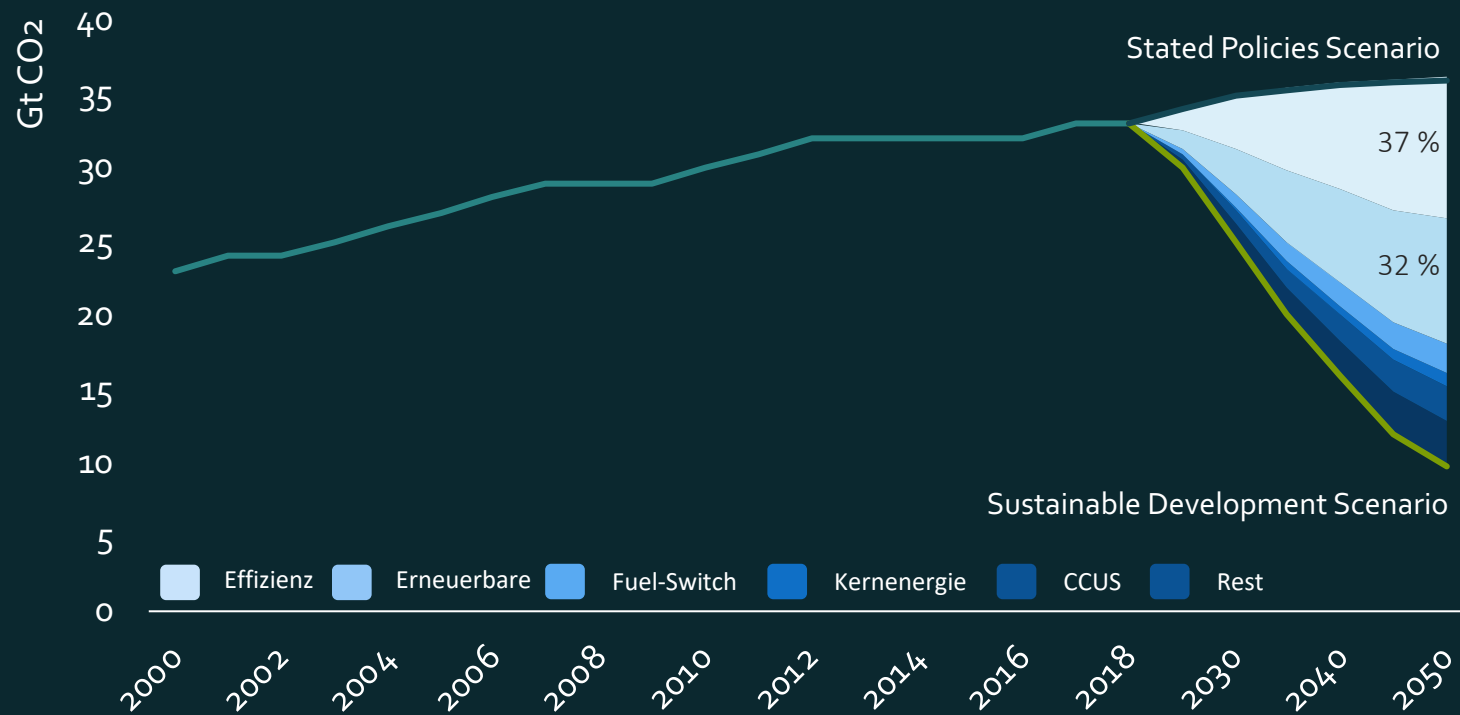


# Machine Learning und Mathematische Optimierung als wesentliche Verfahren zur Umsetzung der Energiewende

23. Juni 2020 | FernUni Hagen | Timo Panke

# It's the renewables, stupid! And efficiency, of course!



Quelle: International Energy Agency 2019, World Energy Outlook 2019, IEA, Paris

# Wichtige Herausforderungen bei der Erhöhung der EE-Quote und der Steigerung der Energieeffizienz

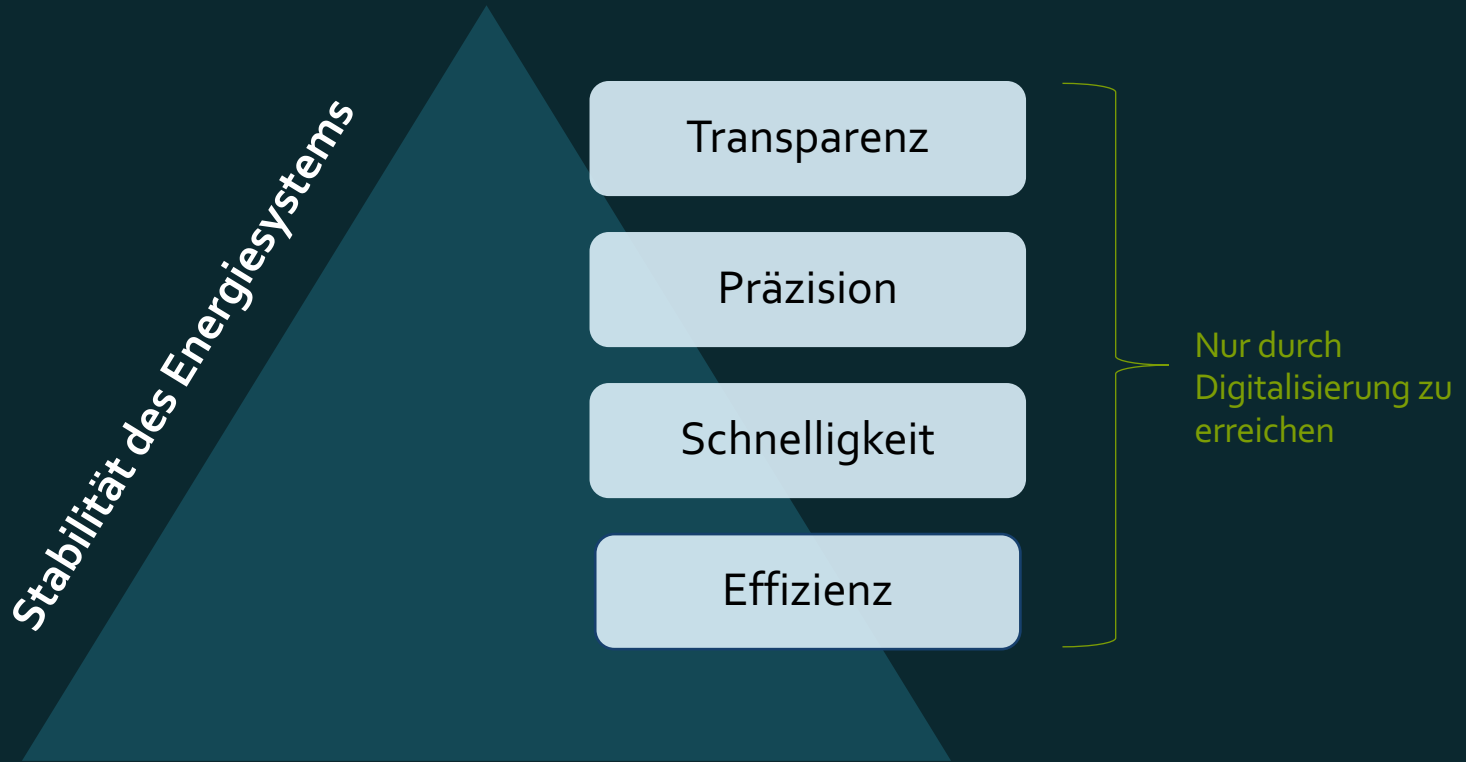
## Erhöhung der EE-Quote

- Anreize für Investitionen in Erneuerbare Energien
- Reduktion von Prognosefehlern
- Erhöhung der Flexibilität des Energiesystem
- Steigerung der Effizienz der Großhandelsmärkte

## Steigerung der Energieeffizienz

- Mehr Transparenz in Bezug auf Energieverbräuche
- Automatisierung der Identifikation von Effizienzmaßnahmen
- Missstände in Form erhöhter Verbräuche schnell identifizieren

# Digitalisierung ist die Grundlage für die Stabilität des Energiesystems



# Digitalisierung auf der Produktebene

		Optimierung	Automatisierung
Überwachung	Steuerung		
<p>Sensoren und Datenquellen ermöglichen die Überwachung von:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktstatus</li> <li>• Betrieb und Nutzung</li> <li>• Benachrichtigungen und Warnmeldungen</li> </ul>	<p>Software ermöglicht</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Steuerung der Produktfunktion</li> <li>• Regelbasierte Steuerung</li> </ul>	<p>Überwachung und Steuerung ermöglichen Algorithmen, die</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• die Effizienz des Produkts steigern</li> <li>• vorausschauende Wartungen und Diagnosen durchführen</li> </ul>	<p>Überwachung, Steuerung und Optimierung ermöglichen u. a.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• einen automatisierten Produktbetrieb</li> <li>• eine eigenständige Abstimmung mit anderen Systemen</li> <li>• Selbstdiagnose und Service</li> </ul>

# Digitalisierung auf der Produktebene

			<b>Automatisierung</b>
	<b>Steuerung</b>		
<b>Überwachung</b>			
<p>Sensoren und Datenquellen ermöglichen die Überwachung von:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktstatus</li> <li>• Betrieb und Nutzung</li> <li>• Benachrichtigungen und Warnmeldungen</li> </ul>	<p>Software ermöglicht</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Steuerung der Produktfunktion</li> <li>• Regelbasierte Steuerung</li> </ul>	<p>Überwachung und Steuerung ermöglichen Algorithmen, die</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• die Effizienz des Produkts steigern</li> <li>• vorausschauende Wartungen und Diagnosen durchführen</li> </ul>	<p>Überwachung, Steuerung und Optimierung ermöglichen u. a.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• einen automatisierten Produktbetrieb</li> <li>• eine eigenständige Abstimmung mit anderen Systemen</li> <li>• Selbstdiagnose und Service</li> </ul>

Hier setzen Machine Learning und Mathematische Optimierung an

# Künstliche Intelligenz, Machine Learning und Mathematische Optimierung – Versuch einer kurzen Einordnung

## Künstliche Intelligenz (KI)

Wahrnehmung der Umgebung und eigenständige Aktionen zur Erreichung von Zielen

## Machine Learning (ML)

- Teilgebiet der künstlichen Intelligenz
- Algorithmen, die sich automatisch auf Basis zusätzlicher Informationen verbessern

## Mathematische Optimierung (MO)

- Bestimmung optimaler Lösung komplexer Systeme
- MO findet häufig beim Training von ML-Algorithmen Anwendung

# Ausgewählte Anwendungsfälle für Machine Learning und Mathematische Optimierung in der Energiewende

## Machine Learning

- Anomalieerkennung
- Preis-, Last- und Erzeugungsprognosen
- Bilderkennung
- Vorausschauende Wartungen und Instandhaltungen
- Non-intrusive Load Monitoring

## Mathematische Optimierung

- Reduktion der Energiekosten / Erhöhung der Energieerlöse
- Reduktion von Ausschuss / Energieverschwendung
- Erhöhung der Reaktionsfähigkeit von Anlagen
- Bestimmung des Werts von Flexibilität



# Optimierung von Energie- und Produktionssystemen

## Inputs

Technische und ökonomische Rahmenbedingungen:

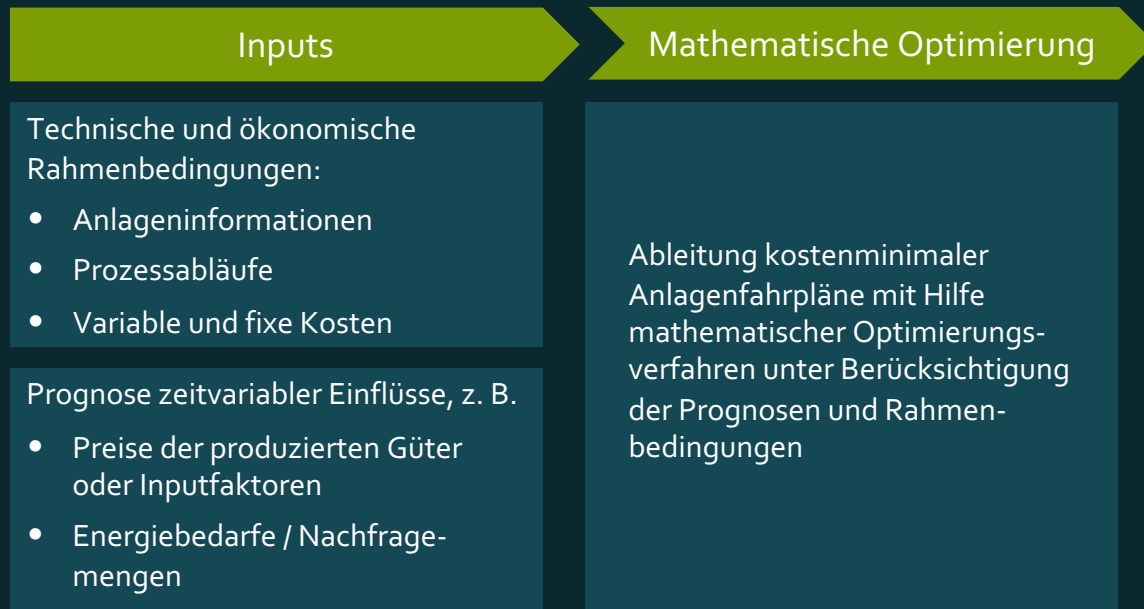
- Anlageninformationen
- Prozessabläufe
- Variable und fixe Kosten

Prognose zeitvariabler Einflüsse, z. B.

- Preise der produzierten Güter oder Inputfaktoren
- Energiebedarfe / Nachfragemengen



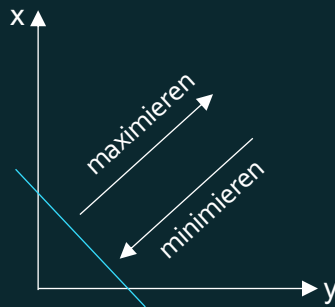
# Optimierung von Energie- und Produktionssystemen



# Mathematische Optimierung – Bestimmung der optimalen Lösung eines komplexen Systems

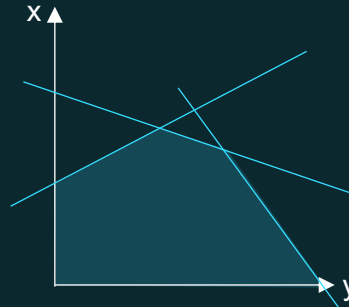
## Zielfunktion

- Ziel der Optimierung ist die Auswahl der optimalen Parameter, um eine definierte Zielfunktion zu minimieren oder zu maximieren
- Die Zielfunktion kann diverse Probleme beschreiben, z. B. die Kosten eines Prozesses oder die Auslastung einer Ressource



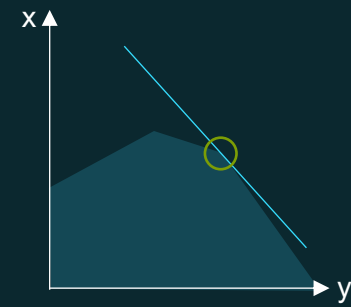
## Lösungsraum

- Der Lösungsraum beschreibt die Parameterkonstellationen, die unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen zulässig sind
- Nebenbedingungen sind Restriktionen wie bspw. die Verfügbarkeit von Ressourcen, zulässige Abfolgen von Prozessen oder die Nachfrage

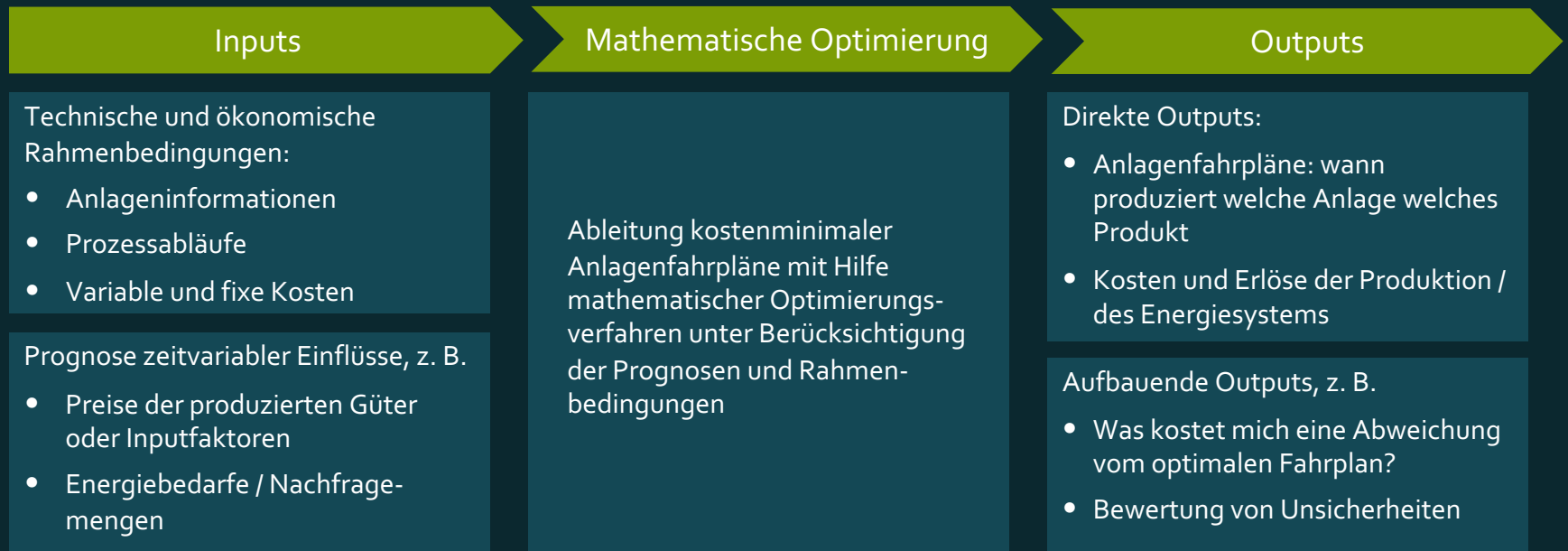


## Optimale Lösung

- Die optimale Lösung gibt die Parameterkonstellation an, welche die Zielfunktion max- bzw. minimiert
- Im Falle einer linearen, stetigen Zielfunktion und linearen Nebenbedingungen ist die optimale Lösung ein Eckpunkt des Lösungsraums



# Optimierung von Energie- und Produktionssystemen



# Was hindert Unternehmen in der Praxis diese Methoden zu nutzen, um Prozesse zu optimieren?

## Komplex

- Die Nutzung bedarf in der Regel Expertenwissen
- User Interfaces sind wenig intuitiv

## Teuer

- Kosten für Solverlizenzen
- Beratung & Support durch Experten notwendig
- Betrieb (insb. langfristig) wird durch on-premise Systeme teurer

## Starr

- Häufig on-premise Systeme
- Einbindung in eigene IT-Infrastruktur aufwendig
- Nutzung für den Aufbau eigener Produkte/IP nur bedingt möglich

# Die Lösung – Teil I: Moderne IT Architektur sowie effiziente und kostengünstige Methoden

## IT-Architektur

- Cloud-Lösung inkl. Wartung & Service-Updates
- Microservice-Architektur
- Interne & externe Kommunikation über API
- Autoskalierung (bspw. mit Hilfe von Kubernetes)

## Methodenwahl

- Flexibilität in der Methodennutzung
- Entwicklung in Forschung & Entwicklung verfolgen
- Bspw. Constraint Programming eignet sich hervorragend für viele Probleme, die standardmäßig mit MIP, LP etc. gelöst wurden

# Constraint Programming – was ist das?

- Constraint Programming ist eine relative junge “Disziplin”.
- Ein Constraint Programming Modell besteht aus
  - Entscheidungsvariablen und einer Reihe von Nebenbedingungen und kann
  - eine Zielfunktion, die es zu minimieren oder maximieren gilt, beinhalten.
- Constraint Programming erlaubt
  - jede Form von Nebenbedingungen,
  - bedarf keiner Begrenzung auf wohl-definierte mathematische Eigenschaften des Problems,
  - jedoch sind lediglich diskrete Entscheidungsvariablen zulässig.
- Lösungsalgorithmus reduziert den Lösungsraum mittels Kombination aus Ausprobieren und logischer Inferenz (umgangssprachlich)



# Constraint Programming – warum und wozu soll ich es nutzen?

## Anwendungsfelder

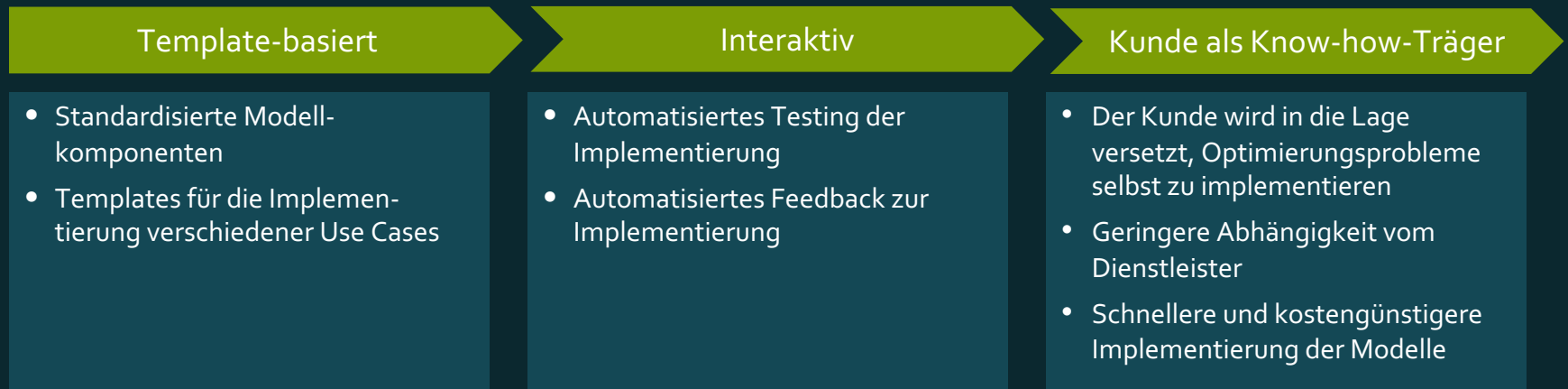
### Beispiele

- Anlageneinsatzplanung
- Prozessoptimierung
- Schichtplanung

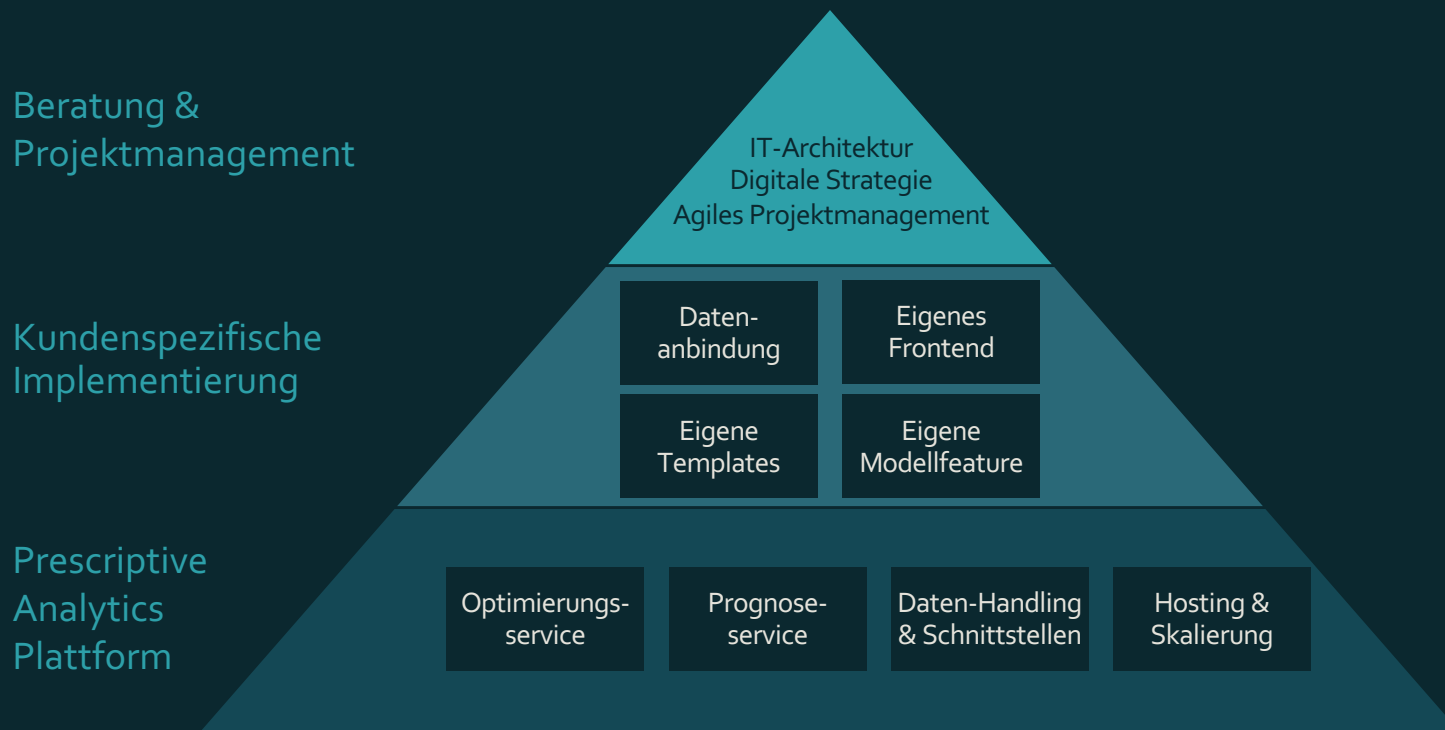
## Vorteile

- Keine Nutzung von kostenpflichtigen Solvern (z. B. CPLEX, Gurobi)
- Schnellere Lösungsgeschwindigkeiten als „herkömmliche“ Lösungsansätze für bestimmte Probleme (z. B. Flow shop scheduling)

# Die Lösung – Teil II: ein intuitives und interaktives User Interface als Kundenenabler



# Die Lösung – Teil III: ein ganzheitliches und flexibles Servicekonzept



# ZUSAMMENFASSUNG

- Für die Verhinderung einer substantiellen Erhöhung der Erderwärmung bedarf es großer Anstrengungen beim Ausbau erneuerbarer Energien und der Erhöhung der Energieeffizienz
- Neben den dafür notwendigen regulatorischen Rahmenbedingungen und Investitionen ist insbesondere eine möglichst weitgehende Digitalisierung von Prozessen notwendig
- In Anbetracht eines hohen Anteils Erneuerbarer Energien bedarf es einer Flexibilisierung, Automatisierung und Steigerung der Präzision der vorausschauenden Steuerung des Energiesystems
- Die Anwendungsfälle für Verfahren des Machine Learnings und der Mathematischen Optimierung sind sehr vielfältig
- In der praktischen Umsetzung müssen IT-Lösungen kundenorientierter, flexibler und günstiger werden, um eine möglichst weitgehende Nutzung zu erzielen