

# OPTIMIERTE PPA PORTFOLIOS UND ENERGIESPEICHER FÜR DIE PRODUKTION GRÜNEN WASSERSTOFFS

Jonas BRUCKSCH<sup>1,2,3\*</sup>, Jonas VAN OUWERKERK<sup>1,2,3</sup>, Dirk Uwe SAUER<sup>1,2,3,4</sup>

## Hintergrund und Zielsetzung

Die Fortschritte in der Energiewende und die steigende Dringlichkeit im Umgang mit dem Klimawandel haben in den letzten Jahren zu einer verstärkten Fokussierung auf nachhaltige Energiequellen geführt. In diesem Zusammenhang hat die Europäische Union (EU) mit der Einführung der zweiten Renewable Energy Directive (RED 2) einen bedeutenden Schritt unternommen, um den Einsatz erneuerbarer Energien zu fördern und die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Diese politische Richtlinie, die die Förderung von erneuerbarem Wasserstoff, insbesondere Grünem Wasserstoff, priorisiert, stellt jedoch die Industrie vor erhebliche Herausforderungen in Bezug auf die Herstellung dieses Schlüsselrohstoffs. Zum einen fordert die Richtlinie eine Gleichzeitigkeit von Wasserstoffproduktion und Gestehtungszeitpunkt des dafür verwendeten Stroms und zum anderen soll der Strom aus neu errichteten erneuerbaren Energieanlagen (EEA) stammen. [1]

Power Purchase Agreements (PPAs) erweisen sich in diesem Zusammenhang als vielversprechendes Instrument für die Strombeschaffung. Hierbei werden Stromlieferverträge direkt zwischen Stromabnehmer und -erzeuger geschlossen. Gabrielli et al. untersuchen in [2] die Vorteile, die sich durch eine Variation von Technologien und Standorten der EEAs für die PPA-Bezüge ergeben können. Die wirtschaftliche Motivation der Stromabnehmer für ein optimiertes PPA-Portfolio sind dabei die hohen Preise, die für alternative Baseload-Kontrakte verlangt werden. Über sog. Baseload PPA-Kontrakte kann sich ein Stromabnehmer auch in Zeiten geringer erneuerbarer Energie Grünstrom z.B. über Wasserkraftwerke sichern. [2]

Diese Arbeit erweitert die bisherigen Ansätze zur Untersuchung der PPA-Versorgung in zwei Richtungen. Erstens werden Wetterprofile von über 600 in Planung befindlichen EEAs verwendet, was eine deutlich detaillierte PPA-Portfolio Analyse ermöglicht. Zweitens wird durch ein detailliertes Elektrolyse-Modell ein flexibler Stromverbrauch modelliert, der eine realistische Produktion von Grünem Wasserstoff nachbilden kann. Erst damit kann eine Aussage über die damit einhergehenden tatsächlichen Kosten getroffen werden.

## Methodik und Verfahren

Um die Unsicherheiten zu berücksichtigen, die mit der Modellierung von zukünftiger Erzeugung aus dargebotsabhängigen EEAs einhergehen, wird eine stochastische Optimierung durchgeführt. Diese minimiert den Erwartungswert der Strombeschaffungskosten des Wasserstoffproduzenten mehrerer Wetterszenarien. Das zugrundeliegende Modell lässt sich in zwei Umgebungen einteilen. Erstens in die Verbraucherumgebung, die den Stromabnehmer darstellt und zweitens in eine Marktumgebung, die verschiedene Wege zur Strombeschaffung modelliert.

Die Verbrauchsumgebung besteht im Zentralen aus einer Energiebedarfszeitreihe, die als fix angenommen wird. Im Falle der hier betrachteten industriellen Stromabnehmer handelt es sich bei der fixen Zeitreihe um Wasserstoffbedarfe eines Jahres. Diese Bedarfe werden über ein dynamisches Elektrolyse-Modell in flexible Strombedarfe übersetzt. Das Elektrolyse-Modell berücksichtigt detaillierte

---

<sup>1</sup>Institute for Power Electronics and Electrical Drives (ISEA), RWTH Aachen University, 52074 Aachen, Germany

<sup>2</sup>Institute for Power Generation and Storage Systems (PGS), RWTH Aachen University, 52074 Aachen, Germany

<sup>3</sup>Juelich Aachen Research Alliance, JARA-Energy, Germany Institute Muenster (HI MS), IEK-12, Forschungszentrum Jülich, 52428 Jülich, Germany

<sup>4</sup>Forschungszentrum Jülich GmbH, Institute of Energy and Climate Research Helmholtz-Institute Münster: Ionics in Energy Storage (IEK-12)), 52425 Jülich, Germany

Kontakt: E-Mail: [jonas.brucksch@isea.rwth-aachen.de](mailto:jonas.brucksch@isea.rwth-aachen.de), Tel.: +49 241 80 49315

Eigenschaften realer Anlagen wie Wartungszeiten, Alterung und arbeitspunktabhängige Effizienzen. Dem Stromabnehmer wird weitere Flexibilität durch Wasserstoff- und Batteriespeicher ermöglicht.

Die Marktumgebung stellt einen Bilanzkreis dar, über den der Stromabnehmer seinen Strombedarf über PPA-Verträge oder den Day-Ahead Markt decken kann. Über PPA-Verträge kann Strom aus EEAs bezogen werden. In den EEA-Komponenten werden historische Auslastungen, Bezugspreise und die Nominalleistung der Anlage hinterlegt. Die von den Anlagen bezogene Strommenge hängt von der kontraktierten Leistung ab. Die Optimierung entscheidet, welchen Anteil der Nominalleistung der Stromabnehmer zur Kostenminimierung beziehen sollte und dementsprechend werden die Auslastungsfaktoren der EEAs skaliert als Einspeisung zum Stromabnehmer verwendet. Zum anderen kann Strom über den Day-Ahead Handel gekauft und verkauft werden. Hier werden auch Überschüsse aus den PPA-Beschaffungen weiterverkauft. Laut RED 2 kann der am Day-Ahead Markt eingekaufte Strom jedoch nicht für die Produktion von Grünem Wasserstoff verwendet werden.

Das hier vorgestellte Modell stellt ein Dimensionierungsproblem mit zwei Ebenen dar. Die erste Ebene besteht aus den Entscheidungsvariablen der Dimensionierung der Komponenten. Dies umfasst die Größe von physischen Komponenten wie Speichern und Elektrolyseure und die damit zusammenhängenden Investitionskosten sowie die kontraktierte Leistung der PPA-Anlagen. Von der Dimensionierung der ersten Ebene hängen die operativen Entscheidungen der zweiten Ebene ab. Diese minimiert die operativen Kosten über die Leistungsflüsse zwischen Markt und Verbraucher. Eine Kerneigenschaft dieses Problems ist die Abhängigkeit von den Erzeugungsdaten der EEAs, deren Vorhersage immer mit Unsicherheit verbunden ist. Um diese Unsicherheit im Optimierungsproblem zu berücksichtigen, werden in dieser Arbeit 25 Wetterszenarien über eine stochastische Optimierung über einen Erwartungswert in die Zeit Ebene eingebunden.

## Datengrundlage und Analyse

Die hier vorgestellte Methodik wird für die Analyse eines Szenarios verwendet, in dem Grüner Wasserstoff nach Definition der RED 2 Richtlinie hergestellt werden soll. Als mögliche Erzeugungsanlagen für die PPA-Verträge werden geplante Wind- und PV-Erzeugungsanlagen in Deutschland sowie Großbritannien berücksichtigt. Insgesamt kann somit Strom von über 600 verschiedenen Standorten bezogen werden. Die Wetterszenarien für die stochastische Optimierung stammen aus den Jahren 2011-2015. Die Wasserstoffbedarfe wurden aus historischen Gasbedarfen einer existierenden Glasproduktion in Deutschland berechnet, in der Wasserstoff zukünftig das Gas im Schmelzprozess ersetzen soll.

Die Analyse der Wasserstoffproduktion gliedert sich in zwei Teile. Zunächst wird ein Basisszenario mit heutigen PPA- und Day-Ahead Preisen untersucht. Dabei liegt der Fokus auf der Nutzung des Speichers und anderer Flexibilitätskomponenten, um die Überdimensionierung von PPA-Kontrakten zu verringern bzw. PPA-Überschüsse zwischenspeichern, um das Erzeugungsprofil dem Verbrauchsprofil anzupassen. Dabei wird ein Vergleich zu einer Beschaffung über Baseload-PPAs vorgenommen. Der zweite Teil zeigt detailliert, wie sich die Portfolio-Zusammenstellung bei variierenden PPA-Preisen verändert.

Insgesamt gibt diese Arbeit Einblick in die Herausforderungen, die auf Produzenten Grünen Wasserstoffs in Zukunft warten. Zugleich legt sie dar, wie ein Wasserstoffproduzent über Flexibilität im Herstellungsprozess in Kombination mit einer intelligenten PPA-Portfolio Zusammenstellung die Gesteungskosten im Vergleich zu Baseload-PPAs senken kann.

## Referenzen

- [1] "Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 as regards the promotion of energy from renewable sources", <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1699364355105&uri=CELEX%3A32023L2413>
- [2] Gabrielli et al., "Mitigating financial risk of corporate power purchase agreements via portfolio optimization", *Energy Economics*, Volume 109, 2022