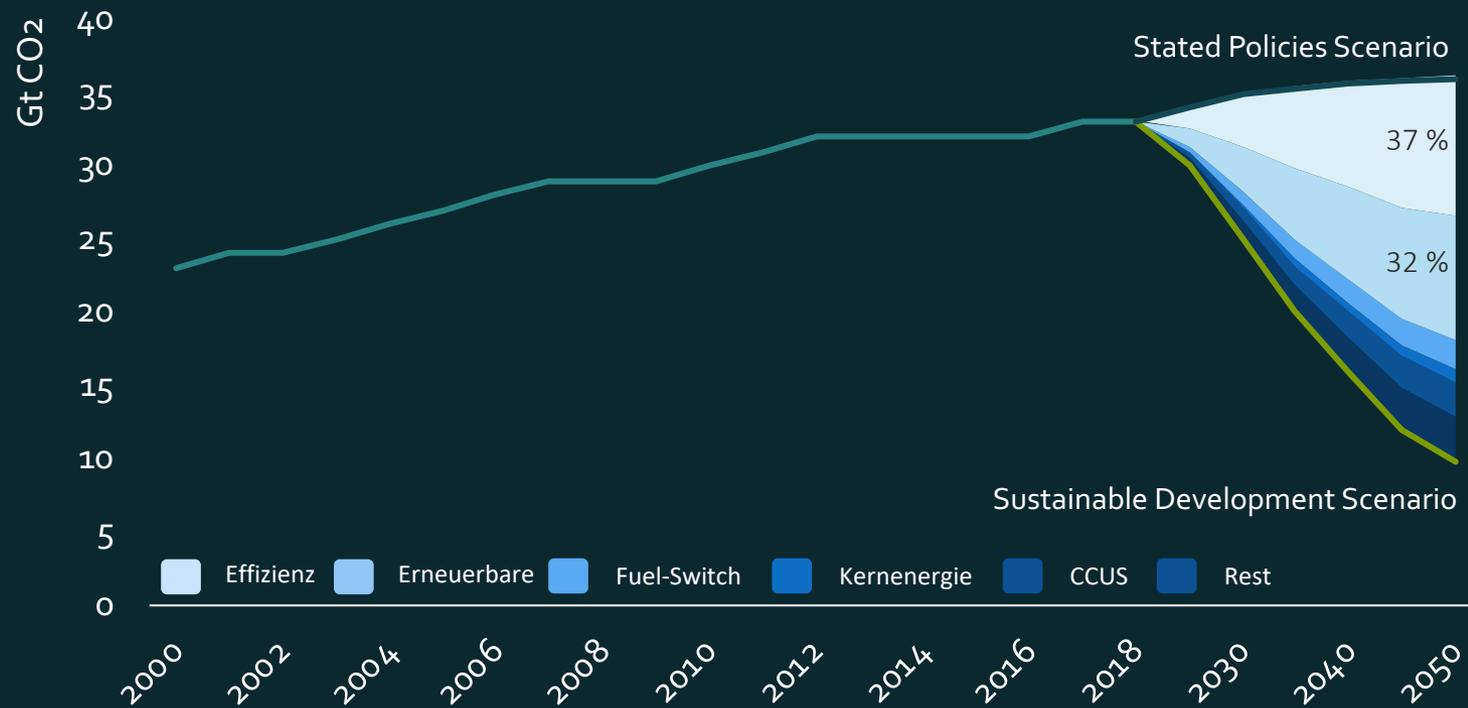




Machine Learning und Mathematische Optimierung als wesentliche Verfahren zur Umsetzung der Energiewende

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

Digitalisierung auf der Produktebene

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

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

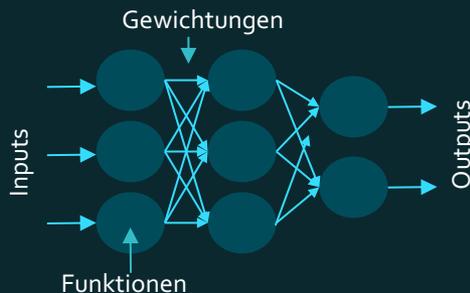
Prognose zeitvariabler Einflüsse, z. B.

- Preise der produzierten Güter oder Inputfaktoren
- Energiebedarfe / Nachfragemengen

Prognosen mit Deep Learning – künstliche Generierung von Wissen aus Erfahrung

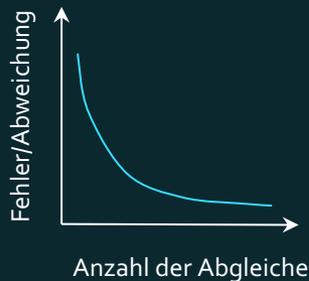
Modelldefinition

- Künstliche Neuronale Netze (KNN) haben die Vernetzung von Neuronen im Nervensystem zum Vorbild
- Ein KNN ist die Verschaltung tausender mathematischer Funktionen, deren Gewichtung die Regeln ergeben



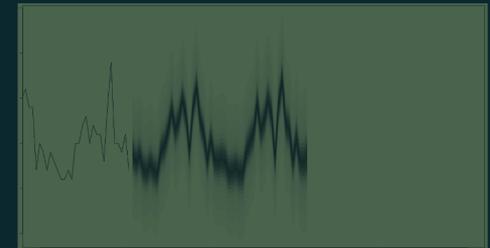
Training

- Trainingsdaten sind in der Regel historische Daten
- Durch den wiederholten Abgleich des Modells mit immer mehr historischen Daten wird das Modell immer weiter verbessert und verallgemeinert

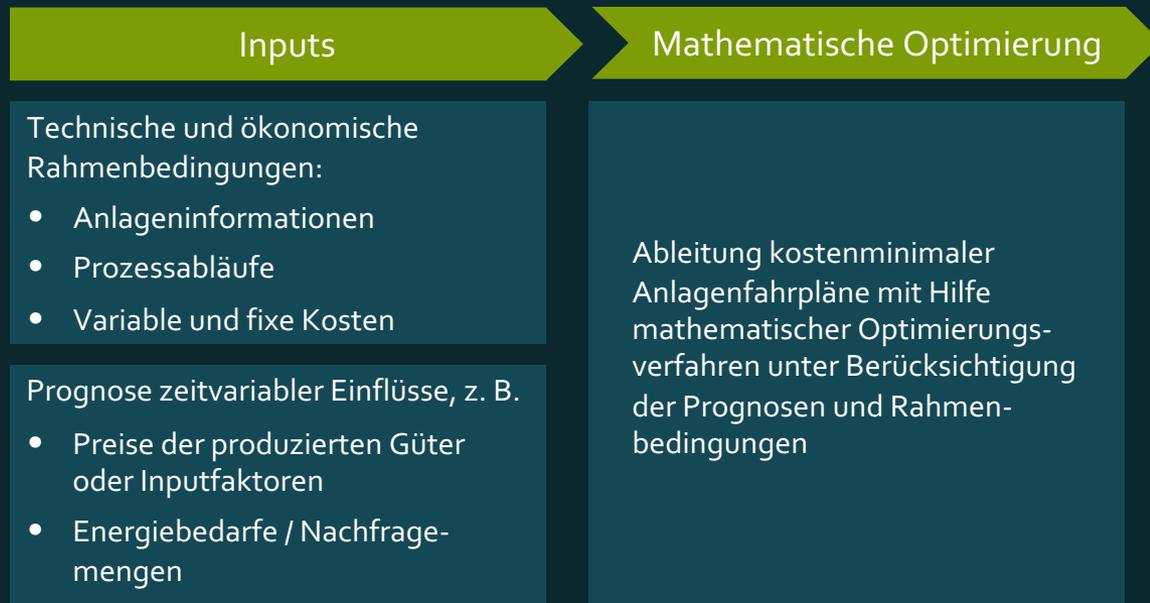


Prognose

- Verarbeitung großer Inputmengen
- Berücksichtigung von komplexen, nichtlinearen Wirkungszusammenhängen
- Hohe Robustheit / gute Verallgemeinerung bei großen Trainingssets



Optimierung von Energie- und Produktionssystemen



Mathematische Optimierung – Bestimmung der optimalen Lösung eines komplexen Systems

Zielfunktion

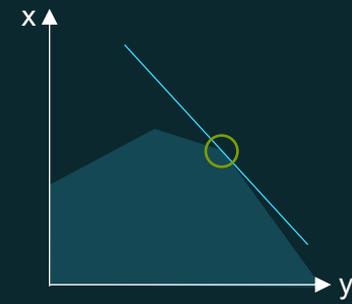
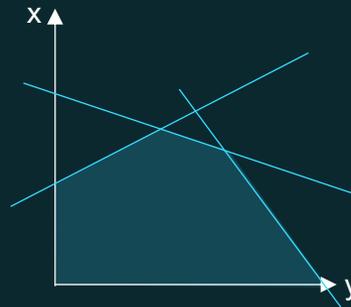
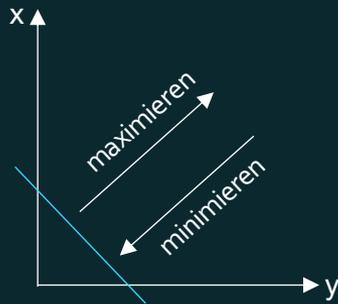
- Ziel der Optimierung ist die Auswahl der optimalen Parameter, um eine definierte Zielfunktion zu minimieren oder zu maximieren
- Die Zielfunktion kann diverse Probleme beschreiben, z. B. die Kosten eines Prozesses oder die Auslastung einer Ressource

Lösungsraum

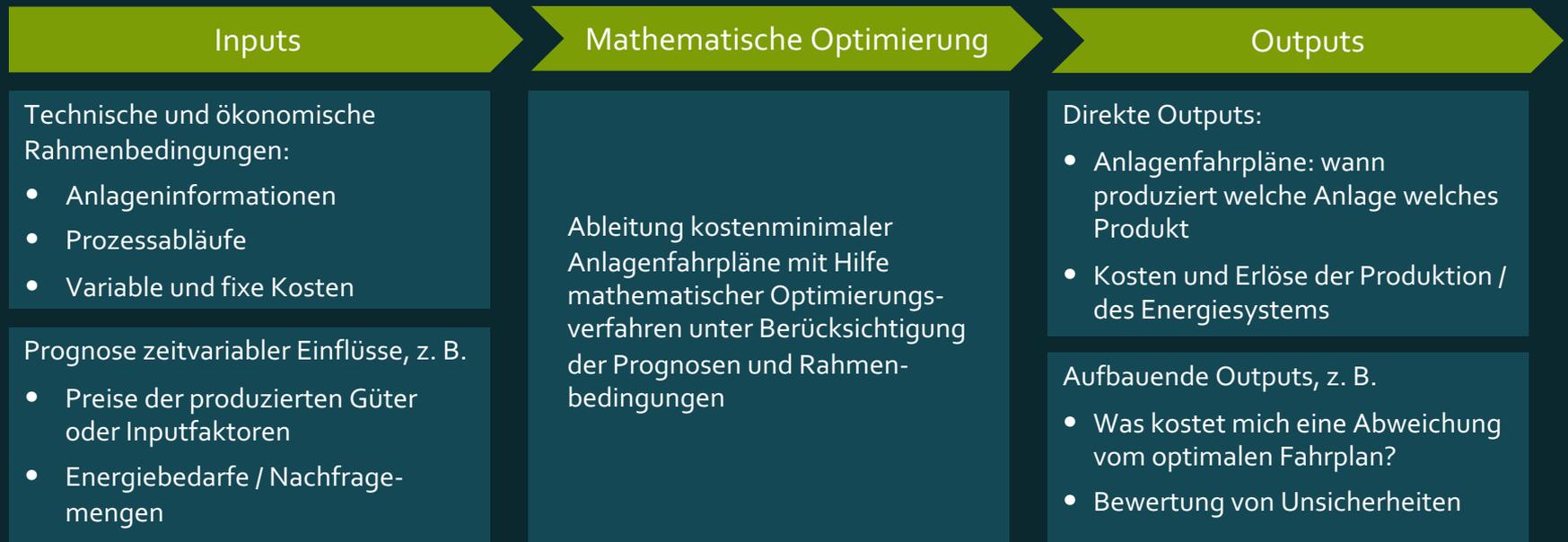
- Der Lösungsraum beschreibt die Parameterkonstellationen, die unter Berücksichtigung der Nebenbedingungen zulässig sind
- Nebenbedingungen sind Restriktionen wie bspw. die Verfügbarkeit von Ressourcen, zulässige Abfolgen von Prozessen oder die Nachfrage

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

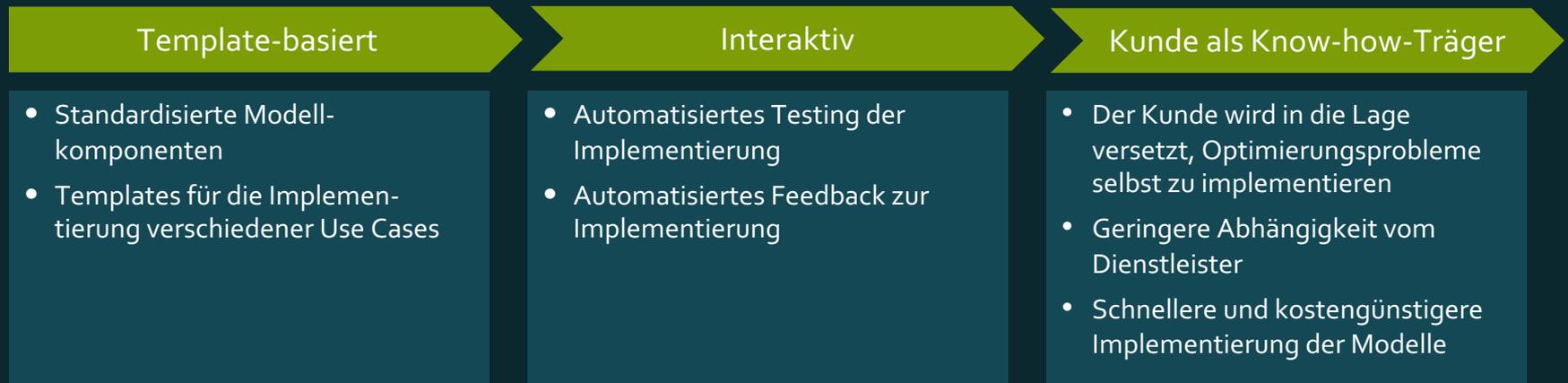
Beispiele

- Anlageneinsatzplanung
- Prozessoptimierung
- Schichtplanung

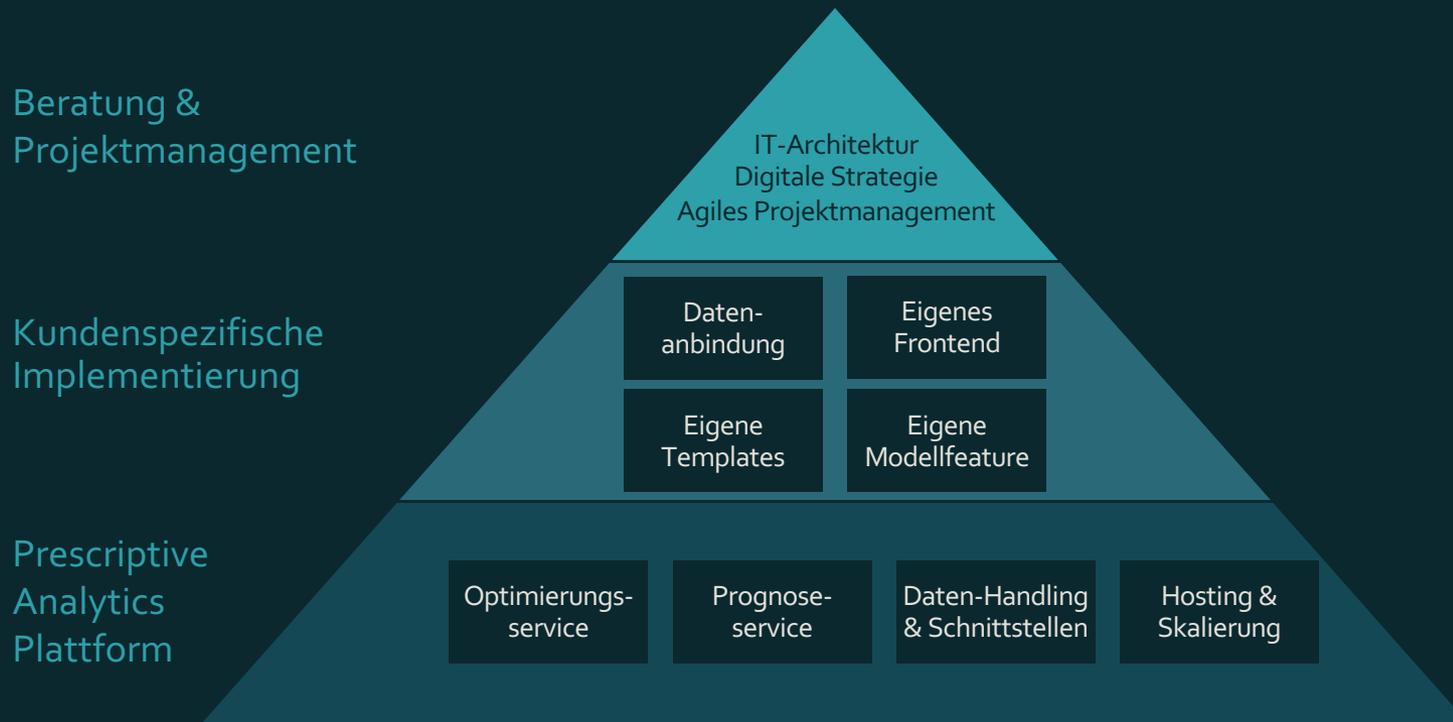
Vorteile

- 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