

Integration von Regelarbeits- und Intraday-Markt: Ökonomische Bewertung

Karl Frauendorfer¹⁾, Dietmar Graeber²⁾, Michael Schürle¹⁾

¹⁾Institut für Operations Research und Computational Finance, Universität St. Gallen

²⁾Technische Hochschule Ulm, Professur für Energiewirtschaft

14. Internationale Energiewirtschaftstagung
TU Wien, 26. – 28. Februar 2025

Kontext: Projekt DigIPlat

- DigIPlat = Digital Solutions for Interoperability of Flexibility Platforms
- Konsortium aus Forschungseinrichtungen und Übertragungsnetzbetreibern (finanziert durch ERA-Net, siehe Fussleiste)
 - Entwicklung neuer digitaler Ansätze für Interoperabilität entlang der IKT-, prozessbezogenen und wirtschaftlichen Dimension
 - Standardisierter Rahmen für interoperable Plattformen und Flexibilitätsanforderungen
 - Use Cases für Cross-Border und Cross-Platform Coordination von Flexibilität für Redispatch, Regelernergie und Intraday-Märkte (Fokus auf DACH-Region)

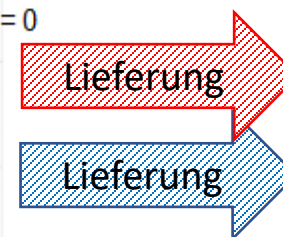
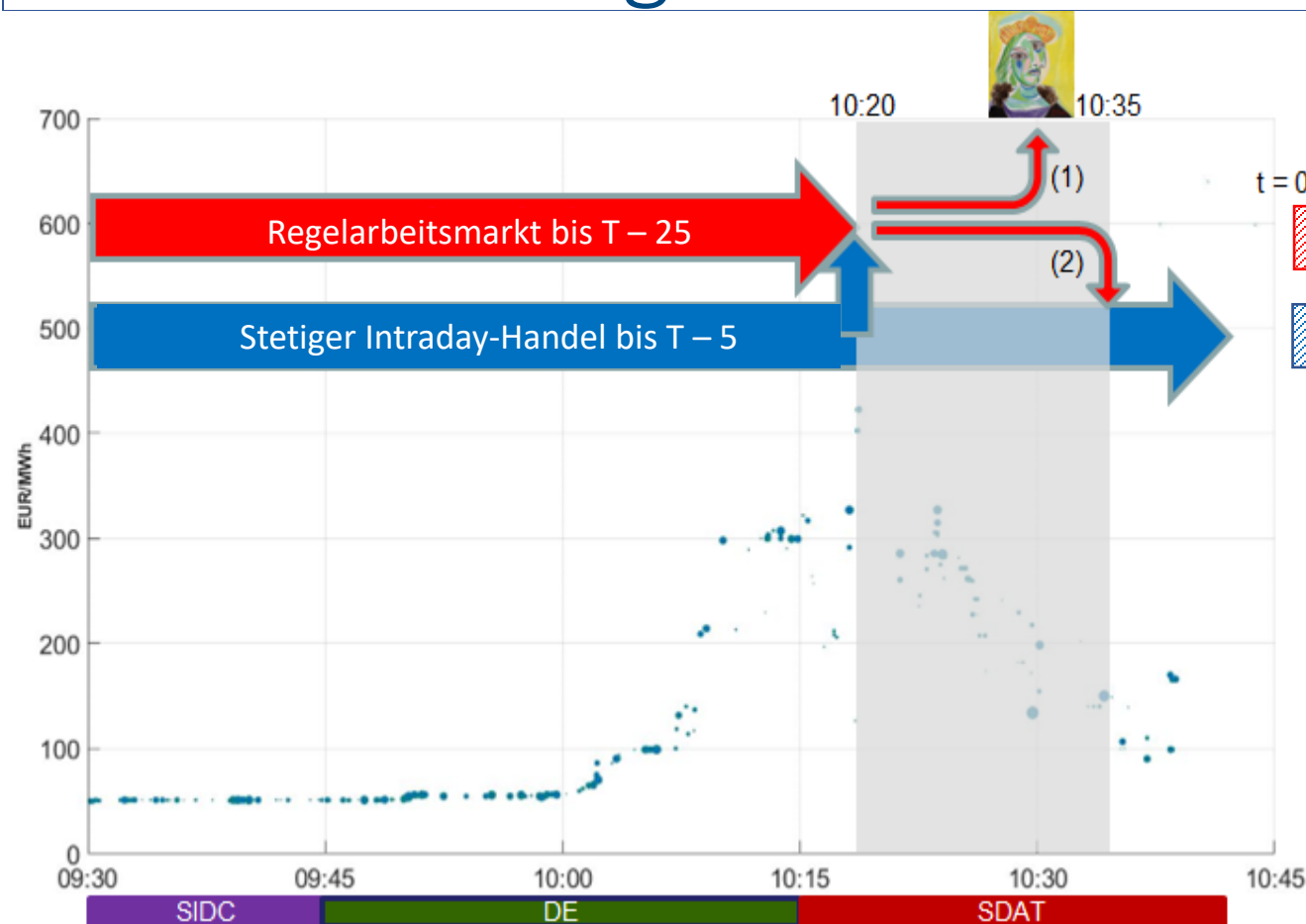
DigIPlat: Ökonomische Betrachtung Use Cases

- Aspekt von Interoperabilität: "Allrounder Produkt"
 - Koordinierte Beschaffung Regelleistung u. Redispatch (Zobernig et al., 2025)
 - Integration von Geboten für 15' Produkte aus dem Orderbuch des Intraday-Markts (IDM) in die Gebotsliste am Regularbeitsmarkt (RAM) vor dessen Gate Closure → unser Fokus für Marktgebiet DE (Liquidität, Datenverfügbarkeit)
- Bids am IDM & RAM aus ökonomischer Sicht nicht vollständig kompatibel:
 - Wird Gebot am RAM bezuschlagt und dann auch abgerufen?
 - Unterschiedliche Energielieferungen (IDM: gehandelte Menge über volle 15 min; RAM: Abrufdauer unsicher) u. Entschädigungen
- Fragestellung:
 - Anbietersicht: Bedarf es zusätzlicher Anreize (z.B. Prämien), damit qualifizierte Anbieter eine Übernahme von ID-Geboten an den RAM zulassen?
 - ÜNB-Sicht: Potenzielle Erhöhung des Volumens der freien Gebote am RAM?

Kurzfristmärkte für Flexibilität

- Intraday-Markt (IDM):
 - Erlaubt Handel basierend auf neuen Informationen nach Schliessung des Day-Ahead Markts; 60' u. 15' Produkte
 - DE: Stetiger Handel ab 15:00 (D – 1) bis 5 Minuten vor Lieferbeginn; SIDC bis T – 60, Handel innerhalb DE bis T – 30 , anschliessend nur in eigener Regelzone (SDAT)
 - Jede Transaktion hat eigenen Preis
- Regularitätsmarkt (RAM) für Sekundärreserve (aFRR):
 - 15' Produktzeitscheiben jeweils für positive & negative aFRR
 - Gate Closure in T – 25 (Auktion): Bezuschlagte Anbieter am Regelleistungsmarkt müssen Gebot abgeben, zusätzlich freie Gebote möglich
 - Gebote werden an die europäische PICASSO-Plattform weitergereicht (keine Freisetzung nicht-bezuschlagter Gebote), Aktivierung nach Merit Order
 - Abrechnung der gelieferten Energie zum Einheitspreis (CBMP)

Use Case: Integration von IDM und RAM



Vergütung unsicher (Abrufdauer bzw. gelieferte Energie, Preis)
 Falls ausgeführt, Vergütung zum Transaktionspreis für volle 15'

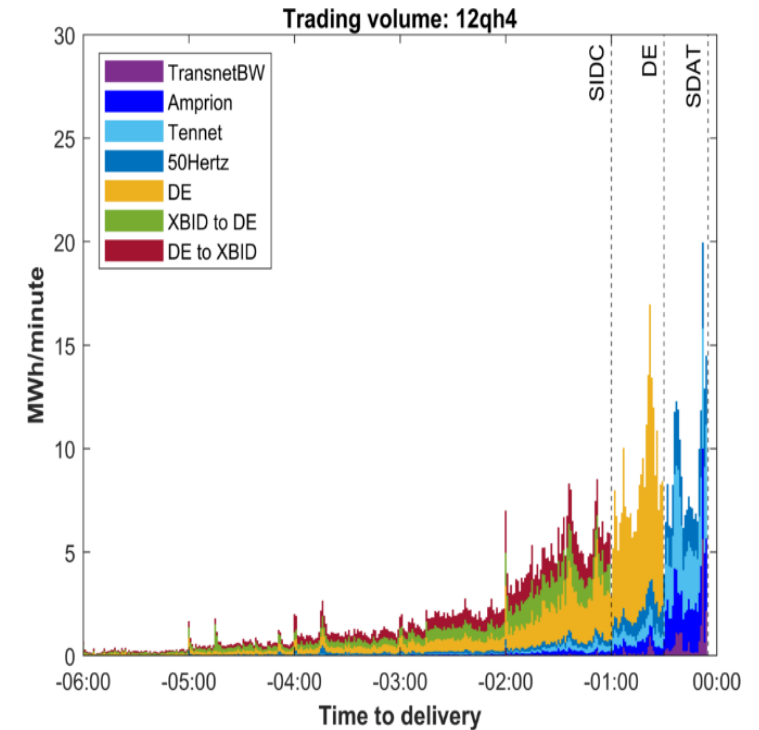
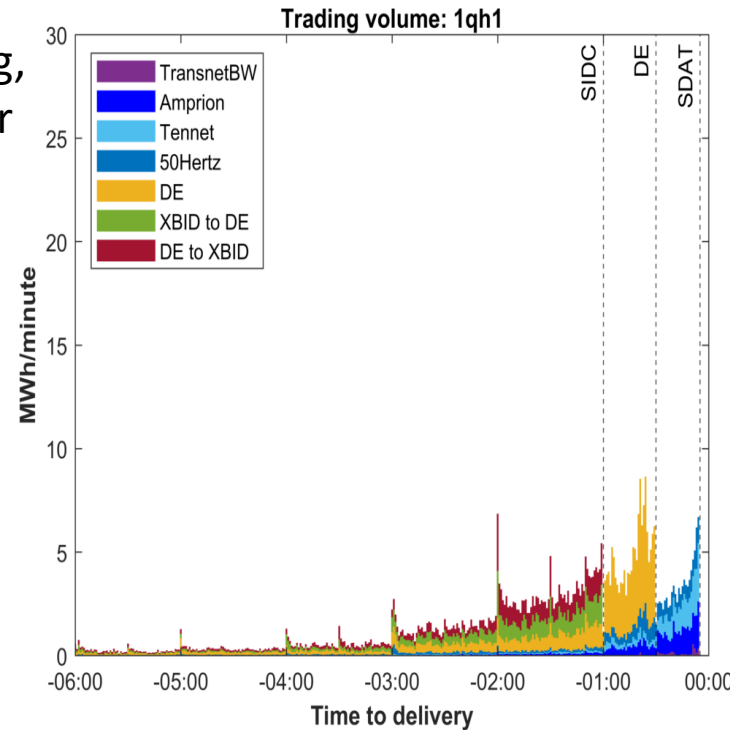
RAM als zusätzliche Handelsmöglichkeit, jedoch keine Teilnahme am ID-Handel zwischen GC am RAM und Veröffentlichung der berücksichtigten Gebote

- (1) Ursprüngliche Gebote des RAM werden an die europäische PICASSO-Plattform weitergereicht
- (2) Nicht bezuschlagte Gebote, die vom IDM übernommen wurden, gehen dorthin zurück ("Freisetzung") und könnten dort in der verbleibenden Handelszeit vermarktet werden

- *Anreize notwendig für Übernahme Gebote IDM → RAM?*
- *Potenzielle Erhöhung der freien Gebote am RAM?*

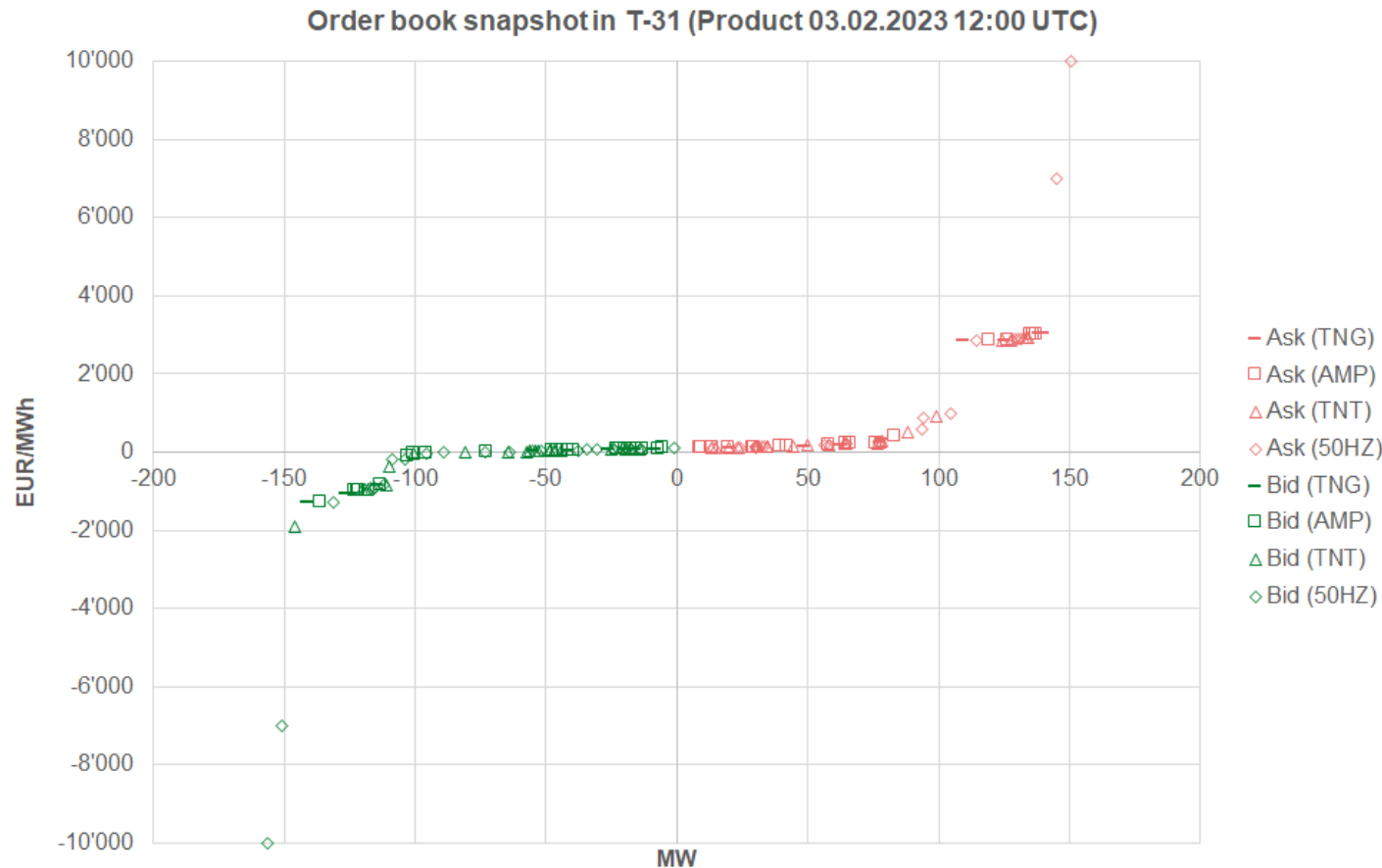
Handelsmöglichkeiten am IDM (15 min Produkte)

- Handelsvolumen produktabhängig, nimmt tendenziell gegen Ende der Handelszeit deutlich zu
- Verschiedene Phasen:
 - (1) SIDC
 - (2) Handel innerhalb DE u.
 - (3) eigene Regelzone (SDAT)
- Deutlich unterschiedliche Liquidität je nach Regelzone (Handelsvolumen, Bid-Ask-Spreads, ...)
- In "illiquider" Zone u.U. keine Transaktion in letzten 30 min



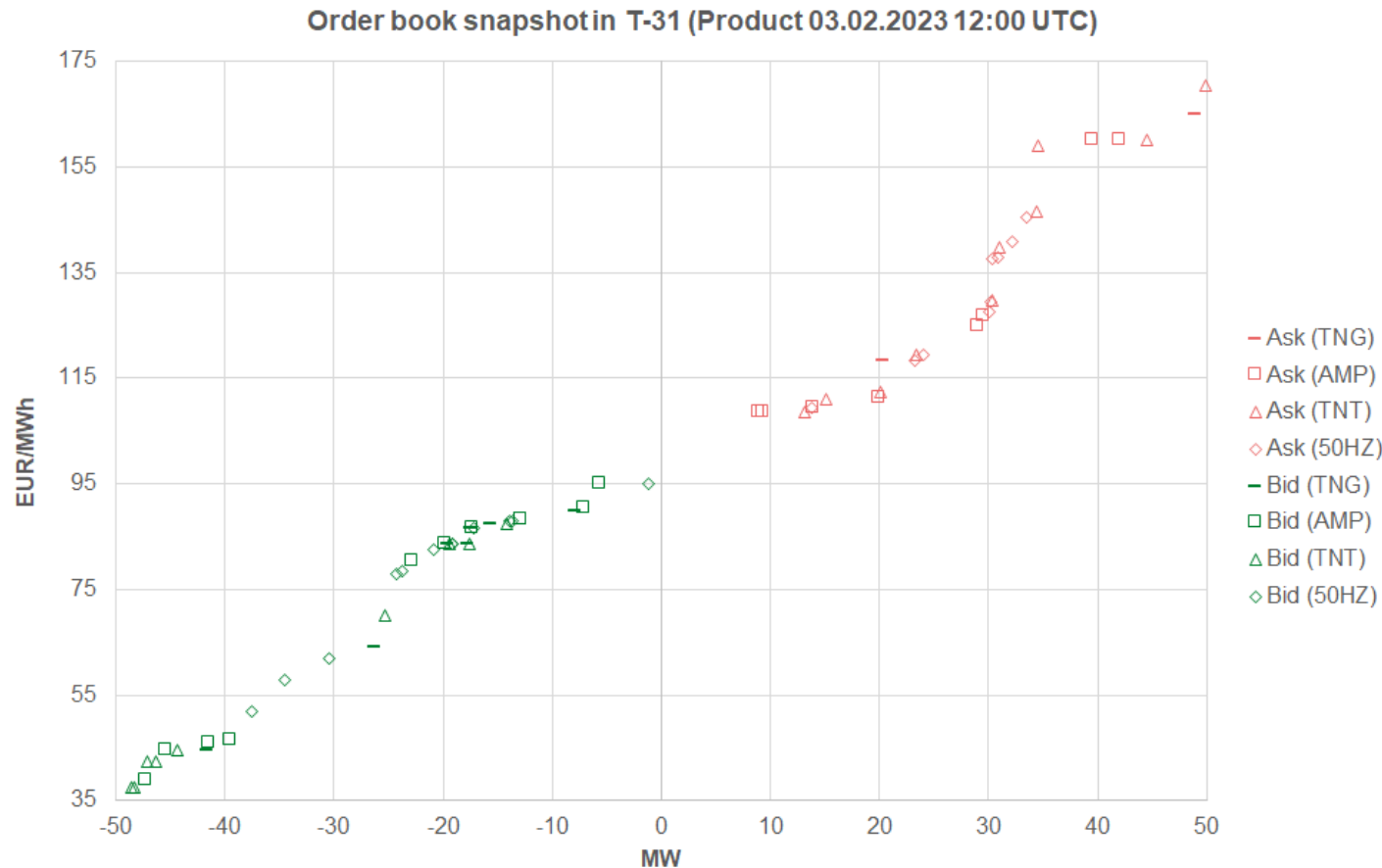
Transaktionsvolumen pro Minute für 15'-Produkt mit Lieferung nachts (00:00 – 00:15, links) und tagsüber (11:45 – 12:00, rechts) in den letzten sechs Handelsminuten. Farben entsprechen den jeweiligen Zonen.

Marktliquidität und Orderbuchtiefe



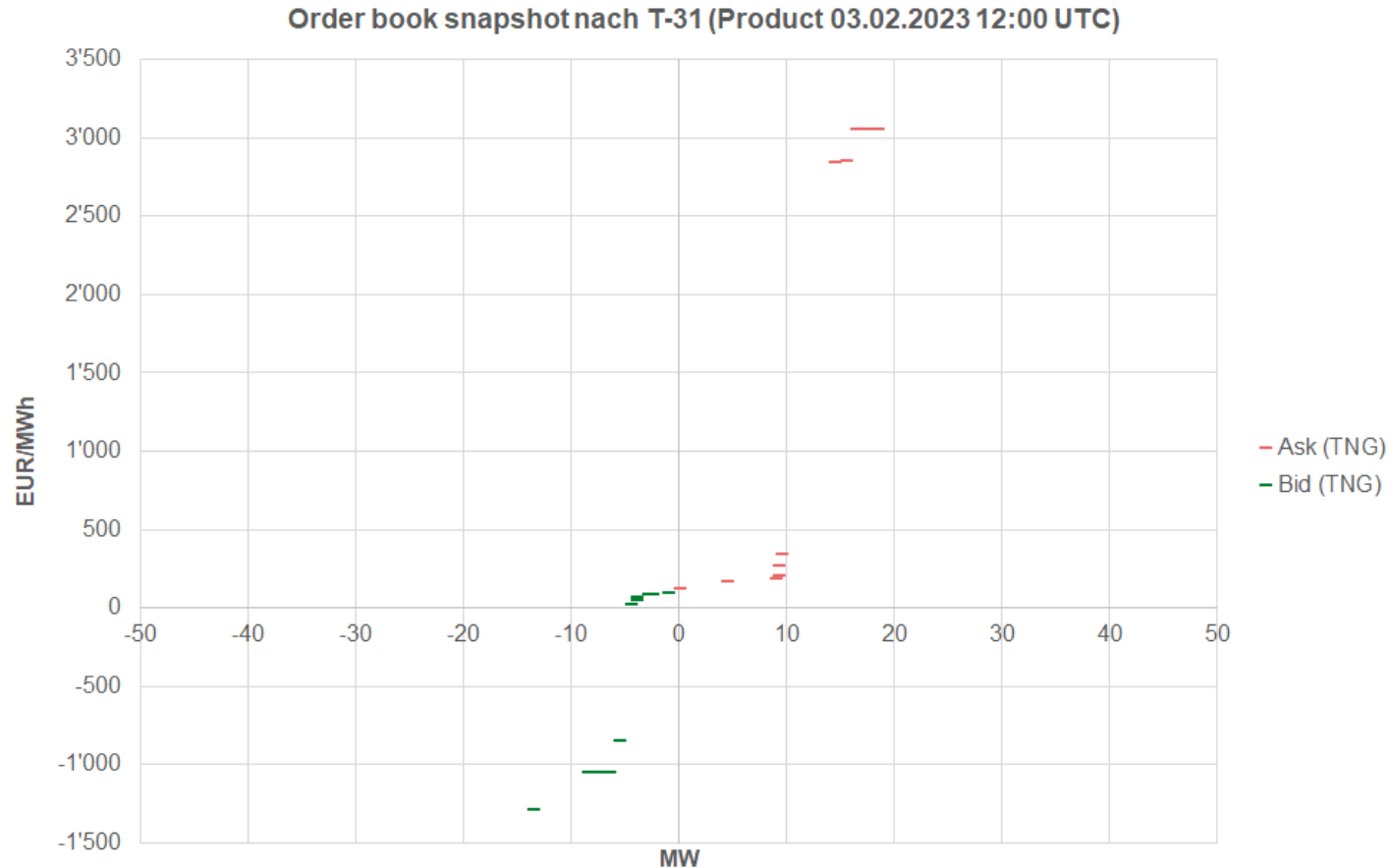
- Orderbuch-Snapshots in 1 min Abständen wurden aus 42 GB Daten aller Gebote 2023 für das Marktgebiet DE erstellt; dies führt für die SDAT-Phase zu 43 Mio. Datensätzen
- Orderbuchtiefe = kumuliertes Volumen von Kauf- und Verkaufsaufträgen
- Relevant für den Kauf-/Verkauf einer bestimmten Menge X
- Ein effektiver Transaktionspreis ergibt sich aus dem volumen-gewichteten Ask- bzw. Bid-Preisen jener "besten" Gebote, deren kumuliertes Volumen der Menge X entspricht

Marktliquidität und Orderbuchtiefe



- Orderbuch-Snapshots in 1 min Abständen wurden aus 42 GB Daten aller Gebote 2023 für das Marktgebiet DE erstellt; dies führt für die SDAT-Phase zu 43 Mio. Datensätzen
- Orderbuchtiefe = kumuliertes Volumen von Kauf- und Verkaufsaufträgen
- Relevant für den Kauf-/Verkauf einer bestimmten Menge X
- Ein effektiver Transaktionspreis ergibt sich aus dem volumen-gewichteten Ask- bzw. Bid-Preisen jener "besten" Gebote, deren kumuliertes Volumen der Menge X entspricht

Marktliquidität und Orderbuchtiefe



- Orderbuch-Snapshots in 1 min Abständen wurden aus 42 GB Daten aller Gebote 2023 für das Marktgebiet DE erstellt; dies führt für die SDAT-Phase zu 43 Mio. Datensätzen
- Orderbuchtiefe = kumuliertes Volumen von Kauf- und Verkaufsaufträgen
- Relevant für den Kauf-/Verkauf einer bestimmten Menge X
- Ein effektiver Transaktionspreis ergibt sich aus dem volumen-gewichteten Ask- bzw. Bid-Preisen jener "besten" Gebote, deren kumuliertes Volumen der Menge X entspricht

Bid-Ask-Spreads [EUR/MWh] in $[T - 25, T - 5)$

Tennet RZ (2023)

verbl. Handels-	Tageszeit (Stunde)			
	[0,6)	[6,12)	[12,18)	[18,24)
25	16.32	15.45	16.42	21.79
24	16.40	17.00	17.76	22.82
23	16.50	18.09	18.29	22.26
22	14.66	17.91	16.98	21.07
21	14.62	17.82	16.80	20.43
20	15.22	19.39	17.60	21.94
19	21.14	24.88	23.72	28.38
18	21.27	24.05	24.65	27.90
17	19.66	20.49	22.20	26.25
16	20.22	21.07	22.85	27.20
15	20.93	20.92	22.09	26.32
14	14.92	14.38	15.55	17.82
13	13.79	13.54	14.30	15.35
12	11.70	11.58	11.85	11.97
11	11.80	11.56	12.29	13.37
10	11.67	13.37	14.03	14.65
9	16.17	17.83	19.33	18.68
8	15.78	18.24	17.68	19.06
7	14.20	18.00	18.04	16.78
6	21.32	26.44	27.52	27.54

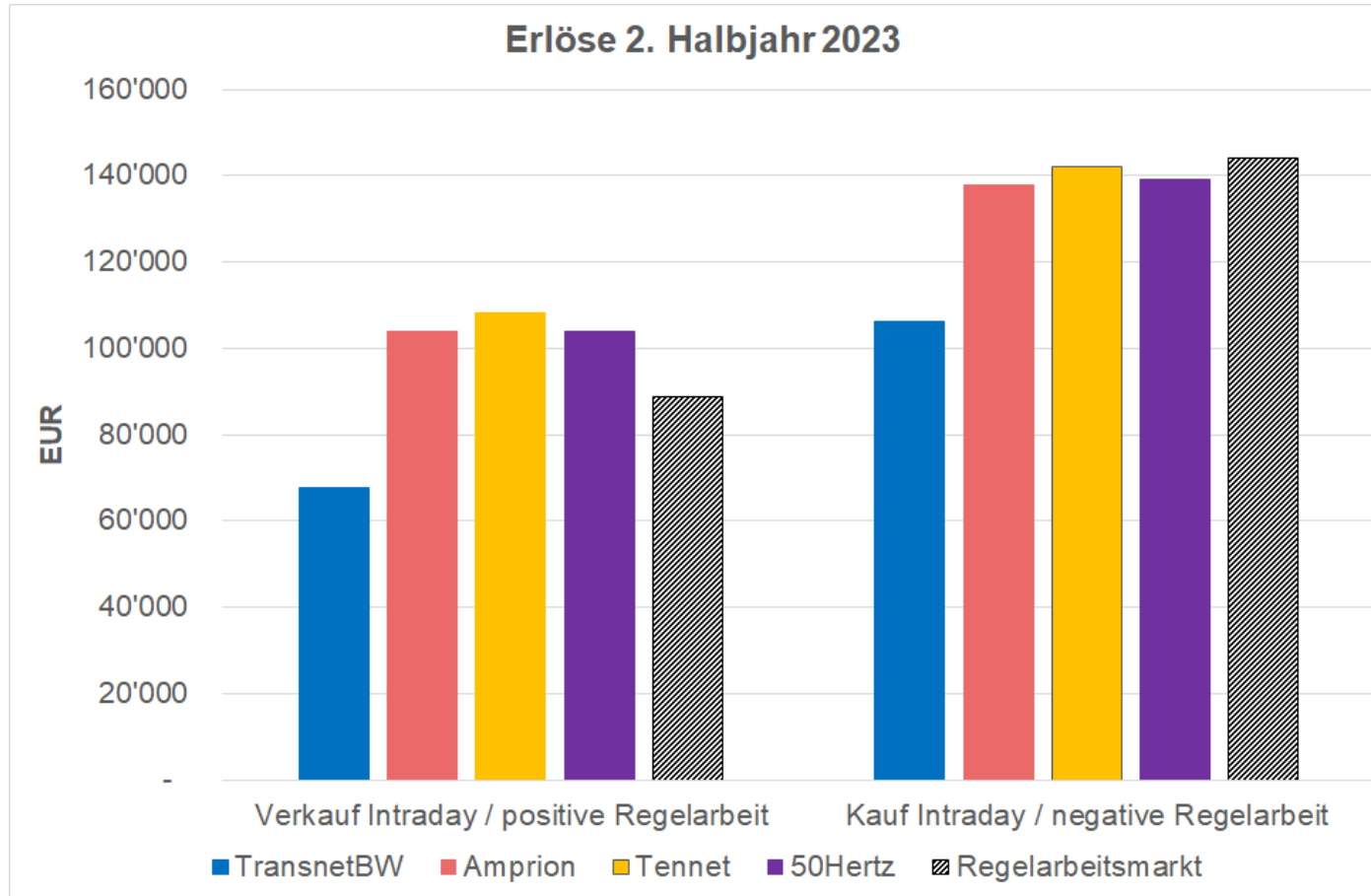
TransnetBW RZ (2023)

verbl. Handels- zeit (min)	Tageszeit (Stunde)			
	[0,6)	[6,12)	[12,18)	[18,24)
25	81.28	61.36	67.86	96.09
24	87.86	70.47	75.82	104.92
23	87.84	66.31	70.09	105.40
22	77.79	57.81	63.46	86.27
21	70.56	53.87	60.12	83.16
20	67.62	53.34	57.39	82.07
19	186.19	141.02	155.05	213.73
18	187.52	136.54	154.89	213.84
17	162.89	117.09	126.39	182.67
16	160.02	114.01	124.56	173.37
15	157.66	111.70	123.02	167.90
14	285.40	210.46	218.22	296.05
13	264.99	191.05	198.67	269.10
12	198.56	142.91	151.70	195.63
11	183.37	134.69	139.86	178.65
10	183.84	135.27	141.09	179.06
9	247.01	172.44	185.05	244.73
8	188.15	131.80	143.15	186.91
7	171.36	114.58	126.59	164.93
6	170.55	116.73	129.18	166.24

Vergleich von Erlösen Intraday vs. Regulararbeit

- Flexible Kapazität bietet in letzten 25' vor Lieferbeginn am IDM bzw. RAM zu variablen Kosten an (Annahme: Gaskraftwerk)
- Handelsvolumen 1 MW (Erhöhung oder Reduktion der Produktion)
- Unterschiedliche Marktliquidität im SDAT-Handel je nach Regelzone bedeutet unterschiedliche Ertragsmöglichkeiten am IDM
- Berechnung der realisierbaren Erträge aus volumengewichteten Bid- u. Ask-Preisen der abgeleiteten Orderbücher (historische Daten für 2. HJ 2023)
 - Verkauf, wenn ID-Preis $>$ Grenzkosten
 - Kauf, wenn ID-Preis $<$ Grenzkosten
- Vergleich mit Erlösen aus Abrufen aFRR
 - Erbringung positiver Regulararbeit, wenn CBMP $>$ Grenzkosten
 - Negative Regulararbeit, wenn CBMP $<$ Grenzkosten

Vergleich von Erlösen Intraday vs. Regelarbeit



- Es wird entweder am IDM in den letzten 25' oder am RAM geboten
- Realisierbare Erträge in beiden Märkten vergleichbar (Ausnahme: Illiquide TransnetBW-Zone)
- IDM u. RAM ähnlich attraktiv
- Anbieter wären indifferent, ob Gebot in RAM übernommen wird oder im IDM verbleibt
- Wie verhält es sich, wenn Anbieter im Markt bietet, der jeweils attraktiver erscheint?
- Modellbasierter Ansatz (Bewertung beider Alternativen als Finanzoption)

Was heisst "Bewertung als Finanzoption"?

- Idee: Die flexible Kapazität stellt eine Finanzoption dar, die "im Geld" ist, wenn der Marktpreis den Strike (= variable Kosten) übersteigt (falls Call, für Put umgekehrt)
 - Bewerte Option 15 min Produkt am Intraday-Markt (IDM);
 - Erwartungswert = Preis Intraday-Auktion, korrigiert um historische Spreads
 - Vergleich mit Optionswert am Regelarbeitsmarkt (RAM): 225 Optionen mit Lieferung über 4 sec Intervalle
 - Erwartete Preise = letzte bekannte Mittelwerten CBMP bei Aktivierung POS bzw. NEG (Publikation mit 15 min Verzögerung)
 - Bei Nicht-Bezuschlagung erhielte man theoretisch noch eine kurzlaufende Option für den IDM, dies wird vernachlässigt (derzeit alle Gebote besser als $\pm 15'000$ EUR/MWh akzeptiert)
- Biete im Markt mit dem jeweils höheren Optionswert

Bewertung als Finanzoption

- Anlehnung an Weber (2015) bzw. BDEW-Richtlinien zur Vergütung von Redispatch (2018) mit Opportunitätskosten aus ID1-Preis
- Call-Option: Verkauf von Energie aus Erhöhung Produktion, wenn Marktpreis über Grenzkosten (Strike X):

$$V_C = \int_{-\infty}^{+\infty} \max(p - X, 0) f_p(p) dp = \dots = \sigma(d\Phi(d) + \phi(d))$$

- Put-Option: Rückkauf von Energie u. Reduktion Produktion, wenn Marktpreis unter Grenzkosten (Strike X):

$$V_P = \int_{-\infty}^{+\infty} \max(X - p, 0) f_p(p) dp = \dots = \sigma(\phi(d) - d\Phi(-d))$$

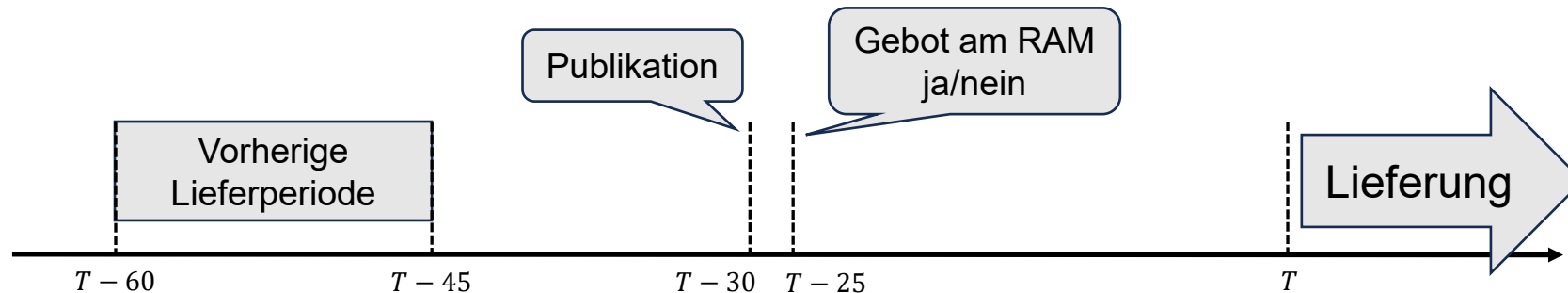
- $d = \frac{\mu - X}{\sigma}$; Φ, ϕ Verteilungsfunktion/Dichte Standardnormalverteilung

Annahmen für Modellierung Regularbeits-Option

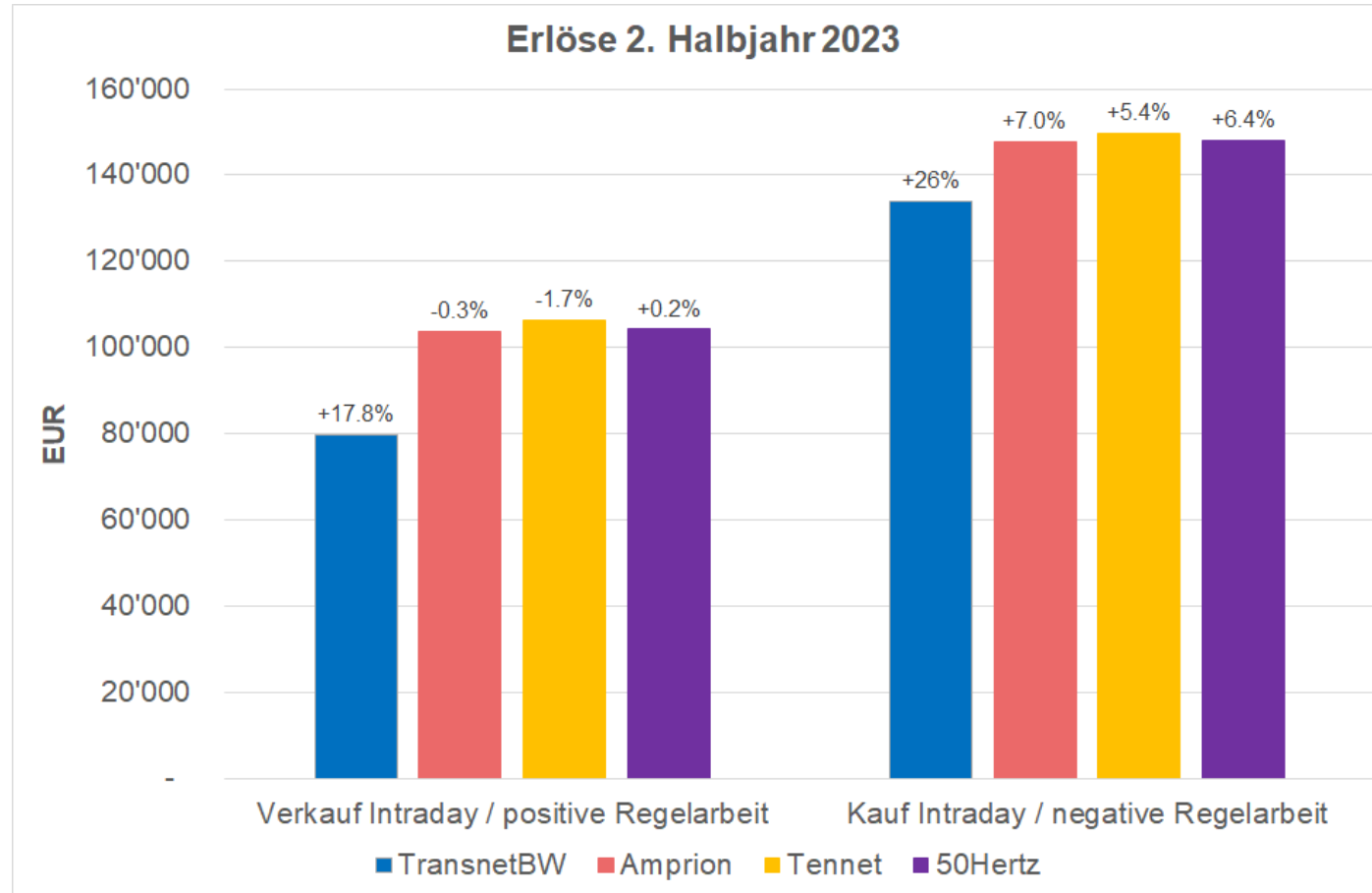
- Benötigt wird Prognosemodell für Abruf-Dauer (Anteil, wie oft die 225 Optionen während des 15 min Intervalls ausgeübt werden):

$$\begin{aligned}
 P_T^{act,+} &= c^+ + a^+ \cdot P_{T-60}^{act,-} + b_1^+ \cdot P_{T-60}^{act,+} + b_2^+ \cdot P_{T-120}^{act,+} \\
 P_T^{act,-} &= c^- + a^- \cdot P_{T-60}^{act,+} + b_1^- \cdot P_{T-60}^{act,-} + b_2^- \cdot P_{T-120}^{act,-}
 \end{aligned}$$

- Tiefes Bestimmtheitsmass ($\approx 12\%$), alternative Modellierungen mit anderen (Fundamental-) Variablen noch schlechter



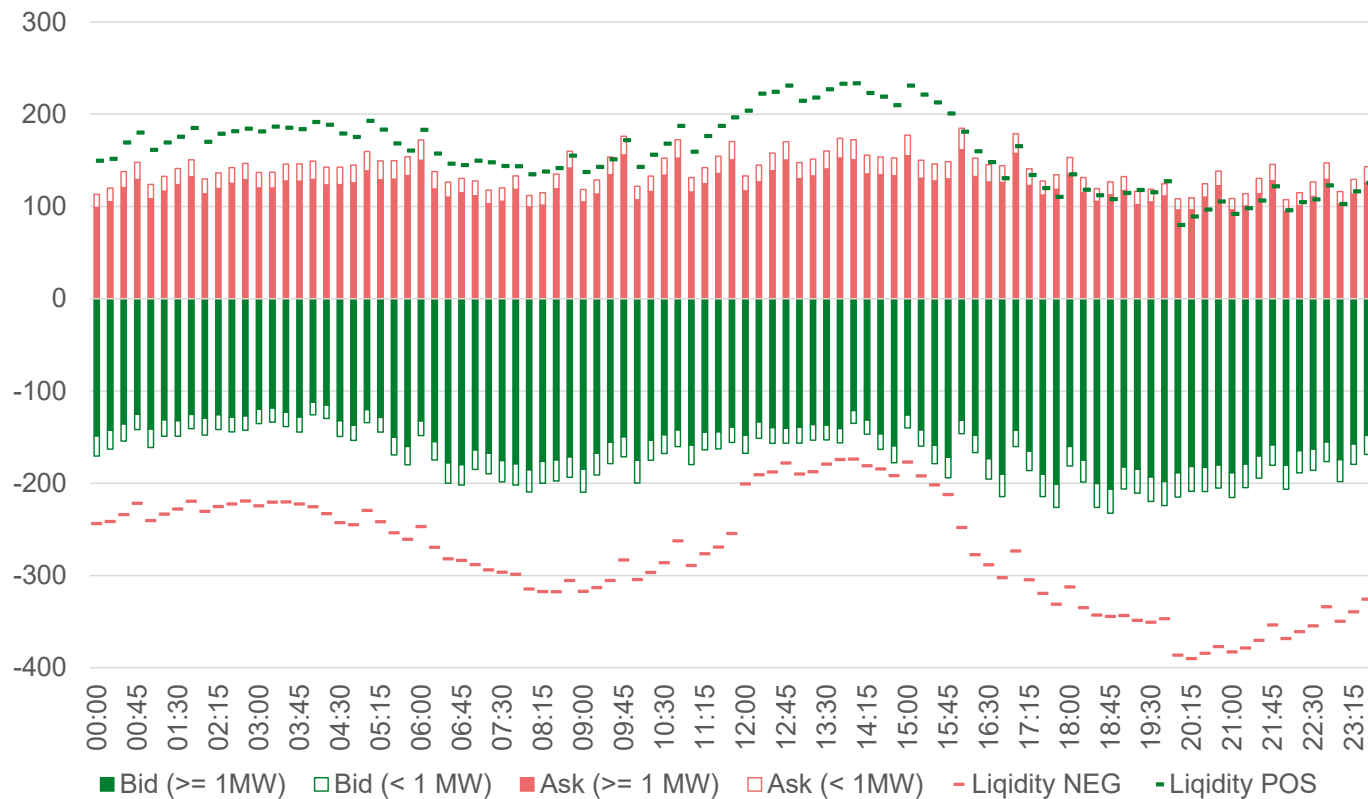
Erlöse kombinierte Strategie IDM & RAM



- Biete im Markt mit jeweils höherem Optionswert
- Modellparameter aus hist. Daten 1. HJ 2023; Bestimmung Erlöse mit realisierten Marktpreisen 2. HJ (volumengewichtete Bid-/Ask-Preise IDM; CBMP für Regelarbeit)
- Zahlen über den Balken zeigen Veränderung gegenüber ID-Vermarktung
- Keine Verbesserung bei Produktion (Verkauf IDM, positive Regelarbeit) ausser in "illiquiden" Gebieten
- Ursache unzureichende Prognostizierbarkeit Regelernergie-Abrufe

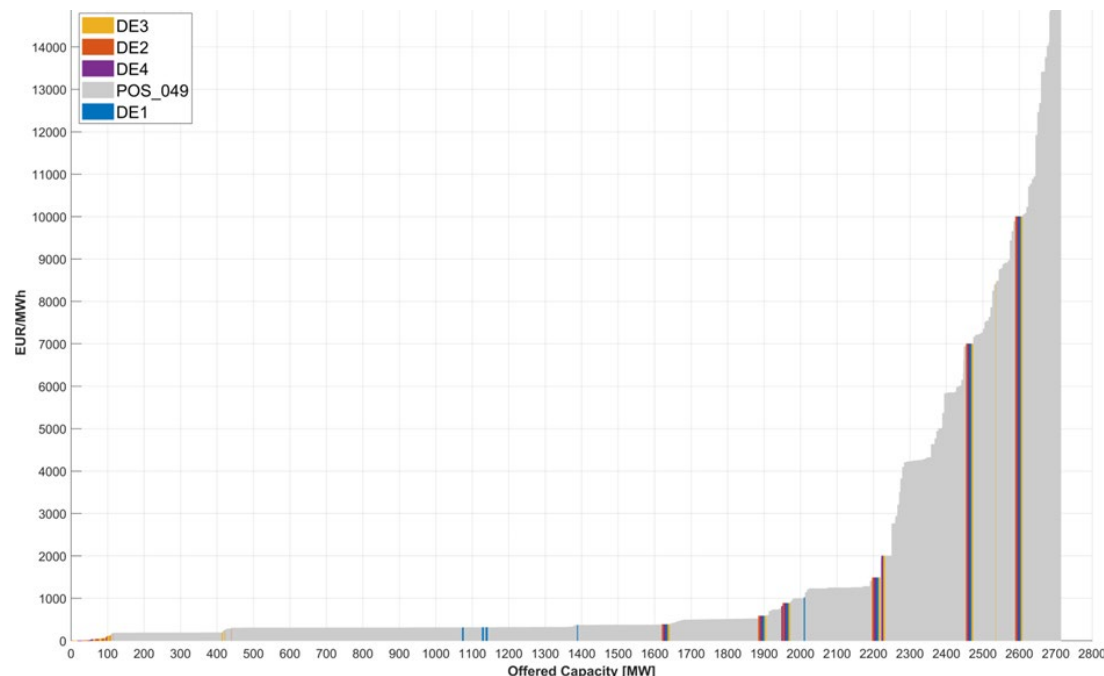
Übernahme von ID-Geboten in den RAM

Intraday order book volumes T - 31 vs.
Reserve energy market free liquidity (averages 2023)



- Betrachtung des Falls, dass Gebote auf der Bid- und Ask-Seite im Orderbuch des Intraday-Markts in T – 31 (unmittelbar vor SDAT-Phase) automatisch in die Gebotsliste für negative und positive Regelarbeit übernommen werden
- Annahme: Alle Gebote ≥ 1 MW sind für aFRR präqualifiziert (Abrundung nicht ganzzahliger Gebote)
- Daraus ergibt sich eine neue Merit-Order für Regelernergie
- Graphik zeigt mittleres Orderbuchvolumen aller Gebote und nur jener ≥ 1 MW im Vergleich zu freien Geboten am RAM

Einordnung in Gebotsliste am RAM (Beispiel)



- Zeitscheibe 12:00 – 12:15 am 01.01.2023
- RAM-Gebote für positive Regulararbeit (grau)
- Gebote aus dem ID-Orderbuch (Bid-Seite) nach Regelzonen (farbig)
- Durch die Einordnung zusätzlicher Gebote vom IDM verschiebt sich die Merit-Order-Liste am RAM nach rechts (wenn Preis unverändert)
- Tabelle: Mittlere Veränderung der Preise jener Gebote, die zur Eindeckung von 10%, 15%, 20%, ... der benötigten Kapazität erforderlich sind

	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
POS	-22.04	-7.69	-5.99	-7.79	-8.48	-9.74	-10.94	-14.35	-20.07	-27.00	-44.24	-71.25	-136.98	-287.91	-499.24	-878.10	-1'471	-4'325	-9'744
NEG	19.10	7.62	6.08	6.82	8.73	11.90	16.62	22.88	33.13	68.25	97.95	110.48	131.99	218.00	415.95	809.65	1'406	4'491	8'029

Zusammenfassung

- Integration von Geboten des IDM in Gebotsliste des RAM betrachtet aus Sicht Anbieter u. Netzbetreiber
- Modellbasierter Ansatz für Entscheid, in welchem Markt geboten werden soll; dazu Wert der Flexibilität analog zu Finanzoption modelliert
- Ertragsmöglichkeiten in beiden Märkten vergleichbar, Anbieter sollten indifferent sein, ob ihr Gebot an den RAM weitergegeben wird oder im IDM verbleibt
- Durch die Übernahme von Geboten aus dem ID-Orderbuch in die Gebotsliste des RAM würde sich dessen Merit Order nach rechts verschieben, somit Potenzial für geringere Kosten für Regelarbeit
- Potenziell verfügbares Volumen tiefer als freie Gebote am RAM; dabei ist getroffene Annahme, alle Gebote $\geq 1\text{MW}$ seien präqualifiziert, eher unrealistisch
- Die Attraktivität des RAM würde durch tiefere Vergütung der Abrufe zurückgehen; ebenso würde die Liquidität des IDM sinken

Vielen Dank!