RL}^{in}}(\omega_{RL}(s_{RL}^{in})*(1-\omega_{RL}(s_{RL}^{out}))*\Bigg[&Q_{RL}^{in}(s_{RL}^{in})*p(s_{RL}^{in}) \\
&+\sum_{s_{DA}}\omega_{DA}(s_{DA})* \quad \Bigg(Q_{DA}^{rRL}(s_{DA})*p(s_{DA}) \\
&\qquad +\sum_{s_{RA}^{in}}Q_{RA}^{inrRLDA}(s_{RA}^{in})*p(s_{RA}^{in})*\omega_{RA}(s_{RA}^{in}) \\
&\qquad +\sum_{s_{RA}^{out}}Q_{RA}^{outrDA}(s_{RA}^{out})*p(s_{RA}^{out})*\omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Bigg) \\
&+\sum_{s_{DA}}(1-\omega_{DA}(s_{DA})) \\
&\qquad *\Bigg(\sum_{s_{RA}^{in}}Q_{RA}^{inrRL}(s_{RA}^{in})*p(s_{RA}^{in})*\omega_{RA}(s_{RA}^{in}) \\
&\qquad +\sum_{s_{RA}^{out}}Q_{RA}^{out}(s_{RA}^{out})*p(s_{RA}^{out})*\omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Bigg)\Bigg]
\end{aligned}
$$

for declined RL in& accepted out:

$$
\begin{aligned}
\sum_{s_{RL}^{out}}\sum_{s_{RL}^{in}}(1-\omega_{RL}(s_{RL}^{in}))*\omega_{RL}(s_{RL}^{out}))*\Bigg[&Q_{RL}^{out}(s_{RL}^{out})*p(s_{RL}^{out})\\
&+\sum_{s_{DA}}\omega_{DA}(s_{DA}) \qquad *\Bigg(Q_{DA}^{rRL}(s_{DA})*p(s_{DA})\\
&\qquad\qquad +\sum_{s_{RA}^{in}}Q_{RA}^{inrDA}(s_{RA}^{in})*p(s_{RA}^{in})*\omega_{RA}(s_{RA}^{in})\\
&\qquad\qquad +\sum_{s_{RA}^{out}}Q_{RA}^{outrRLDA}(s_{RA}^{out})*p(s_{RA}^{out})*\omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Bigg)\\
&+\sum_{s_{DA}}(1-\omega_{DA}(s_{DA}))\\
&\qquad\qquad *\Bigg(\sum_{s_{RA}^{in}}Q_{RA}^{in}(s_{RA}^{in})*p(s_{RA}^{in})*\omega_{RA}(s_{RA}^{in})\\
&\qquad\qquad +\sum_{s_{RA}^{out}}Q_{RA}^{outrRL}(s_{RA}^{out})*p(s_{RA}^{out})*\omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Bigg)\Bigg]
\end{aligned}
$$

for declined RL in& out:

$$
\begin{aligned}
\sum_{s_{RL}^{out}}\sum_{s_{RL}^{in}}(1-(\omega_{RL}(s_{RL}^{in})*\omega_{RL}(s_{RL}^{out})))*\Bigg[&\sum_{s_{DA}}\omega_{DA}(s_{DA}) \qquad *\Bigg(Q_{DA}(s_{DA})*p(s_{DA})\\
&\qquad\qquad +\sum_{s_{RA}^{in}}Q_{RA}^{inrDA}(s_{RA}^{in})*p(s_{RA}^{in})*\omega_{RA}(s_{RA}^{in})\\
&\qquad\qquad +\sum_{s_{RA}^{out}}Q_{RA}^{outrDA}(s_{RA}^{out})*p(s_{RA}^{out})*\omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Bigg)\\
&+\sum_{s_{DA}}(1-\omega_{DA}(s_{DA}))\\
&\qquad\qquad *\Bigg(\sum_{s_{RA}^{in}}Q_{RA}^{in}(s_{RA}^{in})*p(s_{RA}^{in})*\omega_{RA}(s_{RA}^{in})\\
&\qquad\qquad +\sum_{s_{RA}^{out}}Q_{RA}^{out}(s_{RA}^{out})*p(s_{RA}^{out})*\omega_{RA}(s_{RA}^{out})\Bigg)\Bigg]
\end{aligned}
$$

Nebenbedingungen

Anschlusspunkt:

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

$a + Q_{RA}^{in} \geq Q_{RA}^{outrDA} + Q_{DA}$

$a + Q_{RA}^{in} \geq Q_{RA}^{out}$

Batterie Restriktionen:

$Q_{RL}^{out}, Q_{RL}^{in}, Q_{DA}, Q_{RA}^{out}, Q_{RA}^{in}, Q_{RA}^{outrRL}, Q_{RA}^{inrRL}, Q_{RA}^{outrDA}, Q_{RA}^{inrDA}, Q_{RA}^{outrRLDA}, Q_{RA}^{inrRLDA} \leq r$

Markt Restriktionen:

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

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

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

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

1.4.2 Berechnung optimale Zweitstufenentscheidung

Die vorher berechneten optimalen Gebotsmengen $q_{RL}^{in^*}$ & $q_{RL}^{out^*}$ und Preise $p(s_{RL}^{out})$ & $p(s_{RL}^{in})$ werden nun exogen in das Modell eingespeist. Sie werden mit einer binären Variable gekoppelt welche angibt ob zum entsprechenden Preis ein Zuschlag erfolgt. Die korrekte Setzung der binären Variable wird über eine Kombination aus 2 Nebenbedingungen sicher gestellt.

Schematisch stellt sich dies dann wie folgt dar:

$\sum_s q^*(s) * p(s) * B(s)$

s.t.:

$c \leq p(s) + M * B(s) \quad \forall s$

$c \geq p(s) - M * (1 - B(s)) \quad \forall s$

c	Clearing Preis Markt
$p(s)$	Gebotspreis für Szenario s
M	sehr große Zahl
$B(s)$	binäre Variable welche angibt ob Szenariopreis zuschlag erhalten hat

Das gesamte Modell für den Day Ahead Markt ergibt sich dann wie folgt dar:

$$
\begin{aligned}
&maxProfit = \\
&\quad q_{RL}^{in^*}(s_{RL}^{in}) * p(s_{RL}^{in}) * B_{RL}^{in}(s_{RL}) \\
&\quad + q_{RL}^{out^*}(s_{RL}^{out}) * p(s_{RL}^{out}) * B_{RL}^{out}(s_{RL}) \\
&\qquad + \sum_{s_{DA}} \omega_{DA}(s_{DA}) * \Bigg(Q_{DA}(s_{DA}) * p(s_{DA}) \\
&\qquad\qquad + \sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{inrDA}(s_{RA}^{in}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in}) \\
&\qquad\qquad + \sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{outrDA}(s_{RA}^{out}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out}) \Bigg) \\
&\qquad + \sum_{s_{DA}} (1 - \omega_{DA}(s_{DA})) * \Bigg(\sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{in}(s_{RA}^{in}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in}) \\
&\qquad\qquad + \sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{out}(s_{RA}^{out}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out}) \Bigg)
\end{aligned}
$$

Nebenbedingungen

Anschlusspunkt:

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

$a + Q_{RA}^{in} \geq Q_{RA}^{outrDA} + Q_{DA}$

$a + Q_{RA}^{in} \geq Q_{RA}^{out}$

Batterie Restriktionen:

$Q^{out}_{RA}, Q^{in}_{RA}, Q^{outrRL}_{RA}, Q^{inrRL}_{RA}, Q^{outrDA}_{RA}, Q^{inrDA}_{RA}, Q^{outrRLDA}_{RA}, Q^{inrRLDA}_{RA} \leq r$

Markt Restriktionen:

$Q^{out}_{RA} \geq q^{out^*}_{RL}(s^{out}_{RL}) * B^{out}_{RL}(s^{out}_{RL})$

$Q^{in}_{RA} \geq q^{in^*}_{RL}(s^{in}_{RL}) * B^{in}_{RL}(s^{in}_{RL})$

$Q^{outrRL}_{RA} \geq q^{out^*}_{RL}(s^{out}_{RL}) * B^{out}_{RL}(s^{out}_{RL})$

$Q^{inrRL}_{RA} \geq q^{in^*}_{RL}(s^{in}_{RL}) * B^{in}_{RL}(s^{in}_{RL})$

$Q^{outrDA}_{RA} \geq q^{out^*}_{RL}(s^{out}_{RL}) * B^{out}_{RL}(s^{out}_{RL})$

$Q^{inrDA}_{RA} \geq q^{in^*}_{RL}(s^{in}_{RL}) * B^{in}_{RL}(s^{in}_{RL})$

$Q^{outrRLDA}_{RA} \geq q^{out^*}_{RL}(s^{out}_{RL}) * B^{out}_{RL}(s^{out}_{RL})$

$Q^{inrRLDA}_{RA} \geq q^{in^*}_{RL}(s^{in}_{RL}) * B^{in}_{RL}(s^{in}_{RL})$

Modell Restriktionen:

(Angenommene/Abgelehnte Gebote)

$c^{in}_{RL} \leq p(s^{in}_{RL}) + M * B^{in}_{RL}(s^{in}_{RL}) \quad \forall s^{in}_{RL}$

$c^{in}_{RL} \geq p(s^{in}_{RL}) - M * (1 - B^{in}_{RL}(s^{in}_{RL})) \quad \forall s^{in}_{RL}$

$c^{out}_{RL} \leq p(s^{out}_{RL}) + M * B^{out}_{RL}(s^{out}_{RL}) \quad \forall s^{out}_{RL}$

$c^{out}_{RL} \geq p(s^{out}_{RL}) - M * (1 - B^{out}_{RL}(s^{out}_{RL})) \quad \forall s^{out}_{RL}$

1.4.3 Berechnung optimale Drittstufenentscheidung

Die optimalen 1. und 2. Stufenentscheidungen werden eingefügt. Simultan zum vorherigen Schritt werden sie mit binären Variablen kombiniert die das eintreffen der verschiedenen Szenarien (Gebotsannahme/-ablehnung) signalisieren.

$$maxProfit =$$

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

$$q_{RL}^{in^*}(s_{RL}^{in}) * p(s_{RL}^{in}) * B_{RL}^{in}(s_{RL})$$
$$+ q_{RL}^{out^*}(s_{RL}^{in}) * p(s_{RL}^{out}) * B_{RL}^{out}(s_{RL})$$
$$+ q_{DA}^{*}(s_{DA}) * p_{DA}(s_{DA}) * B_{DA}(s_{DA})$$
$$+ \sum_{s_{RA}^{in}} Q_{RA}^{in}(s_{RA}^{in}) * p(s_{RA}^{in}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{in})$$
$$+ \sum_{s_{RA}^{out}} Q_{RA}^{out}(s_{RA}^{out}) * p(s_{RA}^{out}) * \omega_{RA}(s_{RA}^{out})$$

Nebenbedingungen

Anschlusspunkt:

$a + \sum_{s_{RA}^{in}} q_{RA}^{in^*} \geq Q_{RA}^{out} + \sum_{s_{RA}^{out}} (q_{DA}^{out^*} * B_{DA}^{out})$

Batterie Restriktionen:

$Q_{RA}^{out}, Q_{RA}^{in}, Q_{RA}^{outrRL}, Q_{RA}^{inrRL}, Q_{RA}^{outrDA}, Q_{RA}^{inrDA}, Q_{RA}^{outrRLDA}, Q_{RA}^{inrRLDA} \leq r$

Markt Restriktionen:

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

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

(Angenommene/Abgelehnte Gebote)

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

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

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

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

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

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

2 ZU ÜBERARBEITEN

2.1 Gesamtes Modell

erklärung Anschluss-punkt

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

s.t.:

(Anschlusspunkt)

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

(min. $RA \geq RL$)

$X^{in}_{RA} * B^{in}_{RL}(s^{in}_{RA}) \geq X^{in}_{RL} * B^{in}_{RL}(s^{in}_{RL})$

$X^{out}_{RA} * B^{out}_{RL}(s^{out}_{RA}) \geq X^{out}_{RL} * B^{out}_{RL}(s^{out}_{RL})$

RL

(für binäre Zuschlagsvariable:)

$c^{in}_{RL} \leq p^{in}(s^{in}_{RL}) + M * B^{in}_{RL}(s^{in}_{RL}) \quad \forall s^{in}_{RL}$

$c^{in}_{RL} \geq p^{in}(s^{in}_{RL}) - M * (1 - B^{in}_{RL}(s^{in}_{RL})) \quad \forall s^{in}_{RL}$

$c^{out}_{RL} \leq p^{out}(s^{out}_{RL}) + M * B^{out}_{RL}(s^{out}_{RL}) \quad \forall s^{out}_{RL}$

$c^{out}_{RL} \geq p^{out}(s^{out}_{RL}) - M * (1 - B^{out}_{RL}(s^{out}_{RL})) \quad \forall s^{out}_{RL}$

(für linearität der Mengenvariable:)

$X^{in}_{RL}(s^{in}_{RL}) \leq B^{in}_{RL}(s^{in}_{RL}) * r \quad \forall s^{in}_{RL}$

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

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

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

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

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

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

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

2.2 Variables - simplified model

Vereinfachungen:

- angenommene Gebote werden auch in voller Höhe abgerufen
-

asdf

asdf

asdf

asdf

2.3 Umwandlung Linearität

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 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:

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

(für linearität der Mengenvariable:)

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

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

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

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

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

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

2.4 Variablen

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

2.5 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}

2.6 Variables - extended model + wind park

2.6.1 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 wird 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:

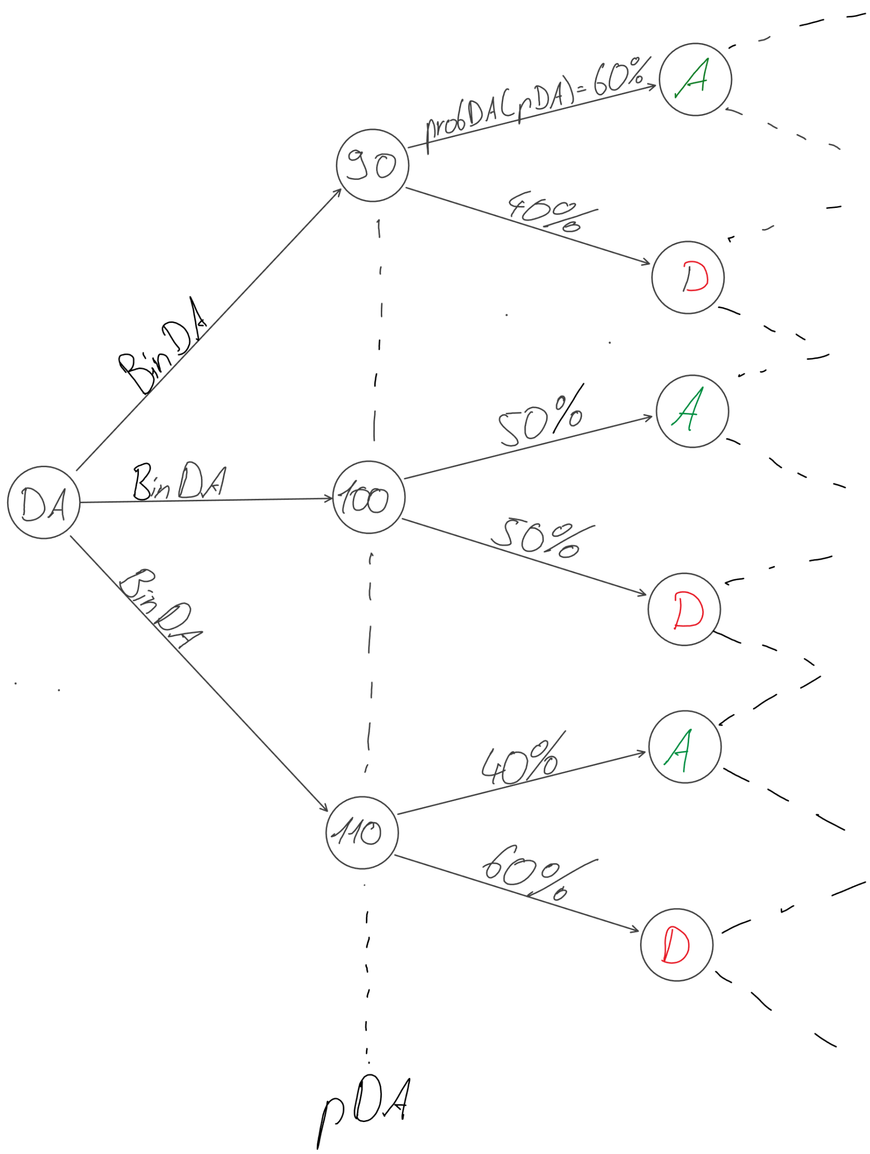

Abbildung 1: Beispielhafter Szenariobaum

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.

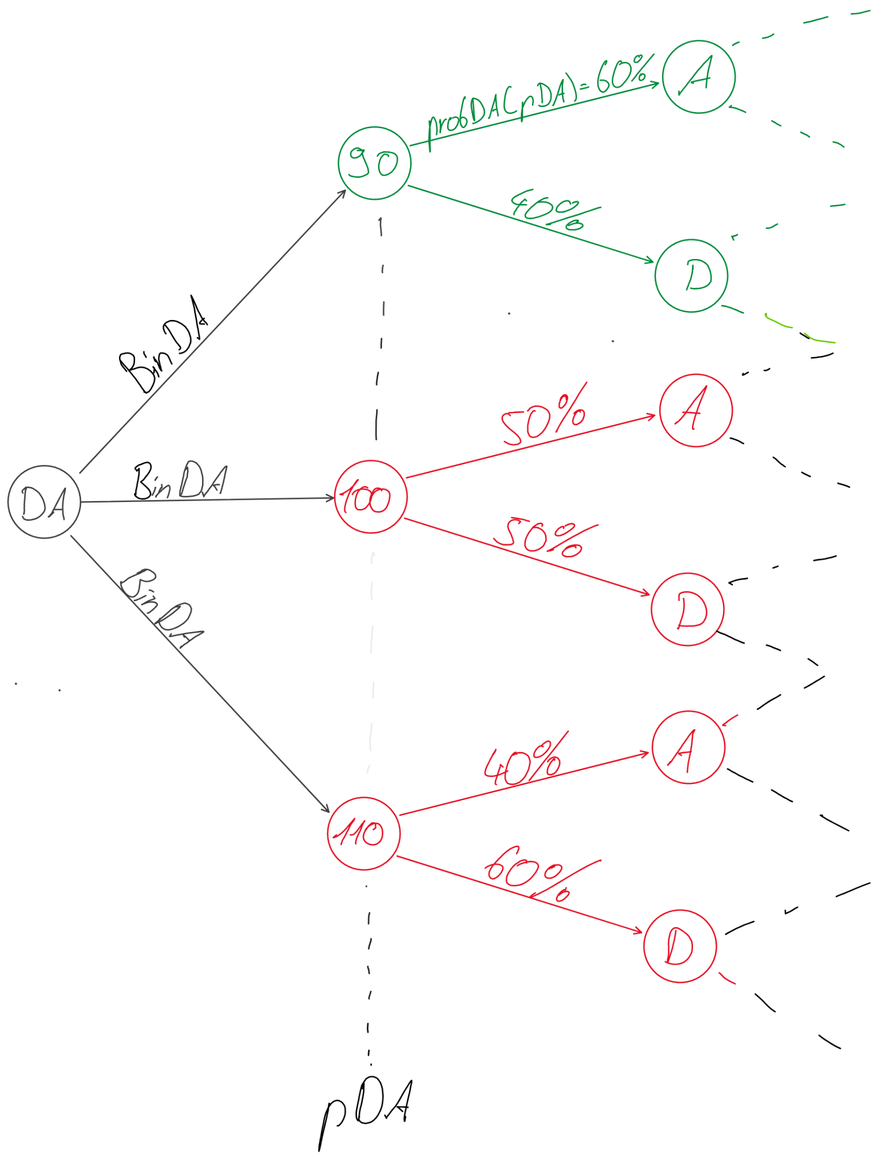

Abbildung 2: Beispielhafter Szenariobaum mit markierter Entscheidung

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).

2.6.2 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 verbesseren. 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.:

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

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

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

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

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