

FFE-ENERGIETAGE, HELMUT-SCHAEFER-PREIS 2023



# Strategische Teilnahme von virtuellen Kraftwerken am Primärregelungsmarkt mithilfe von Reinforcement Learning

Fakultät IV - Electrical Engineering and Computer Science, Technische Universität Berlin

Lehrstuhl: Agent Technologies in Business Applications and Telecommunications (AOT) , DAI Labor

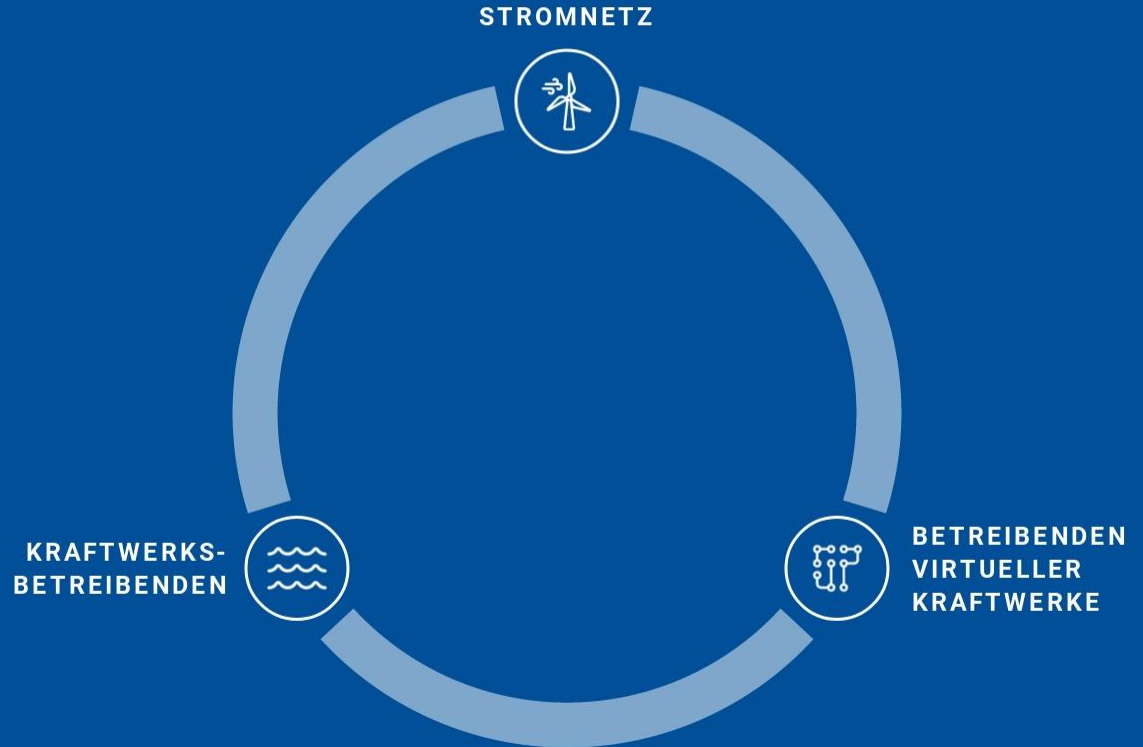
Betreuer: Prof. Dr. Dr. h.c. Sahin Albayrak, Prof. Dr. habil. Odej Kao



TEIL 1

# Herausforderungen...

# Herausforderungen für...

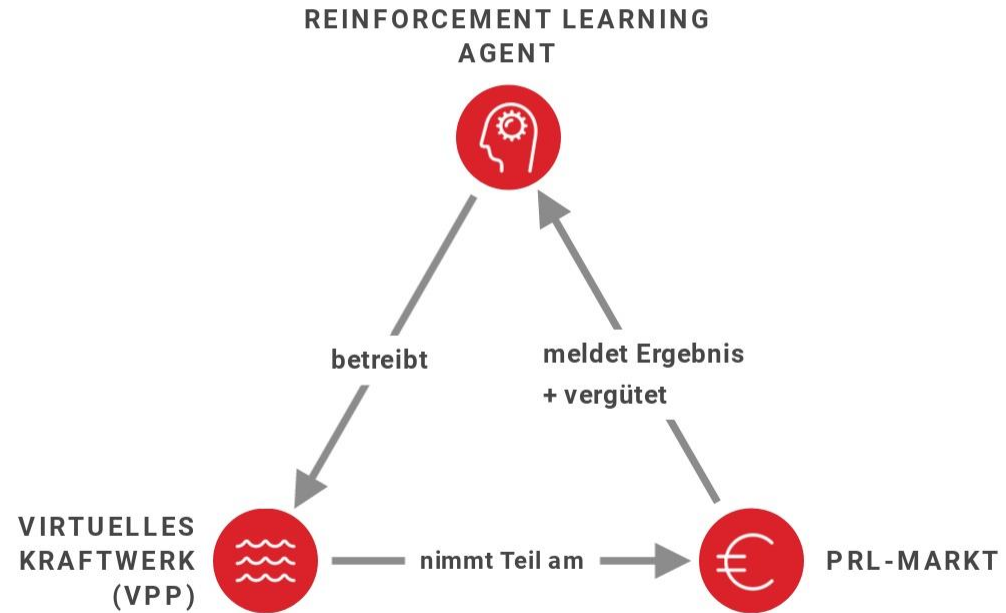




TEIL 2

# Der Lösungsansatz

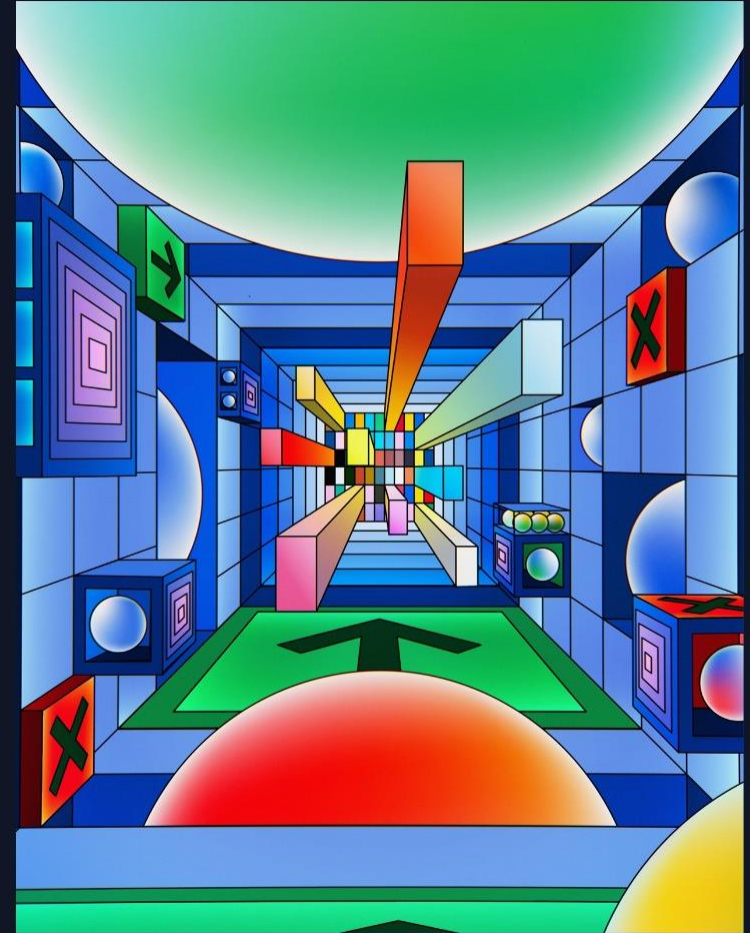
# Das System im Überblick





# Was ist Reinforcement Learning ?

Es ist eine Methode des maschinellen Lernens, bei der ein Agent durch Interaktion mit seiner Umgebung lernt, eine bestimmte Zielsetzung zu erreichen. Der Agent trifft Entscheidungen, um Belohnungen zu maximieren und Strafen zu minimieren, um seine Aktionen entsprechend anzupassen.



# Drei Beispiele von Reinforcement Learning



## CHATGPT

ChatGPT wurde mithilfe von RL trainiert, indem es belohnt wurde, gute Antworten zu generieren und bestraft wurde, wenn es schlechte Antworten generierte.



## ROBOTIK

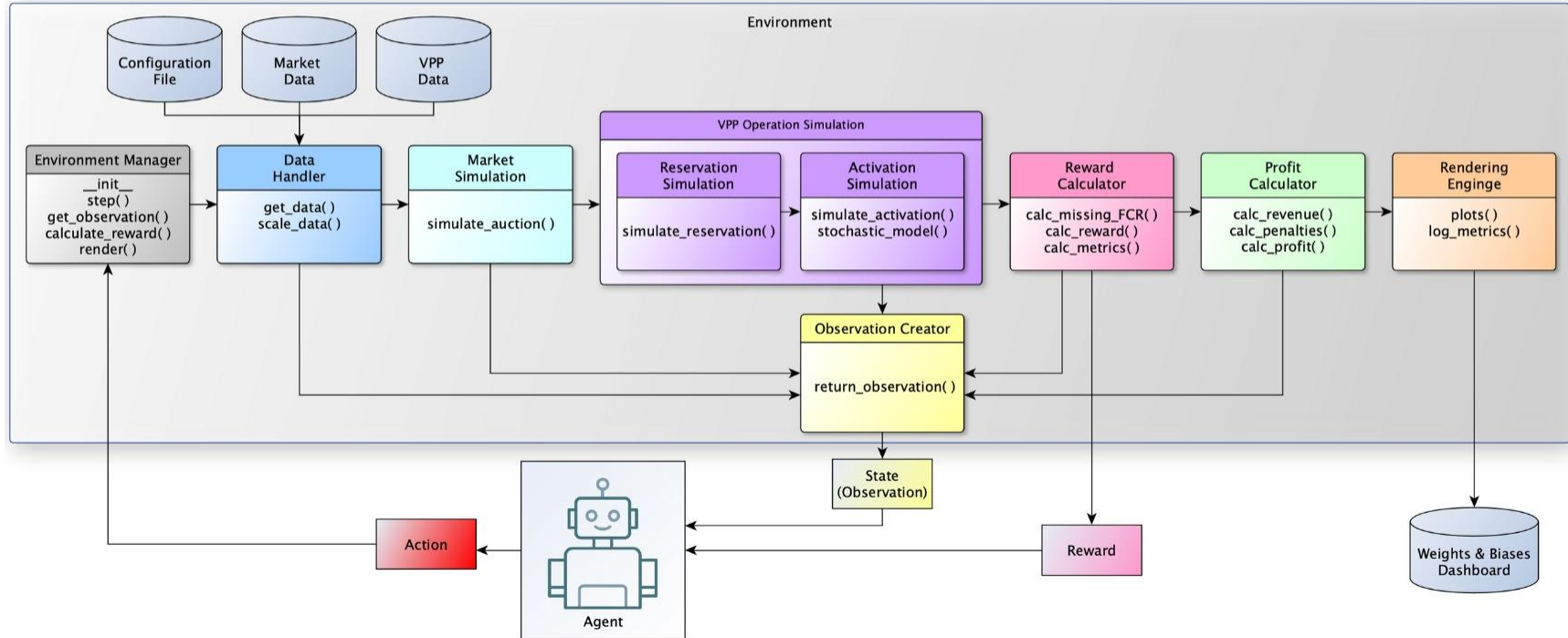
RL wird in der Robotik angewendet, um Robotern beizubringen, Gegenstände richtig zu greifen, indem sie durch Belohnungen motiviert werden.



## SELBSTFAHRENDE AUTOS

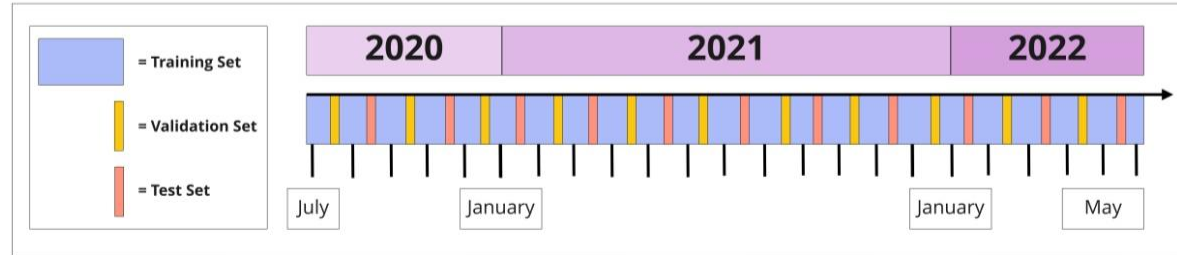
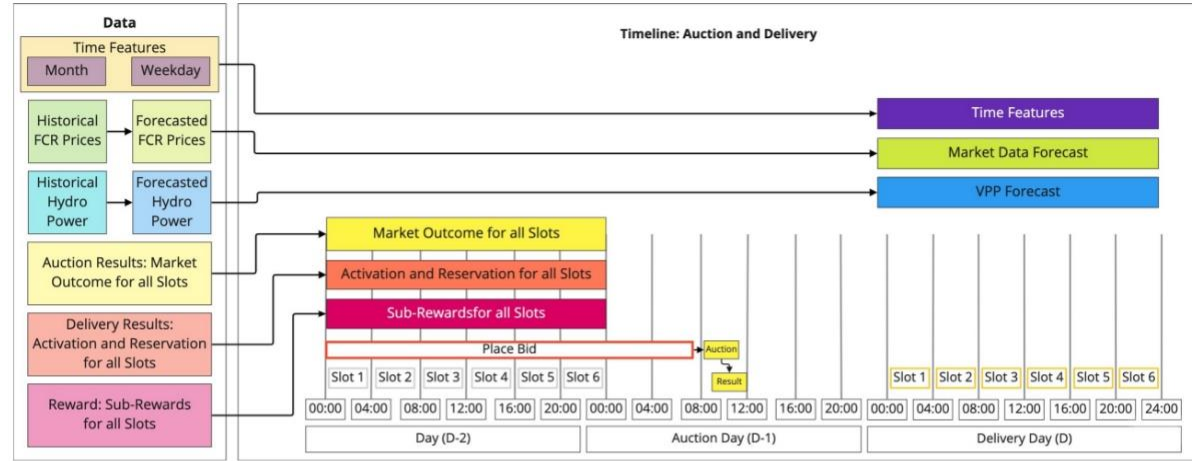
Ein selbstfahrendes Auto, lernt mithilfe von RL im Verkehr die richtigen Entscheidungen zu treffen in dem es in simulierten Umgebungen trainiert wird.

# Das Sytem im Überblick

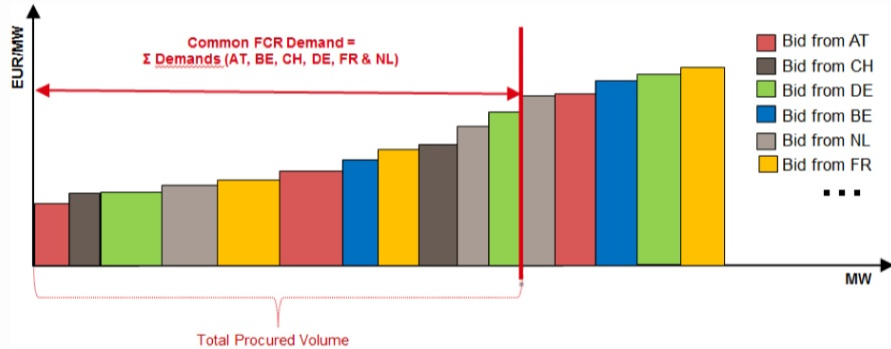




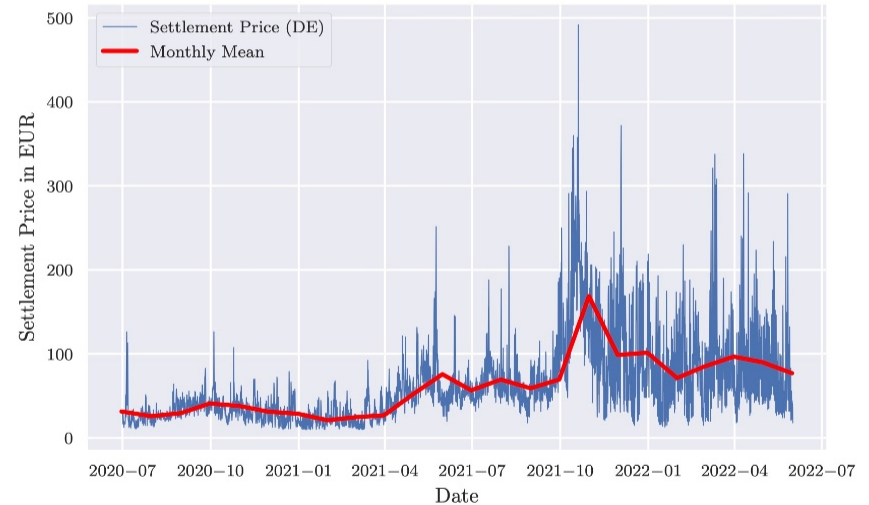
# Die Daten



# Die Markt-Simulation

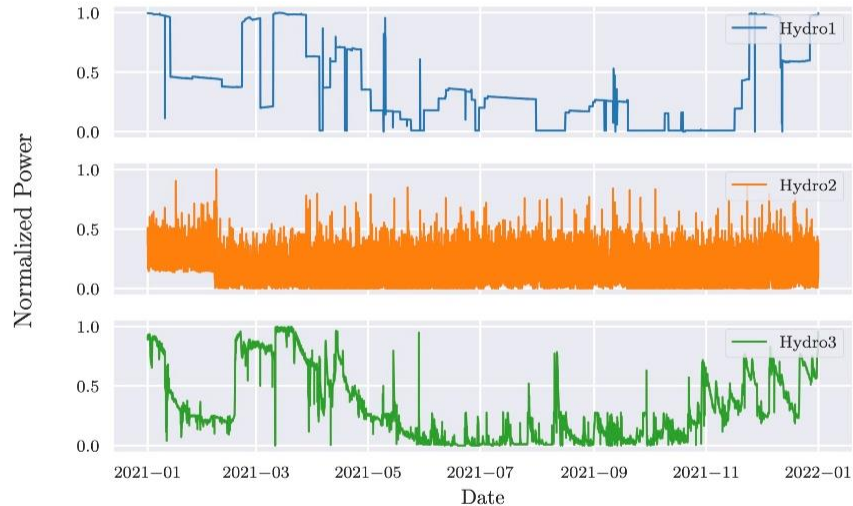


Simuliertes Market Clearing (Merit Order)  
der PRL Auktion

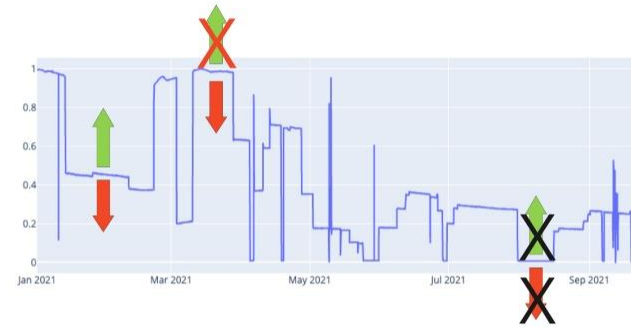


Mit echten Marktpreisen der letzten 2 Jahre  
[regelleistung.net]

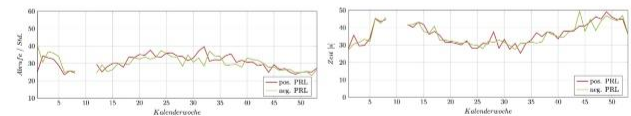
# Die VPP-Simulation



Reale Leistungsdaten von Laufwasserkraftwerken  
[SimBench Datensatz TU Dortmund]

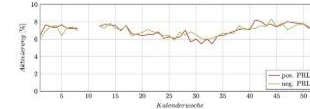


Simulierte Vorhaltung von Primärregelleistung



(a) Activations per hour per week.

(b) Activation length per call per week.

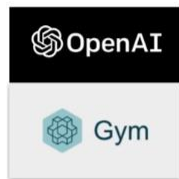


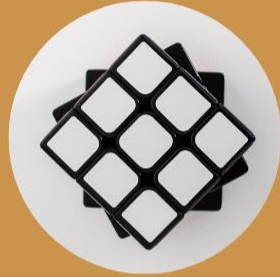
(c) Activation quantity per call per week.

Simulierte Aktivierung von Primärregelleistung

# Der Techstack

Python, OpenAI Gym, stable-baselines3, Weights & Biases



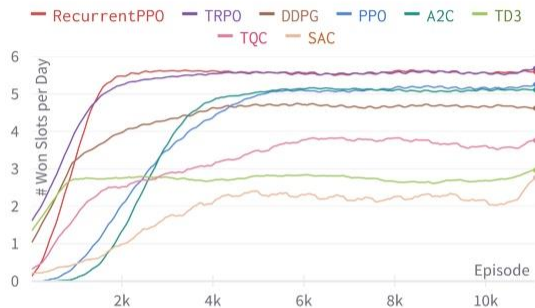


TEIL 3

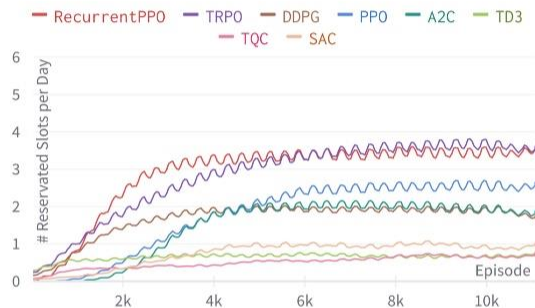
# Die Ergebnisse



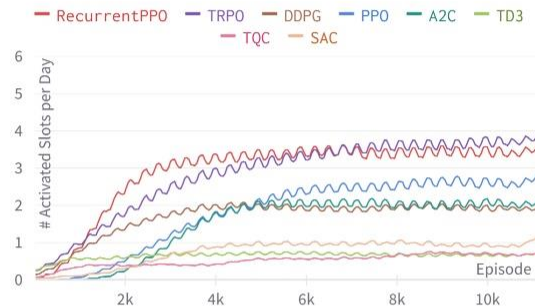
# Erfolgskennzahlen des Systems



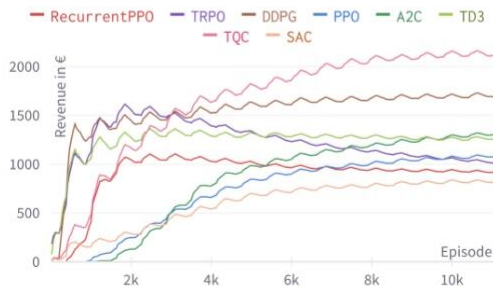
Anzahl gewonnener Auktionen



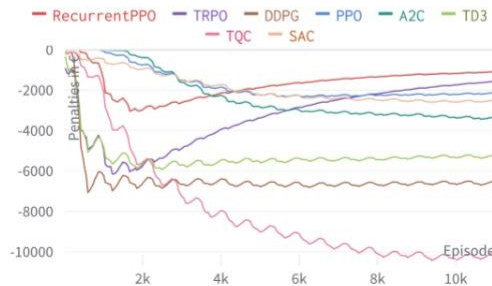
Anzahl erfolgreicher Vorhaltungen



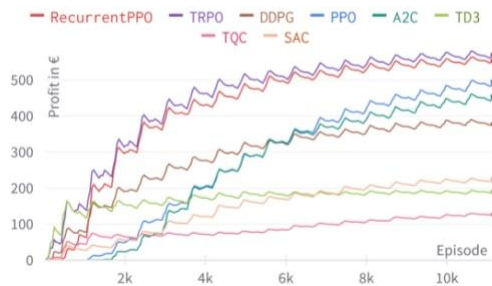
Anzahl erfolgreicher Aktivierungen



Durchschnittlicher Umsatz

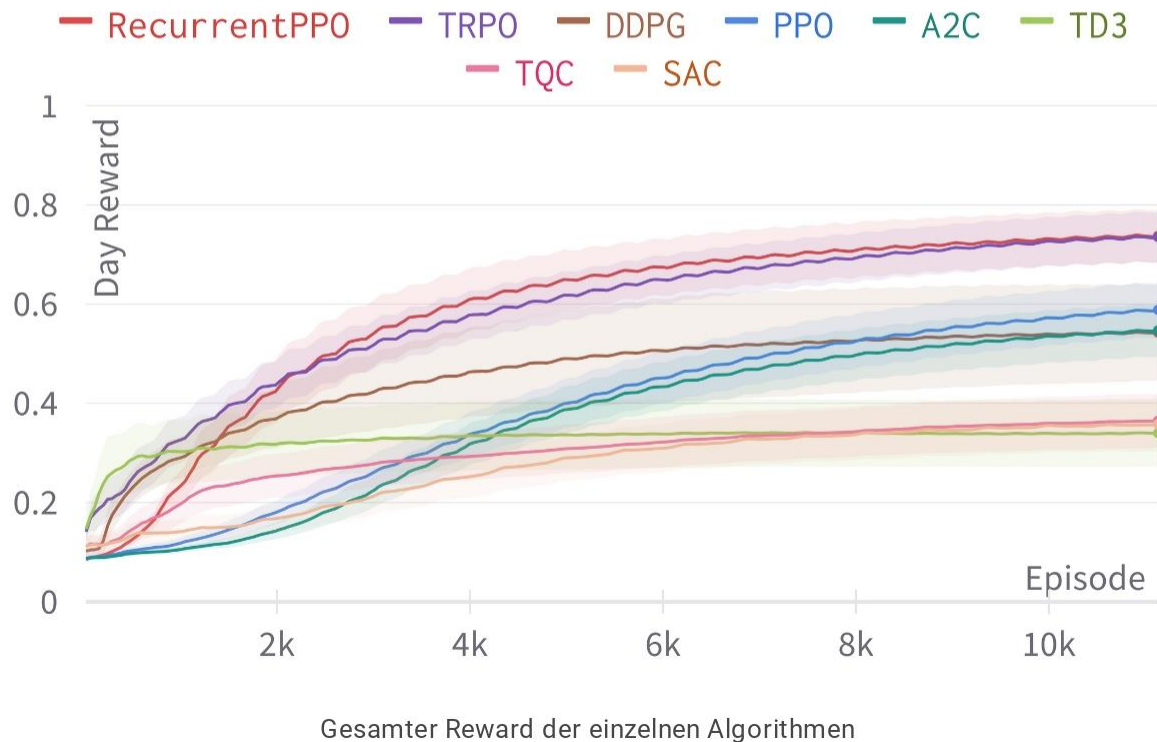


Durchschnittliche Strafzahlungen



Durchschnittlicher Gewinn

# Der Gewinner-Algorithmus



## TRPO

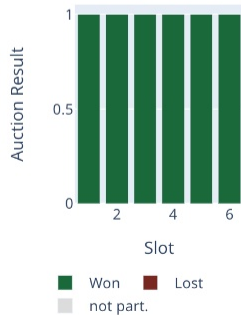
**BESTER ALGORITHMUS**  
(TRUST REGION POLICY OPTIMIZATION)

Dieser RL-Algorithmus hat die beste Fähigkeit, eine Bietstrategie zu erlernen, die Auktionen zu niedrigen Preisen gewinnt und sich an Veränderungen der Leistungsprognosen und Marktkonditionen anpasst.

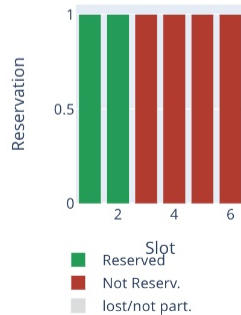
# Beispiel einer suboptimalen Aktion

Die Vorhaltung von PRL war aufgrund von fehlender Kapazität in den Laufwasserkraftwerken nicht möglich. Der RL-Agent hat die Angebotsgröße zu hoch gesetzt.

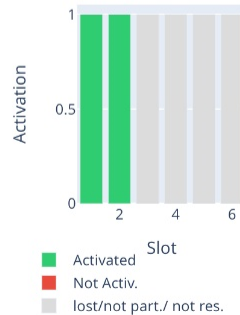
Won / Lost Slots



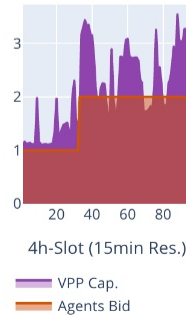
Reservation per Slot



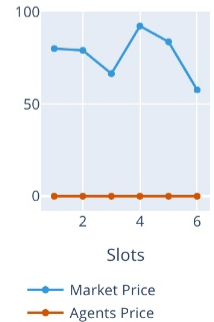
Activation per Slot



Sold and Available Capacity



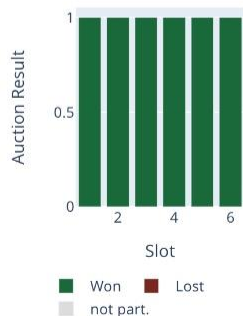
Agents and Settlement Prices



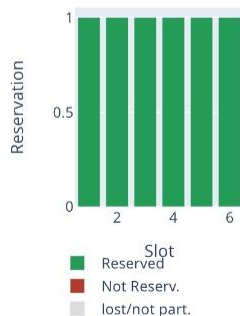
# Beispiel einer erfolgreichen Aktion

Auktion, PRL Vorhaltung und PRL Aktivierung haben erfolgreich funktioniert. Der RL-Agent hat erlernt sich an der Leistungsvorhersage zu orientieren und richtig am Markt zu handeln.

Won / Lost Slots



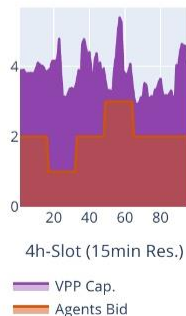
Reservation per Slot



Activation per Slot



Sold and Available Capacity



Agents and Settlement Prices



# Limitationen, Future Work, Marktempfehlung



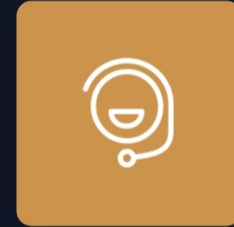
## LIMITATIONEN:

- Perfect Foresight
- Reward kann zu komplex sein
- mehr Trainingsdaten (synthetisch)
- System nur für den europäischen PRL Markt geeignet



## FUTURE WORK:

- Andere Energiemärkte: DA- und ID-Märkte
- Verfeinerung des Rewards
- Untersuchung unterschiedlicher Konfigurationen von VPPs
- Genauere Simulation der Kraftwerke



## MARKTEMPFEHLUNGEN:

Zur Integration von mehr Erneuerbaren in das Netz: Einführung von kürzeren PRL-Auktionszyklen und kürzeren Marktprodukten wie 1h oder 15min

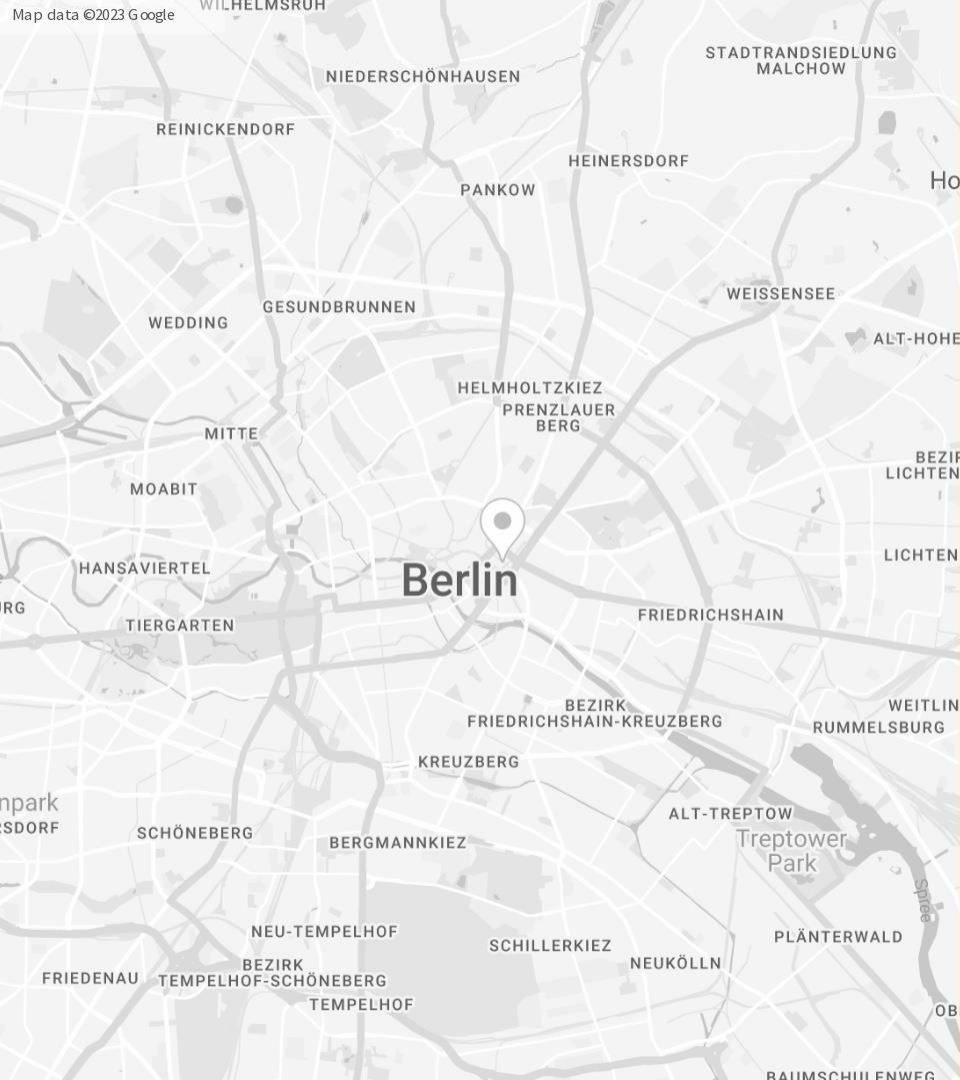




## Das Projekt auf GitHub!

Das Tool zur intelligenten Marktteilnahme von Virtual Power Plants im Europäischen PRL Markt mithilfe von Reinforcement Learning, ist als Open-Source-Projekt auf GitHub verfügbar. Dort können Interessierte sich den Code einsehen, herunterladen und sogar selbst weiterentwickeln.





# Vielen Dank für Ihre Zeit und Interesse!

Jan-Lukas Pflaum,  
Technische Universität Berlin

📧 [janlukaspflaum@gmail.com](mailto:janlukaspflaum@gmail.com)

🌐 [github.com/jlp-ue/MA-VPP-RL-bidding](https://github.com/jlp-ue/MA-VPP-RL-bidding)

🌐 [pflaum.biz](https://pflaum.biz)

🌐 [linkedin.com/in/jan-lukas-pflaum/](https://linkedin.com/in/jan-lukas-pflaum/)