

# Flex-Efficiency

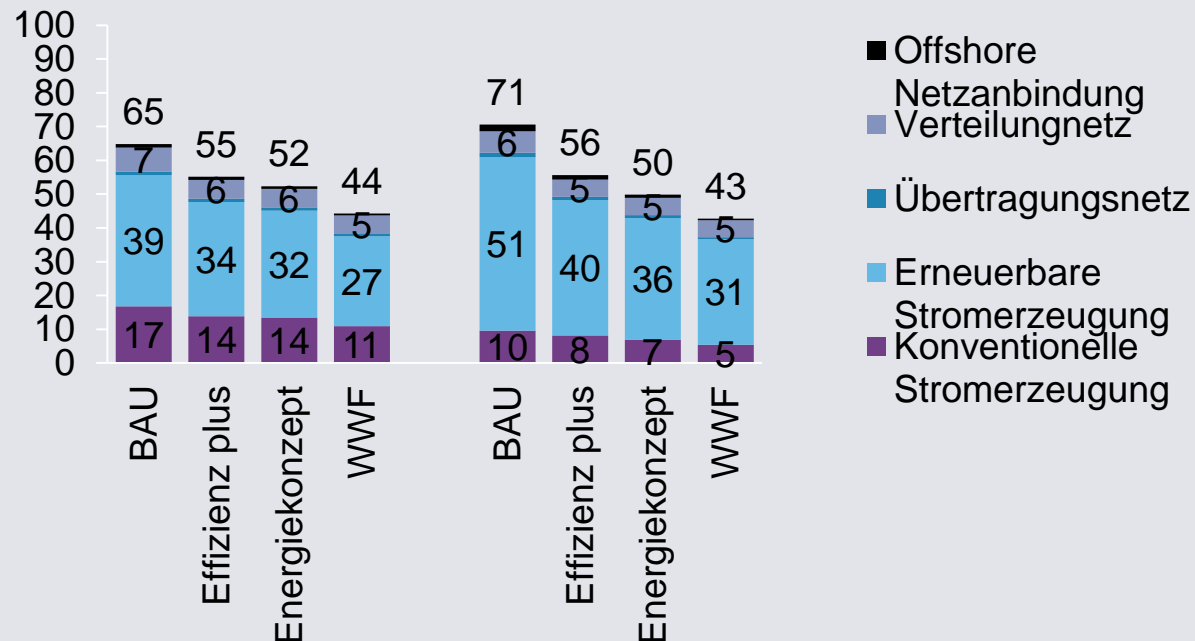
*Ein Konzept zur Integration von Effizienz  
und Flexibilität bei industriellen  
Verbrauchern.*

**Alexandra Langenheld**

**BERLIN, 8. JULI 2016**

# Energieeffizienz ist eine konstituierende Säule der Energiewende

Gesamtkosten des Stromsystems



Prognos AG/IAEW (2014): Positive Effekte von Energieeffizienz auf den deutschen Stromsektor.

## Steigerung der Effizienz

Reduktion des Stromverbrauchs gegenüber 2008:  
- 10% in 2020; - 25% in 2050

Je sparsamer industrielle Produktionsprozesse und private Haushalte mit Strom umgehen, desto weniger Kraftwerke (Konventionelle, Erneuerbare) und Netze werden benötigt.

Höhere Effizienz senkt Kosten des Gesamtsystems deutlich um bis zu 28 Milliarden Euro im Jahr 2050.

Eine eingesparte Kilowattstunde bewirkt eine Kosteneinsparung zwischen 11 und 15 €Cent.



# Bei den Energieverbrauchern, insbesondere den Großverbrauchern in der Industrie, schlummern erhebliche Potenziale für mehr Flexibilität



© Oleksiy Mark – Fotolia

Bei mehr als 50 Prozent Erneuerbaren Energien schwankt der Systemwert von Effizienz und Flexibilität im Tages- und Jahresverlauf. Das hat Auswirkungen auf Strommärkte und -preise.

Effizienz und Flexibilität setzen zunehmend Anreize für unternehmerische Entscheidungen und verschmelzen zum Konzept der Flex-Efficiency als Design für neue Anlagen und Geräte.

Über Lastmanagement können Unternehmen die Zeiten niedriger Börsenstrompreise bei hoher Wind- und PV-Einspeisung voll ausnutzen.

Energieeffizienz-Politik sollte daher Flex-Efficiency in den Vordergrund rücken.

# Wenn Effizienz und Flexibilität im Rahmen von Flex-Efficiency künftig zusammengedacht werden, kann das sowohl zu Synergien führen als auch Wechselwirkungen haben

**Wir haben uns deshalb gefragt, was Flex-Efficiency konkret für die unternehmerische Praxis heißt:**

- Welche **technischen und wirtschaftlichen Optionen** bestehen überhaupt für eine Optimierung auf der Ebene der Unternehmen?
- Welche **Rahmenbedingungen und Anreize** wären erforderlich, damit die Unternehmen die aus volkswirtschaftlicher Sicht richtigen Betriebs- und Investitionsentscheidungen treffen und dem Stromsystem Effizienz und Flexibilität im kosteneffizienten Umfang anbieten?

## Die Studie gliedert sich daher entsprechend der unterschiedlichen Analysedimensionen

---

- **Anlagenebene:** Technische Umsetzung von Effizienz und Flexibilität in einer Anlage – stellen sie Synergien da, oder stehen sie in einem Spannungsfeld zueinander?
- **Gesamtsystem:** Wie werden im Gesamtsystem Effizienz und Flexibilität idealerweise kombiniert?
- Effizienz und Flexibilität in der **betrieblichen Praxis:** zwei Fallstudien – Aluminium-Elektrolyse bei Trimet und Pumpenanlagen
- **Hemmnisse:** Welche Hemmnisse stehen einer optimalen Kombination von Effizienz und Flexibilität entgegen?
- **Maßnahmen:** Welche Maßnahmen sind geeignet um Hemmnisse abzubauen?
- **Umsetzung:** Was können Unternehmen heute tun, um die Synergien zu nutzen?

## Die Studie gliedert sich daher entsprechend der unterschiedlichen Analysedimensionen

- **Anlagenebene:** *Technische Umsetzung von Effizienz und Flexibilität in einer Anlage – stellen sie Synergien da, oder stehen sie in einem Spannungsfeld zueinander?*
- **Gesamtsystem:** Wie werden im Gesamtsystem Effizienz und Flexibilität idealerweise kombiniert?
- Effizienz und Flexibilität in der **betrieblichen Praxis:** zwei Fallstudien – Aluminium-Elektrolyse bei Trimet und Pumpenanlagen
- **Hemmnisse:** Welche Hemmnisse stehen einer optimalen Kombination von Effizienz und Flexibilität entgegen?
- **Maßnahmen:** Welche Maßnahmen sind geeignet um Hemmnisse abzubauen?
- **Umsetzung:** Was können Unternehmen heute tun, um die Synergien zu nutzen?

# Auf Anlagenebene existieren unterschiedliche technische Möglichkeiten zur Umsetzung von Effizienz und Flexibilität

## Umsetzung von Effizienz und Flexibilität auf Anlagenebene

### Effizienz

Angepasste Prozessdimensionierung

Moderne Anlagentechnik

Verbesserung Isolierung

Prozessumstellung/ -kopplung

Verringerung Strömungswiderstände

Anpassung Nutzungszeiten

### Flexibilität

Prozessumstellung

Nutzung von Speichern, wie:

- Wärmespeicher
- Kältespeicher
- Druckluftspeicher
- Wasserspeicher
- Gasspeicher
- Materialspeicher

## Effizienz und Flexibilität können in unterschiedlicher Wechselwirkung zueinander stehen

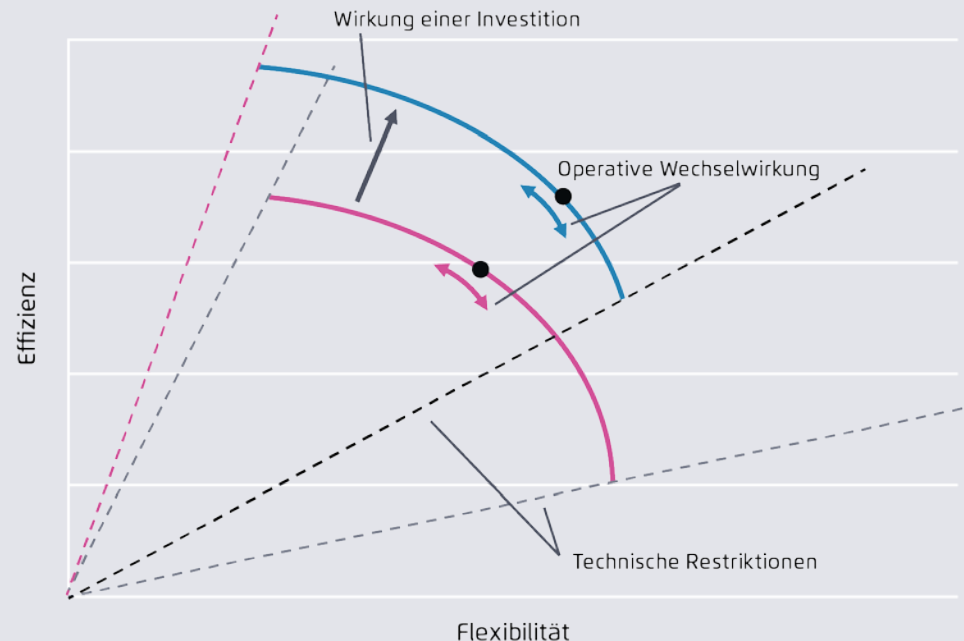
### Mögliche Synergien und Wechselwirkungen von Investitionen:

- a. Sowohl Effizienz als auch Flexibilität werden gesteigert (**Synergiefall**)
- b. Ein Beitrag zur Effizienz wird geleistet, diese Investition reduziert aber die Flexibilität (**Wechselwirkung**)
- c. Die Flexibilität erhöht sich, dadurch wird aber die Effizienz vermindert (**Wechselwirkung**)
- d. Es besteht **keine Wechselwirkung** zwischen einer Erhöhung der Effizienz und der Flexibilität



## Die Wechselwirkungen können auch schematisch in einem Diagramm dargestellt werden

Schematische Darstellung von operativer und investiver Wechselwirkung



Ecofys (2016)

Die beiden durchgezogenen Kurven-Linien zeigen zwei operative Kennlinien, die die innerhalb von technischen Restriktionen (gestrichelte Linien) möglichen Kombinationen von Effizienz und Flexibilität darstellen.

Werden zusätzlich investive Entscheidungen in die Abwägung einbezogen, ergibt sich ein zusätzlicher Freiheitsgrad.

Denn durch eine Verschiebung der operativen Kennlinie (rot zu blau) kann sowohl Effizienz als auch Flexibilität gesteigert werden (Fall A).

Es existieren jedoch zahlreiche technische Konstellationen, bei denen durch Investitionsentscheidungen Effizienz oder Flexibilität auf Kosten der jeweils anderen Eigenschaft gesteigert werden.

# Anhand dieses Schemas können verschiedene technische Maßnahmen kategorisiert werden

## Synergien und Wechselwirkungen technischer Maßnahmen

Technisches Element/Maßnahme	Operativ vs. investiv	Beitrag zu Energieeffizienz	Beitrag zur Flexibilisierung	Wechselwirkungen? (Typ)	Beschreibung der Beziehung
Einführung, Verbesserung Kontroll- und Steuerungstechnologien	investiv	+	+	Synergie (Typ A)	Durch Prozesssteuerung kann sowohl Energieeffizienz verbessert als auch Lastverlagerung gesteuert werden
Erhöhung der Speicherfähigkeit durch Isolierung	investiv	+	+	Synergie (Typ A)	Isolierung vermindert Wärmeverluste und erhöht damit gleichzeitig die Speicherfähigkeit und damit die Flexibilität
Umstellung des Prozesses auf alternatives, effizienteres Verfahren	investiv	+	+	Synergie (Typ A)	Die Umstellung auf einen flexibleren Prozess kann zur Erhöhung der Effizienz führen
Reduzierung der Überdimensionierung bei Strömungsmaschinen	investiv	+	-	Wechselwirkungen (Typ B)	Wird die Überdimensionierung reduziert und in neue Maschinen investiert, reduziert sich die Flexibilität, aber die Effizienz erhöht sich
Anpassung der Prozessintensität	operativ	-	+	Wechselwirkungen (Typ C)	Prozess wird hinsichtlich seiner Intensität variiert und aus seinem Optimalpunkt herausgefahren
Fahren im Teillastbereich bei überdimensionierter Anlagenauslegung bei Strömungsmaschinen	operativ	-	+	Wechselwirkungen (Typ C)	Durch abnehmenden Wirkungsgrad von Strömungsmaschinen im Teillastbereich reduziert sich die Effizienz
Erhöhung Speicher (Energie, Material) im Produktionsprozess	investiv	-	+	Wechselwirkungen (Typ C)	Speicher erhöhen Flexibilität, dabei treten möglicherweise Speicherverluste auf, die die Effizienz verringern
Wärmerückgewinnung Abwärme	investiv	+	O	Keine Beziehung (Typ D)	Durch Wärmerückgewinnung wird die Flexibilität nicht beeinflusst
Erhöhung Effizienz Strömungsmaschinen	investiv	+	O	Keine Beziehung- (Typ D)	Bei Investition in gleichdimensionierte, effizientere Maschinen erhöht sich die Effizienz, die Flexibilität wird nicht beeinflusst
Erhöhung Effizienz Leuchtmittel	investiv	+	O	Keine Beziehung -(Typ D)	Durch die bessere Lichtausbeute wird die Flexibilität nicht beeinflusst
Verringerung Strömungsverluste in Rohrleitungssystemen	investiv	+	O	Keine Beziehung -(Typ D)	Durch Verringerung der Strömungsverluste wird Flexibilität nicht beeinflusst.

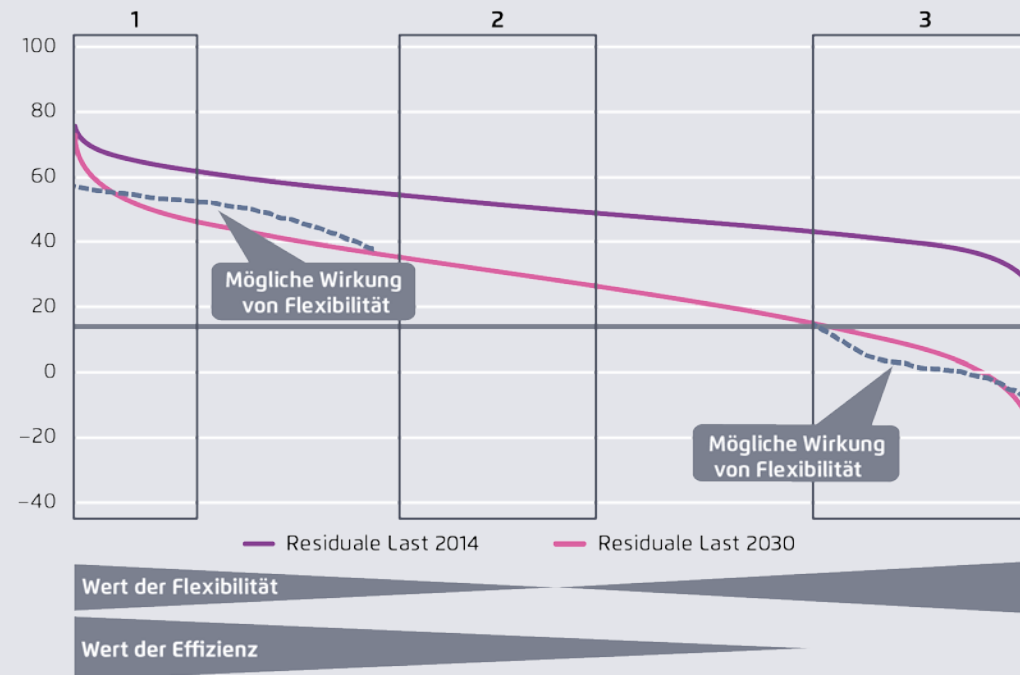
## Ecofys (2016)

## Die Studie gliedert sich daher entsprechend der unterschiedlichen Analysedimensionen

- **Anlagenebene:** Technische Umsetzung von Effizienz und Flexibilität in einer Anlage – stellen sie Synergien da, oder stehen sie in einem Spannungsfeld zueinander?
- **Gesamtsystem:** *Wie werden im Gesamtsystem Effizienz und Flexibilität idealerweise kombiniert?*
- Effizienz und Flexibilität in der **betrieblichen Praxis:** zwei Fallstudien – Aluminium-Elektrolyse bei Trimet und Pumpenanlagen
- **Hemmnisse:** Welche Hemmnisse stehen einer optimalen Kombination von Effizienz und Flexibilität entgegen?
- **Maßnahmen:** Welche Maßnahmen sind geeignet um Hemmnisse abzubauen?
- **Umsetzung:** Was können Unternehmen heute tun, um die Synergien zu nutzen?

# Die Wertigkeit von Effizienz und Flexibilität hängt von der Höhe der Residuallast ab

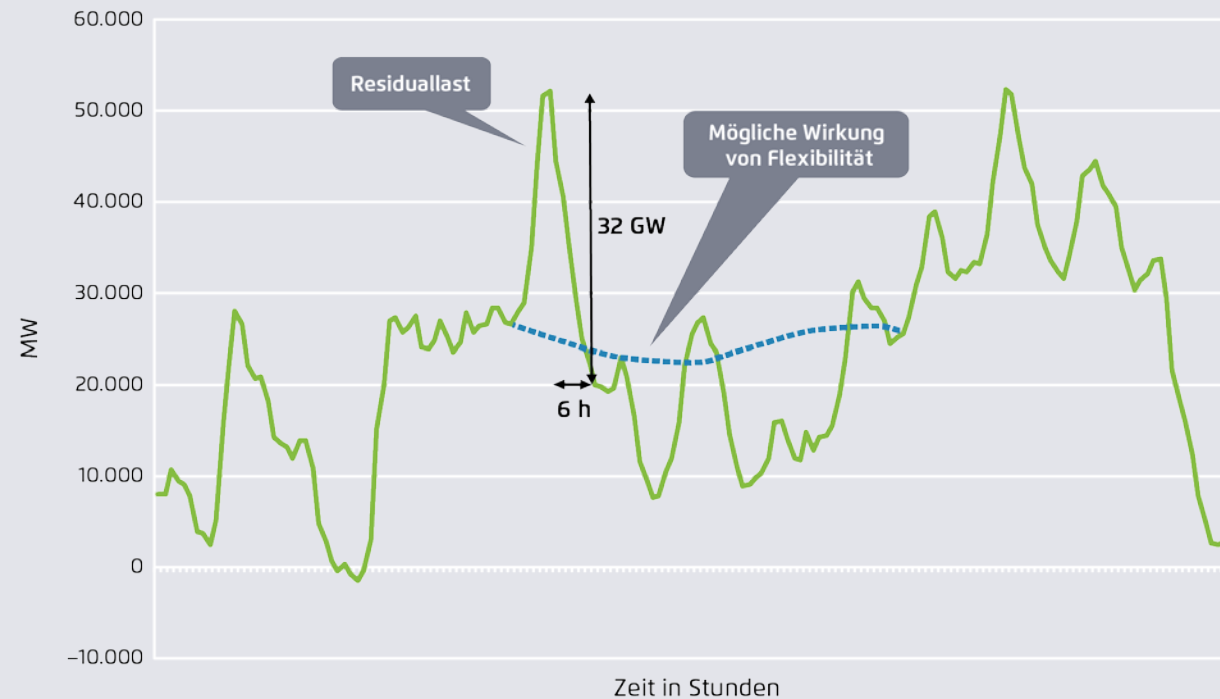
Geordnete Jahresdauerlinien der Residuallast



Ecofys (2016)

# Auf Systemebene kann Flexibilität zu einer Vermeidung von Extrema und starken Rampen der Residuallast genutzt werden

Gradient einer modellierten Residuallast im Jahr 2030 und mögliche Wirkung von Flexibilität



Ecofys (2016)



## Zwischenfazit

---

### **Die Herausforderung besteht darin,**

- die operativen und investiven Entscheidungen über die Abwägung von Effizienz und Flexibilität mit den sich zeitlich ändernden Systemanforderungen in Einklang zu bringen.

### **Werden Effizienz und Flexibilität in volkswirtschaftlich optimaler Weise eingesetzt,**

- helfen sie, ein Kostenminimum für das Stromversorgungssystem zu erreichen, insbesondere wenn dies stärker von volatiler Erzeugung geprägt ist.

### **Dabei gilt es,**

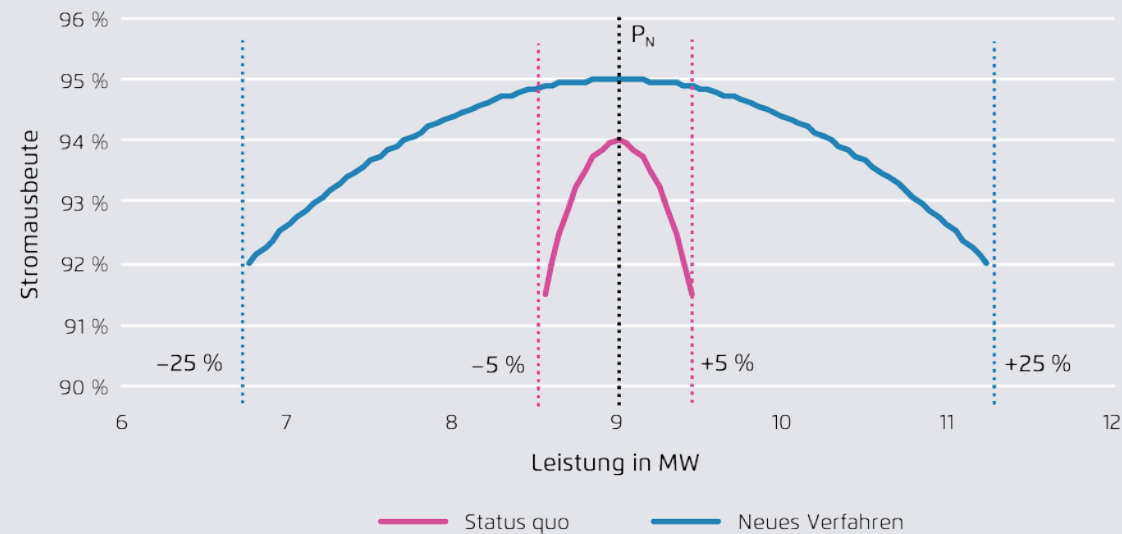
- zunächst operative Allokationsaufgaben zu lösen. In einer dynamischen Betrachtung ist darüber hinaus auch über Investitionen zu entscheiden.

## Die Studie gliedert sich daher entsprechend der unterschiedlichen Analysedimensionen

- **Anlagenebene:** Technische Umsetzung von Effizienz und Flexibilität in einer Anlage – stellen sie Synergien da, oder stehen sie in einem Spannungsfeld zueinander?
- **Gesamtsystem:** Wie werden im Gesamtsystem Effizienz und Flexibilität idealerweise kombiniert?
- *Effizienz und Flexibilität in der **betrieblichen Praxis**: zwei Fallstudien – Aluminium-Elektrolyse bei Trimet und Pumpenanlagen*
- **Hemmnisse:** Welche Hemmnisse stehen einer optimalen Kombination von Effizienz und Flexibilität entgegen?
- **Umsetzung:** Was können Unternehmen heute tun, um die Synergien zu nutzen?

# Trimet erzielt durch Investition eine Steigerung von Effizienz und Flexibilität

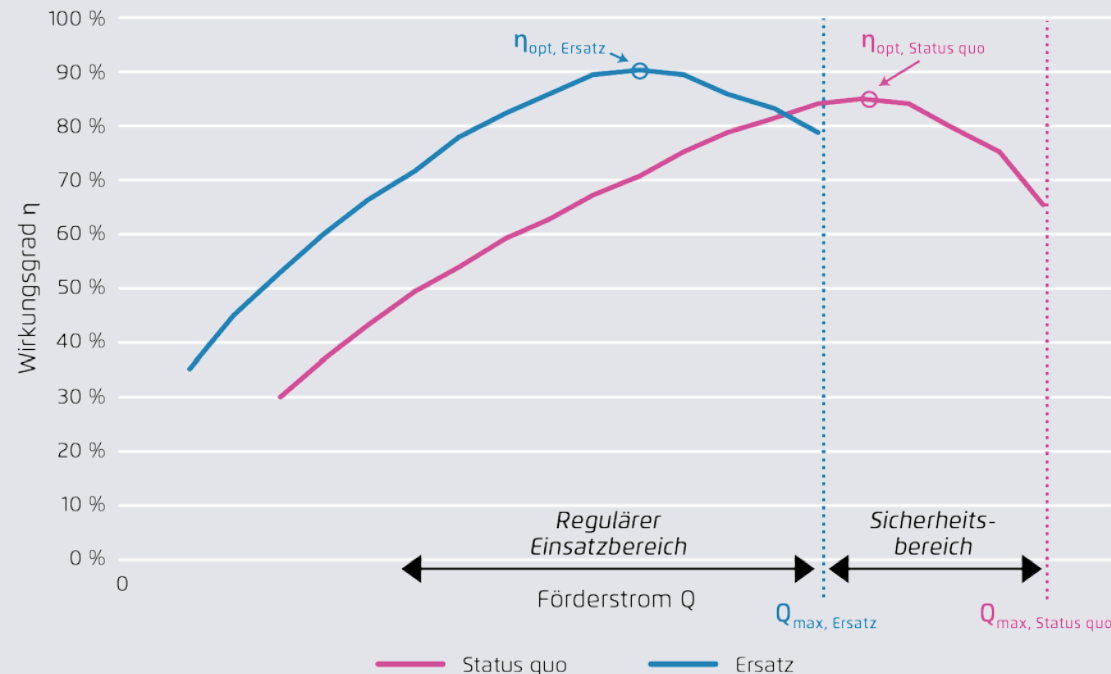
Darstellung des Zusammenhangs zwischen Effizienz und Flexibilisierung von zwölf Elektrolyse-Öfen der Aluminiumproduktion durch den Einsatz von Wärmetauschern der Trimet Aluminium SE



Ecofys (2016)

## Bei Pumpenanlagen treten auch bei einer Investition Wechselwirkungen zwischen Effizienz und Flexibilität auf

Schematische Darstellung der Auswirkungen des Ersatzes einer bestehenden, überdimensionierten Pumpe durch eine kleinere, effizientere Pumpe



Ecofys (2016)

## Zwischenfazit

**Im Status quo** (operative Anpassung) führt die Nutzung der Flexibilität der Anlagen/ Prozesse zu Abweichungen vom optimalen Betriebspunkt und zu einem Betrieb mit geringerem Wirkungsgrad:

→ *Entweder sinkt die Stromausbeute der Elektrolyse beim Verlassen des Optimalpunktes oder der Wirkungsgrad der Pumpenanlage sinkt (negative Wechselwirkung).*

**Bei investiven Maßnahmen** treten sowohl Synergien als auch Wechselwirkungen von Effizienz und Flexibilität auf:

→ *Im Fall von Trimet wird eine Steigerung der Effizienz und der Flexibilität erreicht. Im Pumpenbeispiel geht die Effizienzsteigerung mit einer geringeren Flexibilität einher.*

**Die Herausforderung ist**, das aus Systemsicht optimale Verhältnis mit der Sicht der Investoren in Einklang zu bringen:

→ *Trimet hat in Erwartung einer steigenden Nachfrage nach Flexibilität eine höhere Investition getätigt. Investoren in Querschnittstechnologien können den Systemvorteil einer höheren Investition zur Erreichung von mehr Flexibilität und Effizienz auf betrieblicher Ebene seltener aktivieren.*



## Die Studie gliedert sich daher entsprechend der unterschiedlichen Analysedimensionen

---

- **Anlagenebene:** Technische Umsetzung von Effizienz und Flexibilität in einer Anlage – stellen sie Synergien da, oder stehen sie in einem Spannungsfeld zueinander?
- **Gesamtsystem:** Wie werden im Gesamtsystem Effizienz und Flexibilität idealerweise kombiniert?
- Effizienz und Flexibilität in der **betrieblichen Praxis:** zwei Fallstudien – Aluminium-Elektrolyse bei Trimet und Pumpenanlagen
- **Hemmnisse:** *Welche Hemmnisse stehen einer optimalen Kombination von Effizienz und Flexibilität entgegen?*
- **Maßnahmen:** Welche Maßnahmen sind geeignet um Hemmnisse abzubauen?
- **Umsetzung:** Was können Unternehmen heute tun, um die Synergien zu nutzen?

## Preissignale zeigen idealerweise die Systemanforderungen nach Flexibilität und Effizienzniveau an

Zusammenfassung der Preisanreize für Effizienz und Flexibilität aus dem Strom-Großhandelsmarkt

	Effizienzanreiz	Flexibilitätsanreiz
Kurzfristig (operativ)	Niveau von Spot- und Intraday-Preisen	Volatilität von Spot- und Intraday-Preisen Preise für Flexibilitätsprodukte
Langfristig (investiv)	Forward-Preise Evtl. zukünftig: Effizienzmärkte	Langfristig erwartete Volatilität der Großhandelspreise Langfristig erwartete Preise für Flexibilitätsprodukte

Ecofys (2016)

## Zahlreiche Hemmnisse lassen die Preisanreize jedoch nicht vollständig wirksam werden

### **Das Preissignal wirkt nur eingeschränkt, denn**

- das Preissignal aus dem Großhandelsmarkt wird nur mittelbar an die Endverbraucher weitergegeben
- es existieren Defizite im Marktdesign von Flexibilitätsmärkten
- Fehlanreize werden durch die Struktur der Netznutzungsentgelte bedingt
- weitere Fehlanreize werden durch Abgaben, Umlagen und sonstige Entgelte ausgelöst

### **Es existieren weitere Hemmnisse (Marktunvollkommenheiten), die volkswirtschaftlich sinnvolle Investitionen in Effizienz hemmen, wie**

- Informationsmängel und Unsicherheit über künftige Entwicklungen
- Technisch-ökonomische Anpassungsmängel
- Investor/Nutzer Dilemma (v.a. für Wärmeeffizienz in Wohngebäuden)

## Die Studie gliedert sich daher entsprechend der unterschiedlichen Analysedimensionen

- **Anlagenebene:** Technische Umsetzung von Effizienz und Flexibilität in einer Anlage – stellen sie Synergien da, oder stehen sie in einem Spannungsfeld zueinander?
- **Gesamtsystem:** Wie werden im Gesamtsystem Effizienz und Flexibilität idealerweise kombiniert?
- Effizienz und Flexibilität in der **betrieblichen Praxis:** zwei Fallstudien – Aluminium-Elektrolyse bei Trimet und Pumpenanlagen
- **Hemmnisse:** Welche Hemmnisse stehen einer optimalen Kombination von Effizienz und Flexibilität entgegen?
- **Maßnahmen:** *Welche Maßnahmen sind geeignet um Hemmnisse abzubauen?*
- **Umsetzung:** *Was können Unternehmen heute tun, um die Synergien zu nutzen?*

## Zur Beseitigung der Hemmnisse sind Maßnahmen im regulatorischen Bereich und auf Unternehmensebene denkbar

### Maßnahmen im regulatorischen Bereich

- Verbesserung der Preissignale
- Verbesserung Marktdesign von Flexibilitätsmärkten
- Überprüfung von Netznutzungsentgelten und weiteren Abgaben/ Umlagen
- Überwindung von Informationsmängeln und Unsicherheiten
- Anpassung ISO 50001

### Maßnahmen auf Unternehmensebene

- Operativ
  - Transparenz der Wechselwirkungen schaffen
  - Anpassungen operativ durchführen
  - Integration von Flexibilitätsaspekten in Energiemanagementsysteme
- Investiv
  - Wechselwirkungen beim Anlagendesign und Investitionsentscheidungen berücksichtigen

→ ***Es besteht noch weiterer Forschungsbedarf zur Quantifizierung der Wechselwirkungen, der Auswirkungen im Gesamtsystem sowie zu regulatorischen Maßnahmen und Praxislösungen***



## Ergebnisse auf einen Blick

1

**Effizienz und Flexibilität wachsen zusammen zu einem gemeinsamen Konzept: Flex-Efficiency.** Denn mit immer mehr Erneuerbaren Energien in der Stromversorgung bekommt Effizienz eine zeitliche Komponente: Wenn die Sonne nicht scheint oder der Wind nicht weht, steigen die Strombörsenpreise – und Stromeffizienz wird wertvoller als in Zeiten hoher Erneuerbare Energien-Stromproduktion.

2

**Flex-Efficiency wird zum Paradigma für Design und Betrieb von Industrieanlagen.** Mit zunehmenden Anteilen von Wind- und Solarstrom werden die Preisschwankungen an der Strombörse steigen. Bei der Entwicklung neuer Industrieanlagen sollten Energieeffizienz und Flexibilität schon heute gemeinsam gedacht werden, um in Zukunft von den Stunden mit niedrigen Preisen zu profitieren.

3

**Die Flexibilitätsmärkte und deren Produkte sollten weiter verbessert werden.** Marktzugang, Marktstrukturen und die richtigen Produkte (zum Beispiel abschaltbare Lasten und weiteres Demand Side Management) sind entscheidend dafür, dass Marktpreissignale einen aus Systemsicht optimierten und zugleich wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen oder entsprechende Investitionen anreizen.

4

**Investitionen in Flex-Efficiency brauchen eine Kombination von marktlichen und anderen Anreizen.** Marktpreise generieren gute Anreize für die Optimierung und den Betrieb großer, energieintensiver Anlagen. Sie versagen jedoch oft bei „durchschnittlichen“ Prozessen, Speichern und Querschnittstechnologien. Ergänzende Instrumente sind erforderlich, um dieses Potenzial zu heben.

**Agora Energiewende**  
Rosenstraße 2  
10178 Berlin

T +49 (0)30 284 49 01-00  
F +49 (0)30 284 49 01-29  
[www.agora-energiewende.de](http://www.agora-energiewende.de)

✉ Abonnieren sie unseren Newsletter unter  
[www.agora-energiewende.de](http://www.agora-energiewende.de)  
🐦 [www.twitter.com/AgoraEW](https://www.twitter.com/AgoraEW)



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Haben Sie noch Fragen oder Kommentare? Kontaktieren Sie mich gerne:

[Alexandra.Langenheld@agora-energiewende.de](mailto:Alexandra.Langenheld@agora-energiewende.de)

Agora Energiewende ist eine gemeinsame Initiative der Stiftung Mercator und der European Climate Foundation.