

Bildquelle: <http://www.100pro-erneuerbare.com/100pro/100prozent.htm>



Präsentation zur Bachelorarbeit von René Korn

# Ladestrategie für primärleistungsfähige Batterien

Referent: Prof. Dr. Eberhard Waffenschmidt

Co-Referent: Prof. Dr. Ingo Stadler

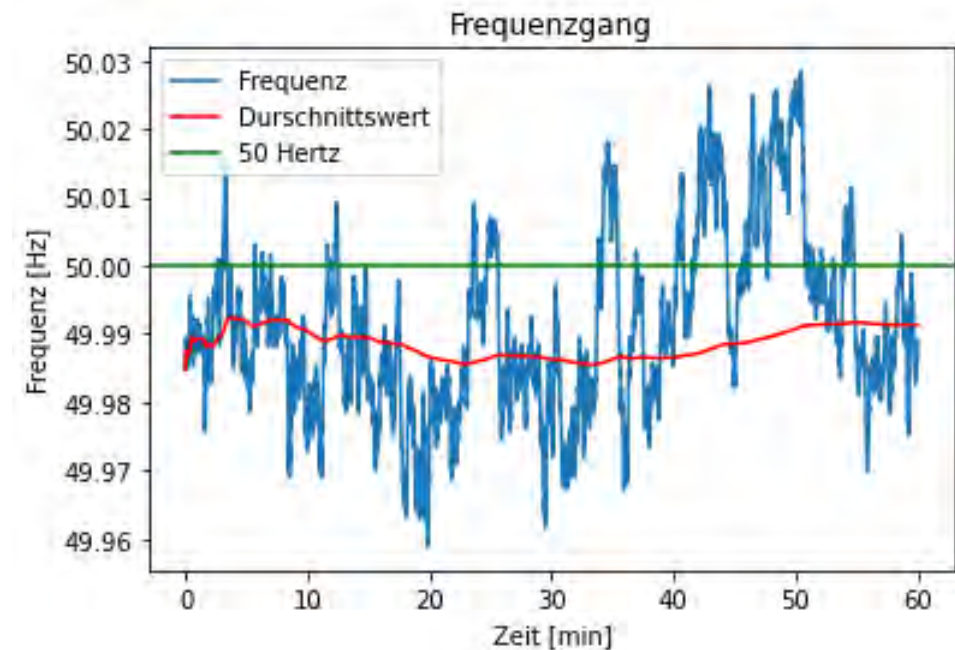
Studiengang: Erneuerbare Energien (Ba.)

# Gliederung



# Problemstellung

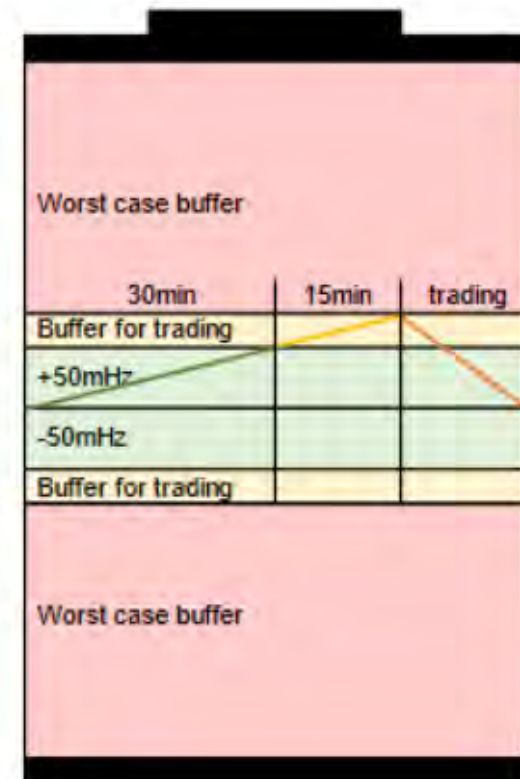
- Batterien die Primärregelleistung liefern werden frequenzgesteuert geladen
- Theoretischer Ausgleich zwischen Werten über und unter 50 Hz
- Bei längeren Frequenzabweichungen können die kapazitären Grenzen der Batterie erreicht werden
- Synchronzeit als Maß für die Abweichung



# Notwendigkeit des Kaufs oder Verkaufs von Energie

Bildquelle: [http://www.100pro-erneuerbare.com/publikationen/2017-03-Waffenschmidt-IRES/Waffenschmidt-Degrees\\_of\\_freedom\\_for\\_primary\\_control\\_with\\_batteries-IRES2017-Paper.pdf](http://www.100pro-erneuerbare.com/publikationen/2017-03-Waffenschmidt-IRES/Waffenschmidt-Degrees_of_freedom_for_primary_control_with_batteries-IRES2017-Paper.pdf)

- Garantie der Ladezustandshaltung über vier Stunden
- Ladezustandskontrolle durch Freiheitsgrade
- Zukauf von Energie als Worst-Case
- Abhängig von der Frequenz und dem Strompreis
- Keine Möglichkeit zu spekulieren
- Risiko das über das Jahr teurer eingekauft als verkauft wird

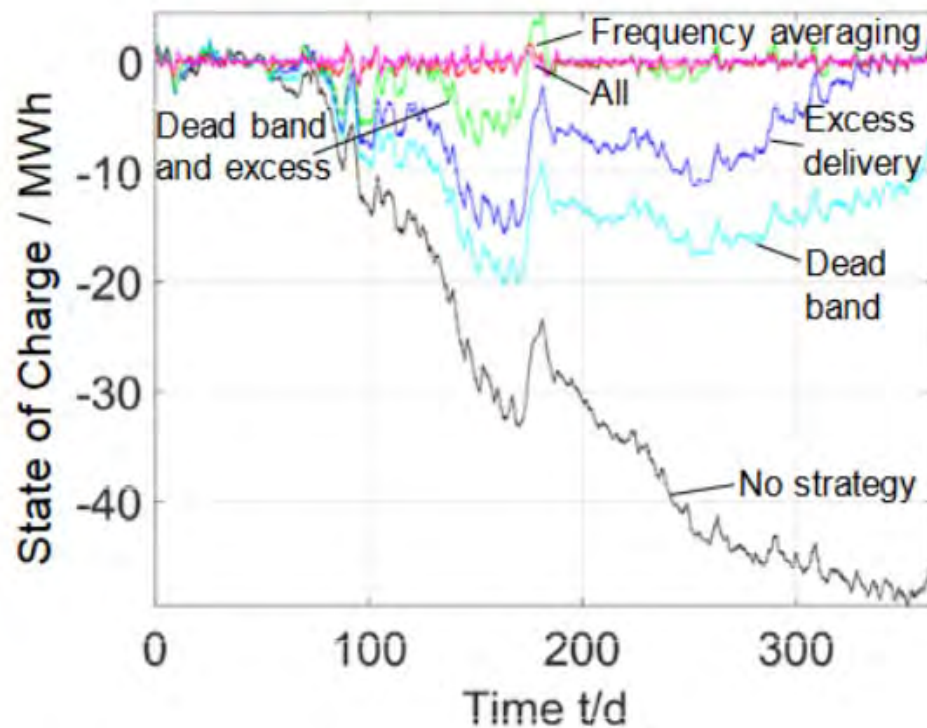


# Ladezustand einer Batterie



- Python Simulationstool zur Ladezustandsberechnung
- Daten einer Batterie mit 15 MWh Kapazität und 10 MW vermarktete Leistung am Primärregelleistungsmarkt
- Bei einem Mittelwert von 50.0047 Hz ergibt sich ein errechneter Ladezustand von 50,46 MWh
- Zeitraum aufgrund der langfristigen, einseitigen Abweichung

# Stand der Technik



- Grundlegende Forschung von Professor Eberhard Waffenschmidt
- Berechnung des Ladezustandes über ein Jahr
- Nutzung eines Verstärkungsfaktor zur Korrekturwertbildung
- Keine Wirkungsgrade beim Laden und Entladen Berücksichtigt

Bildquelle: [http://www.100pro-erneuerbare.com/publikationen/2017-03-Waffenschmidt-IRES/Waffenschmidt-Degrees\\_of\\_freedom\\_for\\_primary\\_control\\_with\\_batteries-IRES2017-Presentation.pdf](http://www.100pro-erneuerbare.com/publikationen/2017-03-Waffenschmidt-IRES/Waffenschmidt-Degrees_of_freedom_for_primary_control_with_batteries-IRES2017-Presentation.pdf)

# Netzfrequenz



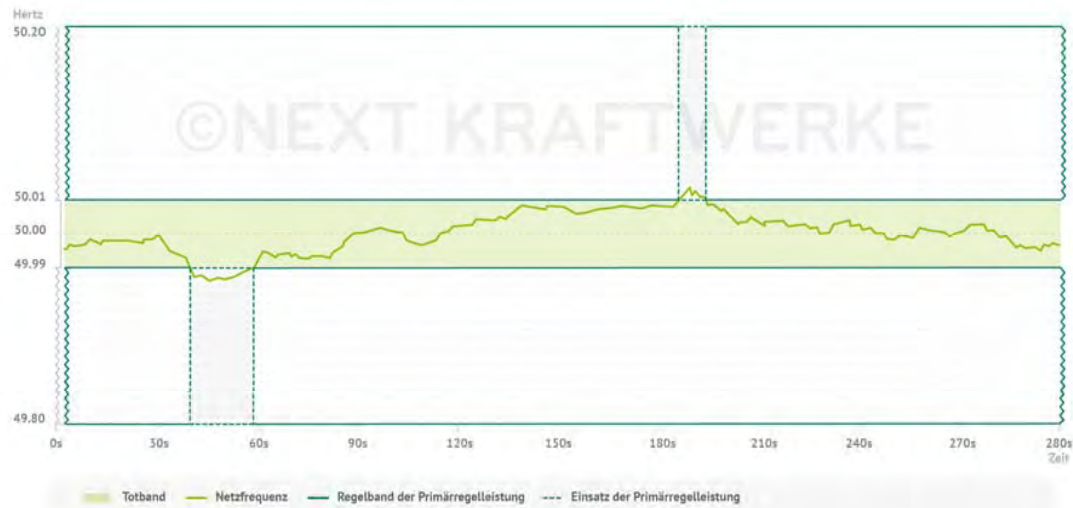
Bildquelle: [https://ilias.th-koeln.de/goto.php?target=file\\_1589642\\_download&client\\_id=ILIAS\\_FH\\_Koeln](https://ilias.th-koeln.de/goto.php?target=file_1589642_download&client_id=ILIAS_FH_Koeln)

Abweichung	Maßnahme
0,2 Hz	Sämtliche Erzeuger Mobilisiert / Abwurf von Pumpen
1 Hz	10-15 % Lastabwurf
1,3 Hz	Weitere 10-15 %
1,6 Hz	Weitere 15-20 %
2,5 Hz	Abtrennung aller Erzeuger

# Primärregelleistung

Bildquelle: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/netzfrequenz>

Zeitlicher Ablauf der Netzfrequenz



Bildquelle: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/primaerreserve-primarregelleistung>

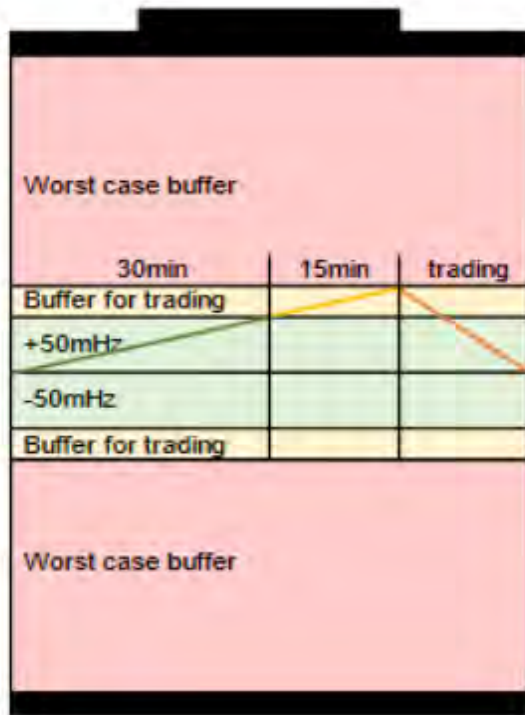
Anforderungsprofil zur Erbringung von Primärregelleistung





# Anforderungen an Batterien im Primärenergieleistungsmarkt

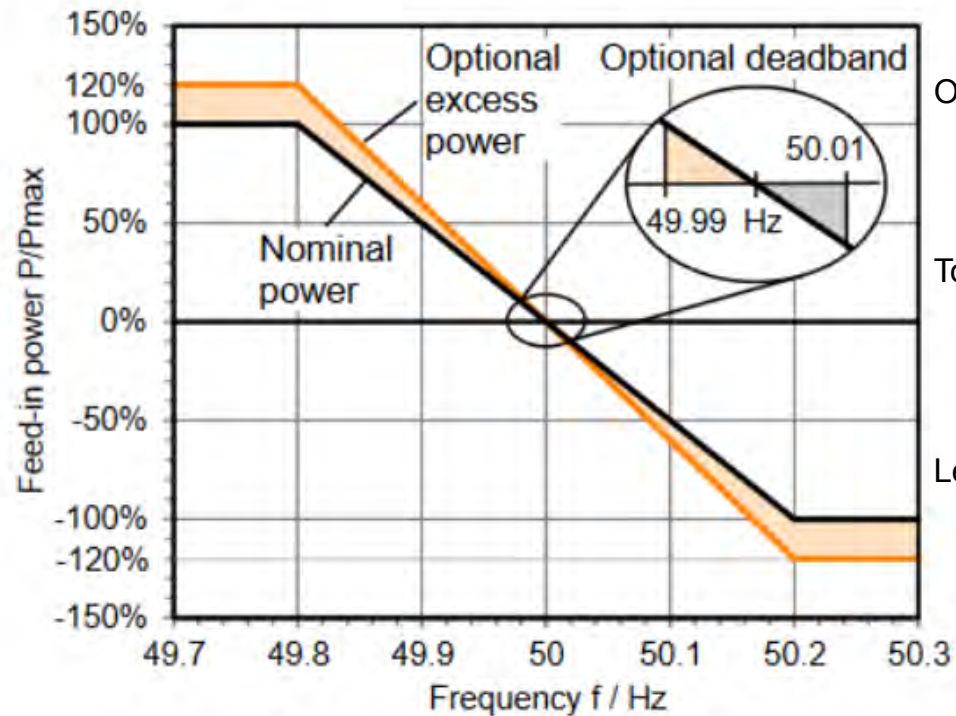
Bildquelle: [http://www.100pro-erneuerbare.com/publikationen/2017-03-Waffenschmidt-IRES/Waffenschmidt-Degrees\\_of\\_freedom\\_for\\_primary\\_control\\_with\\_batteries-IRES2017-Paper.pdf](http://www.100pro-erneuerbare.com/publikationen/2017-03-Waffenschmidt-IRES/Waffenschmidt-Degrees_of_freedom_for_primary_control_with_batteries-IRES2017-Paper.pdf)



Vorhaltung von Energiereserven für:

- 30 Minuten Abweichung von  $<50$  mHz
- 15 Minuten Abweichung  $>50$  mHz bis 100 mHz
- 5 Minuten Abweichung von  $>100$  mHz bis 200 mHz
- Vorliegen einer Abweichung von 200 mHz
  
- Verhältnis von Kapazität zu vermarkteter Leistung bestimmt die Grenzen
  
- Weitere Einschränkungen durch vorzuhaltende Energie für eine halbe Stunde Vorlaufzeit des Handels

# Freiheitsgrade zur Ladezustandskontrolle



Optionale Übererfüllung → Mehrerbringung an Lade- oder Entladeleistung

Totbandladung → Geringe Leistungsabgabe oder Aufnahme im Totband

Leistungsgradient → 30 Sekunden bis zur Erbringung der gesamten Leistung

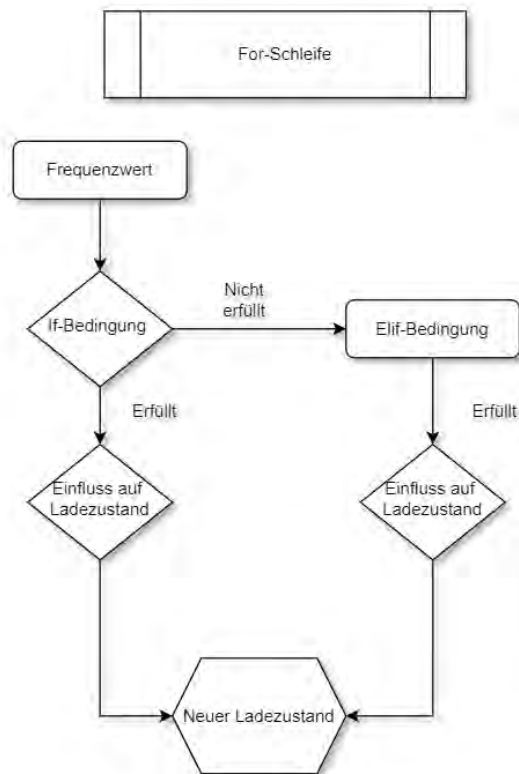
Bildquelle: [http://www.100pro-erneuerbare.com/publikationen/2017-03-Waffenschmidt-IRES/Waffenschmidt-Degrees\\_of\\_freedom\\_for\\_primary\\_control\\_with\\_batteries-IRES2017-Paper.pdf](http://www.100pro-erneuerbare.com/publikationen/2017-03-Waffenschmidt-IRES/Waffenschmidt-Degrees_of_freedom_for_primary_control_with_batteries-IRES2017-Paper.pdf)

---

# Konzept der Ladestrategie

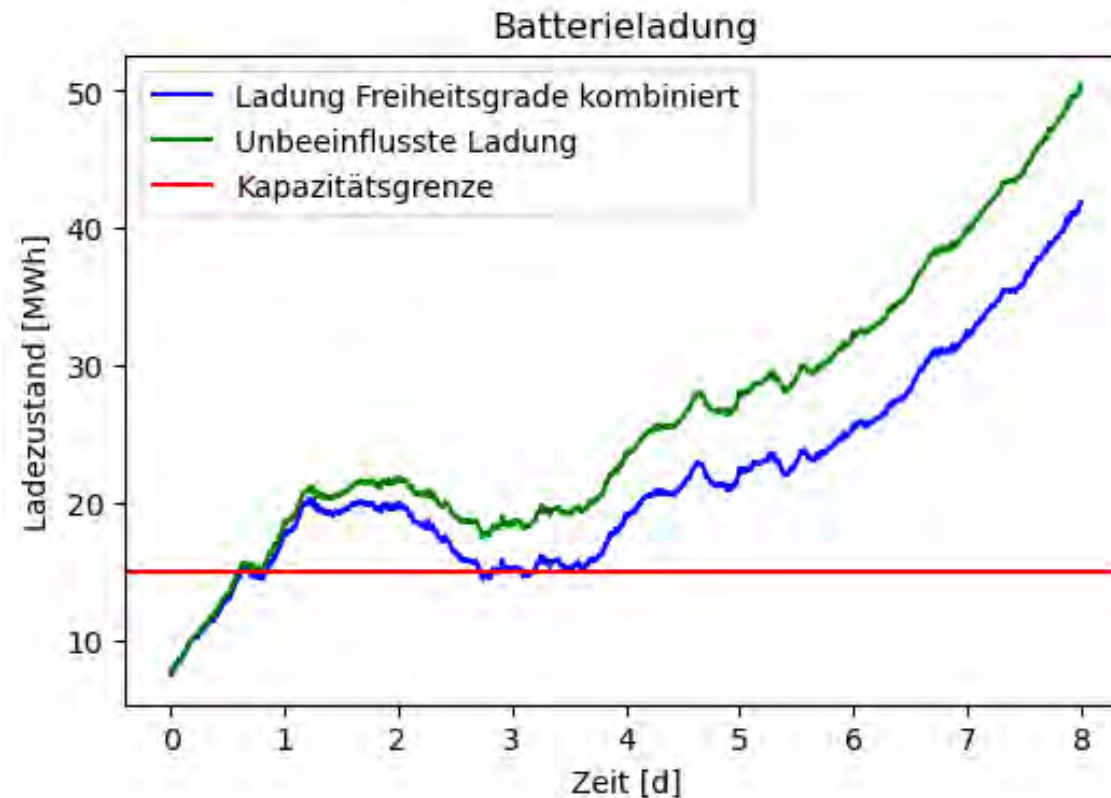
- Messgenauigkeit von 0,01 Hz gefordert
- Genauigkeitsklasse der Frequenzmessung Klasse 0,02
- Laufender Mittelwert als Basis zur Korrekturwertbildung
- vier Stunden Mittelwert (Ausschreibungszeitraum der Primärregelleistung)
- Alternative 24 Stunden (Synchronzeit)
- Einbeziehen von Verlusten und Verkauf sowie Wirkungsgraden

# Grundlegende Steuerung



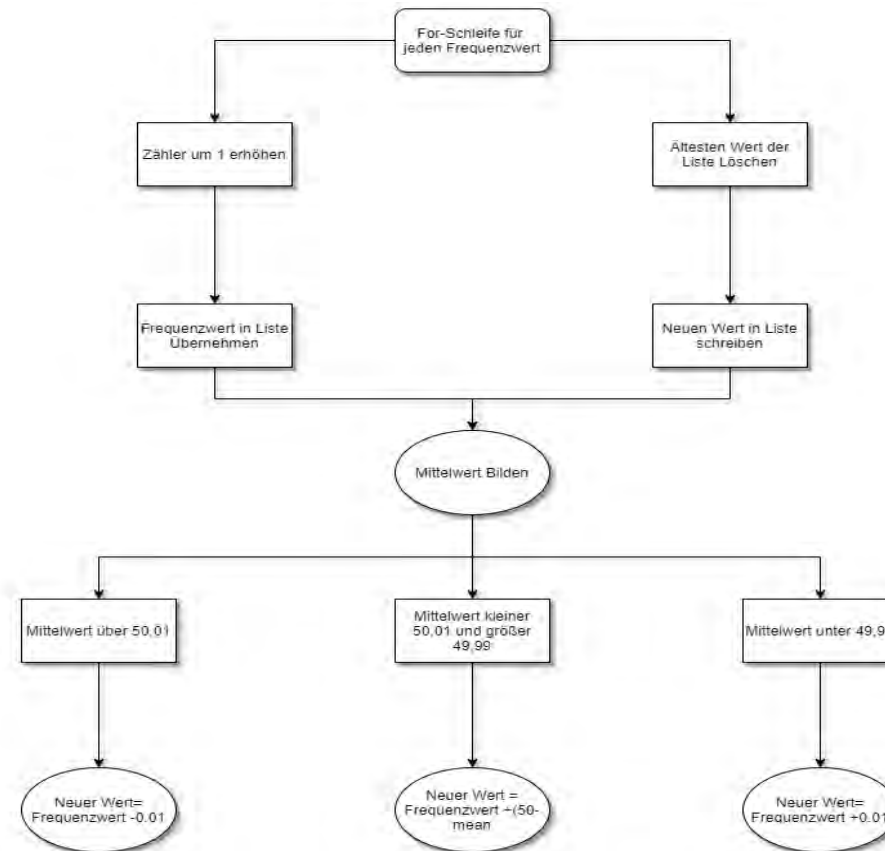
- Jeder Frequenzwert wird auf Bedingungen geprüft
- Einfluss auf Ladezustand abhängig von Differenz auf Soll-Wert 50 Hz und Ist-wert

# Ladezustand Freiheitsgrade

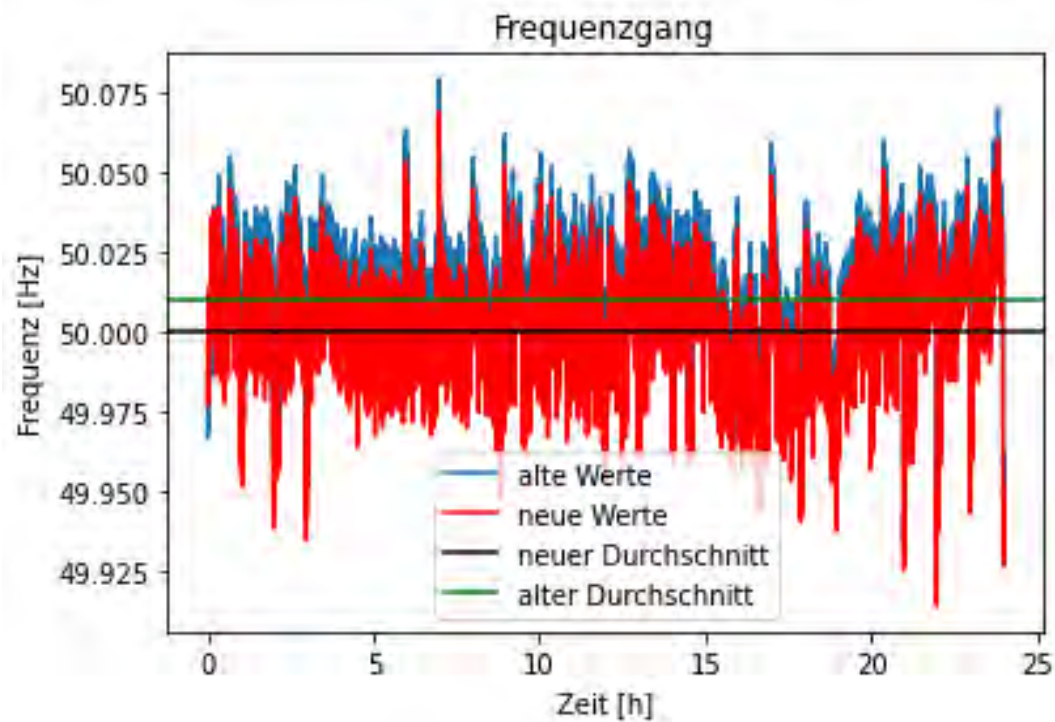


Verringerung des Ladezustandes um 8,53 MWh

# Bildung des laufenden Mittelwertes



# Auswirkung der Korrektur



Alte Werte:

Durchschnitt von 50,0098 Hz

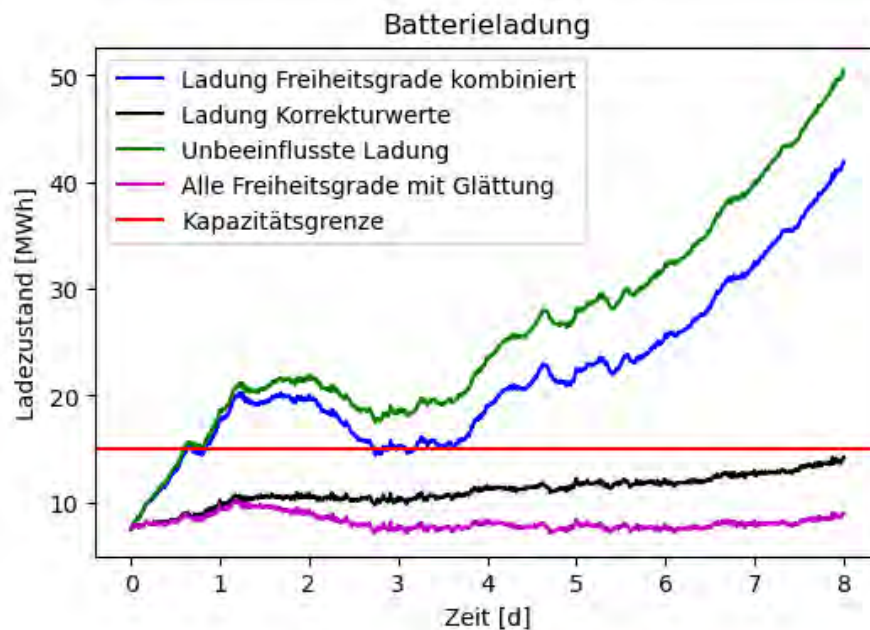
Synchronzeitabweichung von 17,28 Sekunden

Neue Werte:

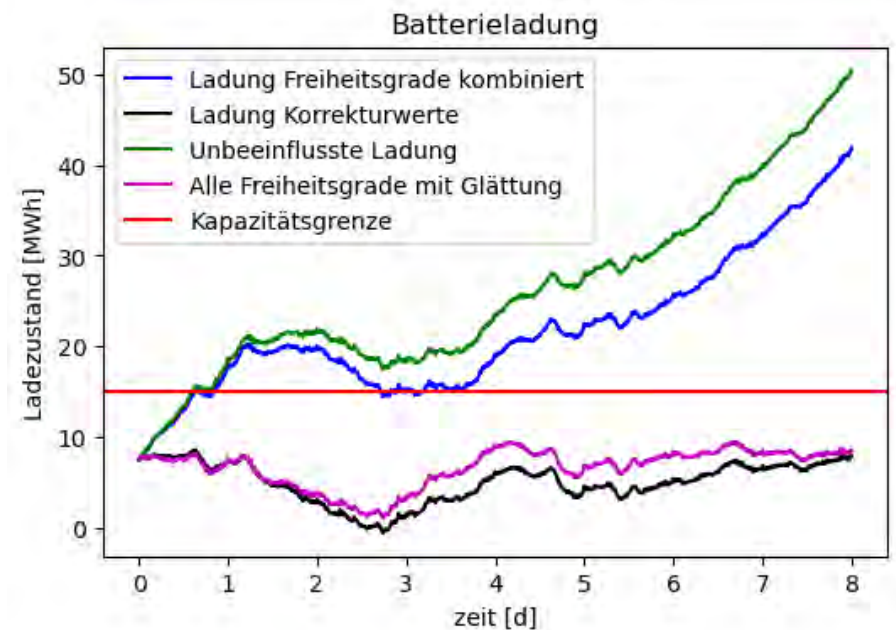
Durchschnitt von 50,0001 Hz

Synchronzeitabweichung von 0,67 Sekunden

# Ergebnis der Strategie



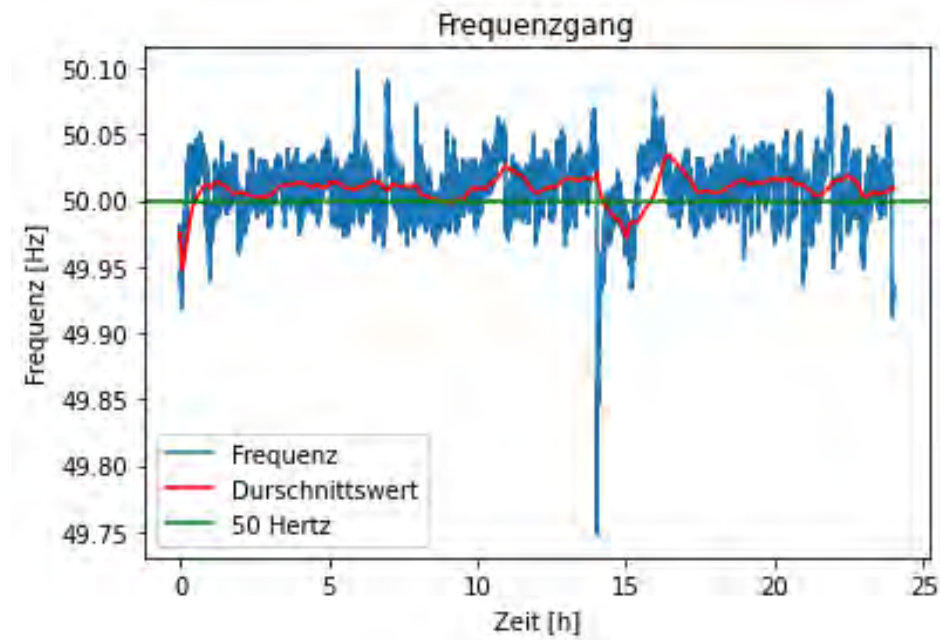
7,12 MWh im Minimum und 10,16 MWh im Maximum für vier Stunden



0,59 MWh im Minimum und 9,51 MWh im Maximum für 24 Stunden

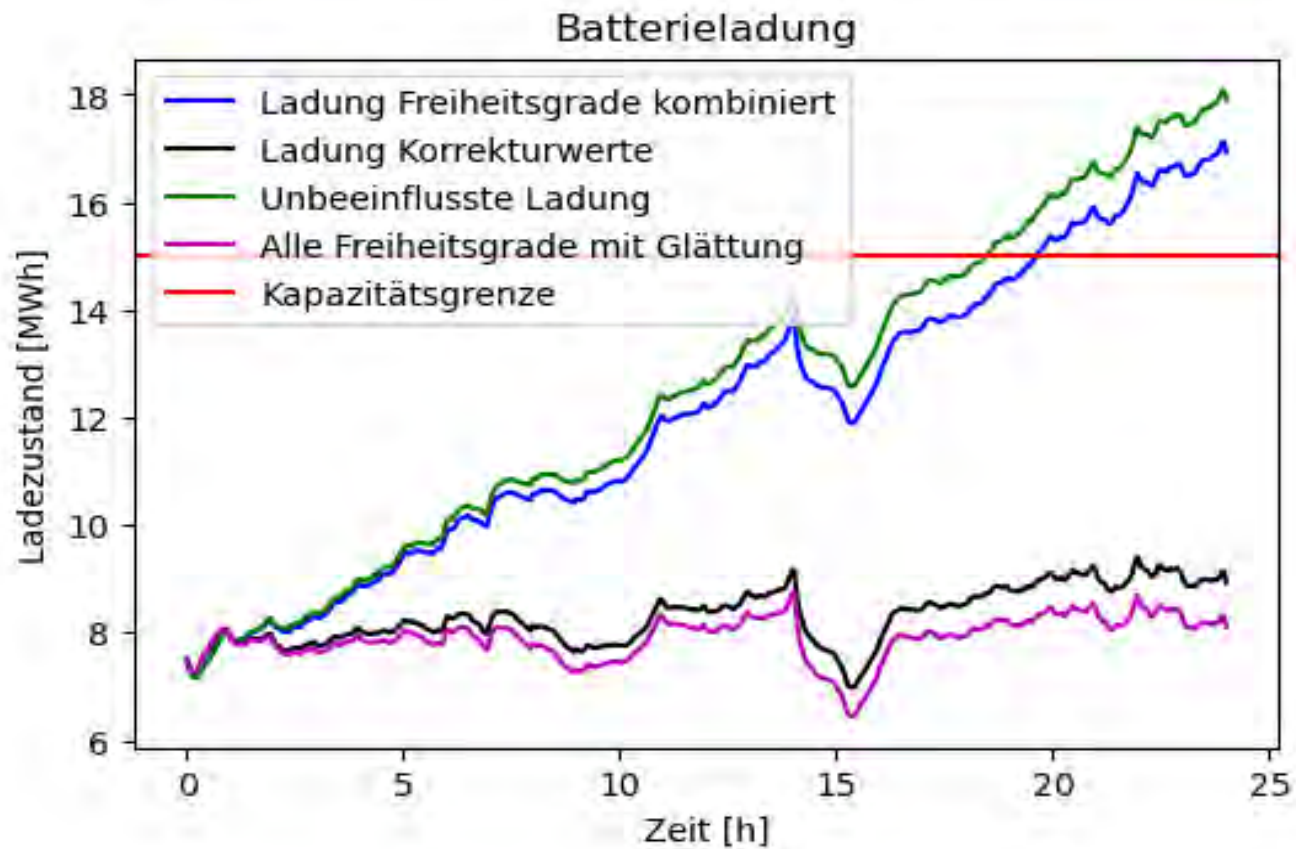


# Extremfallbetrachtung



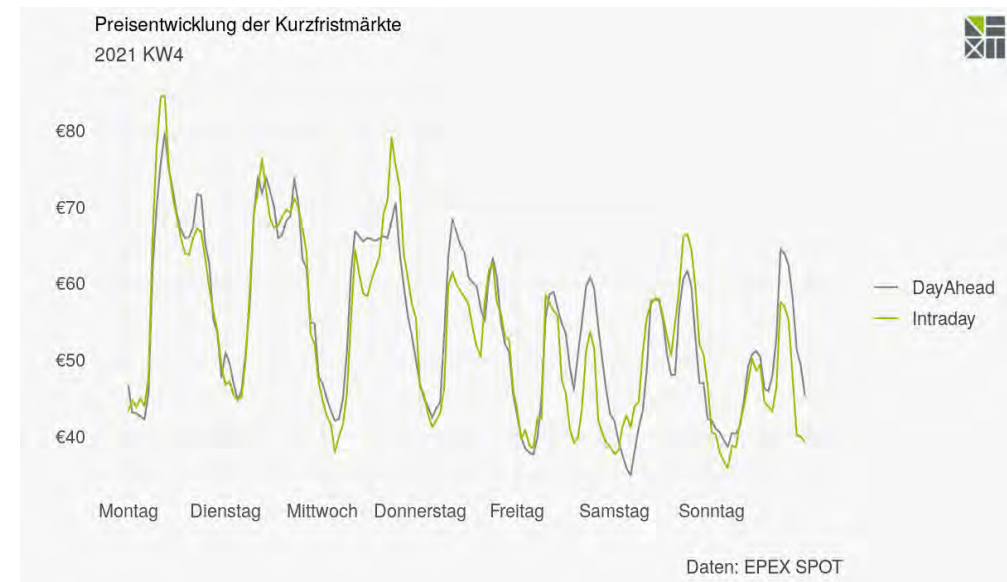
- Zwischenfall im europäischen Stromnetz
- Fehlkalkulation von Wetter und Verbrauch
- Minimalwert von 49,7481 Hz

# Ladezustandsverlauf des Zwischenfalls



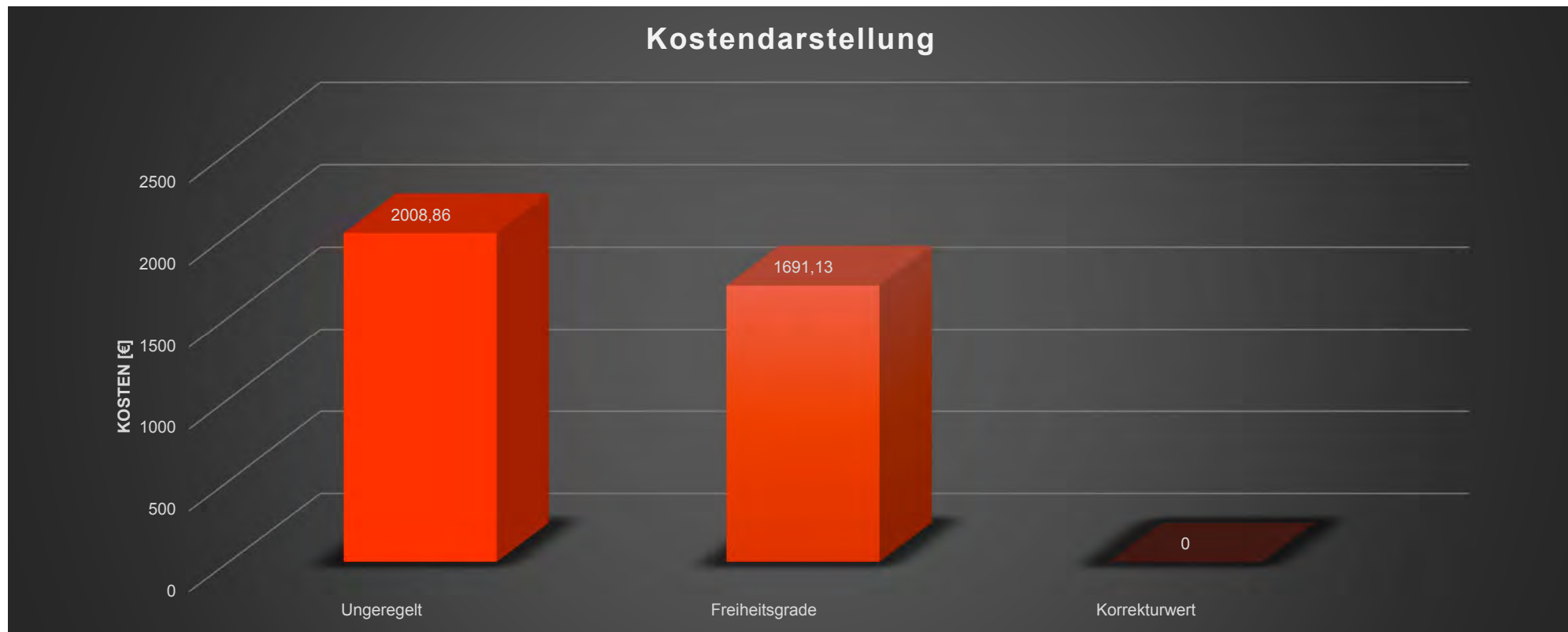
# Verkaufssimulation

- Obere Verkaufsgrenze von 9,675 MWh
- Untere Verkaufsgrenze von 5,625 MWh
- Ausspeicherleistung von 7.5 MW
- Verkauf von 2 MW am Strommarkt

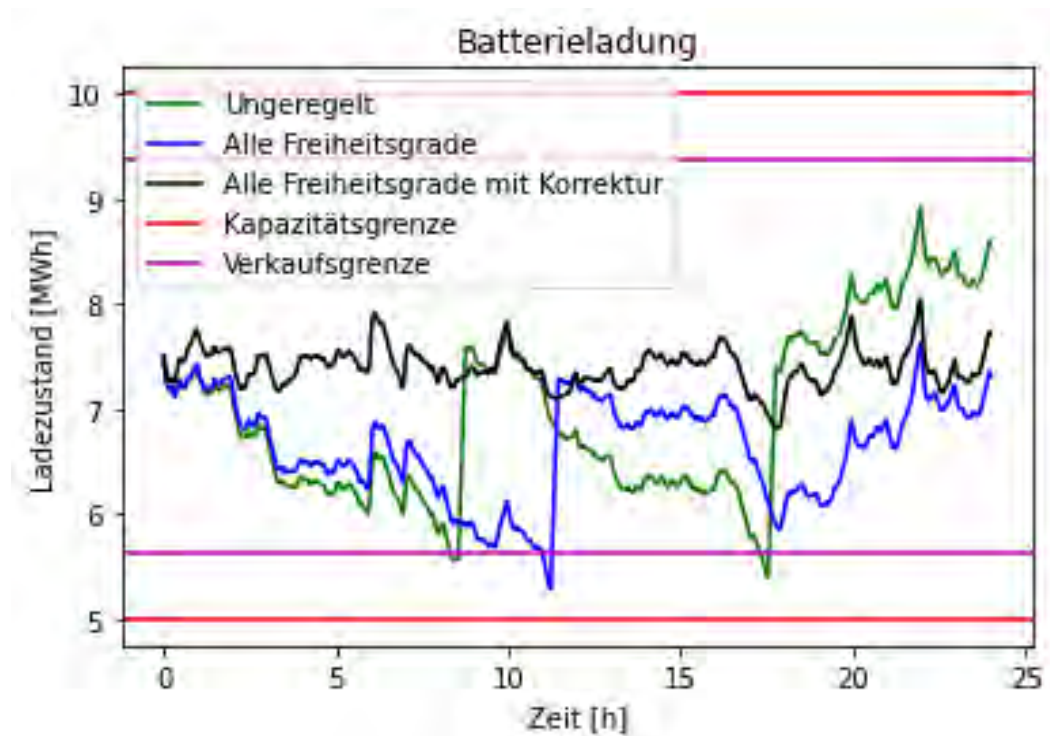


Bildquelle: <https://mailchi.mp/261422c1f259/strommarktanalyse-kw4?e=e2b49aa903>

# Wirtschaftliche Auswirkungen



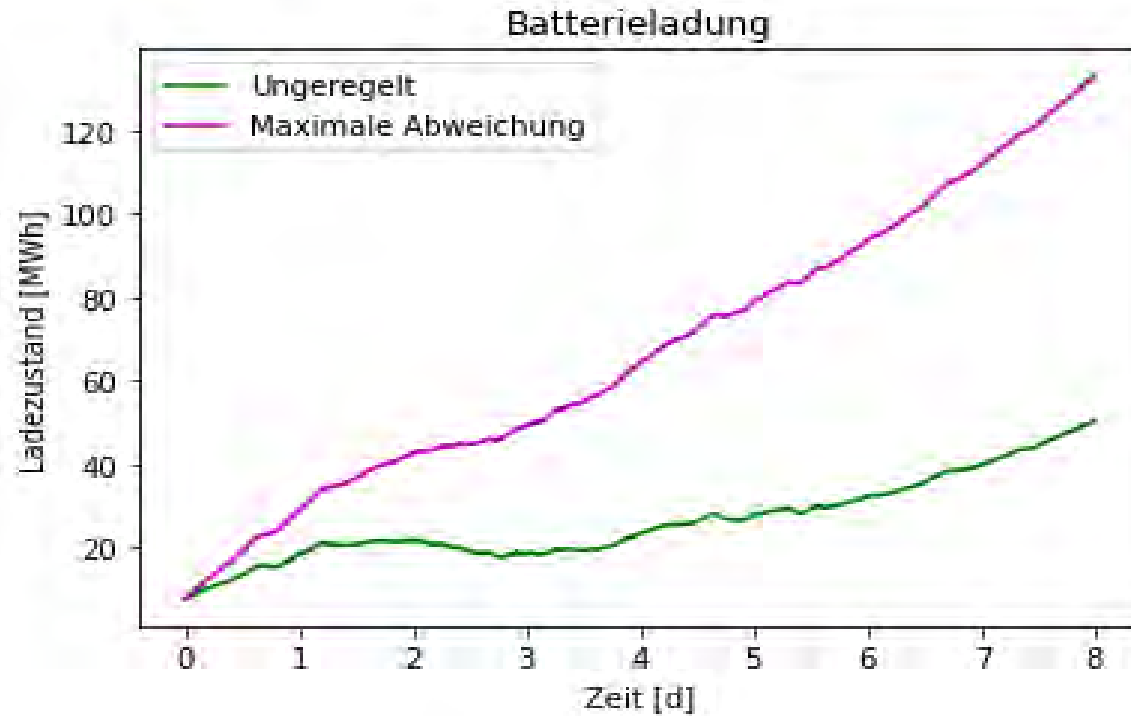
# Ladezustandsverlauf mit Börsengeschäften



- Ungeregelt ein Kostenaufwand von 292,3 €
- Nutzung der Freiheitsgrade mit Kostenaufwand von 160,22 €
- Durch Korrekturwert kein Zukauf notwendig

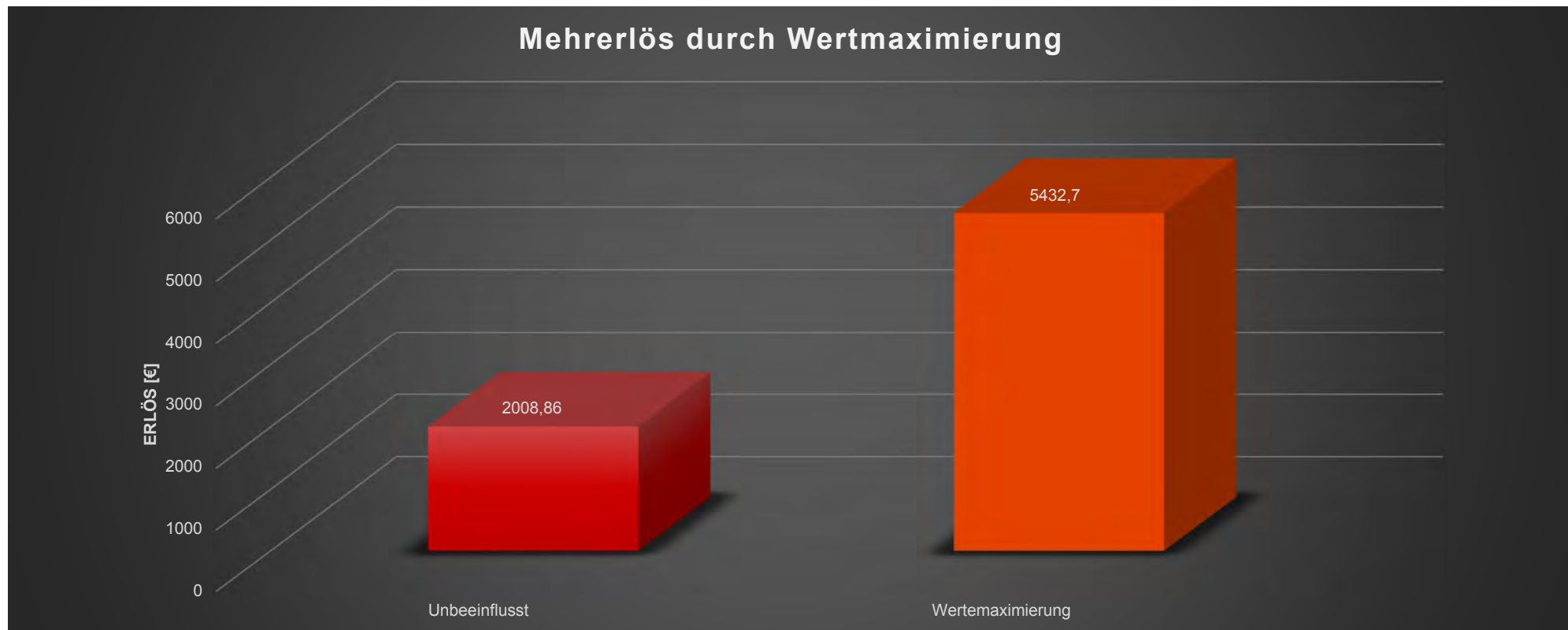
# Frequenzmaximierung

Nutzen der Toleranz für einen Korrekturwert von +0,01



Ladezustand von 133,03 MWh

# Wirtschaftliche Auswirkung der Frequenzmaximierung



---

# Fazit

- Herkömmliche Freiheitsgrade können nicht garantieren, dass der Ladezustand in den Grenzen gehalten werden
- Das erstellte Konzept wies ein deutlich verbessertes Ladezustandsverhalten auf
- Vier Stunden als Basis für den Mittelwert mit besseren Ergebnissen
- Auch für extreme Abweichungen geeignet
- Frequenzmaximierung mit deutlich höheren Erlösen, aber keine argumentative Grundlage gegenüber den Netzbetreibern
- Risiko des kostenintensiven Zukaufs konnte deutlich verringert werden



---

# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit