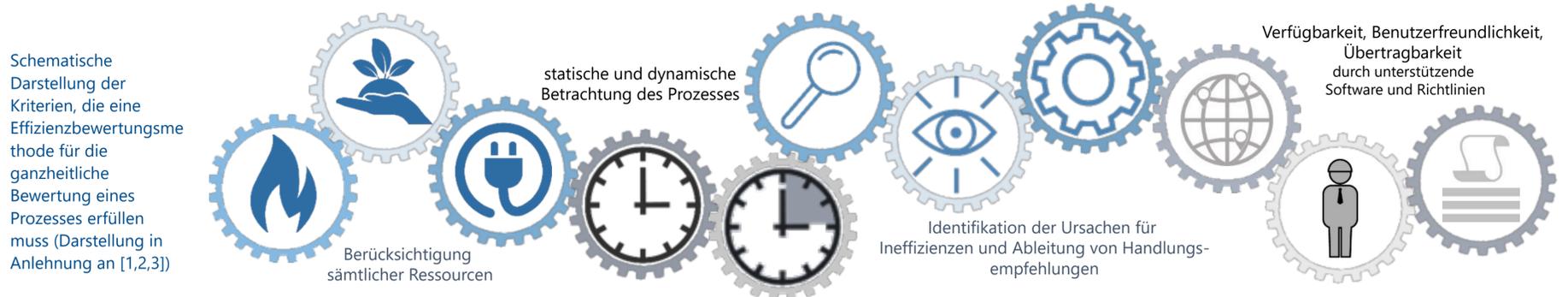


# Grenzwertorientierte Effizienzbewertung von Power-to-X-Systemen

## BEWERTUNG VON WASSERSTOFF-TECHNOLOGIEN AUF BASIS IDEALISierter REFERENZMODELLE

Die energetische Umwandlung und stoffliche Nutzung fossiler Energieträger kann als Hauptgrund für die Emission von Treibhausgasen identifiziert werden. Regenerative Energieträger haben, besonders unter Einsatz der sogenannten Power-to-X (PtX) Technologien, ein hohes Potenzial der Reduzierung des Bedarfs an fossilen Energieträgern.

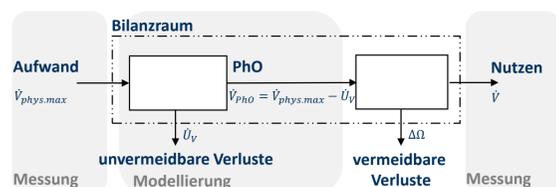
Neben der politischen Situation führt besonders die derzeitige Energieeffizienz bestehender PtX Systeme zu einer geringen Akzeptanz dieser Technologien in Industrie und Gesellschaft. Das Potenzial dieses Ansatzes bleibt jedoch bei der bisherigen Effizienzbewertung unbeachtet. Bestehende für die Effizienzbewertung herangezogene Kennzahlen bilden das tatsächliche Effizienzpotenzial nur selten ab.



### Grundlagen des Physikalischen Optimums

Das Physikalische Optimum (PhO) beschreibt ein statisches idealisiertes Referenzmodell, welches durch Berücksichtigung der Naturgesetze die Grenze der Optimierbarkeit und damit das maximale Potential eines technischen Prozesses beschreibt. [4]

Physikalisch unvermeidbare Verluste<sup>1</sup> werden einbezogen, sodass durch die Differenz des realen Prozesses zum PhO das tatsächliche Optimierungspotenzial bestimmbar ist.



Bilanzierungsschema für die Methode des Physikalischen Optimums

### Definition unvermeidbarer Verluste

Die Definition unvermeidbarer Verluste<sup>1</sup> kann je nach Zeitpunkt der Bestimmung variieren. Es wird zwischen zwei Fällen unterschieden.

1. Bewertung während der Planung und Auslegung eines Prozesses  
Verluste, die sich aus den Naturgesetzen zur Beschreibung des Prozesses ergeben sind unvermeidbar.
2. Bewertung des Betriebes eines Prozesses  
Verluste, die nur durch bauliche Veränderungen, nicht aber durch Anpassung der Betriebsbedingungen, beeinflusst werden können, sind unvermeidbar.

### Anwendung am Beispiel der Wasserelektrolyse

Definition des energetischen Wirkungsgrades

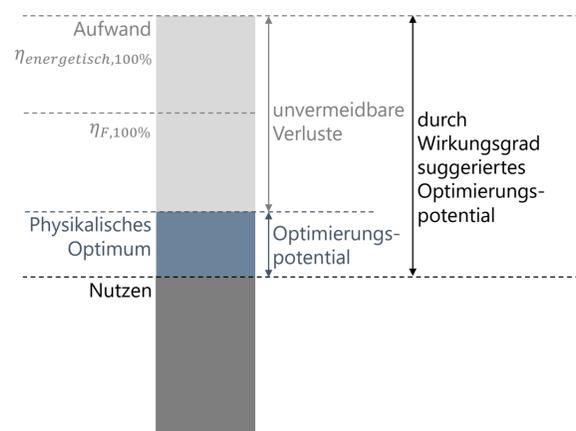
$$\eta_{energetisch} = \frac{E_{Nutz}}{E_{Zu}} = \frac{E_{Wasserstoff}}{E_{elektrisch}} = \frac{V_{H_2} \cdot H_s}{U \cdot I \cdot t}$$

Definition des Faraday'schen Wirkungsgrades

$$\eta_F = \frac{n_{H_2,real}}{n_{H_2,reversibel}} = \frac{U_{reversibel}}{U_{real}}$$

Definition des PhO-Faktors

$$F_{PhO} = \frac{n_{H_2,real}}{n_{H_2,PhO}} = \frac{U_{PhO}}{U_{real}}$$



Graphischer Vergleich des Physikalischen Optimums mit dem Wirkungsgrad der Wasserelektrolyse (Darstellung in Anlehnung an [4])

### Weiterentwicklungsansätze

Da die PtX-Technologien auch chemische und biochemische Stoffumwandlungsprozesse umfassen, ist eine statische Beschreibung des idealisierten Referenzprozesses für die Effizienzbewertung nicht hinreichend. Das tatsächliche Optimierungspotenzial sowie konkrete Handlungsempfehlungen für die Verbesserung dieser Prozesse lassen sich nur unter Berücksichtigung der Kinetik ableiten.

Aus diesem Grund wird eine Weiterentwicklung des PhOs zu einem Multi-Kriterien-PhO untersucht, welches Modelle für die Sicherstellung der Betriebsbedingungen eines chemischen oder biochemischen Reaktors mit der Kinetik der Stoffumwandlung verbindet. In Abhängigkeit von Parametern, wie den Umgebungsbedingungen, dem eingesetzten Katalysator, der Edukt-Zusammensetzung oder der Aktivität der Mikroorganismen kann so ein jeweils individuelles PhO gebildet werden, was dynamisch auf die genannten Kriterien reagiert. So kann sichergestellt werden, dass bei der Berechnung des Optimierungspotenzials beispielsweise die ideale Verweilzeit im Reaktor berücksichtigt wird.

<sup>1</sup> Als Verluste werden im Kontext der Effizienzbewertung jene Stoff- und Energieströme des Aufwandes bezeichnet, die nicht im Nutzen resultieren.

[1] Colla M, Ioannou A, Falcone G. Critical Review of Competitiveness Indicators for Energy Projects. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2020(125).

[2] Angelakoglou K, Gaidajis G. A review of methods contributing to the assessment of the environmental sustainability of industrial systems. Journal of Cleaner Production 2015;108(7):725-47.

[3] Menghi R, Papetti A, Germani M, Marconi M. Energy efficiency of manufacturing systems: A review of energy assessment methods and tools. Journal of Cleaner Production 2019;240:118276.

[4] VDI 4663 Blatt 1: Bewertung von Energie und Stoffeffizienz Methodische Anwendung des Physikalischen Optimums. VDI Richtlinie, 2019

# Modularisierung von Produktionsanlagen zur Steigerung der Flexibilität und Fertigung kundenindividueller Produkte

## ANWENDUNG VON PLUG & PRODUCE – KONZEPTEN ZUR FLEXIBLEN GESTALTUNG EINER PRODUKTION

**Aktuelle Produktionsanlagen sind dafür ausgelegt bei hohen Produktionsvolumen kosteneffizient und wirtschaftlich zu arbeiten. Dies steht im Gegensatz zu der Entwicklung hin zu einer immer höheren Variantenvielfalt und kundenindividuellen Produkten. Um den neuen Anforderungen an die Produktion gerecht werden zu können, ist eine Umgestaltung der Produktionsanlagen erforderlich. Diese Umgestaltung kann durch das Definieren einzelner Produktionsmodule und das flexible Kombinieren von Modulen erreicht werden.**



Verschiedene Komponenten können dank Modularität und Standardisierung kombiniert werden Bild: Festo



Durch das Kombinieren verschiedener Module wird z.B. Pick-and-Place ermöglicht Bild: Yaskawa

Über die letzten Jahrzehnte hinweg wurde die Produktion in vielen Industriezweigen dahingehend optimiert bei großen Produktionsvolumen wirtschaftlich zu arbeiten. Dabei ist die Produktion in Hochlohnländern, wie beispielsweise Deutschland, von einem sehr hohen Automatisierungsgrad geprägt, um bei hoher Stückzahl geringe Stückkosten realisieren zu können und gegenüber Niedriglohnländern konkurrenzfähig zu sein. Derzeit findet jedoch eine Entwicklung zu immer individuelleren Produkten, steigender Variantenvielfalt, kürzeren Innovations- und Produktlebenszyklen und stark schwankender Nachfrage statt. Um die Herausforderungen, die aus den geänderten Produktionsbedingungen entstehen, bewältigen zu können, ist eine Evolution in der Produktion erforderlich. Derzeitige Produktionsanlagen sind nicht für eine hohe Variantenvielfalt oder kundenindividuelle Produkte und den damit verbundenen geringen Losgrößen und häufigen Umrüstvorgängen ausgelegt.

### Herausforderungen für eine flexible Produktion

Hoch automatisierte Produktionsprozesse sind in ihrer Anpassbarkeit häufig dadurch limitiert, dass die Rekonfiguration und Programmierung der Systeme bei einer Produktveränderung mit hohen Kosten verbunden ist. Um diese Beschränkung automatisierter Produktionssysteme zu überwinden und die Agilität zu erhöhen, wird das Konzept von Flexibilität und Veränderlichkeit mehr und mehr relevant. Flexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Produktionssystems sich an neue Produktionsanforderungen anzupassen ohne, dass Produktionsressourcen ausgetauscht werden müssen. Veränderlichkeit hingegen beschreibt, wie einfach Produktionsressourcen eines Systems ausgetauscht werden können, um neue Anforderungen des Produktionsprozesses zu erfüllen, welche bei Auslegung des Systems nicht berücksichtigt worden sind.

### Modularität als mögliche Antwort für eine agile Produktion

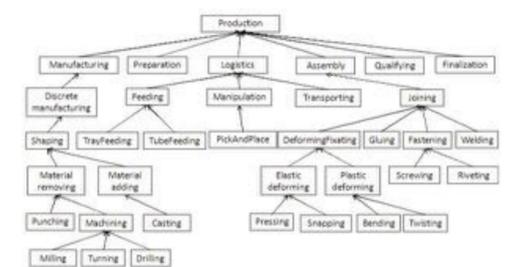
Das Konzept modularisierter Produktions-

ressourcen, welche effizient kombiniert und wiederverwendet werden können, könnte eine Lösung für die genannten Herausforderungen zur Anpassung hoch automatisierter Produktionsanlagen darstellen. In diesem Zusammenhang wird der Begriff Plug & Produce häufig genannt. Dies ist angelehnt an die Plug & Play Technologie aus der Computertechnik (beispielsweise bei der USB-Schnittstelle). Das Ziel von Plug & Produce ist das einfache Einbinden von Produktionsressourcen in ein Produktionssystem oder das Erstellen eines komplett neuen Produktionssystems ohne, dass manuelle Konfigurationen oder Programmierungen erforderlich sind. Die Modularität muss sich aber neben der Hardware auch in der Software der Produktionsressourcen widerspiegeln. Es ist erforderlich, dass die Gesamtsoftware aus einzelnen Softwaremodulen zusammengesetzt werden kann, welche zu den physischen Modulen passen. Es ist weiterhin erforderlich, dass die Module mit ihren Fähigkeiten herstellernneutral beschrieben werden und sich die Beschreibung an Standards orientiert. Hierzu gibt es Capability und Skill - Modelle. Capabilities und Skills können zum Teil synonym verwendet werden, Skills haben jedoch einen stärkeren Fokus auf ausführbare Maschinenfunktionalitäten. Wenn alle verfügbaren Fähigkeiten bekannt sind, können diese den Anforderungen eines Produktionsprozesses eines bestimmten Produktes gegenübergestellt werden (engl. Matchmaking). Durch das Matchmaking von benötigten und zur Verfügung stehenden Fähigkeiten, kann ein Produktionssystem angepasst oder komplett neu erstellt werden.

### Anforderungen für die Umsetzung von Plug & Produce

Um das Konzept von Plug & Produce anwenden zu können, müssen diverse Anforderungen erfüllt sein. Zum einen gibt es technische Aspekte, die bei der Umsetzung berücksichtigt werden müssen, wie ein herstellernutrales Interface, welche die Fähigkeiten der jeweiligen Module einkapselt und standardisiert zu Verfügung stellt. Dies kann beispielsweise durch einen „Device Adapter“

erreicht werden, welcher an jedem Modul installiert wird und so eine einheitliche Schnittstelle darstellt. Weiterhin muss ein einheitlicher Standard für die Definition von Capabilities und Skills gebildet werden. In diesem muss definiert werden, wie das „Wissen“ der Capabilities und Skills in Form von Ontologien dargestellt und verknüpft werden kann. Die Ontologie muss darüber hinaus über eine Taxonomie verfügen, welche die Capabilities und Skills einheitlich klassifizieren kann. Darüber hinaus ist ein Standard zu bilden, wie die Kommunikation der einzelnen Module stattfinden kann und wie die Module innerhalb eines Netzwerkes identifiziert werden können. Für die Kommunikation ist die Verwendung bereits bestehender Frameworks und Protokolle möglich,



Beispiel einer Taxonomie zur Einteilung von Produktionsprozessen Bild: Eeva Järvenpää

wie beispielsweise TCP/IP und OPC UA. Ebenfalls ist zu definieren, wie die einzelnen Module automatisiert parametrisiert werden können, um die gewünschte Funktionalität im Gesamtsystem bereitstellen zu können, ohne dass hierfür manuell Anpassungen vorgenommen werden müssen. Durch die Anwendung von Plug & Produce in der Produktion kann somit sehr flexibel auf die Variantenvielfalt und kundenindividuelle Produkte eingegangen werden, ohne dass hierdurch hohe Aufwände für die Rekonfiguration des Produktionssystems entstehen.

# Audiovisuelle Virtual Reality zur Kommunikation der Auswirkung schallemittierender Anlagen

## KANN EINE REALISTISCHE AUDIO-VISUELLE SIMULATION GENERATIV REALISIERT WERDEN?

**Ein wesentlicher Faktor bei der Ablehnung von Windenergie-Anlagen ist die erwartete Lärmbelastung. Während diese Erwartung durch frühe Anlagen nicht ganz unbegründet ist, erscheint sie heute dennoch etwas fehlgeleitet. Eine immersive audio-visuelle Simulation eines Windparks kann eine faktenbasierte Diskussionsgrundlage schon im Planungsstadium bieten wenn der Aufwand zur Produktion niedrig gehalten werden kann.**



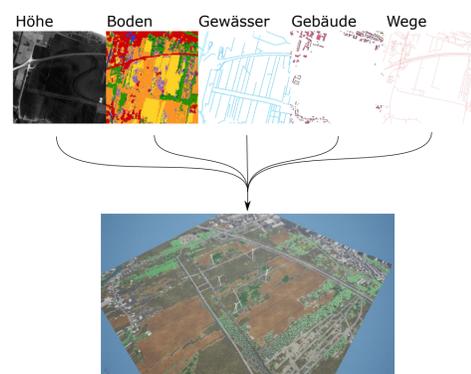
Nachbildung des Windparks Curslack in Unreal Engine 4



Simulierte Geräuschquellen am WKA-Flügel: Blattspitze (orange) und Blatthinterkante (grün)

Um zukünftige Szenarien in Virtual Reality abzubilden, ist die teilweise oder vollständige Rekonstruktion eines virtuellen Modells notwendig. In klassischen Virtual Reality Produktion ist die Erzeugung einer stimmigen und je nach Zweck realistischer Umgebung das Resultat eines langwierigen, meist künstlerischen Prozesses. Wenn diese Technologie zur Kommunikation realer Auswirkungen benutzt werden soll, spielt der Realismus der erzeugten Umgebung eine deutlich größere Rolle und erfordert eine Unterfütterung kreativer Designentscheidungen durch wissenschaftliche Prinzipien. Andernfalls bleibt die Simulation ein künstliches Produkt welches nur geringen Anspruch auf Realismus stellen kann. Dies trifft sowohl auf die visuellen Inhalte, wie auch auf die auditiven zu.

### UMGEBUNGSREKONSTRUKTION MITTELS GEO-DATEN

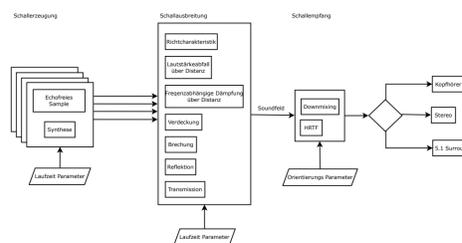


Geodatenebenen und die daraus generierte Umgebung um den Windpark Curslack.

Mit zunehmenden Standardisierungsbemühungen werden öffentliche Geo-Daten eine wertvolle Ressource zur Rekonstruktion real existierender Landschaften in Virtual Reality. Durch eine Integration von Bibliotheken für gängige Geo-Daten Formate können diese in die virtuelle Umgebung importiert werden und mittels datengetriebener Generierung die Zeit zum Erstellen der visuellen Umgebung drastisch reduzieren. Aus einem digitalen Geländemodell kann die Landschaftsgeometrie geformt werden, ein Bodenbedeckungsmodell definiert Texturen und Vegetation, weitere Vektordaten können genutzt werden um Gewässer, Häuser und Strassen zu generieren.

### AKUSTISCHE SIMULATION

Damit eine so erzeugte Umgebung die Möglichkeit bietet, sich frei in ihr zu bewegen ist es erforderlich, dass einige Parameter der akustischen Simulation zur Laufzeit manipuliert werden. So hängen viele akustische Effekte zum Beispiel vom zeitlichen Verlauf der relativen Position von Sender und Empfänger zueinander ab.



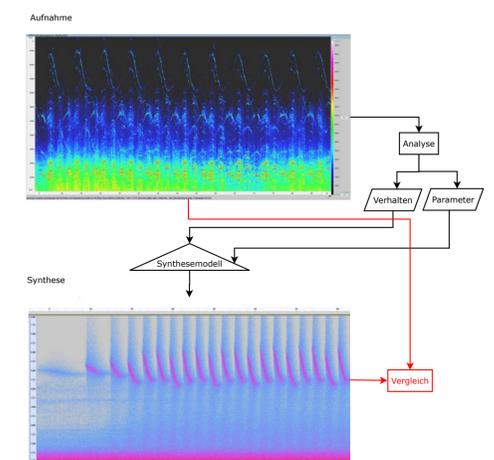
Übersicht: Pipeline für räumliche, akustische Simulation von Punktschallquellen

In der Praxis werden Schallerzeugung, Schallausbreitung sowie Schallempfang getrennt voneinander simuliert. Dabei wird der Schall zunächst so modelliert wie er sich an der Quelle anhört, also ohne Beeinflussung durch die Umgebung. Im zweiten Schritt wird die Ausbreitung des Schalls von der Quelle zum Empfänger modelliert. Hierbei spielt eine Fülle an Effekten eine Rolle die zum Teil unter Berücksichtigung der visuellen Geometrie berechnet werden. Das Ergebnis ist ein Soundfeld, das alle hörbaren Schallquellen aus ihren jeweiligen Richtung encodiert. Im letzten Schritt wird dieses Soundfeld in Blickrichtung rotiert und auf die gewünschte Lautsprecherkonfiguration oder mittels kopfbezogener Transferfunktionen (HRTF) für Kopfhörer gerendert. In jedem der drei Simulationschritte spielen Laufzeitparameter eine Rolle die das am Ende empfangene Audiosignal teilweise signifikant beeinflussen. Durch die transparente Natur von Geräuschen ist auch aus Messungen nicht immer offensichtlich, welche Parameter für den beobachteten Effekt verantwortlich sind.

### RESEARCH QUESTION

Während die Erzeugung der visuellen Umgebung relativ einfach automatisierbar ist, tauchen bei der Modellierung der akustischen Umgebung ein Fülle an Fragen auf, die bei der Spieleentwicklung als kreative Designentscheidungen gefällt werden. Der

Anspruch einer realistischen Simulation lässt dieses Vorgehen allerdings nicht zu. Für eine informierte Simulation ist die Berücksichtigung physikalischer Gesetze der Akustik notwendig um ambivalente Beobachtungen aufzuklären. Während bisherige Frameworks für Soundscapes sich vor allem auf Aufnahme und Wiedergabe beziehen, geben sie nur limitierte Vorgaben für synthetische, simulierte Soundscapes. Ein methodisches Framework, welches sich auf die spezifischen Aspekte der drei Simulationsschritte bezieht, soll zur Verkleinerung des Variablenraums der akustischen Simulation führen und somit dazu beitragen die Produktionszeit realistischer, audio-visueller Virtual Reality Umgebungen zu verkürzen.



Aufnahmen werden analysiert um Synthesemodelle und -Parameter zu gewinnen. Durch Vergleich von Aufnahme mit Synthese soll die Ähnlichkeit verifiziert werden.

Neuere Forschung zur Evaluierung von virtuellen Umgebungen geht davon aus, dass reine Nutzerstudien nicht ausreichen um die ökologische Validität der Simulation zu bestimmen. Dies wird mit dem unvollständigen Verständnis des menschlichen Kognitionsprozesses erklärt. Eine Erweiterung von Nutzerstudien durch parallele, psychologische Verhaltensstudien verwendet das Verhalten der Benutzer in der virtuellen Umgebung als zusätzliche Dimension zur Evaluierung. Eine Möglichkeit zum algorithmischen Vergleich aufgenommener und synthetisierter Geräusche könnte als unabhängiger Validierungsfaktor dienen, der nicht von der menschlichen Kognition abhängig ist.