



SynErgie

*Synchronisierte und energieadaptive
Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung
von Industrieprozessen auf eine fluktuierende
Energieversorgung*

Schlussbericht Teilvorhaben:
F2-2_AEP (03SFK3F2-2)

01.11.2019 – 31.10.2022
- Öffentlicher Teil -

Datum: 01.04.2023

KOPERNIKUS
SynErgie **PROJEKTE**
Die Zukunft unserer Energie



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Teil I: Kurze Darstellung	2
1 Aufgabenstellung	2
2 Voraussetzungen	2
3 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	3
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	3
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5

Teil I: Kurze Darstellung

1 Aufgabenstellung

In der bisherigen Umsetzung von SynErgie entwickelte die AEP Solutions GmbH (im Folgenden auch AEP genannt) neuartige Methoden und Lösungsverfahren zur Integration von Energie in die Produktionssteuerung. Im Arbeitspaket (AP) III.3.14 („Service: Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung“) wurde ein System zur Bewertung der Kosten des Einsatzes von Energieflexibilitätsmaßnahmen in der Ebene der Produktionssteuerung aufgebaut. Der entwickelte Service sollte im Demonstrator-Arbeitspaket III.4.2 um die Möglichkeit zur Steuerung des Einsatzes von inhärenten Speichern ergänzt und prototypisch angewendet werden. Ziel des Arbeitspakets AP III.3.15 zur Bewertung von Produktionsrisiken war es, ein System für die Bewertung der Risikosituation aufzubauen.

2 Voraussetzungen

Die AEP Solutions GmbH mit Sitz im Technologie- und Gründerzentrum HUB31 in Darmstadt liefert Lösungen für die Digitalisierung von Geschäftsprozessen, fokussiert auf Management- und Unterstützungsprozesse. A(dvanced) E(nterprise) P(lanning) umfasst dabei sämtliche Planungs-, Forecast-, Steuerungs- und Reportingprozesse im Hinblick auf Strategieentwicklung, Controlling (operative Planungsprozesse, Finanzplanungsprozesse) sowie ESG-Prozesse und Nachhaltigkeitsthemen.

Im Rahmen ihrer Themenschwerpunkte führt die AEP als zugelassener Partner Beratungsprojekte für das RKW durch.

AEP-Solution4 ist eine Software, basierend auf dem Triple-Bottom-Line-Ansatz für die digitale Steuerung der Fabrik der Zukunft und das erste am Markt verfügbare «echte» AEP-System. Ziel von Solution4 ist es, integrierte Planungsrechnungen sicher und schnell durchzuführen. Damit erhalten Anwender ein „Echtzeit-Simulations- und Planungssystem“ das sie in die Lage versetzt, alle wesentlichen ökonomischen und auch ökologischen Konsequenzen aus alternativen Umweltkonstellationen in sekundschnelle zu erfassen. Der Ansatz eines voll umfänglichen integrierten Planungs- und Steuerungssystems mit dem Fokus auf die realitätsnahe Abbildung aller betrieblichen Zusammenhänge unter Verwendung aller relevanten Daten bildet ein Alleinstellungsmerkmal der AEP-Software.

Die Mitarbeiter der AEP Solutions GmbH zeichnen sich durch Ihre historisch gewachsene Förderprojekterfahrung aus und haben, im Zuge der digitalen Transformation, bereits entsprechende Signale an die hessische Landesregierung gesendet. Infolgedessen wurde, in Kooperation mit den Hochschulen Rhein-Main und Mainz, ein LOEWE-Förderprojekt mit Fokus auf Controlling, auf den Weg gebracht und federführend begleitet.

Auf Basis dieser individuellen Voraussetzungen, Vorarbeiten und Vorkenntnisse wurde das vorliegende Forschungsvorhaben effektiv und effizient durchgeführt.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeitspakete wurden weitgehend wie geplant begonnen und beendet, wobei aber die ursprünglich geschätzten Aufwände um ca. 16 Prozent überschritten worden sind.

AP III.1.4: Evaluation und Weiterentwicklung des Energieflexibilitätsdatenmodells	11/2019 - 01/2021
AP III.3.14: Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung	11/2019 - 11/2021
AP III.3.15: Bewertung von Produktionsrisiken	11/2019 - 05/2022
AP III.4.2: Demonstrator zur Nutzung von inhärenten Speichern und bivalenten Verbrauchern in der gesamtkostenbasierten PPS	02/2021 - 10/2022

Zu Problemen in der Projektdurchführung kam es nicht. Lediglich die anspruchsvollen Herausforderungen der Aufgabenstellung wurden bei der Beantragung unterschätzt und begründen den Mehraufwand in der prototypischen Realisierung.

4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Stand der Wissenschaft/Technik (siehe Antrag):

- Auswirkungen der Einplanung des Einsatzes von Energieflexibilität im Rahmen der Produktionssteuerung auf die Kosten- (III.3.14) und Risikosituation (III.3.15) von Produktionssystemen können nicht ausreichend quantifiziert werden
- Potenzielle Flexibilitätsanbieter benötigen aber eine Bewertung dieser Auswirkungen als Basis für die Entscheidungsfindung im Flexibilitätshandel

In der Bearbeitung aller Arbeitspakete verwendete Quellen:

- Einordnung von Energieflexibilitätsmaßnahmen nach Roesch et al. 2017 (Roesch, Martin; Brugger, Martin; Braunreuther, Stefan; Reinhart, Gunther (2017): Klassifizierung von Energieflexibilitätsmaßnahmen. In: ZWF 112 (9), S. 567–571. DOI: 10.3139/104.111774.)
- Berücksichtigung der Anforderungen des Energieflexibilitäts-Datenmodells
- Simon, P.; Roltsch, F.; Glasschröder, J.; Reinhart, G. Approach for a Potential Analysis of Energy Flexible Production Systems. Procedia CIRP 2017, 63, 580–585, doi:10.1016/j.procir.2017.03.153.
- Pielmeier, J.N. System zur ereignisorientierten Produktionssteuerung. Dissertation; Technical University of Munich, Munich, 2019.
- Sinsel, A. Grundlagen der Produktionsoptimierung. In Das Internet der Dinge in der Produktion: Smart Manufacturing für Anwender und Lösungsanbieter; Sinsel, A., Ed.; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2020; S. 39–77, ISBN 978-3-662-59760-6.
- Lötting, H. Verfahren der Fertigungssteuerung; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2008

In der Bearbeitung von AP III.3.15 verwendete Quellen zum Risikomanagement in der Produktion:

- Roth, S.; Weber, M.; Hohmann, A.; Reinhart, G. Risk Assessment and Treatment Planning for Energy-flexible Production Systems Using an Additional Cost Model. 2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management IEEM 2020, S. 85–90, doi:10.1109/IEEM45057.2020.9309944.
- Klöber-Koch, J.; Braunreuther, S.; Reinhart, G. Approach For Risk Identifikation And Assessment In A Manufacturing System. Procedia CIRP 72, 2018; S. 683–688.
- Shakya, R.; Chauhan, P. Modelling of Risk Analysis in Production System. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2019, 691, 12087, doi:10.1088/1757-899X/691/1/012087. Pereira, J.C.; Fragoso, M.D.; Todorov, M.G. Risk Assessment using Bayesian Belief Networks and Analytic Hierarchy Process applicable to Jet Engine High Pressure Turbine Assembly. IFAC-PapersOnLine 2016, 49, S. 133–138, doi:10.1016/j.ifacol.2016.07.563.
- Daultani, Y.; Goswami, M.; Vaidya, O.S.; Kumar, S. Inclusive risk modeling for manufacturing firms: a Bayesian network approach. Journal of Intelligent Manufacturing 2019, 30, S. 2789–2803, doi:10.1007/s10845-017-1374-7.
- Wu, W.-S.; Yang, C.-F.; Chang, J.-C.; Château, P.-A.; Chang, Y.-C. Risk assessment by integrating interpretive structural modeling and Bayesian network, case of offshore pipeline project. Reliability Engineering & System Safety 2015, 142, S. 515–524, doi:10.1016/j.ress.2015.06.013.
- Roth, Stefan; Kalchschmid, Vincent; Reinhart, Gunther (2021): Development and evaluation of risk treatment paths within energy-oriented production planning and control. In: Prod. Eng. Res. Devel. 15 (3-4), S. 413–430. DOI: 10.1007/s11740-021-01043-5.
- DIN ISO 31000:2018. Risikomanagement - Leitlinien (Risk management - Guidelines); Beuth Verlag GmbH: Berlin.
- Roth, S.; Weber, M.; Hohmann, A.; Reinhart, G. Risk Assessment and Treatment Planning for Energy-flexible Production Systems Using an Additional Cost Model. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) 2020, S. 85–90, doi:10.1109/IEEM45057.2020.9309944.

In der Bearbeitung von AP III.3.14 verwendete Literatur:

- Roesch, M.; Lukas, M.; Schultz, C.; Braunreuther, S.; Reinhart, G. An approach towards a cost-based production control for energy flexibility. Procedia CIRP 79, 2019; S. 227–232.
- Roesch, M.; Berger, C.; Braunreuther, S.; Reinhart, G. Cost-model for Energy-oriented Production Control. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), S. 158–162, doi:10.1109/IEEM.2018.8607305

5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Projektes wurde intensiv mit den beteiligten Projektpartnern, insbesondere dem Fraunhofer IGCV sowie der Firma software4production GmbH zusammengearbeitet. Über das Projekt hinaus wurden die Erkenntnisse im VDI und VDMA in die Praxis transferiert. Wir haben unsere Forschungsergebnisse erfolgreich in der Industrie und Wissenschaft transferiert, indem die Erkenntnisse in Veranstaltungen, Fachvorträgen und Kundenseminaren präsentiert wurden. Dabei konnten wertvolle Rückmeldungen und Diskussionen mit Experten aus der Industrie und Wissenschaft erhalten werden, die dazu beigetragen haben, unsere Forschungsergebnisse weiter zu verbessern. Darüber hinaus haben wir unsere Ergebnisse auch an der h_da (Hochschule Darmstadt) in Seminaren und den Wissenstransfer eingebracht, um die nächste Generation von Wissenschaftlern und Ingenieuren zu inspirieren und zu fördern. Dieser Austausch von Wissen und Erfahrung ist ein entscheidender Faktor für die erfolgreiche Umsetzung von Forschungsergebnissen in der Praxis. Wir sind zuversichtlich, dass die gewonnenen Erkenntnisse dazu beitragen, die Fertigungsprozesse und die Herstellung von Produkten in der Zukunft hinsichtlich der Energieeffizienz zu verbessern und damit einen wichtigen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit unserer Wirtschaft zu leisten.



SynErgie

*Synchronisierte und energieadaptive
Produktionstechnik zur flexiblen Ausrichtung
von Industrieprozessen auf eine fluktuierende
Energieversorgung*

Schlussbericht Teilvorhaben:
F2-2_AEP (03SFK3F2-2)

01.11.2019 – 31.10.2022
- Öffentlicher Teil -

Datum: 01.04.2023

KOPERNIKUS
SynErgie **PROJEKTE**
Die Zukunft unserer Energie



GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Teil II: Eingehende Darstellung.....	2
1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse.....	2
1.1 AP III.1.4: Evaluation und Weiterentwicklung des Energieflexibilitätsdatenmodells	2
1.2 AP III.3.14: Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung.....	2
1.3 AP III.3.15: Bewertung von Produktionsrisiken	6
1.4 AP III.4.2: Demonstrator zur Nutzung von inhärenten Speichern und bivalenten Verbrauchern in der gesamtkostenbasierten Produktionssteuerung	9
1.5 Sonstige wesentliche Ereignisse	12
2 Zahlenmäßiger Nachweis: wichtigste Positionen	12
3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	12
4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses.....	12
5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens.....	13
6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses.....	13

Teil II: Eingehende Darstellung

1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

1.1 AP III.1.4: Evaluation und Weiterentwicklung des Energieflexibilitätsdatenmodells

- Zuarbeiten zur Analyse der Kosten im bestehenden Datenmodell
- Zuarbeiten zur Konzeptionierung für eine Erweiterung des Datenmodells um dynamische Faktoren

Meilensteine:

- Abgeschlossen: MS III.1.4.1 Workshop zur Diskussion der Anforderungen an das Datenmodell
 1. Darstellung der Ergebnisse:
Mit dem Meilenstein wurde das Ziel der Ermittlung von Anforderungen zur Weiterentwicklung des Energieflexibilitätsdatenmodells verfolgt. Es wurden u.a. die Punkte Datenschutz, absoluter Lastgang, Kosten & Risiko, Prognosegüte, Ort der Erbringung und Einfluss externer Faktoren analysiert und deren Aufnahme diskutiert.
 2. Bewertung der Ergebnisse:
In der Praxis werden von den Flexibilitätsanbietern Grenzkosten für ihre Flexibilitäten angegeben. Diese beruhen i.d.R. auf einer Schätzung und werden nicht detailliert erfasst. In Zusammenarbeit mit den Arbeitspaketen AP III.3.14 und AP III.3.15 werden weitere Inputfaktoren zur Bestimmung zu berücksichtigender Faktoren, wie z.B. das Produktionsrisiko beim Einsatz einer Flexibilität, erarbeitet.
- Abgeschlossen: MS III.1.4.4 Untersuchung äußerer Einflüsse und Berücksichtigung für das Datenmodell
 1. Darstellung der Ergebnisse:
Es konnte eine Einordnung äußerer Einflüsse auf das Datenmodell vorgenommen werden. Dies ermöglicht die gezielte weitere Anpassung und Einführung potenzieller neuer Kennzahlen und Formate in das EFDM.
 2. Bewertung der Ergebnisse:
Eine einheitliche Zuordnung der Ebenen / Einflüsse ist nicht immer möglich. Es ist zu berücksichtigen, dass jedes System und jede Anwendung spezielle Rahmenbedingungen aufweisen kann.

1.2 AP III.3.14: Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung

- Analyse der möglichen Auswirkungen von Energieflexibilitätsmaßnahmen auf die klassischen Zielgrößen in der Produktion (gemeinsame Workshops mit IGCV und S4P)
- Ermittlung der Kostenfaktoren sowie deren Quantifizierung und Modellierung auf Basis der identifizierten Auswirkungen (gemeinsame Workshops mit IGCV und S4P)

- Bereitstellung, Installation, Einrichtung/Customizing und prototypischer Betrieb einer Instanz von AEP-Solution4 auf dem IGCV-Virtual Fort Knox als Entwicklungsumgebung
- Ableitung und Definition des übergreifenden Datenflusses mit IGCV und S4P
- Definition von Ausbaustufen, Anforderungen und Dokumentation der Implementierung der Schnittstelle zwischen S4P MES und AEP-Solution4-Seite
- Erweiterung der Kommunikation des S4P MES mit AEP-Solution4 zur Übergabe von Energiepreisen als Input für die Auftragskalkulation
- Erweiterung der bestehenden energieorientierten Produktionssteuerung um eine Schnittstelle zur Übergabe und Ermittlung der Zielfunktion auf Basis eines REST-Webservices und Implementierung der Schnittstelle in AEP-Solution4
- Unterstützung der Implementierung der Schnittstelle auf Seite von S4P MES
- Test und Feintuning der Schnittstelle in AEP-Solution4
- Implementierung des Service auf der Unternehmensplattform
- Adaption der Zielfunktion der bestehenden Optimierung
- Verknüpfung mit Online-Kostenbewertung und Implementierung als Zielfunktion
- Mitwirkung, Ableitung und Unterstützung bei der Erstellung eines Threat-Models unter Berücksichtigung des gesamten Datenflusses
- Unterstützung der Ermittlung der Kostenfaktoren sowie deren Quantifizierung und Modellierung auf Basis der identifizierten Auswirkungen
- Umsetzung präventiver Maßnahmen

Meilensteine:

- Abgeschlossen: MS III.3.14.1: Analyse der Auswirkungen von Energieflexibilität
 1. Darstellung der Ergebnisse:
 Als Ausgangspunkt für die strukturierte Analyse wurden, die bereits in vorausgegangenen Arbeiten definierten Energieflexibilitätsmaßnahmen verwendet, die vorab gefiltert wurden. Von dieser Basis wurden die Beeinflussungen sowie technischen und organisatorischen Auswirkungen allgemeingültig abgeleitet.
 2. Es konnten acht verschiedene Auswirkungen identifiziert werden. Damit kann in der weiteren Projektarbeit die Überführung dieser technischen und organisatorischen Auswirkungen in Kosten durchgeführt werden, um auf diese Weise eine monetäre Quantifizierung von Energieflexibilitätsmaßnahmen zu ermöglichen.
- Abgeschlossen: MS III.3.14.2: Relevante Kostenbestandteile zur Quantifizierung der Auswirkungen identifiziert
 1. Darstellung der Ergebnisse:
 Auf Basis des vorangegangenen Meilensteinberichts wurden die resultierenden Kostenbestandteile durch eine Literaturrecherche sowie gemeinsame Workshops konsolidiert. Dabei wurden alle theoretisch ableitbaren Szenarien berücksichtigt, um die Übertragbarkeit der Ansätze zu ermöglichen.
 2. Bewertung der Ergebnisse:
 Im Hinblick auf eine gesamtheitliche Bewertung einer Energieflexibilitätsmaßnahme, müssen die relevanten Kostenbestandteile aus der Produktion mit der potenziellen

Einsparung an Energiekosten gegenübergestellt und abgewogen werden. Der Meilensteinbericht erweitert die in der Literatur bereits vielfältig diskutierten Energiekosten um Kostenbestandteile der Produktionslogistik.

- Abgeschlossen: MS.III.3.14.4: Threat Model erstellt (Unterstützung des Partners Fraunhofer IGCV)
 1. Darstellung der Ergebnisse:
 Das Ziel des Meilensteins der Identifikation potenzieller Angriffspunkte des Softwareservice wurde durch Betrachtung eines Anwendungsbeispiels und Erstellung eines Datenflussdiagramms sowie der Nennung relevanter Stakeholder bearbeitet. Exemplarische erfasste Threats sind das Abfangen von Kommunikation zwischen den eingesetzten Softwarelösungen sowie mögliche Phishing-Seiten für die Servicekonfiguration. Als Gegenmaßnahmen wurden die Prüfung des HTTP-Statuscodes bzw. die Einschränkung der Konfiguration auf lokale Instanzen festgelegt.
 2. Bewertung der Ergebnisse:
 Die gewissenhafte Behandlung von IT-relevanten Bedrohungen ist im Hinblick auf eine Nutzung im industriellen Umfeld zwingend erforderlich, da sowohl sensible Kostendaten wie auch wichtige Rückmeldedaten aus dem Produktionssystem eingebunden werden.
- Abgeschlossen: MS.III.3.14.5: Schnittstelle implementiert und Kostenbewertung an S4P MES angebunden (Unterstützung des Partners Fraunhofer IGCV)
 1. Darstellung der Ergebnisse:
 Ziel des Meilensteins war der Aufbau und die Implementierung einer Schnittstelle zwischen dem als Entwicklungsumgebung bereitgestellten S4P MES und AEP-Solution4. Die Schnittstelle wurde als REST-Schnittstelle zwischen den Backend-Servern der beiden Anwendungen aufgebaut. Die Schnittstelle ist bidirektional ausgelegt und teilt sich in zwei Schritte bei der Übertragung auf: Schritt 1 enthält den Austausch von Stammdaten, die einmalig transferiert werden, z.B. Stücklisten oder Arbeitspläne. Schritt 2 enthält den Austausch von auftragsbezogenen Daten, welche sich im Produktionsverlauf ändern können, z.B. Verkaufspreise, oder Kundenaufträge.
 2. Bewertung der Ergebnisse:
 Mit der Bearbeitung des Meilensteins wurde die Grundlage für kostenorientierte Anwendungen in Fertigungsleitsystemen geschaffen. Dazu wurde domänen-spezifisches Wissen aus Finanzbuchhaltung und Controlling, Produktionsplanung und -steuerung sowie Energiemanagement interdisziplinär und domänenübergreifend zusammengeführt und transferiert. Es ist somit möglich, mittels AEP-Solution4 eine Vorkalkulation der Aufträge durchzuführen und die Kostenabschätzung wieder an das MES zurückzugegeben. Des Weiteren ist hiermit eine mitlaufende Kalkulation und Nachkalkulation möglich, da Bewegungsdaten vom MES, z.B. wie Ist-Zeiten der Aufträge, übergeben werden und in die Kalkulation einfließen. Da AEP-Solution4 eine vollständig integrierte Gesamtplanung eines Unternehmens ermöglicht, können somit

auch die Auswirkungen von veränderten Planprämissen, wie Strompreise oder Produktionsprozesse auf das Gesamtbetriebsergebnis dargestellt und analysiert werden.

- Verzögert abgeschlossen: MS.III.3.14.6: Präventive Sicherheitsmaßnahmen umgesetzt (Unterstützung des Partners Fraunhofer IGCV)
 1. Darstellung der Ergebnisse:
 Im Zuge der Bearbeitung von MS.III.3.14.6 sollten Bedrohungen, die in MS.III.3.14.5 identifiziert wurden, mit präventiven Sicherheitsmaßnahmen begegnet werden. In AEP-Solution4 sorgt beispielsweise ein rotierendes Logging für die Dokumentation aller Parameterrufe, Anmeldungen und Änderungen von Einstellungen, Ressourcen- und Stammdaten. Der Zugriff auf die Benutzeroberfläche von AEP-Solution4 ist nur mit Eingabe von Benutzername und Passwort möglich.
 2. Bewertung der Ergebnisse:
 Die ermittelten servicespezifischen Bedrohungen spielen sich hauptsächlich in den Schnittstellen zwischen den Softwarekomponenten und den User-Schnittstellen (MES-Client und Solution4-Client) ab. Auf dieser Ebene schalten die standardmäßig vorgesehenen Sicherheitsmaßnahmen die identifizierten Threats bereits größtenteils aus. Zum Zeitpunkt der Fälligkeit des Meilensteins nicht umsetzbare Maßnahmen wurden zur späteren Umsetzung festgelegt und dokumentiert. Der Abschluss des Meilensteins mit Verzug von zwei Tagen in M25 statt in M24 wurde durch eine verspätete Einreichung zum Review und einen Monatswechsel über ein Wochenende hervorgerufen.
- Verzögert abgeschlossen: MS.III.3.14.7: Serviceentwicklung abgeschlossen (Unterstützung des Partners Fraunhofer IGCV)
 1. Darstellung der Ergebnisse:
 Ziel des Abschlussmeilensteins war der Abschluss der Serviceentwicklung und die Implementierung des Service auf der Unternehmensplattform (UP). Dafür wurden die entwickelten Schnittstellenkonfigurationen anhand eines Anwendungsfalls getestet. Die adaptierten und teilweise eigens entwickelten Bestandteile der Servicearchitektur wurden in einer virtuellen Maschine des Fraunhofer IGCV-Rechenclusters (Instanz des virtual Fort Knox) als Entwicklungsumgebung installiert. Somit ist der Service für Nutzer und andere Services der Energiesynchronisationsplattform anbindbar. Für den Abschluss der Serviceentwicklung wurde die Architektur als lauffähiges System auf der IGCV-Virtual Fort-Knox (VFK)-Instanz implementiert. Der Service setzt sich aus den vier Komponenten S4P MES, S4P SynErgie Client, AEP-Solution4 und einem IGCV Add-On zur Auftragsgenerierung zusammen. Die Funktion des Zusammenspiels dieser Komponenten wurde anhand eines exemplarischen Anwendungsfalls erprobt. Neben der Implementierung wurde zudem der Ablauf der Servicenutzung festgelegt und dokumentiert.
 2. Bewertung der Ergebnisse:

Durch die Implementierung der Systemarchitektur auf der IGCV-VFK-Instanz wird die Anbindbarkeit des Service über den Manufacturing Service Bus sichergestellt. Da für die Architektur des Service zwei von den Anwendungspartnern entwickelte kommerzielle Softwareprodukte eingesetzt werden (S4P MES und AEP-Solution4), ist eine vollständig gekapselte Bereitstellung nicht möglich. Dies schränkt den Servicecharakter ein. Anhand eines realitätsnahen fiktiven Anwendungsfalls wurde die Funktion überprüft und nachgewiesen. Die EFDM-Kompatibilität des Service beruht in der vorliegenden Ausbaustufe auf dem händischen Einsatz von Energieflexibilitätsmaßnahmen. Der in M24 fällige Meilenstein wurde mit Verzug aufgrund erforderlicher Anpassungen von Schnittstellen zwischen den Komponenten zu Beginn von M27 abgeschlossen. Im Rahmen der Aufstockungsphase wird der Service in AP III.4.2 um die Bewertung von EFM-Auswirkungen in der Dimension von logistischen Zielgrößen erweitert. Der Servicecharakter wird im Rahmen dieser Erweiterung und der Fokussierung der Anwendbarkeit verbessert.

1.3 AP III.3.15: Bewertung von Produktionsrisiken

- Unterstützung bei der Erstellung eines Vorgehens zur Identifikation und Kategorisierung von Produktionsrisiken
- Unterstützung bei der Bewertung der möglichen Auswirkungen von Energieflexibilität auf die Produktionsplanung und -steuerung
- Unterstützung bei der Erarbeitung des Quantifizierungsmodells für die Auswirkungen von Energieflexibilität
- Unterstützung bei der Entwicklung eines Modells zur Bewertung der mittelbaren Auswirkungen von Produktionsrisiken sowie eines Kostenmodells zur Bewertung der monetären Auswirkungen
- Ermittlung und Einordnung möglicher Risikopotenziale aus der industriellen Praxis durch Recherchearbeit und Expertenaustausch
- Unterstützung und Aufbau eines Ursache-Wirkungsdiagramms zur Ermittlung von Wechselwirkungen von Risiken, Risikokompensations- und Energieflexibilitätsmaßnahmen in Produktionssystemen
- Entwicklung eines Modells zur Bewertung der mittelbaren Auswirkungen von Produktionsrisiken sowie eines Kostenmodells zur Bewertung der monetären Auswirkungen
- Erprobung und Weiterentwicklung des Vorgehens und der Modelle anhand realer Produktions- und Energiedaten einer Gießerei
- Softwaretechnische Umsetzung der erarbeiteten Bewertungskonzepte
- Implementierung des Service auf der UP
- Identifikation und Umsetzung relevanter Schnittstellen zu Produktionssteuerungssystemen auf der UP-Instanz

Meilensteine:

- Abgeschlossen: MS.III.15.1: Beschreibung der Wirkung von Produktionsrisiken und Energieflexibilitätsmaßnahmen
 - Darstellung der Ergebnisse:

Der Meilenstein beleuchtet die grundlegenden Aspekte von Risiken in der energieorientierten Produktion und geht im speziellen auf die Bewertung von Produktionsrisiken ein. Aufgezeigt wird hierzu die Kategorisierung von Produktionsrisiken, ein exemplarisches Ursache-Wirkungsdiagramm sowie Ansatzpunkte zur Kostenbetrachtung von Risiken.
 - 2. Bewertung der Ergebnisse:

Die Erkenntnisse können im weiteren Verlauf konkretisiert und durch mathematische Modelle abgebildet werden. Dies stellt wiederum die Grundlage zur Erweiterung von Kostenmodellen dar und eröffnet die Möglichkeit, einen risikoorientierten Service zu entwickeln, der auf der Unternehmensplattform implementiert werden kann.
- Abgeschlossen: MS.III.15.2: Erweiterung bestehender Bewertungsmodelle für Produktionsrisiken um Energieflexibilität konzeptioniert
 - 1. Darstellung der Ergebnisse:

Ein Vorgehen zur spezifischen Filterung von Risiken zeigt auf, wie mit geringem Aufwand eine erste Bewertung von Risiken erfolgen kann. Die so gefilterten kritischen Risiken können im Anschluss vertieft durch ein Kostenmodell bewertet werden. Die Bewertung anhand von Kosten schafft eine Transparenz hinsichtlich eintretender Zusatzkosten durch das Risiko und ermöglicht somit den Vergleich zwischen Risiken und möglichen Kompensationsmaßnahmen zur Schadensreduktion.
 - 2. Bewertung der Ergebnisse:

Die Ergänzung der spezifischen Kennzahlen der Energieflexibilität und der Energiekosten stellt sicher, dass die besonderen Anforderungen von energieflexiblen Produktionssystemen eingehalten werden können. Dabei wurde ein möglichst ausgeglichenes Verhältnis zwischen eingebrachtem Aufwand der Entscheider und Experten sowie dem Nutzen des Vorgehens angestrebt. Um eine Basis für die Implementierung als Service der Unternehmensplattform zu schaffen, wurden das aktuelle Datenmodell sowie Architekturvorgaben des Diskussionsmodells bereits im frühen Stadium berücksichtigt.
- Abgeschlossen: MS.III.3.15.4: Threat Model erstellt (Unterstützung des Partners Fraunhofer IGCV)
 - 1. Darstellung der Ergebnisse:

Durch Anwendung der STRIDE-Methode konnten potenzielle Schwachstellen identifiziert werden. Darauf aufbauend wurden erste MES-seitige Gegenmaßnahmen vorgeschlagen.
 - 2. Bewertung der Ergebnisse:

Die potenziellen Schwachstellen konnten klar identifiziert werden.

- Abgeschlossen: MS.III.3.15.5: Entwicklung von Strategien zur Bewertung abgeschlossen (Unterstützung des Partners Fraunhofer IGCV)
 1. Darstellung der Ergebnisse:

In der Bearbeitung des Meilensteins wurde das Team des Fraunhofer IGCV bei der Entwicklung von Bewertungsstrategien von Produktionsrisiken unterstützt. Ergebnis ist eine Methode zur Bewertung, die durch die Modellierung einzelner Systemelemente (Risiken, Risikokompensationsmaßnahmen und Energieflexibilitätsmaßnahmen) und deren Wechselwirkungen Pfade für die Kombinierte Wirkung von Risiken und Maßnahmen auch auf Zeitreihen wie den Lastgang des Energieverbrauchs oder den Produktionsplan quantifizieren kann.
 2. Bewertung der Ergebnisse

Die entwickelte Bewertungsstrategie ermöglicht durch die zeitdiskrete Betrachtung eine Kompatibilität mit S4P MES-seitig generierten Produktionsplänen. Die zeitliche Verortung der Wirkung von Risiken im Produktionsablauf auf der Ebene der Produktionssteuerung wird somit ermöglicht.
- Verzögert abgeschlossen: MS.III.3.15.6: Präventive Sicherheitsmaßnahme umgesetzt (Unterstützung des Partners Fraunhofer IGCV)
 1. Darstellung der Ergebnisse:

Im vorangegangenen Meilenstein MS III.3.15.4. wurde ein Threat Modelling zur Identifizierung von möglichen IT-Bedrohungen durchgeführt. Die Umsetzung der dort identifizierten Bedrohungen war Gegenstand dieses Meilensteins. Im Fokus standen dabei hauptsächlich die Schnittstellen zwischen den beteiligten Software-Komponenten. MES-seitig sind bereits einige Sicherheitsmaßnahmen vorgesehen, die die ermittelten potenziell denkbaren Bedrohungen neutralisieren. Ein Beispiel hierfür ist die Abfrage von Nutzernamen und Passwort beim Start der Komponente.
 2. Bewertung der Ergebnisse

Ein stringentes Berechtigungskonzept und lokale Installationen zur Gewährleistung von Trust-Borders können den Service gegen Bedrohungen absichern. Grundsätzlich ist zu beachten, dass vor allem Ressourcen- und Stammdaten, die im System verarbeitet werden, eine erhöhte Sicherheitsrelevanz aufweisen. Auch die Daten, die zur Modellierung der Produktionsrisiken im System gespeichert sind, sind sensibel, da sie Aufschluss über die Risikosituation des betroffenen Unternehmens bieten. Der Abschluss des Meilensteins mit Verzug von zwei Tagen in M25 statt in M24. Wurde durch eine verspätete Einreichung zum Review und einen Monatswechsel über ein Wochenende hervorgerufen.
- Verzögert abgeschlossen: MS.III.3.15.7: Serviceentwicklung beendet
 1. Darstellung der Ergebnisse:

Im Rahmen des Abschlusses der Serviceentwicklung wurde die zuvor erarbeitete Methode zur Bewertung der Risikowirkung von Einzelrisiken sowie Pfaden aus Risiken, Risikokompensations- und Energieflexibilitätsmaßnahmen in Form eines Softwareprototyps umgesetzt. Das entwickelte Tool wurde an das S4P MES

angebunden und ermöglicht so die Generierung von Planungs- und Steuerungsrestriktionen auf Basis eines vorliegenden Risiko- und Maßnahmeninventars. Risiko wird im entwickelten Ansatz als Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß modelliert, wobei die hier betrachteten Schadenereignisse stets auf Ausfällen von Produktionsressourcen oder der Änderung von deren Fähigkeiten beruhen. Risiken, Risikokompensationsmaßnahmen und Energieflexibilitätsmaßnahmen (EFM) werden in Form von solchen Ausfällen modelliert. Deren Eintrittswahrscheinlichkeiten können im entwickelten Softwaretool auch unter Berücksichtigung von Risikointerdependenzen und Abhängigkeiten zwischen Risiken und den beiden Arten von Maßnahmen berechnet werden. Zur Quantifizierung des Schadensausmaßes wurden im System Schnittstellen zu AEP Solution4 integriert, die risiko- und maßnahmenbedingte Planänderungen aufgrund von Ressourcenausfällen monetär bewerten können.

2. Bewertung der Ergebnisse:

Mit diesem Abschlussmeilenstein wurden die in AP.III.3.15 bisher erarbeiteten Inhalte zur Bewertung von Produktionsrisiken abschließend in Form einer Softwarelösung umgesetzt. Die für den Risikoservice in den vorherigen Meilensteinen entwickelte Bewertungsstrategie wurde umgesetzt und durch Ihre Anbindung an MES für die Produktionssteuerung nutzbar gemacht. Mit dem Service „Bewertung von Produktionsrisiken“ können Risiken, Risikokompensationsmaßnahmen und EFM nun direkt in der Entscheidungsfindung auf der Ebene der Produktionssteuerung berücksichtigt und durch die Einbindung der Controllingsoftware solution4 die ganzheitlichen Unternehmensplanung direkt monetär bewertet werden. Diese Bewertung gewährleistet die Vergleichbarkeit der Auswirkungen von Schadenereignissen, die als Abweichungen in verschiedensten Dimensionen (z.B. Energie, Zeit, produktionslogistische Zielgrößen) auftreten können. Die Anbindung des Service erfolgt über mehrere REST APIs und ist somit, unter Einhaltung bestimmter Anforderungen, von der im folgenden präsentierten Anwendung in Kombination mit Softwarelösungen S4P MES und AEP Solution4 auch auf andere Systemlandschaften übertragbar.

1.4 AP III.4.2: Demonstrator zur Nutzung von inhärenten Speichern und bivalenten Verbrauchern in der gesamtkostenbasierten Produktionssteuerung

- Erweiterung der energieorientierten Produktionssteuerung um eine Speichersteuerung
- Implementierung und Validierung des Service zur gesamtkostenbasierten Produktionssteuerung
- Unterstützung bei der Erarbeitung von Einsatzstrategien der Energiespeicher und deren Wechselwirkungen mit flexiblen Prozessen
- Unterstützung bei Entwicklung eines grundlegenden Vorgehens zur Integration von Lade- und Entladevorgängen in die energieflexible Auftragsplanung

- Unterstützung bei der Typologisierung von Speicherlösungen
- Erarbeitung der Einsatzstrategien von Energiespeichern und deren Wechselwirkungen mit flexiblen Prozessen
- Entwicklung eines grundlegenden Vorgehens zur Integration von Lade- und Entladevorgängen in die energieflexible Auftragsplanung
- Allgemeine Typologie von Speicherlösungen erfasst und den vorhandenen und benötigten inhärenten Speichern des Demonstrators zugeordnet
- Virtuelle Fabrik zur Simulationsumgebung erweitert
- Demonstratormodul zur Steuerung inhärenter Speicher ergänzt
- Virtuelle Fabrik mit gesamtkostenbasierter Produktionssteuerung in physischer Produktionssystem-Demonstratorumgebung implementiert

Meilensteine:

- Abgeschlossen: MS.III.4.2.1: Konzept zur Einbindung eines Speichers erstellt (Unterstützung des Partners Fraunhofer IGCV)
 1. Darstellung der Ergebnisse:
Anhand des im Service „Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung“ verwendeten UseCase wurden die physikalischen Zusammenhänge der zur Verfügung stehenden Produktionsressourcen untersucht und formalisiert. Als Ergebnisdokument von MS.III.4.2.1 wurde so ein Konzept entwickelt, welches die Ansatzpunkte eines MES zur Steuerung des Einsatzes inhärenter Speicher angibt.
 2. Bewertung der Ergebnisse:
Die im Meilenstein III.4.2.1 erarbeiteten Ergebnisse bildeten die Grundlage für die Integration der Nutzung von inhärenten Energiespeichern in die Produktionssteuerungslogik des Service „Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung“. Auf der Ebene des MES stellen zusätzliche Zusammenhänge vor allem Ansprüche an Attribute und Rückgabewerte von hinterlegten Produktionsressourcen. Die Nutzung inhärenter Speicher wirkt sich restriktiv auf Ressourcenverfügbarkeiten aus.
- Verzögert abgeschlossen: MS.III.4.2.2
 1. Darstellung der Ergebnisse:
Die Umsetzung der Erweiterung der virtuellen Fabrik umfasst MES-seitig hauptsächlich die Einführung einer Möglichkeit zur Generierung und Kalkulation von zwei Produktionsplänen mit Berücksichtigung veränderlicher Energiepreise. In AEP Solution4 können zwar beliebige Simulationen auf Basis sich veränderbarer Strompreise durchgeführt werden, die Preise sind jedoch nicht pro Auftrag veränderbar. Es wurde deshalb eine Programmanpassung in Solution4 vorgenommen, die dieses Vorgehen jetzt unterstützt.
 2. Bewertung der Ergebnisse:
Durch die umgesetzten Erweiterungen wurde die Simulation verschiedener Szenarien ermöglicht. Der Abschluss des in M27 fälligen Meilensteins konnte aufgrund des Verzugs des für die Bearbeitung erforderlichen Meilensteins III.3.14.7 erst in M28 erfolgen.



- Abgeschlossen: MS.III.4.2.3: Realer Speicher in Modell integriert
 1. Darstellung der Ergebnisse:

Im Arbeitspaket III.4.2 dem Demonstrator zur Nutzung von inhärenten Speichern und bivalenten Verbrauchern in der gesamtkostenbasierten Produktionssteuerung wurde ein Service zur gesamtkostenbasierten Produktionssteuerung (II.3.14) entwickelt. um die Funktion der Nutzung von inhärenten Speichern und bivalenten Verbrauchern auf der Ebene der Produktionssteuerung zu erweitern. Der Meilenstein baute dafür inhaltlichen auf den vorhergegangenen Meilensteinen MS.III.4.2.1 (Konzept zur Einbindung eines Speichers erstellt) und MS.III.4.2.2 (Bestehende virtuelle Fabrik erweitert) auf. Dafür wurde vonseiten des Fraunhofer IGCV ein Konzept für die Erweiterung des S4P MES um eine Oberfläche zur Variation von relevanten Parametern entwickelt. Dieses Konzept wurde anschließend von S4P umgesetzt. Hier konnten identifizierte inhärente Speicherpotenziale des implementierten Druckguss-Anwendungsfalls in der Produktionssteuerung eingeplant und bezüglich ihrer monetären Auswirkungen bewertet werden.
 2. Bewertung der Ergebnisse:

Die Anforderung „MES steuert Lade- und Entladezyklen des Speichers“ wurde durch die Erweiterung der MES-Funktionen um eine Maske zur Variation von relevanten Parametern der inhärenten Speicher im gewählten Anwendungsfall erfüllt. Damit wurden das in MS III.4.2.1 entwickelte Konzept zur Einbindung von inhärenten Speichern umgesetzt. Der Einsatz realer Speicher konnte im MES gesteuert werden. Nach Änderung der relevanten Parameter in der implementierten Eingabemaske wurde der Speichereinsatz in der Plantafel eingeplant. Somit wurde der Speichereinsatz auch für die Kostenbewertung in AEP-Solution4 wirksam, da die Schnittstelle um den Austausch aller produktionsrelevanter Ressourcen erweitert wurde.
- Abgeschlossen: MS.III.4.2.4: Gesamtkostenbasierte Produktionssteuerung implementiert
 1. Darstellung der Ergebnisse:

Für die geforderte Implementierung des Service zur gesamtkostenbasierten Produktionssteuerung wurde die im Rahmen von AP III.3.14. aufgebaute Architektur an einen physischen Demonstrator angebunden. Außerdem wurde der in der Serviceentwicklung verwendete Anwendungsfall einer Druckguss-Bauteilfertigung mit anschließender zerspanender Nachbearbeitung zur Visualisierung der Servicefunktionen auf den physischen Demonstrator übertragen. Ziel war die reale Demonstration der Servicefunktionen, die in den vorhergegangenen Meilensteinen in AP III.4.2 um die Steuerung inhärenter Speicher (MS.III.4.2.3) ergänzt wurden.
 2. Bewertung der Ergebnisse:

Im Zuge der Bearbeitung wurde der in AP III.3.14. entwickelte Service zur gesamtkostenbasierten Produktionssteuerung an eine physische Demonstratorumgebung

angebunden. Die Einplanung bzw. Steuerung der Nutzung von inhärenten Speichern des verwendeten Anwendungsfalls wurde am Demonstrator visualisiert.

1.5 Sonstige wesentliche Ereignisse

- Einbringung der Ergebnisse in Forschung und Lehre am Fachbereich Wirtschaft der h_da (Hochschule Darmstadt).

2 Zahlenmäßiger Nachweis: wichtigste Positionen

	0837 Personalkosten	Materialkosten	0838 Reisekosten
2019	19.941 €	0 €	198 €
2020	167.419 €	1.164 €	104 €
2021	89.028 €	1.838 €	0 €
2022	26.561 €	1.640 €	307 €
Ist-Kosten	302.949 €	4.642 €	609 €
Bewilligung	299.359 €	4.881 €	1.782 €

Die umfangreichen Arbeiten haben die geplanten Personalaufwände um 1,2% übersteigen lassen. Grund hierfür war die Komplexität der Aufgabenstellung. Die Reisekosten sind aufgrund der Coronakrise unter den bewilligten Kosten geblieben.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

AEP war stets bemüht, die geplanten und realen Personalkosten im Rahmen zu halten und die Finanzierung bestmöglich zu nutzen. Wir sind jedoch während des umfangreichen Projekts auf unvorhergesehene Herausforderungen und technische Probleme gestoßen, die zusätzliche Aufwände zur Zielerreichung verursacht und notwendig gemacht haben. Diese Mehraufwände wurden durch AEP selbst getragen. Aufgrund der Coronakrise wurden die Reisen durch Onlinemeetings ersetzt, was sich in angemessen niedrigeren Reisekosten auswirkte.

4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses

Der wirtschaftliche Erfolg und damit die industrielle Verwertung der Projektergebnisse basiert sowohl auf der Etablierung von AEP als einer der führenden Anbieter für ganzheitliche Systeme entlang der Triple-Bottom-Line. Ziel war und ist es, diese die Ansätze einer Industrie 4.0 um energieorientierte Lösungen zu erweitern und KMU-gerechte Angebote daraus zu entwickeln. Durch die hohe Breitenwirksamkeit des Konsortiums und die Kooperation mit weiteren innovativen Lösungsanbietern ergaben sich neue Vertriebskanäle und entsprechende Marktzugänge. Des Weiteren zeigt sich, dass nachhaltige und signifikante Flexibilitätssteigerung durch die Kommerzialisierung und Weiterentwicklung der prototypisch realisierten Anwendung in der

mittelständischen Industrie erzielt werden können. Die Verwertung soll auch in Beratungs- und Implementierungsprojekten erfolgen. AEP verspricht sich von den Projektergebnissen einen mittel- bis langfristigen wirtschaftlichen Nutzen und wird in den Jahren 2023 und 2024 die Lösungen weiterentwickeln und marktreif in das bestehende Produktportfolio integrieren. Dadurch wird die weitere Nutzung über die Projektlaufzeit hinaus sichergestellt und eine professionelle Anwendung und Umsetzung in anderen Unternehmen gefördert.

5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens

Es wurden folgender Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen erkannt. Die EU hat Ende 2022 eine Richtlinie für das Corporate Sustainability Reporting (CSR) herausgebracht. Hiervon betroffen sind

- ab 1. Januar 2024 Großunternehmen mit mehr als 250 Mitarbeitern, einer Bilanzsumme von über 20 Millionen Euro und einem Umsatz von über 40 Millionen Euro,
- ab 1. Januar 2025 kleine und mittelständische Unternehmen in den Grenzen zwischen Groß- und Kleinstunternehmen sowie
- ab 1. Januar 2026 Kleinstunternehmen mit weniger als 10 Mitarbeitern, einer Bilanzsumme von weniger 350.000 Euro und einem Umsatz von weniger 700.000 Euro

Die CSR-Richtlinie fordert von Unternehmen zusätzlich zu ihrem Geschäftsbericht (Jahresabschluss bzw. Bilanz) einen Nachhaltigkeitslagebericht zu veröffentlichen. Dieser soll spätestens vier Monate nach Geschäftsjahresende erscheinen und muss in einem maschinenlesbaren Format erfolgen. Die zu berichtenden Informationen umfassen eine Beschreibung des Geschäftsmodells und der Strategie des Unternehmens, einschließlich der Resilienz gegenüber Risiken im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit und Chancen, die sich aus Nachhaltigkeitsbelangen ergeben. Die offengelegten Informationen sollen zukunftsorientierte und rückblickende Informationen sowie qualitative und quantitative Informationen enthalten. Gegebenenfalls auch Informationen über die Wertschöpfungskette des Unternehmens, einschließlich der eigenen Geschäftstätigkeit, Produkte und Dienstleistungen, seiner Geschäftsbeziehungen und seiner Lieferkette. Strafen bestehen, wenn ein berichtspflichtiges Unternehmen, der Pflicht zur Veröffentlichung nicht nachkommt. Die Strafen gehen von einer Veröffentlichung der natürlichen und juristischen Person, über Anordnung bis zu behördlich verordneten Bußgeldern (Quelle: <https://www.csr-berichtspflicht.de/csrd>)

6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung des Ergebnisses

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sind u.a. in folgende Veröffentlichungen mit eingeflossen:

- Berlak, J., Werner, D. (2022): Additiv gefertigte Bauteile in der Automobilproduktion. VDI-Z 164 (2022) 05, S. 63-64.
- Berlak, J., Götz, T. (2021): Concept for the Urban Production of Pharmaceuticals to Compensate for Local Shortages. Digital Manufacturing Technology, 1(1), 46-59.
- Berlak, J., Krottentaler, B. (2021): Sollzeiten in der Unikutfertigung. VDI-Z 163 (2021) 5, S. 1-3