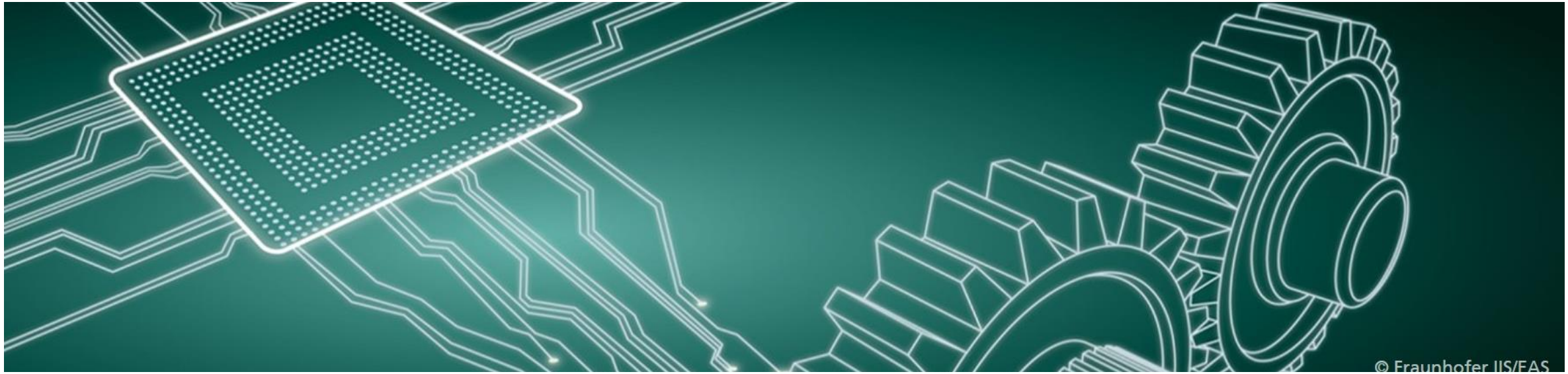
ENERGIEEINSPARUNG DURCH OPTIMIERTE ABLÄUFE: NEUE MÖGLICHKEITEN

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
Institutsteil Entwicklung Adaptiver Systeme EAS

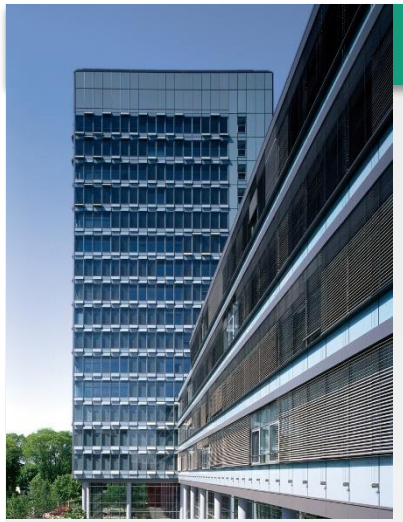


Stephan Seidel und Dr. Jan Bräunig

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

Fraunhofer IIS

Über das Fraunhofer EAS
Daten und Fakten



Fraunhofer-Gesellschaft

»Anwendungsorientierte Forschung zum unmittelbaren Nutzen für die Wirtschaft und zum Vorteil für die Gesellschaft«

- Größte Organisation für anwendungsorientierte Forschung in Europa
- Wichtige Innovationen z.B. Musikformat mp3, weiße LED, hochauflösende Thermokamera
- 29.000 Mitarbeiter, 74 Institute, 10 davon in DD

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen

Gegründet	1985
Mitarbeiter	ca. 1 000
Budget	ca. 184 Mio. €
Leitung	Prof. Dr. Albert Heuberger Dr. Bernhard Grill Prof. Dr. Alexander Martin

Institutsteil Entwicklung Adaptiver Systeme

Gegründet	1992
Mitarbeiter	ca. 110
Budget	ca. 13 Mio. €
Leitung	Dr. Peter Schneider

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Fraunhofer IIS – Institutsteil EAS
Geschäftsfeld Verteilte Analyse- und Regelsysteme

Kompetenzen im Überblick

- Effiziente **adaptive Regelungen**
- Robuste **Funknetzwerke** in industriellen Umgebungen
- Hochzuverlässige Funksysteme für Echtzeit-Anwendungen
- Selbstlernendes Condition Monitoring
- **Predictive Maintenance**
- Software für Cloud- / Edge-Computing
- Big Data
- **Energiemanagement** in Gebäuden und in der Produktion
- **Künstliche Intelligenz** zur Datenauswertung und vorausschauenden Steuerung

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

AGENDA

- Motivation für Energiemanagement in der Produktion
- Energiemanagement ISO 50001 vs. Energieverteilmanagement
- Projekte aus der industriellen Produktion
  - Stahlproduktion
  - Sicherheitsglas
- Künstliche Intelligenz „Bestärkendes Lernen – Reinforcement Learning“
  - Effizientes Gebäudes durch KI

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

Motivation: Warum EM ein MUSS in der Produktion ist 1/2

- Steigende Energiekosten und somit Herstellungskosten
- Energiewende, Ukraine-Krise, Abkehr von fossilen Brennstoffen
- CO2-Bepreisung von fossilen Energieträgern: 25€ / Tonne ab 2021

> Unternehmen, die Heizöl, Erdgas, Benzin und Diesel in den Markt bringen, bezahlen ab 2021 dafür einen CO2-Preis. Sie werden verpflichtet, für den Treibhausgas-Ausstoß, den diese Brennstoffe verursachen, Emissionsrechte zu erwerben. Das geschieht über den neuen nationalen Emissionshandel.
> Quelle: https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/nationaler-emissionshandel-1684508

→ Wandel zu erneuerbaren, volatilen Energiequellen

- Finanzierbare Energieversorgung, Zwischen-speicherung, lokale Energieerzeugung und -rückgewinnung
- Tarifmodelle, Spitzenlastbegrenzung, Lastverschiebung

→ Chancen und Herausforderungen!

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

Motivation: Warum EM ein MUSS in der Produktion ist 2/2

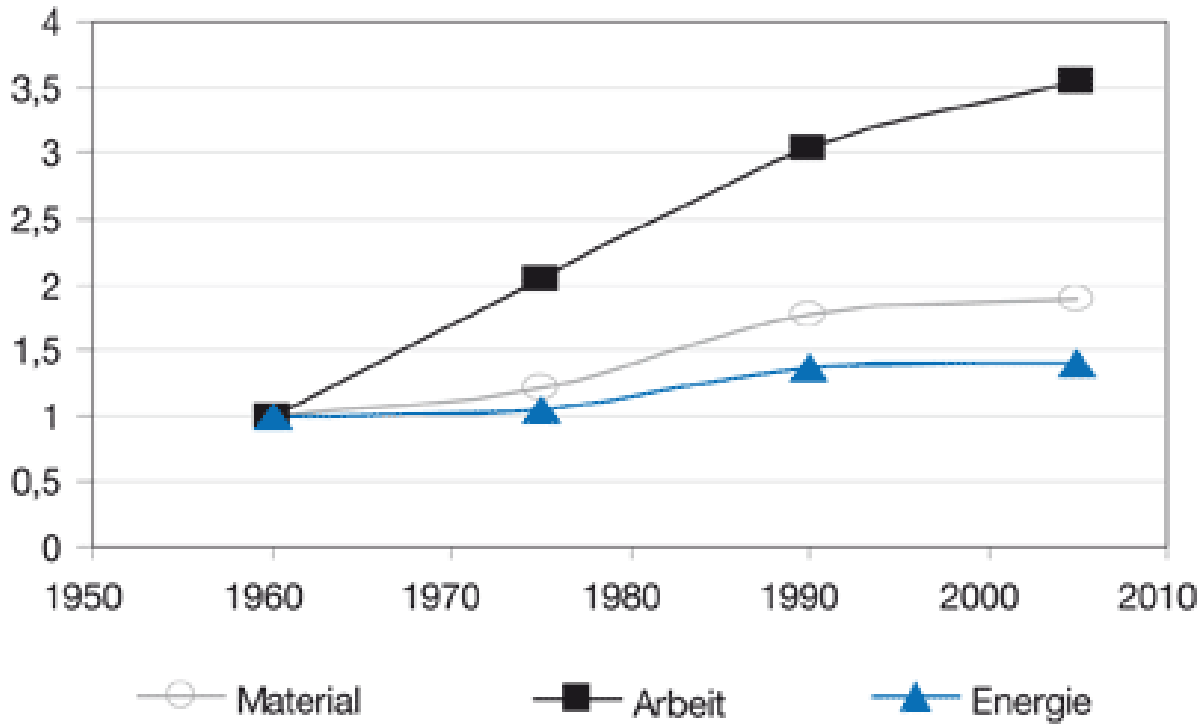
- Industrie 4.0 -> Sensorik als Schlüssel zum Erfolg!
  - Sensorik ist in aktuellen Maschinenparks oft reichhaltig verbaut
  - → Herausforderung: intelligente Datenauswertung
  - → Energieverbrauch neben Fokus Qualitätssicherung
  - → „Low Hanging Fruits“ sind schnell möglich (je nach Datenqualität!)
  - → z.B. Durchlaufen von Systemen & Hilfsenergie, Keine Verwendung von Standby-Modus, Leckagen in Druckluftsystemen
  - → Herausforderung: Bedarfsgerechtes Betreiben der Prozesse vs. Einhalten der Prozessparameter

Quelle: www.produktion.de

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Einführung eines EnMS im Unternehmen

Energetische Optimierung bietet großes Potential



Arbeits-, Material-, Energieproduktivität

Quelle: Datenpunkte 1960-1990: F. Hinterberger, S. Renn, H. Schütz: Arbeit – Wirtschaft – Umwelt, Wuppertal Papers, Nr. 89 (1999); Datenpunkte 2005: Eurostat: Sustainable consumption and production, http://eurostat.ec.europa.eu (2010).

Personal und Material

Hohe Kostentransparenz

Hohe Ausschöpfung der Kostensenkungspotentiale

Energie

Geringe Kostentransparenz
Hohe Komplexität

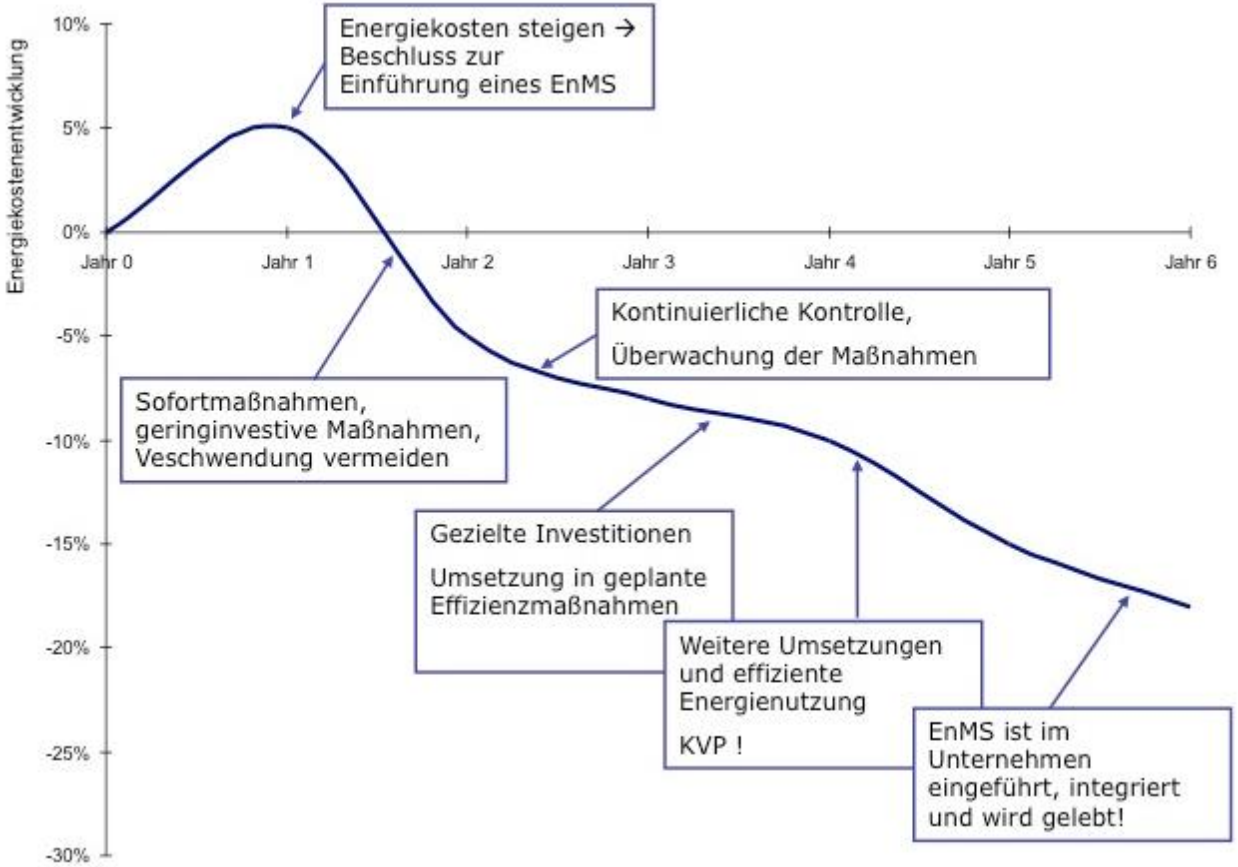
Geringe Ausschöpfung der Kostensenkungspotentiale

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

Fraunhofer IIS

Energiemanagementsystem als KVP
Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

- Energiemanagement (ISO 50001) ist ein kontinuierlicher, mehrstufiger Prozess (KVP)
- Initialaufwand zur Einführung
- Oft große Einsparung zu Beginn mgl.
- Weitere Einsparungen erfordert mehr Aufwand und höhere Investitionen, z.B.
  - Austausch/Erweiterung der Steuerungssoftware und –hardware
  - Umstrukturierung der Prozesses (Hilfsenergien, Produktion, etc.)
  - Integration energieeffizienter Maschinen und Energierückgewinnungsprozesse



Energiekostenentwicklung mit einem Energiemanagementsystem
https://www.energiemanagement-und-energieeffizienz.de/informationen/energiemanagement/

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Einsparpotential durch Einführung eines EM Systems

- Energiemanagement nach ISO 50001 als KVP
  - Muss als **dauerhafter** Prozess gelebt werden
  - Klare Verantwortlichkeiten
  - Durchführung von Benchmarks (intern, aber auch extern)
  - Nutzung von Energieberatung und Energieaudits
- Schätzungen zum Einsparpotential sehr, sehr unterschiedlich
  - Zwischen 2 und 5 %, im Einzelfall bis 40%; Stahlindustrie ca. 10%; Automobilindustrie bis 20%
    - Einfache Maßnahmen (1 - 2 J.) 5 – 15 %
    - Moderate Maßnahmen (3 - 5 J.) 15 – 30%
    - Aufwendige Maßnahmen (5+ J.) 30 - 50% (hohe Kosten + Ing.-aufwand)
- ABER: Keine konkreten Aussagen, wie Einsparungen erzielt werden sollen! Hier ist der Unternehmer bzw. Energiebeauftragte sich selbst überlassen!

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

Abgrenzung ISO 50001 zu Energetischer Steuerung
Energiemanagement ≠ Energie(verteil-)management

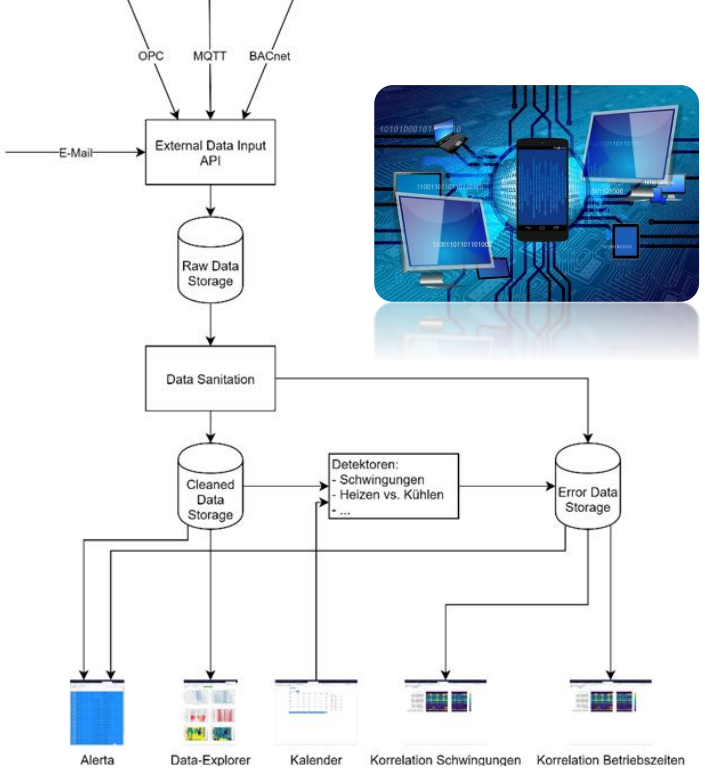
- Wie kann ich die Energiekennzahlen in meinem Prozess verbessern?
- Wie kann ich meinen Energieverbrauch im Prozess aktiv senken?
- Fraunhofer EAS Verständnis:
  - Steuerungs- und Regelungsfunktionen für Energieflüssen in System/Prozess/Anlage
  - Vorausschauende Regelung der Energieerzeugung, - speicherung und – verteilung
  - Optimierte Erzeugung und Nutzung von Prognosen zu Energiebereitstellung und Bedarf
  - Eingesetzte Technologien und KnowHow
    - Steuerungs- und Regelungstechnik, Model Predictive Control (MPC)
    - Datenerfassung, -analyse und auswertung
    - Simulation und Simulationsbasierte Optimierung
    - Künstliche Intelligenz – Maschinelles Lernen (Reinforcement Learning)

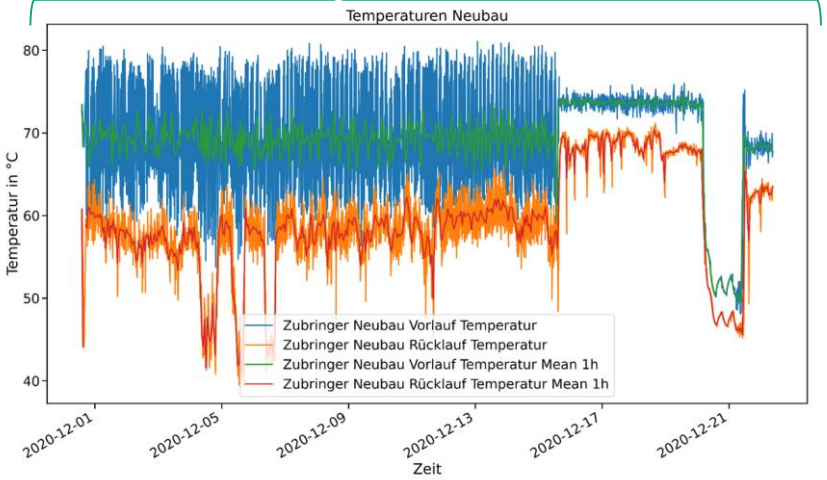
© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Transparenz schaffen!
Daten-Exploration

Bestandaufnahme und explorative Auswertung von Betriebsdaten

- Erfassen aller potentiell vorhanden Datenpunkte und Datenquellen (IST-Stand)
- Erfassen und Einlesen von Betriebsdaten aus Leittechnik bzw. SCADA und weiteren Quellen
- Explorative Datenanalyse:
  - Zusammenstellung aller vorhandenen Daten
  - Bestimmung der für weitere Schritte fehlenden Daten
  - Meldung von Datenpunkten, die notwendig sind aber aktuell nicht loggen
  - Überblick von Datenqualität, Format, Taktung
  - Erste Auswertung zur Datenplausibilität und ggf. Validität der Betriebsführung





© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Daten erheben!
Daten-Akquisition / Messboxen

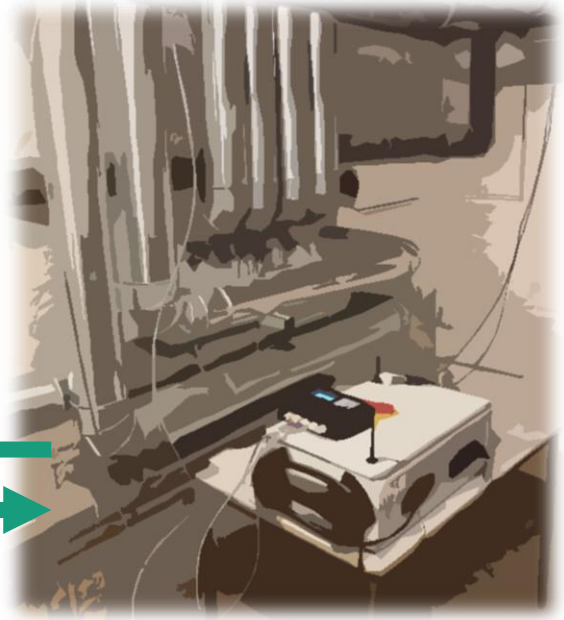
- Erfassung von zusätzlichen Datenpunkten, bspw.: Volumenstrom (nicht invasiv), Temperatur, Strom, …
- Nutzungsmöglichkeit von **KI**-Rechenclustern

Struktur:

- Flexible Container
- Streamen der Daten auf Fraunhofer-Server (MQTT)
- WiFi, Mioty, Panoramic Power, USB Serial (Modbus, Mbus, OneWire, …)
- Remote Access über VPN

Einrichten von Datenloggerboxen:

- Nutzt Stromanschluss vor Ort
- Nutzt eigenständige Funkverbindung (LTE)



EAS Messkoffer (Gen. 1) im Einsatz

EAS Messkoffer (Gen. 2)

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

Fraunhofer IIS

Variantenvergleich durch Simulation
Optimierung mit Digitalem Zwilling

Quelle: https://gallery.autodesk.com

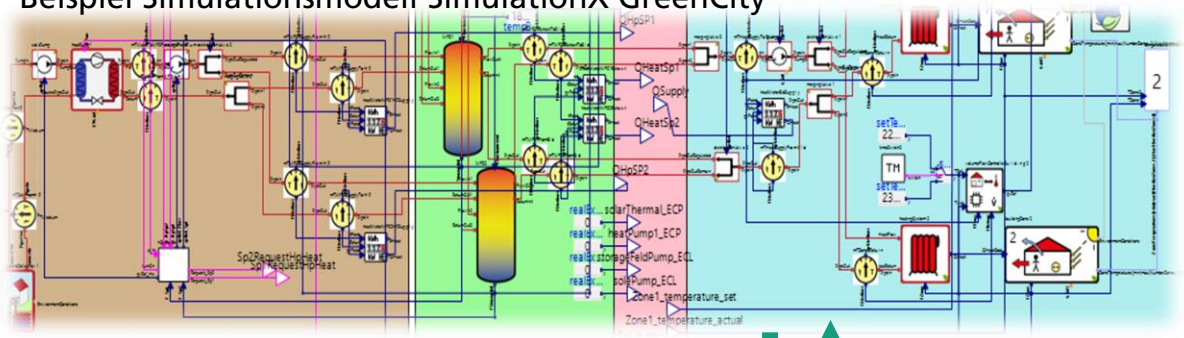
Erstellen von Simulationsmodellen (Kennzahlprognose):

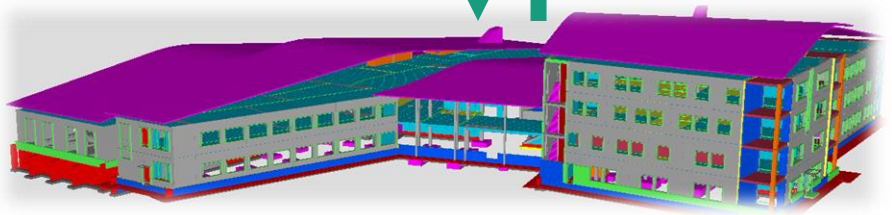
- Energieverbräuche, Energieflüsse
- Kennzahlen zu Eigenverbrauch und Autarkie
- Effizienz, CO2-Emissionen

Simulationsmodell als Ausgangsbasis für:

- Konzeptentscheidungen in der Planung (Variantenuntersuchungen)
- sinnvolle Regelungseinstellungen
- Vorgaben für Monitoringkonzept
- Evtl. SiL Test der Steuerung und virtuelle Inbetrienahme

Beispiel Simulationsmodell SimulationX GreenCity



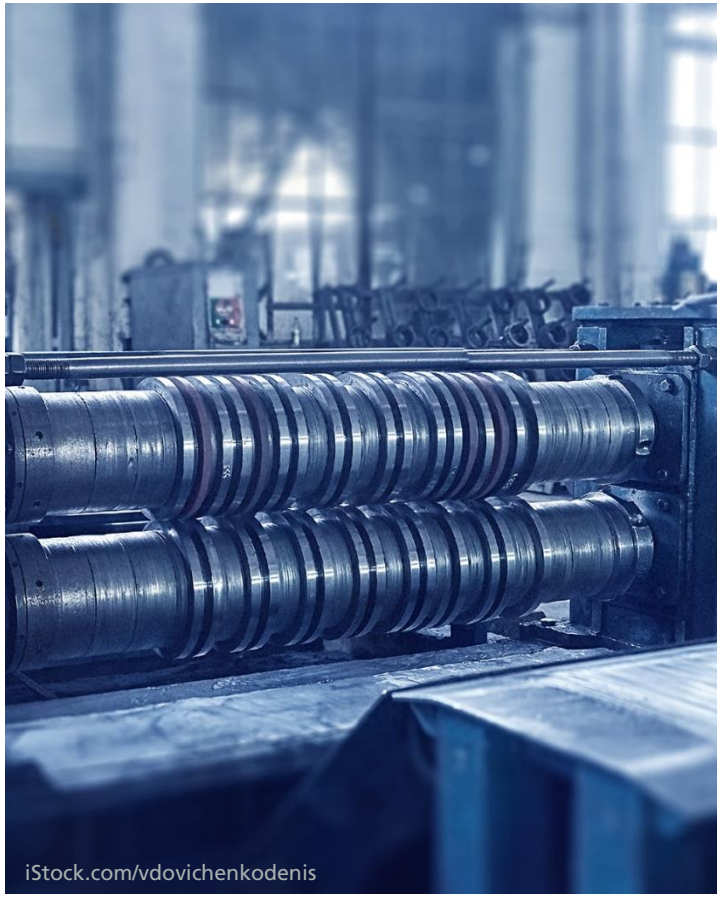


© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Beispiel Flachstahlschnitt
Qualitätsüberwachung an Längsteilanlagen

- Randbedingungen:
  - gewalzter Flachstahl soll in schmalere Streifen geteilt werden
  - Schnittkanten müssen Qualitätsstandards genügen
  - regelmäßiger Tausch der Kreismesser
  - stichprobenartige Sichtprüfung der Schnittkanten

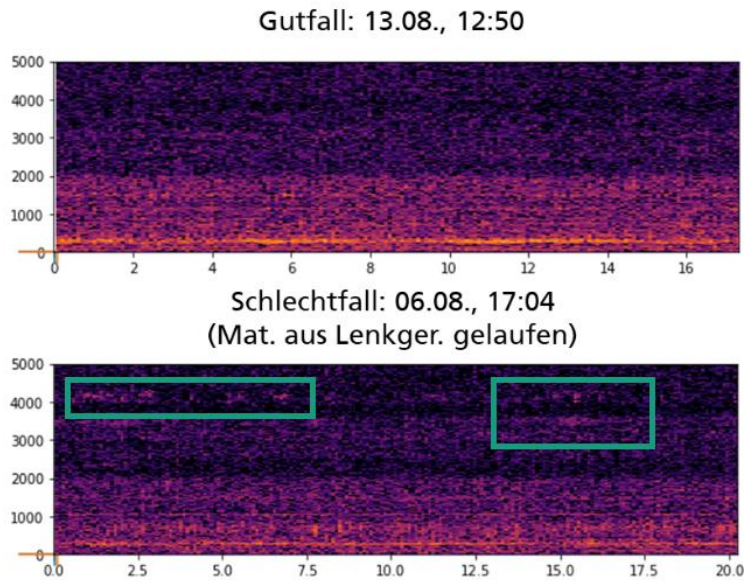
➲ **Problemstellung:** abgenutzte Kreismesser bleiben teilweise über mehrere Coils unentdeckt


iStock.com/vdovichenkodenis

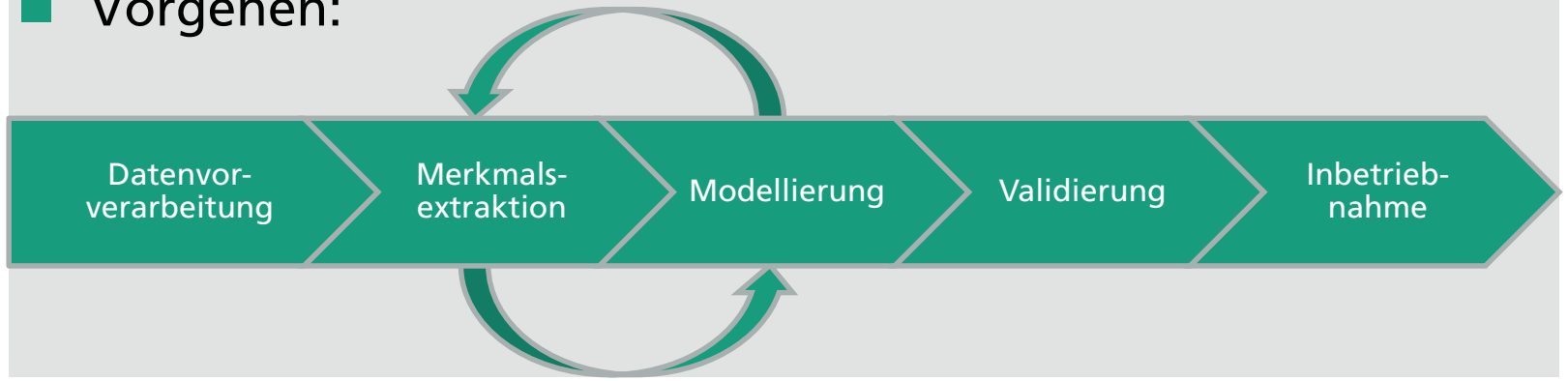
© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Beispiel Flachstahlschnitt
Qualitätsüberwachung an Längsteilanlagen

Beispiel für Schadensausprägung im Amplitudenspektrogramm



- Lösungsansatz:
  - Installation Beschleunigungsaufnehmer an den Lagern der oberen Messerwelle
- Vorgehen:



➲ **Ergebnis:** Automatische Detektion von Ausplatzungen in den Kreismessern durch maschinelles Lernen

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Beispiel Stahlwerk
Condition Monitoring von Linearantrieben von Stahlwalzen

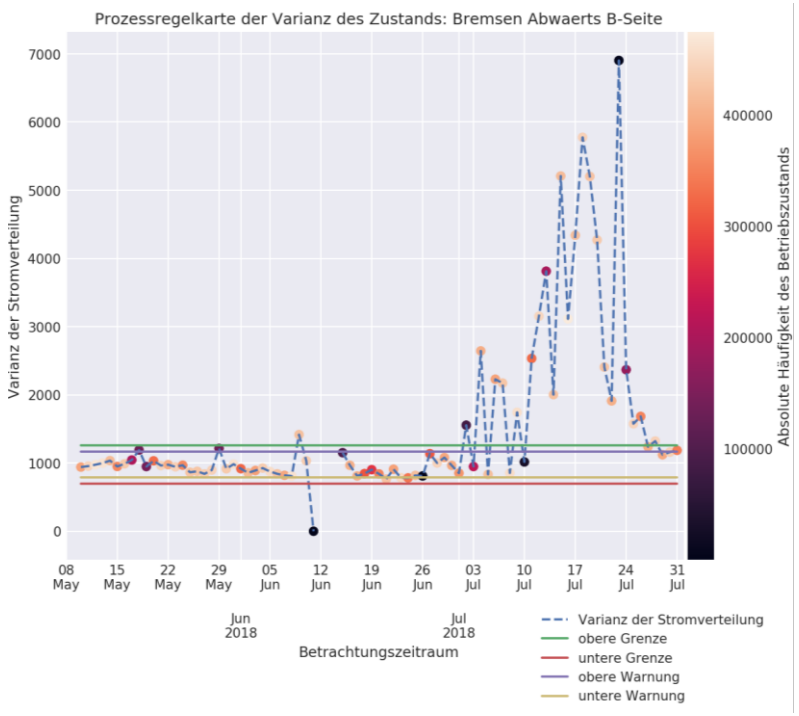
- Randbedingungen:
  - heiße Stahlbramme soll auf geringere Dicke gewalzt werden
  - elektromechanische und hydraulische Einstellung der Walzdicke über Linearantriebe
  - Schäden an den Lagern der Walzen erhöhen die Leistungsaufnahme

➲ **Problemstellung:** bei einem Ausfall einer Walze steht die gesamte Linie für mehrere Schichten

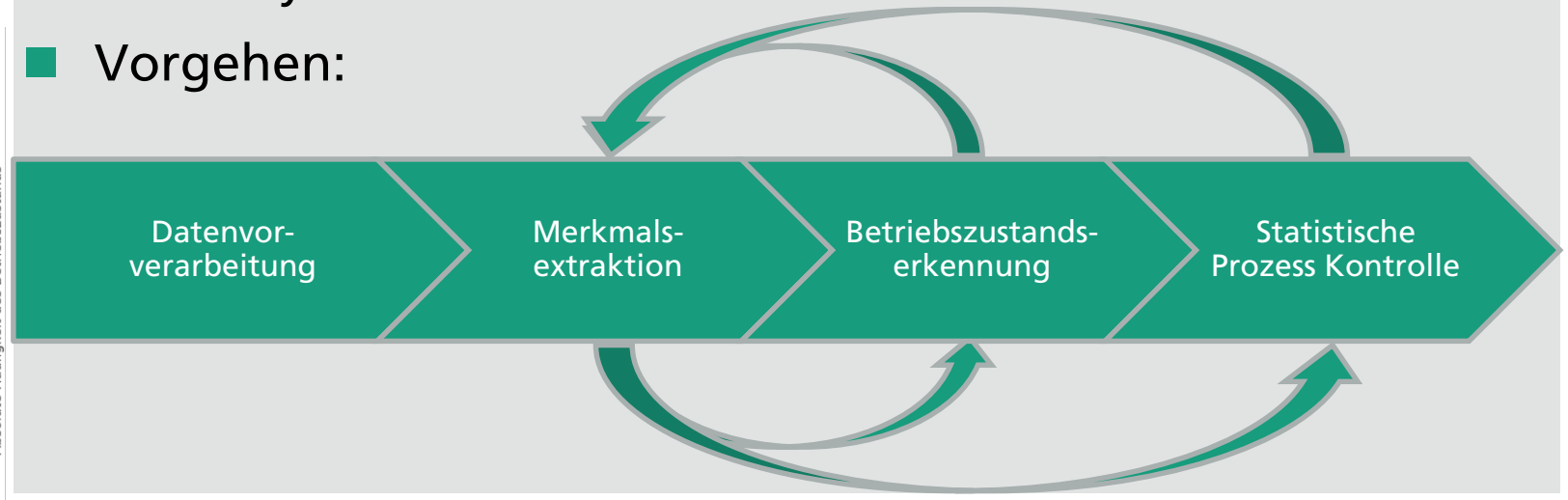
© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Beispiel Stahlwerk
Condition Monitoring von Linearantrieben von Stahlwalzen

Beispiel einer Prozessregelkarte



- Lösungsansatz:
  - Analyse der Stellwerte der Linearantriebe
- Vorgehen:



➲ **Ergebnis:** Condition Monitoring der Linearantriebe über Charakteristika des Energieverbrauchs

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Beispiel Glasherstellung

Optimierung mit Digitalem Zwilling: OptPlanEnergie (Glasproduktion)

Ziele

- Einsparung von Elektroenergie (Elektroofen) durch Optimierung der Produktionsreihenfolge
- Steigerung der Prozessauslastung
- Beibehaltung der Produktionsqualität

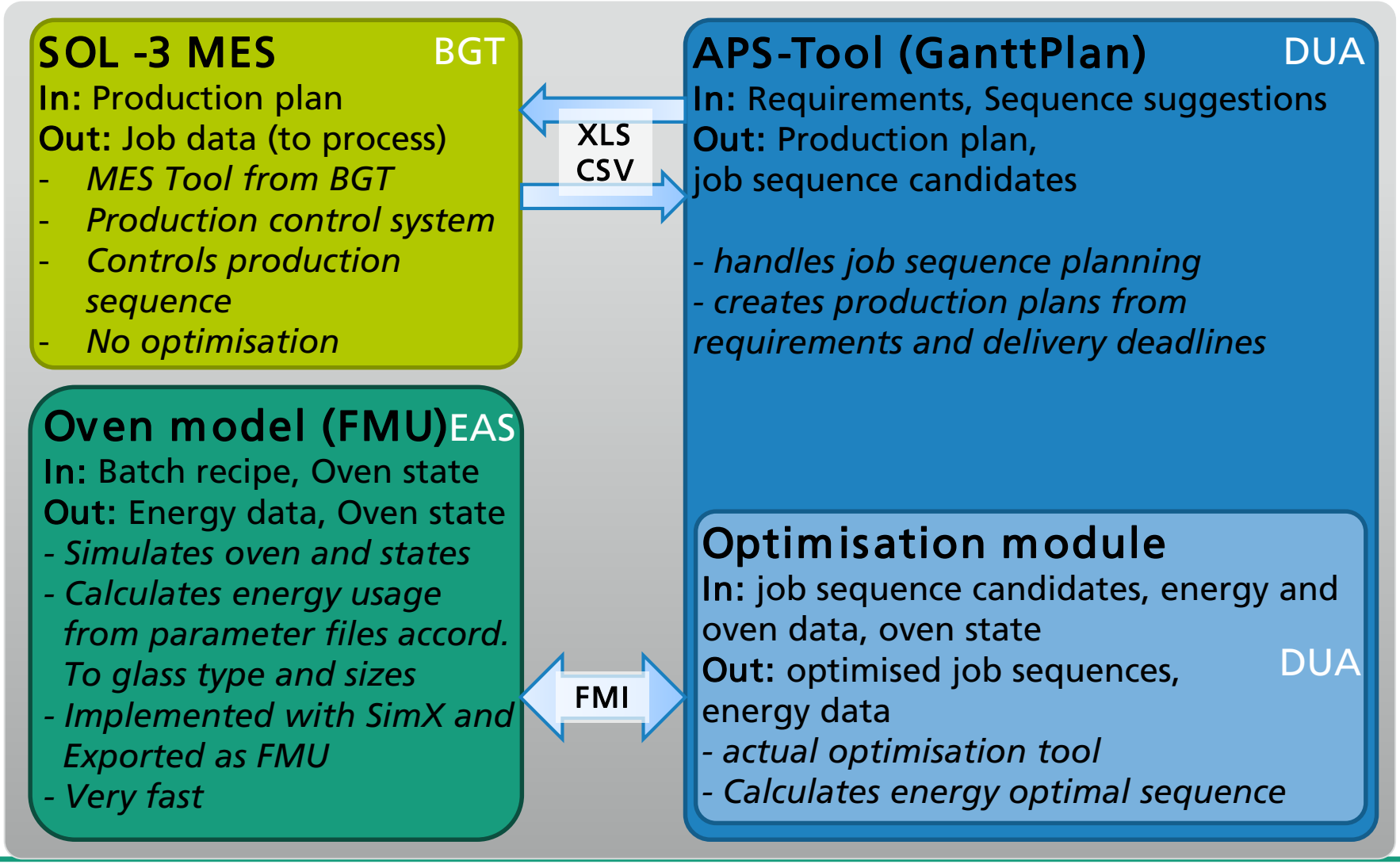
Vorgehen

- Black-box Vorgehen: Datenanalyse und Datenbasiertes Modell (Energie- und Rezeptdaten)
- Simulationsbasierte Optimierung des Produktionsprozesses und der Reihenfolge durch ein Produktionsplanungssystem (APS) mit integriertem Simulationsmodell

Daten Akquise → Daten Analyse → Modell erstell. → Modell umsetzung → Optimierung → Prozess Revision

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

Production Scheduling Optimisation Toolchain



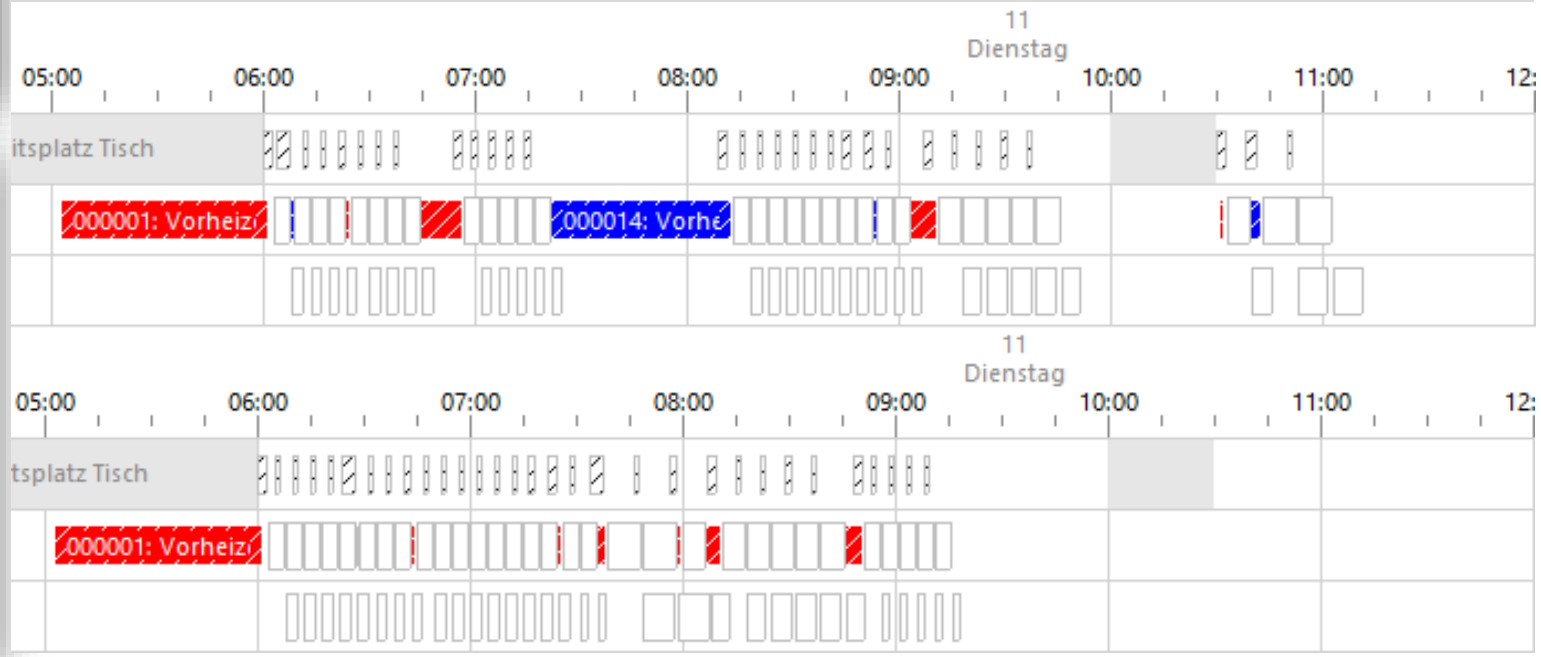
© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Anwendungsbeispiel

- Glas bis 24m²
- Heizleistung 3MW elektrisch
- 3 Kühlgebläse (400, 250, 250 kW)
- Betriebstemperatur 650°C
- Rezeptdauer 6-10min

Beispiel einer optimierten Produktionsreihenfolge (APS)

- Durch Umsortieren der Produktionsreihenfolge werden die zeitintensiven Kühlphasen entfernt und Aufheizphasen verkürzt (weniger Heizenergie)
- Zeitersparnis: 1h 50m (35%)
- Gesparte Energie: 146kWh



© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

Fraunhofer IIS

Beispiel Energieverteilmanager

Automatisierungssysteme für Energieversorgungsaufgaben

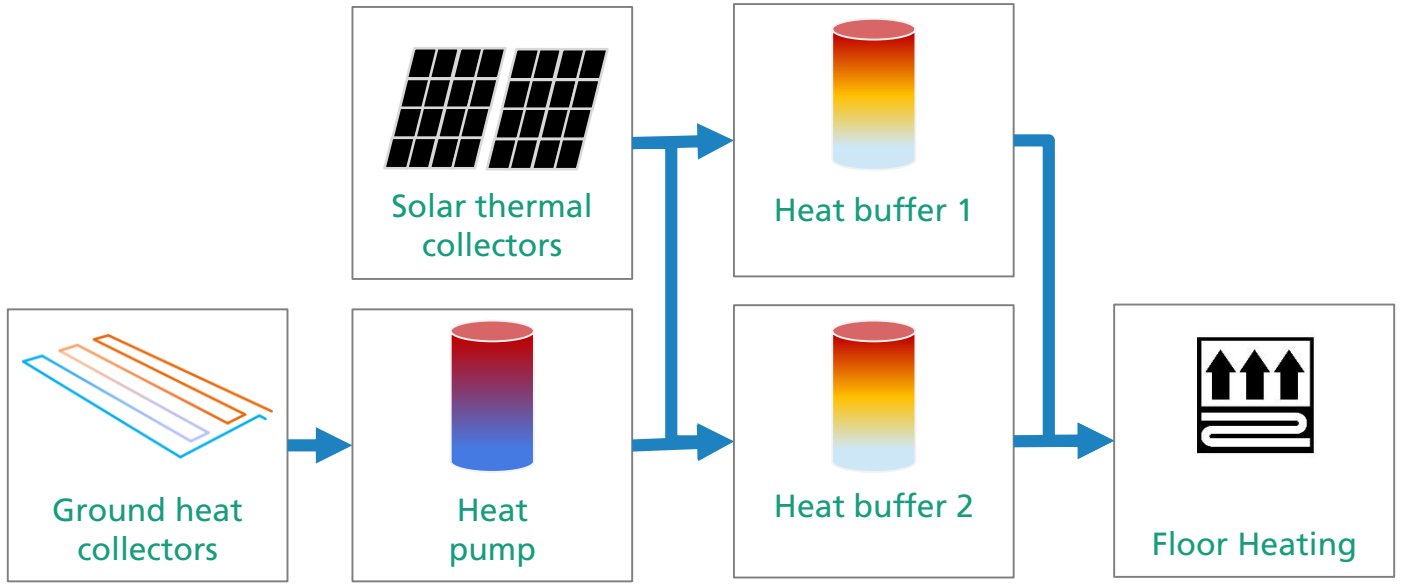
- Standard-Lösungen sind wenig energieeffizient & flexibel
- Nur Erfüllung der Energieversorgungsaufgabe
- Kaum moderne Verfahren im Einsatz
- Multivalente Energiesysteme erfordern ein überlagertes Steuerungssystem
- Moderne Verfahren aus IT und Mathematik bieten sich dafür an
  - Künstliche Intelligenz
  - Moderne Regelverfahren
- Ziel:
  - Entwicklung eines Energieverteilmanagers
  - → Vorrausschauende und möglichst effiziente Steuerung der unterlagerten Energiesystemkomponenten

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

Fraunhofer IIS

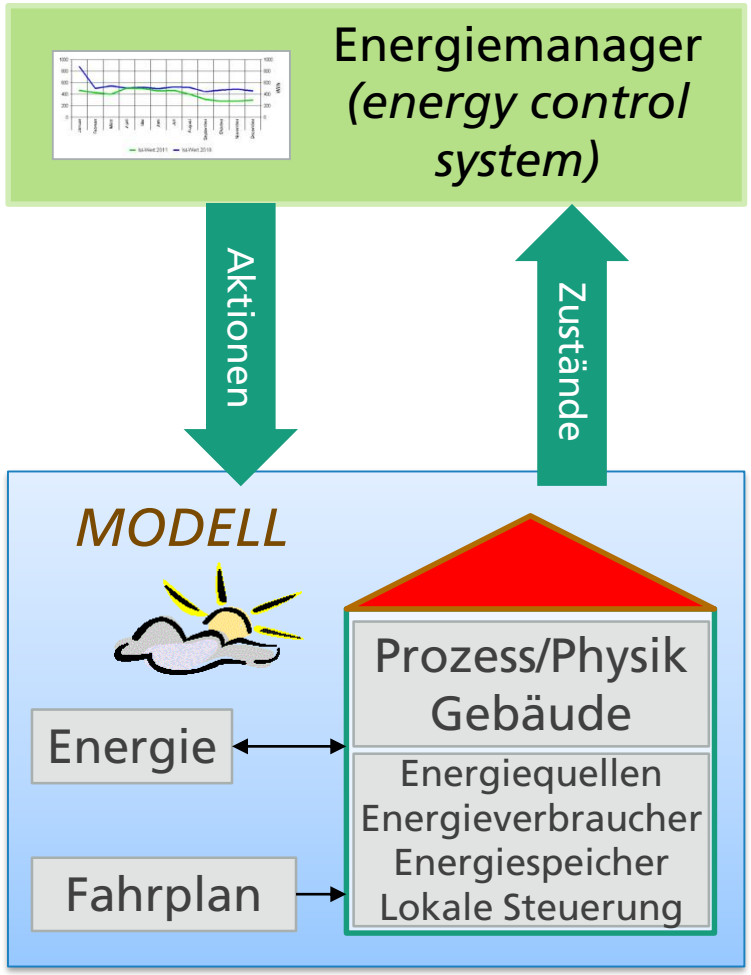
Modellierung des Energiesystems eines Büro-/Wohnhauses

- Großes Gebäude mit Wohnung, Büros und bivalentem Energiesystem
  - Wärmepumpe mit Flächenkollektor
  - Solarthermiekollektoren
  - 2 Wärmepufferspeicher
  - 2 Gebäudezonen mit Fußbodenheizung
  - Unterlagerte Steuerungen (WP, ST)
- Modellierung mit lokalen Steuerungen ohne Interaktion zwischen Solarthermie und Wärmepumpe



© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

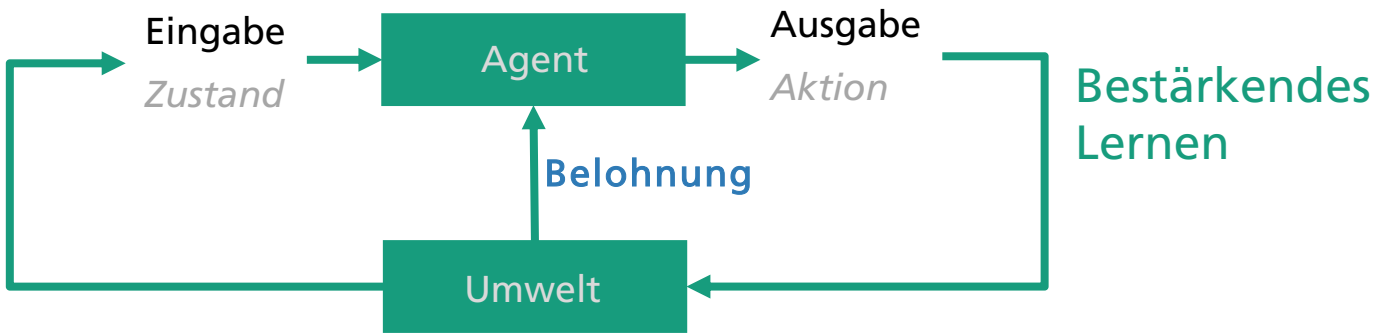
Energie(verteil-)manager - Motivation



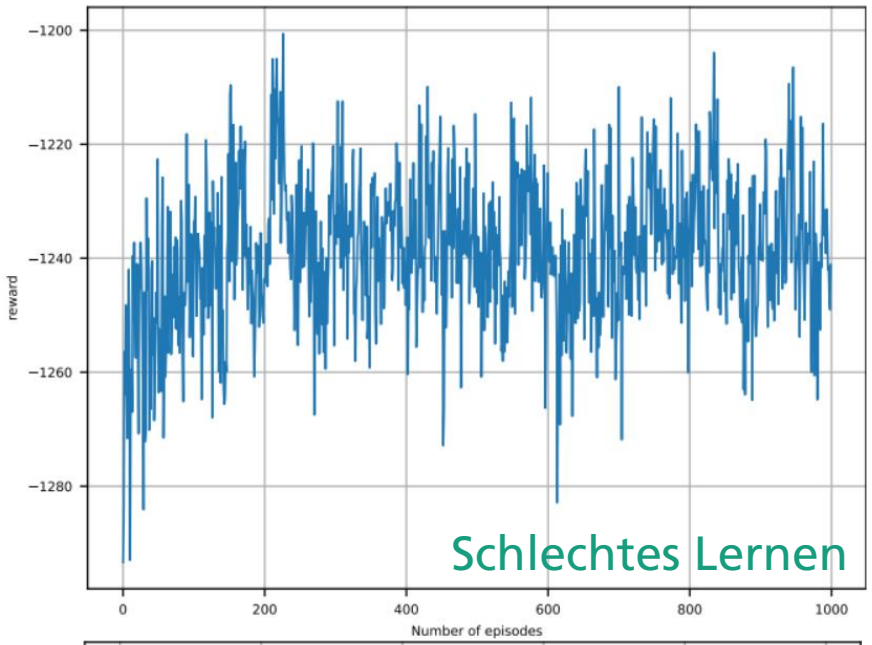
- Konzeption eines smarten Energieverteilmanagers
  - **RL** - Reinforcement Learning (bestärkendes Lernen)
- RL benötigt ein ausführbares Systemmodell bzw. den digitalen Zwilling
  - Modellierung von:
    - Gebäudes oder des Prozesses (Wetter, Belegung, Fahrplan, Fertigungsreihenfolge)
    - Energiesystems und Komponenten
    - der relevanten, unterlagerten Steuerungen

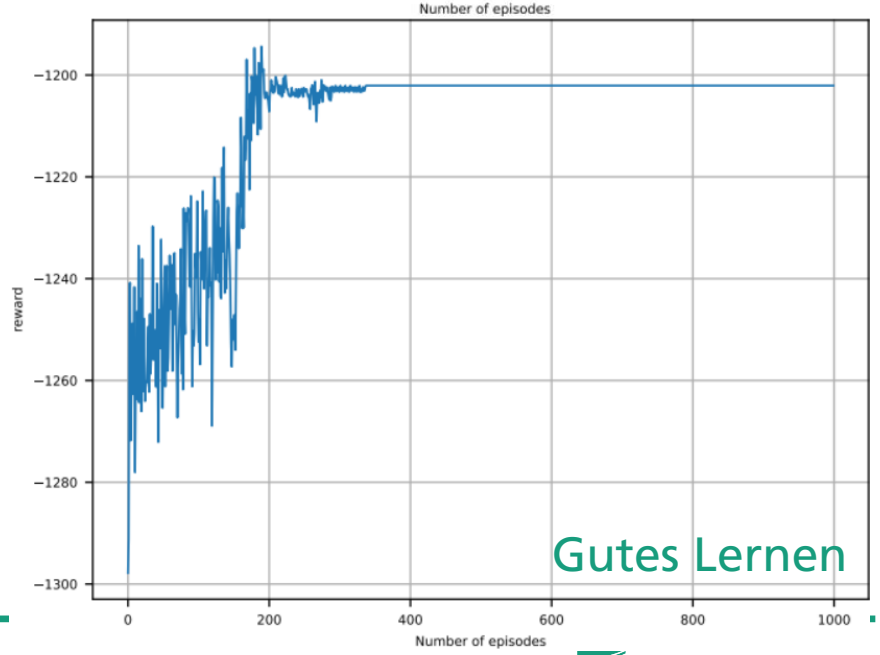
© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Reinforcement Learning als Energiemanager



- Stetiges Lernen durch ständiges Wiederholen der Lernepisode (Simulationsdurchlauf)
- Training des RL-Agenten mit ausreichend vielen Episoden notwendig
- Je nach Verfahren und Parametern mehr oder weniger schnell und erfolgreich
- Betrachteter Zeitraum (Episode) in der Simulation → 4 Wochen
  - Nach ca. 3h ausreichende Ergebnisse, Lernen erfolgreich

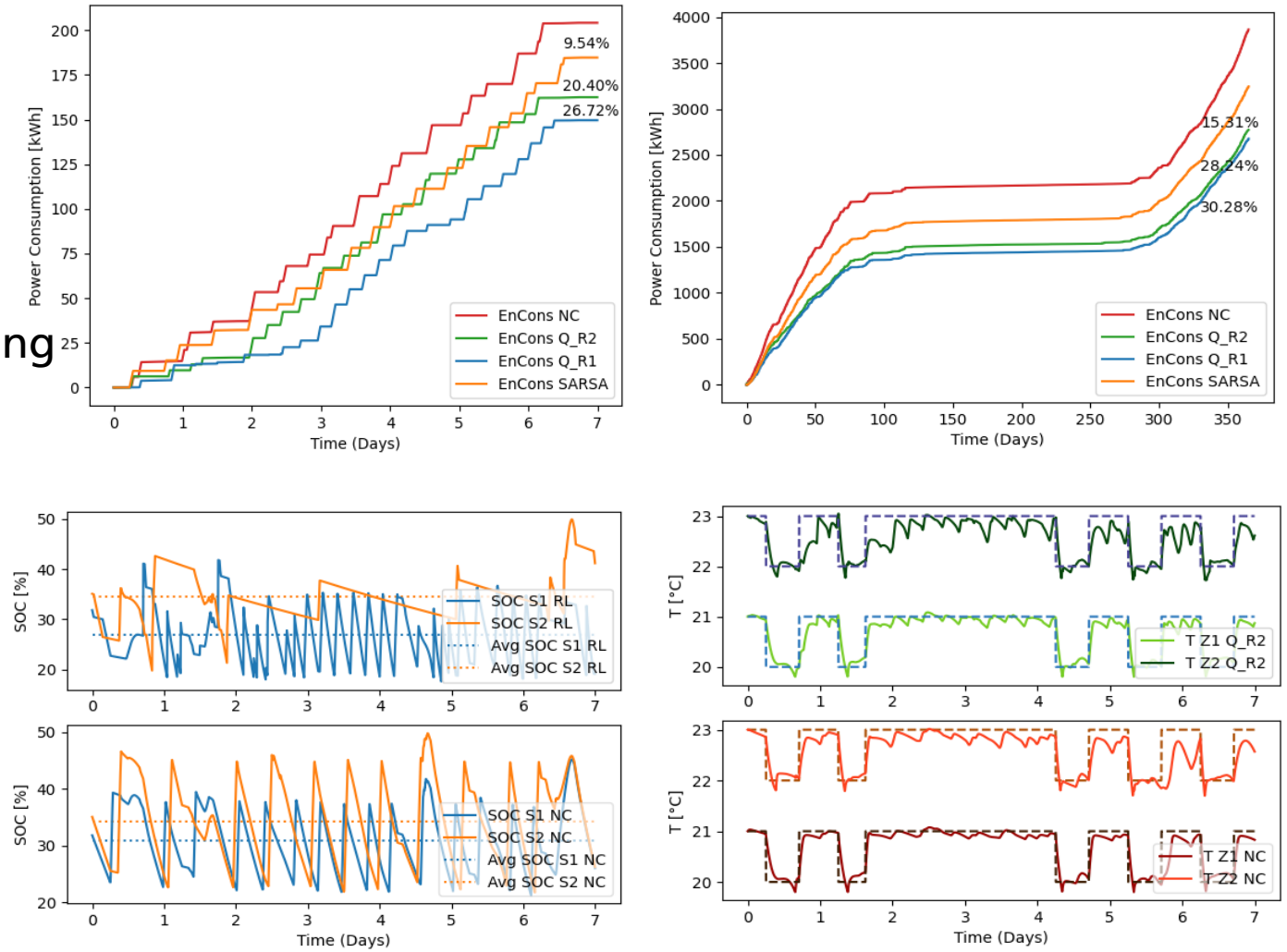




© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Reinforcement Learning als Energiemanager - Ergebnisse

- Energieeinsparung ca. 25 % ggü. einer „dummen“ Standard-Steuerung
  - Einsparung abhängig von Parametern des RL und der Länge der Lernphase
- Ersparnis vor allem durch geringere Beladung der Speicher (in der Übergangszeit) und Bevorzugung von Solarthermie
- Zonentemperaturen (Sicherstellung der Versorgung) fast identisch
- Im Jahresverlauf bis zu 20% Einsparung
- Einsparung vor allem in der Heizperiode in Frühjahr und Herbst; weniger im Winter (keine Solarthermie)



Comparison of RL (Reinforcement Learning) and NC (Normal Control):
Upper left: Energy consum. in kWh per week, Upper right: Energy consum. in kWh per year,
Lower left: State of charge in buffers 1 and 2 in %, Lower right: Zone temperatures in °C

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022
Fraunhofer IIS

Schlussfolie

Leistungsangebot Energetische Datenanalyse & Digitalisierung

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
Institutsteil Entwicklung Adaptiver Systeme EAS
Zeunerstraße 38
01069 Dresden

www.eas.iis.fraunhofer.de

Unsere Leistungen in Gebäuden und Produktionsprozessen:

- Direkte Industrieprojekte sowie Förderprojekte mit Industriebeteiligung
- Planung und Begleitung von Digitalisierungs- und KI-Projekten
- Machbarkeitsstudien & Simulationsstudien
- Analyse, Klassifikation, Visualisierung vorhandener Mess- und Prozessdaten
- Trendanalysen
- Entwicklung kundenspezifischer Stand-alone bzw. embedded Software
- Algorithmenentwicklung
- Umsetzung individueller IT-Lösungen (embedded, Edge, Firmen-Cloud, Cloud)

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

Fraunhofer IIS

IHRE ANSPRECHPARTNER

Stephan Seidel

Projektleiter
wissenschaftlicher Mitarbeiter

✉ stephan.seidel@eas.iis.fraunhofer.de
☎ +49 351 45691 - 385

Dr. Jan Bräunig

Gruppenleitung
Automatisierungs- und Regelungstechnik

✉ jan.braeunig@eas.iis.fraunhofer.de
☎ +49 351 45691 - 380

Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen IIS
Institutsteil Entwicklung Adaptiver Systeme EAS
Münchner Straße 16
01187 Dresden

www.eas.iis.fraunhofer.de

© Fraunhofer IIS/EAS | Stephan Seidel | 2022

Fraunhofer IIS