



## DAS PROJEKT »FlexASU«

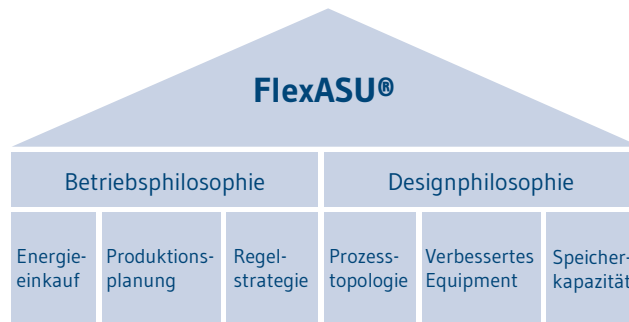
### Ausgangssituation

Mit einer geschätzten Anschlussleistung von ca. 930 MW in Deutschland und einem Anteil am gesamten deutschen Strombedarf im einstelligen Prozentbereich stellt die kryogene Luftzerlegung einen wesentlichen Hebel zur Flexibilisierung des industriellen Stromverbrauches dar. Etwa 30 % der Anschlussleistung (ca. 300 MW) entfällt auf die sog. Bulk-Produktion von Flüssiggasen. Durch eine aktive Nutzung der Produkttanks als Puffer ließen sich entsprechende Anlagen direkt flexibilisieren. Weitere Potentiale können in der On-site-Produktion von Gasen (ca. 600 MW) durch eine gleichzeitige Flexibilisierung des Gaskunden entstehen (bspw. eines Stahlwerkes).

### Problemstellung

Aktuelle Luftzerlegungsanlagen (LZA) sind meist auf einen stationären Betrieb ausgelegt. Häufige, schnell spürbare Lastwechsel im Rahmen der Lastflexibilisierung könnten die Anlagenkomponenten stark beanspruchen. Zusätzlich kann ein Verlassen des Auslegungspunktes mit einem signifikanten Effizienzverlust einhergehen.

Entwicklung von Technologien zur Steigerung der Lastflexibilität von Luftzerlegungsanlagen.



## HIGHLIGHTS

- › Aufbau eines Teststandes in industriell relevantem Maßstab für die Evaluierung von konstruktiven Anpassungen an Wärmeüberträgern unter flexiblem Betrieb
- › Aufbau und Betrieb eines Windkanals zur strömungstechnischen Untersuchung von Kompressortechnologien mit erweitertem Lastbereich
- › In-silico Demonstration neuer Konzepte zur Betriebsführung anhand virtueller Anlagen
- › Zahlreiche Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Journalen und auf Fachtagungen
- › Industrielle Anwendung erster Entwicklungen (»Smart Restart«-Konzepte)

## KOOPERATIONSPARTNER



SynErgie FastTrack

## FlexASU

Linde AG & MAN Energy Solutions SE



**KOPERNIKUS**  
SynErgie **PROJEKTE**  
Die Zukunft unserer Energie

# ERGEBNISSE

## Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch Strompreis-adaptierte Produktionsplanung

Um die Ausrichtung des Betriebes an eine Stromerzeugung aus regenerativen Quellen auch wirtschaftlich attraktiv zu gestalten, kann die Produktion von Luftgasen z. B. an Preisschwankungen in den Energiemärkten angepasst werden. Auf Basis von Leistungsdaten der Anlagen wird über die Verwendung numerischer Verfahren der optimale Anlagenbetrieb für vorliegenden Kundenbedarf sowie Vorhersagen über den Strommarkt ermittelt. Eine derart optimierte Produktionsplanung identifiziert bereits bei heutigen Preisschwankungen vielversprechende Potentiale zur Reduktion der Energiekosten. Zusätzlich erlauben die hier erstellten Modelle, mögliche Weiterentwicklungen (robustere Wärmetauscher, erweiterte Teillastbereiche, größere Produktspeicher, etc.) auf ihre Wirtschaftlichkeit zu untersuchen.

## Erhöhung der Robustheit des Wärmeübertragers durch konstruktive Maßnahmen und intelligenten Betrieb

Im lastflexiblen Betrieb können ungleichmäßige Temperaturverteilungen über das Bauteil mit zum Teil sehr hohen räumlichen und zeitlichen Gradienten entstehen. Die hervorgerufenen Thermospannungen können die Lebensdauer der Wärmeübertrager verringern. Durch konstruktive Änderungen und intelligente Betriebsweisen kann dem erhöhten Verschleiß bei flexiblem Betrieb entgegengewirkt werden. Daher wird im Rahmen von »FlexASU« zum einen eine detaillierte Modellbasis geschaffen, welche die simulative Untersuchung und Optimierung von Strategien für den lastflexiblen Betrieb ermöglicht. Zum anderen erlaubt der Teststand entsprechende Weiterentwicklungen experimentell zu untersuchen. Künftige Wärmeübertrager-Generationen werden daher eine gesteigerte Robustheit gegenüber Ermüdungsschäden bei hohen Lastspielzahlen zeigen.



## Erweiterung des Lastbereiches der Kompressoren durch zusätzliche Stellorgane

Gängige Kompressoren, welche in LZA zum Einsatz kommen, verfügen nur über einen kleinen verlustarmen Lastbereich. Dieser kann durch Einsatz verbesserter Stellorgane bzw. deren optimalem Zusammenspiel signifikant erweitert werden. Insbesondere zeigt sich der verbesserte Einsatz von Vor- und Nachleitgitter sowie die Verwendung von zweigeteilten Vorleitgitterprofilen vielversprechend. Der im Rahmen von »FlexASU« errichtete Windkanal erlaubt es, die Weiterentwicklungen direkt in relevantem Maßstab zu erproben. Die Anwendung dieser Entwicklungen im Haupt- und Nebenkompresseur einer LZA ermöglicht insgesamt einen deutlich vergrößerten und energieeffizienteren Teillastbetrieb.

## Schnellere Lastwechsel durch nichtlineare Regelungsalgorithmen

In simulativen Studien an virtuellen LZA wurde im Rahmen von »FlexASU« gezeigt, dass fortschrittliche nichtlineare Ansätze Vorteile bei der Lastwechselgeschwindigkeit gegenüber industriell gängigen linearen Reglern bieten. Die Berücksichtigung der Nichtlinearitäten kann dabei durch maschinelles Lernen erfolgen. In Zukunft kann so auf kurzfristige Anreize seitens des Energiemarktes besser reagiert werden. Die Methoden müssen nun auf industrielle Anforderungen, z.B. Echtzeitfähigkeit und Robustheit, hin weiterentwickelt werden und vor einem kommerziellen Einsatz im Technikumsmaßstab verifiziert werden. Zusätzlich werden detaillierte dynamische Anlagenmodelle erstellt und an realen Daten validiert. Diese digitalen Zwillinge erlauben, dass neue Betriebskonzepte für Industrieanlagen ohne Beeinträchtigung der Produktion in realitätsnahen Simulationen erprobt werden.

# KONTAKT

**Stefan Lochner | Linde AG**  
Engineering Division  
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6 – 14  
82049 Pullach, Germany  
Telefon: +49 (0) 89 7445 4783  
E-Mail: stefan.lochner@linde.com

**Dennis Bauer**  
Leiter Koordinierungsstelle Kopernikus-Projekt SynErgie  
Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart, Germany  
Telefon: +49 (0) 711 970-1241  
E-Mail: kopernikus-synergie@eep.uni-stuttgart.de

Oder besuchen Sie uns auf folgenden Seiten:



[kopernikus-projekte.de/synergie](http://kopernikus-projekte.de/synergie)

[linde.de](http://linde.de)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung